



IMPULSE

Das Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln

Sport WISSENSCHAFT

Neurophysiologie & Flow: Transzendentes Erleben im Sport | **Wanderleitsysteme:** Wandern im Stubaital | **Vorhersagemodelle:** Wissen was passiert, bevor es passiert | **KomRüBer:** Ein überbetriebliches Netzwerk zur Bewegungsförderung | **ClearMind:** Laufen, um den Kopf frei zu kriegen?!



**GEFÖRDERT IN
DEUTSCHLAND.
RESPEKTIERT IN
DER GANZEN WELT.**

**DIRK NOWITZKI,
SPORTHILFE-GEFÖRDERT
VON 1995 BIS 2000
#LEISTUNGLLEBEN**

 **Deutsche
Sporthilfe**

VORWORT



Liebe Leserin, lieber Leser,

Universitäten sind zentrale Akteure für die wissenschaftliche, kulturelle, technische und wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland und zeichnen sich durch eine besondere Struktur aus, die sich aus der Einheit von Forschung und Lehre, aber insbesondere auch aus der kontinuierlichen Qualifikation und Förderung ihres wissenschaftlichen Nachwuchses speist. An der Deutschen Sporthochschule Köln ist die Forschung ausschließlich auf „Sport und Bewegung“ als gemeinsamen, übergreifenden Bezugspunkt ausgerichtet. Dies ermöglicht ein Umfeld, das „unter einem Dach“ zu disziplinär sehr unterschiedlichen Zugängen zu interessanten Forschungsfragen führt. Das zeigt sich auch in der aktuellen Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins. Drei (Nachwuchs-) Wissenschaftler*innen präsentieren ihre Forschungsarbeiten: Dr. Julia Severiens, Dr. Fabian Wunderlich und Leonard Braunsmann.

Dr. Julia Severiens, Institut für Outdoor Sport und Umweltforschung, stellt die Ergebnisse ihrer Dissertation vor, in der sie sich mit Anforderungen an Wanderleitsysteme in alpinen Destinationen befasst hat. Dr. Fabian Wunderlich, Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, hat sich im Rahmen seiner Dissertation mit Sportprognosen und der aktuellen Anwendung in der Sportwissenschaft auseinandergesetzt. Leonard Braunsmann stellt, gemeinsam mit Dr. Vera Abeln, die Ergebnisse seiner Masterarbeit vor, die am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft betreut wurde. Unter dem Titel „ClearMind: Laufen, um den Kopf frei zu kriegen“ hat er sich mit dem Phänomen des neuronalen Rauschens beschäftigt.

Um neurophysiologische Prozesse beim Laufen bzw. bei Sport und Bewegung, geht es auch in dem Beitrag von Prof. Dr. Dr. Stefan Schneider. Der Wissenschaftler des Instituts für Bewegungs- und Neurowissenschaft, der zugleich auch promovierter Theologe ist, beschreibt in seinem Beitrag „Neurophysiologie und Flow“ die Bedeutung von Sport und Bewegung als Zugang zu einem „transzendenten“ Erleben.

Univ.-Prof. Dr. Andrea Schaller, Inhaberin der Stiftungsprofessur „Bewegungsbezogene Präventionsforschung“, stellt in ihrem Beitrag das Projekt KomRüBer vor. Gemeinsam mit Carina Hoffmann (Institut für Bewegungstherapie und bewegungsorientierte Prävention und Rehabilitation) gibt sie Einblicke in die empirisch basierte Konzeption eines überbetrieblichen Netzwerks zur Bewegungsförderung.

Ich danke allen Wissenschaftler*innen für ihre Beiträge und wünsche Ihnen eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre.

Blieben Sie gesund und zuversichtlich!

Univ.-Prof. Dr. Heiko Strüder
Rektor

06

Neurophysiologie & Flow
Sport und Bewegung als Zugang zu einem „transzendenten“ Erleben



12

Wandern
Anforderungen an Wanderleitsysteme in alpinen Destinationen



22

Vorhersagemodelle
Wissen was passiert bevor es passiert



30

KomRüBer
Konzeption eines überbetrieblichen Netzwerks zur Bewegungsförderung



38

ClearMind
Laufen, um den Kopf frei zu kriegen?! Das Phänomen des neuronalen Rauschens



INHALT

NEWS..... 48
+++ Mit Mini-Organen dem Doping auf der Spur: Das Organ-On-A-Chip-Verfahren könnte die Anti-Doping-Forschung nachhaltig verändern. Auf einen ungefähr kreditkartengroßen Träger werden 3D-Mini-Organen eingesetzt und mit Hilfe von Druck und Wärme in einem miniaturisierten Nährstoffkreislauf kultiviert, um eine dem menschlichen Organismus möglichst ähnliche Umgebung zu simulieren. +++

IMPRESSUM

IMPULSE
Das Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln
1/2022, 27. Jahrgang

HERAUSGEBER
Univ.-Prof. Dr. Heiko Strüder
Rektor der Deutschen Sporthochschule Köln

REDAKTION
Deutsche Sporthochschule Köln,
Stabsstelle Akademische Planung und Steuerung,
Abt. Presse und Kommunikation,
Am Sportpark Müngersdorf 6, 50933 Köln
Telefon: 0221 4982-3440
Fax: 0221 4982-8400
E-Mail: presse@dshs-koeln.de
Redaktionsleitung: Sabine Maas
Redaktion und CvD: Lena Overbeck
Layout: Sandra Bräutigam

DRUCKEREI
DCM Druck Center Meckenheim GmbH

ISSN-NR.
2192-3531

COVER:
Andre Schönherr; Tourismusverband Stubaital

Eine PDF- und Online-Version finden Sie unter:
www.dshs-koeln.de/impulse



www.blauer-engel.de/uz195

- ressourcenschonend und umweltfreundlich hergestellt
- emissionsarm gedruckt
- überwiegend aus Altpapier

Neurophysiologie & Flow



**Sport und Bewegung als Zugang zu
einem „transzendenten“ Erleben**

Text Stefan Schneider

Die Weisheit „Sport ist Mord“, welche fälschlicherweise Winston Churchill in Anlehnung an sein Zitat „absolutely no sports“ gerne in den Mund gelegt wird, vermutlich aber aus der Zeit der Gladiatorenkämpfe im alten Rom stammt, wird von vermeintlichen Sportgegnern immer wieder gerne verwendet. Was den wenigsten bekannt sein dürfte, ist, dass Churchills Anwesen über umfangreiche Gartenanlagen verfügte, in denen er sich regelmäßig, sicherlich auch kontemplativ, (lust)wandelnd bewegte um den Ausgleich vom politischen Tagesgeschäft zu suchen. Dass dies nicht als Sport wahrgenommen wurde, ist dem Zeitgeist zuzuschreiben. Nicht wenige verspüren am Ende eines geistig intensiven, meist sitzenden Arbeitstags, der durch wenig Bewegung gekennzeichnet war, das Verlangen sich zu bewegen. Das muss nicht unbedingt Ausdauersport sein, ein einfacher Spaziergang oder die Fahrt mit dem Rad nach Hause mag ähnliches bewirken. Viele Menschen schwören auch auf die positiven und leistungssteigernden Effekte von Frühsport und fühlen sich nach einem ausgiebigen Lauf oder der Fahrt mit dem Rad zum Arbeitsplatz kognitiv belastbarer und emotional ausgeglichener. Sport, Bewegung und körperliche Aktivität, das hat nicht nur Churchill so empfunden, haben eine psychohygienische Wirkung. Auf die (neuro-)physiologischen Grundlagen dieser psychohygienischen Wirkung des Sports möchte ich im ersten Abschnitt dieses Beitrags eingehen. Der zweite Teil ist gedanklich eher explorativ und beschäftigt sich mit der Frage, ob ein Abschalten der Ratio im Sport den Zugang zu einer transzendenten, spirituellen Dimension öffnen kann.

Die neurophysiologischen Effekte von Sport und Bewegung – so wirkt Sport auf unser Gehirn?

Zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, rät die Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu dreimal wöchentlich 45 Minuten moderat-intensiver körperlicher Aktivität. Und viel spricht dafür, dass dies auch für den Erhalt der emotionalen und kognitiven Gesundheit gilt. Ich möchte hier übersichtsartig einmal drei grundlegende (neuro-)physiologische Effekte von Sport und Bewegung im Hinblick auf die psychische Gesundheit auflisten.

Kurzfristiger, unmittelbarer Effekt:

Bewegung kanalisiert Stress durch einen Abbau der Stresshormone. Stresshormone, vor allem Adrenalin

und Noradrenalin haben uns über tausende von Jahren das Leben gerettet. Denn durch die Ausschüttung dieser Stresshormone in Gefahrensituationen (das Mammut zum Nahrungserwerb jagen / dem Säbelzahn tiger nicht zur Nahrung zu werden) wurden zusätzliche körperliche Ressourcen mobilisiert, die uns das Überleben sicherten. Diese Reaktion hat sich stammesgeschichtlich über tausende von Jahren erhalten und so kommt es auch heute, wenn wir gestresst sind, zu einer Ausschüttung dieser Hormone – eine Kampf- oder Fluchtreaktion jedoch ist in den seltensten Fällen gesellschaftlich legitimiert. Auch neurophysiologisch lässt sich das abbilden: Intensive körperliche Aktivität fordert neuronale Ressourcen, die in die an der Planung und Ausführung von Bewegung beteiligten motorischen Strukturen des Kortex geleitet wird. Es kommt während intensiverem Sport zu einer Abnahme der Aktivität in den Regionen des Gehirns, die für die Bewegungsplanung und -durchführung NICHT von Relevanz sind, u.a. dem Präfrontalkortex mit Sitz der exekutiven Funktionen oder, wie wir auch sagen: der Ratio. Diese Hypofrontalität (Dietrich 2003) hat auch eine evolutionsbiologische Finesse: In der Begegnung mit dem Säbelzahn tiger vor 10.000 Jahren machte es wenig Sinn mögliche Handlungsalternativen zu eruieren, die einzige Chance zu überleben lag darin das Denken auszuschalten und die Beine in die Hand zunehmen. Das Resultat ist eine Normalisierung der Aktivität in kognitiven Arealen nach dem Sport, so dass Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit wieder gesteigert sind. Das hat positive Auswirkungen für die schulische (Donnelly, Hillman et al. 2016) und berufliche Leistungsfähigkeit (Scholz & Schneider 2020). Und ganz allgemein auch das seelische Wohlbefinden.

Mittelfristiger Effekt:

Guter Schlaf. Wer körperlich hart gearbeitet – oder eben Sport getrieben – hat, ist müde. Der Körper ist ausgelaugt und braucht Erholung. Das Ergebnis ist meist ein gesunder, tiefer Schlaf. Wer gut schläft ist am kommenden Tag körperlich und geistig fitter. Um diesen Effekt zu verstehen, ist es wichtig zu wissen, dass eine physische Adaptation nicht während, sondern nach dem Training erfolgt. Am Beispiel eines Muskels erklärt: Wenn ich den Bizeps trainiere, zerstöre ich die strukturelle Integrität des Muskels. Der Körper realisiert, dass die Anforderung zu hoch war und versucht – im Anschluss an das Training – diese



Strukturen zu verbessern. Der Muskel wächst. Aber erst nach dem Training. Diese Anpassung braucht Energie und deswegen werden wir müde, weil diese Energie anderweitig nicht mehr zur Verfügung steht. Unser Körper ist recht clever, er setzt seine Bautrupps dort ein, wo sie gebraucht werden.

Langfristiger Effekt:

Strukturelle Anpassung – Neuro- und Synaptogenese. Unser Gehirn reagiert ganz ähnlich wie der Bizeps, von dem eben die Rede war. Wenn wir die Entwicklung von Kleinkindern beobachten, erkennen wir das sofort. Sie lernen in Windeseile (na ja, relativ) gehen, stehen und laufen. Beim Lernen, egal ob beim motorischen Lernen oder beim Vokabellernen, kommt es im Gehirn zur Entwicklung von Nervenzellverbindungen, der sogenannten Synaptogenese. Um beim Beispiel der strukturellen Anpassung des Bizeps zu bleiben: Das Gehirn merkt: Der Mensch möchte gerne gehen lernen, das funktioniert nicht, ist aber enorm wichtig, also wird im zentralen Nervensystem umgebaut, bis alles (Muskelansteuerung, Balance, Integration der Sinneswahrnehmung) richtig geschaltet ist. Wer ein Instrument gelernt hat, weiß wie es ist: Am Anfang noch recht grobmotorisch und viele Wochen, Monate, Jahre des Übens führe dazu, dass Bewegungen routiniert und flüssig werden. Die Nervenzellen haben gelernt im richtigen Takt miteinander zu kommunizieren. Und das ist verbunden mit strukturellen Veränderungen, die sich auch in bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomographie (MRT) abbilden lassen. Spezifische Areale vergrößern sich und differenzieren sich in ihrer Funktion. Nun ist aber wichtig zu wissen, dass diese Anpassung ähnlich wie beim Bizeps lokal ist. Wenn ich meinen linken Bizeps trainiere, wächst NICHT meine rechte Wadenmuskulatur. Wenn ich die Motorik nutze und trainiere, hat das erst mal keinen direkten strukturellen Einfluss auf die Bereiche des Gehirns, die für Kognition und Emotion zuständig sind. Eine langfristige und vor allen Dingen wiederholte Freisetzung von Myokinen und neurotrophen Faktoren (Di Liegro, Schiera et al. 2019), kann dann aber auch zur Neubildung von Zellverbindungen in anderen Bereichen führen. Es ist ähnlich wie das Gleichnis vom Unkraut unter dem Weizen in Mt 13: Wenn Sie Dünger auf ein Feld streuen wächst nicht nur der Weizen, sondern auch der Samen der dazwischen liegt. Die durch Bewegung und körperliche Aktivität ins ZNS gespülten neurotrophen Faktoren fördern auch die kognitive Entwicklung.



Sport und Bewegung – auf dem Weg zu einer Transzendenzerfahrung

Transzendenzerfahrungen sind, ähnlich wie spirituelle Erfahrungen kaum zu definieren und zu kategorisieren, weil es jeweils sehr individuelle Erfahrungen sind. Im Bereich des Sports gibt es ein weiteres begriffliches Synonym, die Flow-Erfahrung. Die Flow-Theorie entstammt ursprünglich dem Feld der intrinsischen Motivationsforschung und wurde von Mihaly Csikszentmihalyi erstmals im Hinblick auf Risikosportarten (z.B. Klettern, Motorradfahren), die ein hohes Maß an Konzentration und Kontrolle erfordern beschrieben (Csikszentmihalyi 1990). Das heuristische Konzept des Flow greift dabei die Idee des Fließens auf. Der Begriff „Flow“ leitet sich ab aus metaphorischen Ausdrücken (z.B. „im-Fluss-sein“), welche zur phänomenologischen Beschreibung dieses Zustandes benutzt wurden.

Das ursprüngliche Konzept des Flow-Erlebens setzt eine physisch-handelnde Tätigkeit und eine hohe Expertise in der Handlungsausführung voraus. Der Handelnde ist sich seines Handelns nicht bewusst. Er beherrscht sein Handeln, ohne darüber nachdenken zu müssen. Gleichzeitig fordern die Rahmenbedingungen der Handlung aber eine hohe Aufmerksamkeit, wobei es sich hier nicht um eine rational abwägende und/oder bewertende Form der Aufmerksamkeit handelt, sondern um eine intuitive Aufmerksamkeit, die mehr auf Sinneswahrnehmung denn auf Ratio baut. Ein gutes, einfaches Beispiel ist das Laufen. Die eigentliche Motorik, einen Fuß vor den nächste zu setzen, erfolgt unbewusst automatisiert. Und dennoch erfordert das Laufen einen Fokus auf die sich ändernde Umgebung, Wurzeln, Steine, oder die Balance auf dem Laufband. Csikszentmihalyi beschreibt diese Balance zwischen

Herausforderung und Können als eins der Kernmerkmale der Flow-Erfahrung. Jeder, der schon einmal motorisch gearbeitet hat, ob im Sport, in der Musik oder im Handwerk, kennt dieses Gefühl. Es ist knifflig und herausfordernd, aber ich habe das im Griff. Aber ich muss mich fokussieren. Und auf einmal ist man nicht mehr die handelnde Person, sondern Teil der Handlung. Geht komplett in der Situation auf. Denkt nicht mehr links und rechts, sondern ist derart auf die Aufgabe fokussiert, dass alles für die Tätigkeit Irrelevante ausgeblendet wird. Diese stattfindende Verschmelzung von Körper und Geist ist das zweite Kernmerkmal der Flow-Erfahrung.

Weitere Merkmal sind die Unverfügbarkeit und die Unbewusstheit der Flow Erfahrung. Der Flow lässt sich nicht erzwingen, er passiert einfach – und der Flow wird beim Versuch in den Flow zu kommen genau daran scheitern. Auch wird es die Wahrnehmung des „im-Flow-seins“ nicht geben, da dies bereits wieder eine rationale Bewertung impliziert. Lediglich eine „Ich-war-im-Flow-Erfahrung“ ist möglich. Und zuletzt weist das Flow-Erleben über sich hinaus. Vielmehr als der Handlungserfolg, bleibt das Flow-Erlebnis im Gedächtnis und in der Seele haften.

Kritik an der gegenwärtigen Rezeption des Flow-Begriffs

Eine Definition des Flow-Begriffs in der gegenwärtigen Literatur geht oftmals nicht über eine erlebnisbezogene, phänomenologische Beschreibung hinaus. Damit erscheint der Flow-Begriff weniger als konkretes Konzept als vielmehr als metaphorische Kategorisierung von Erleben zu existieren. Flow charakterisiert einen Zustand, der von vielen Individuen als existent wahrgenommen, dabei jedoch

keineswegs einheitlich, sondern in einer schillernden Vielfalt beschrieben wird. Auch die praktische Theologie rezipiert den Begriff, fokussiert sich dabei größtenteils auf den Ritualgedanken (Josuttis 1993, Bieritz 2003). Nicht falsch, da auch Rituale oftmals von physischen Handlungen begleitet sind, aber dieser Ansatz pervertiert den ursprünglichen Gedanken und vereinnahmt ihn. Und durch diese Vereinnahmung besteht die Gefahr, das Erreichen einer Flow-Erfahrung als Ziel des Handelns zu definieren. Auch im Sport ist zu beobachten, dass der Begriff im Sinne einer Glücksmetaphorik instrumentalisiert wird. Doch genau dieses Verlangen wird diese Erfahrung unmöglich machen. Innerhalb der praktischen Theologie kommt Lienau mit seinen Überlegungen zum Pilgern dem Flow-Gedanken am nächsten (Lienau 2009). Aber auch beim Pilgern wird zu unterscheiden sein zwischen einem schlendernden ‚savoir-vivre‘ und einer eher sportlichen Fokussierung auf die Wegstrecke. Die Gedanken driften lassen oder sich durch achtsame Sinneswahrnehmungen inspirieren lassen ist kein Flow, zumindest nicht mit Blick auf die ursprüngliche Herleitung des Begriffes.

Kompendium

Transzendenz, Spiritualität, Flow ... es gibt viele Begrifflichkeiten, die die Begegnung des Einzelnen mit einer Jenseitigkeit oder dem irrationalen Aufgehen im Moment bezeichnen. Vielleicht ist das zweite, von Csikszentmihalyi definierte Kernmerkmal der Flow-Erfahrung, die Verschmelzung von Körper und Geist, der ausschlaggebende Punkt. Arne Dieterich hat in seinen Arbeiten zu transienten Hypofrontalität darauf verwiesen, dass die Abnahme der Aktivität in präfrontalen Kortexarealen (s.o.) als neurophysiologisches Äquivalent der Flow-Erfahrung interpretiert werden könnte. Nicht mehr strategisches, zielgerichtetes Denken leitet unsere Bewegungen, sondern ein tieferes Verständnis dessen, was zu tun ist. Körper und Geist sind eins. Das „schwammig Nebulöse“ das dem Flow-Konzept anhaftet, wird durch ein solches neurophysiologisches Konzept etwas greifbarer.

Ein Gott, ob JHWH, Allah, der christliche Gott oder welcher auch immer, wird niemals rational erfahrbar sein. Und damit könnte das aktive Ausschalten der Ratio in und durch Bewegung, der Zugang zu einer transzendenten, einer jenseits unserer sinnlichen Wirklichkeit existierenden Realität sein. Auch schamanische Tänze und der christliche Lobpreis sind geprägt durch eine sich wiederholende, rhythmische Bewegung (das Tanzen) und genau diese Rhythmik ist es, die einen Trancezustand (synonym Flow-Erfahrung) auslösen kann (Schneider, Askew et al. 2010).

Der Mensch ist Leib-Seele Einheit. Die frühkirchliche Assimilation mit einem hellenistisch-dualistischen Weltbild in dem Leib und Seele getrennt von-

einander existieren, war mehr von politischen, den religiösen Motiven geprägt. Das Vitalitätsprinzip des AT, ebenso wie die Erwartung der – auch – leiblichen (!) Wiederauferstehung bei Paulus, zeugen von einem biblischen Verständnis des Menschen als Leib-Seele Einheit. In der heutigen Zeit, die geprägt ist von Bewegungsmangel und Bewegungsarmut, zumindest in den westlichen Kulturen, sind Sport und Bewegung Zugänge zu dem, was in Genesis 2 den Zuspruch und den Geist JHWHs erhielt: der Körper.

Ich bin der festen Überzeugung, dass das freudvolle Aufgehen in Bewegung, der bewusste Gebrauch der in der Schöpfung geschenkten Körperlichkeit, ein Zugang zu einem tieferen Selbstverständnis ist. Es ist nicht der einzige Zugang. Gebet, Musik, Gemeinschaft und vieles andere bieten auch Zugänge. Sport und Bewegung sind dabei nicht als besser oder schlechter zu bewerten, sondern als neue, dem Zeitgeist entsprechende Zugänge zur Seele anzusehen. Der Mensch ist Leib-Seele Einheit und eine Homöostase, also ein Gleichgewicht der physiologischen Körperfunktionen ist wichtig. Benedikt von Nursia hat das im Tenor der Regula Benedicti formuliert: *Ora et Labora* - Bete und Arbeite. In einer Zeit, in der wir uns definitiv zu wenig bewegen, in der körperliche und seelische Bewegungsmangelkrankungen auf dem Vormarsch sind, können Sport, Bewegung, körperliche Aktivität einen neuen Zugang zu uns selbst öffnen.

Literatur bei dem Autor



Prof. Dr. Dr. Stefan Schneider, geboren 1972 in Kreuztal, studierte Sportwissenschaften und Theologie. 1998 Abschluss als Diplomsportlehrer, 2002 Promotion am Institut für Physiologie und Anatomie. 2004 Abschluss als Dipl.-Theologe, 2013 Promotion in Theologie. Seit 2004 am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft.

» schneider@dshs-koeln.de

Anforderungen an Wanderleitsysteme in alpinen Destinationen

Eine Analyse der Wandernden am Fallbeispiel des Stubaitals in Tirol





Das Wandern erfreut sich bei einer breiten Zielgruppe nicht zuletzt aufgrund der Covid-19 Pandemie großer Beliebtheit. Es wurden vor allem neue Nutzungsgruppen beobachtet, die aufgrund der Reise- und Alltagsbeschränkungen das Wandern für sich neu oder wiederentdeckt haben (Fillisch et al., 2020; Lammertz, 2021). Nach der Aufhebung der Ausgangsbeschränkungen gab es im Sommer einen „regelrechten Ansturm auf die Berge“ (Janotte, 2020). Die Alpinunfallstatistik berichtete 2019 einen signifikanten Anstieg der Notrufe von Unverletzten (Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit, 2020). Diese sog. Blockierungen machen mittlerweile ein Drittel aller Notrufe aus (ebd.). Dabei handelt es sich um Personen, die mit den Tourenverhältnissen überfordert sind, sich überschätzt haben und weder vor noch zurück können (ebd., 2020a). Ziel der Studie ist es, bedarfsgerechte Anforderungen für Wanderleitsysteme in alpinen Destinationen zu formulieren. Dafür wurden folgende forschungsleitende Fragestellungen aufgestellt:

- » *Wie charakterisiert sich das Profil der Bergwandernden bezogen auf die soziodemographischen Variablen, Motivation, Wandererfahrung, Selbsteinschätzung der Wanderfähigkeiten und Tourenplanung?*
- » *Wie gestaltet sich das raumzeitliche Verhalten bezogen auf die Bewegungs- und Streckenparameter der Wanderungen?*
- » *Wo gibt es Diskrepanzen zwischen Selbsteinschätzung, Tourenplanung und den Anforderungen der durchgeführten Wanderungen?*

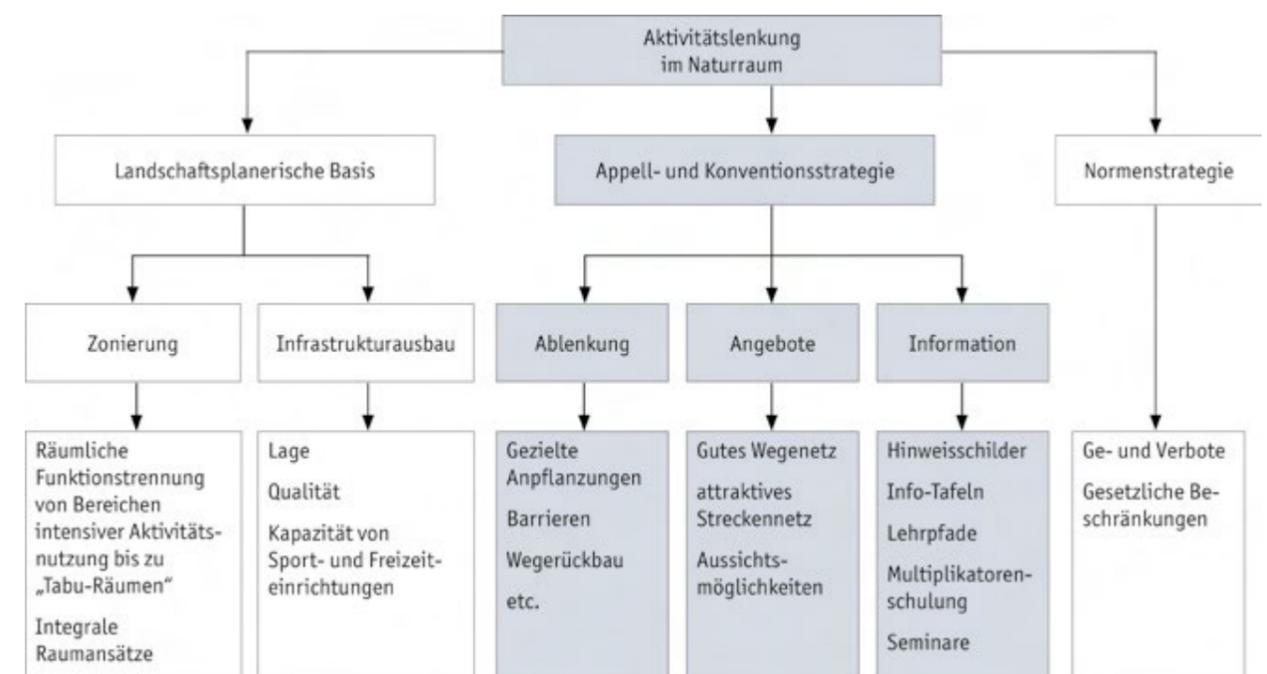
Wegweisung – Die Lenkung von Aktivitäten

Unter Besucher*innenlenkung versteht man „Massnahmen [sic] zur Beeinflussung von [Besucherinnen und] Besuchern hinsichtlich ihrer räumlichen, zeitlichen und quantitativen Verteilung sowie ihrer Verhaltensweisen mit dem Ziel, negative Auswirkungen auf die Schutzobjekte zu minimieren oder zu beseitigen“ (Arnberger, 2013). Übergeordnetes Ziel ist es, einerseits den Schutz der Natur zu gewährleisten, andererseits Erholung und sportliche Aktivitäten in weiten Teilen zu ermöglichen (Riekens, 1996). Arnberger (2013) differenziert weiter ökologische Ziele; ökonomische Ziele; denkmalpflegerische Ziele; soziale, psychologische und kulturelle Ziele sowie sicherheitstechnische Ziele wie z. B. das Vermeiden von Unfällen. Aus sportwissenschaftlicher Perspektive wird der begriffliche Fokus auf die Aktivität und Raumnutzung gelenkt. So verwenden Schemel und Erbguth (2000) den Ausdruck „Steuerung von Aktivitäten des Sports in der Landschaft“. Roth et al. (2004) etablieren den Terminus „Aktivitätslenkung im Naturraum“. In der Literatur finden sich je nach Zielsetzung diverse Strategien und Maßnahmen der Besucher*innenlenkung (Arnberger, 2013; Job, 1991; Riekens, 1996; Scharpf, 1998). Roth et al. (2004) greifen diese Ansätze auf und adaptieren diese für die Aktivitätslenkung im Naturraum (siehe Abb. 1).

Landschaftsplanerische Vorleistungen bilden das Basisangebot für die Aktivitäten und sind Grundlage für deren räumliche Lenkung. Kern und zentrales Element der Aktivitätslenkung stellt die Apell- und Konventionsstrategie dar (ebd.). Ansatz ist eine



Abb. 1 Maßnahmen zur Aktivitätslenkung im Naturraum (Quelle: Verändert nach Roth et al., 2004; Basis Scharpf, 1998).



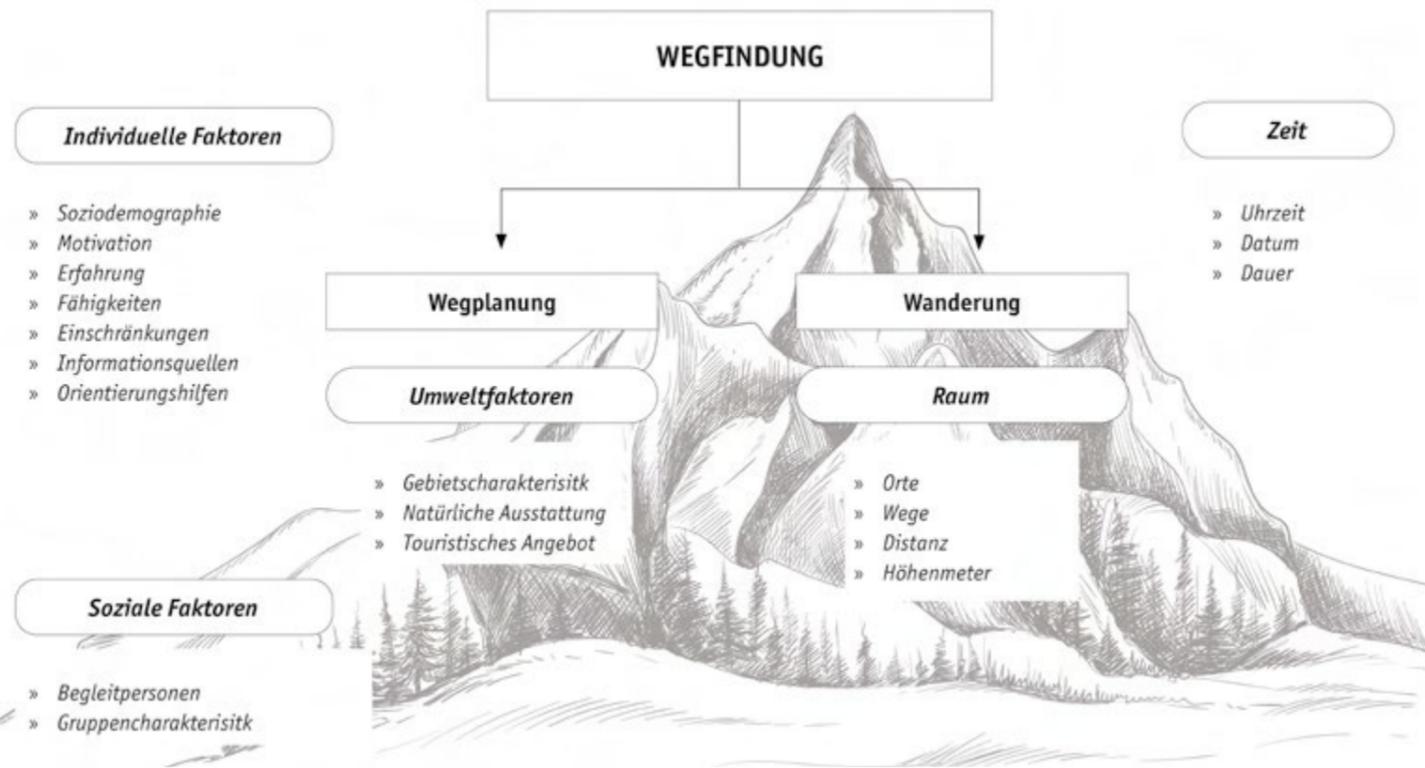


Abb. 2 Konzeptionelles Modell der Einflussfaktoren beim Wandern (Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Allen, 1999; Beeco & Hallo, 2014; Hägerstrand, 1970; Lucas, 1981; McFarlane et al., 1998; Neutens et al., 2008; Passini, 1984; Schamel, 2017; Sturzenegger & Manser, 2006; Walker & Virden, 2005; Wiener et al., 2009; Xia, 2007).



freiwillige Verhaltensänderung. Die Lenkung erfolgt hier über Angebote, Ablenkungen sowie über die Kommunikation von Informationen. Kommunikative Maßnahmen haben innerhalb der Apell- und Konventionsstrategie wiederum eine zentrale Stellung (ebd.). Bei der Normenstrategie kommen „Zwangmaßnahmen“ wie Verbote zum Einsatz. Die Instrumente der Apell- und Konventionsstrategie werden in der Literatur auch als „sanfte“ (indirekte) Maßnahmen und die der Normenstrategie als „harte“ (direkte) Maßnahmen unterschieden (Amberger, 2013; Becker et al., 1996; Job, 1991; Lucas, 1982; Manning, 1986; Peterson & Lime, 1979; Riekens, 1996; Scharpf, 1998). Sanfte Maßnahmen sollten das Mittel der Wahl sein, weil diese vorsorglich auf Freiwilligkeit und langfristige Verhaltensänderungen zielen.

Wegfindung – Phasen und Einflussfaktoren

Nach dem Umweltpsychologen Passini ist Wegfindung eine menschliche Fähigkeit der räumlichen Problemlösung, welche sowohl kognitiv als auch verhaltensbezogen ist. Bei der kognitiven Dimension geht es darum unterschiedliche Entscheidungen zu treffen und räumliche Informationen zu verarbeiten. Diese Entscheidungen resultieren in einer Wegplanung. Diese gilt es dann in räumliche Handlungen umzusetzen. Auf beide Dimensionen der Wegfindung wirken laut Studienlage unterschiedliche Einflussfaktoren. Nach Sturzenegger (2006) gilt es bei der Wegplanung die Faktoren Verhältnisse, Gelände und Mensch zu berücksichtigen. Diese Faktoren findet man ebenfalls ähnlich in anderen theoretischen Überlegungen wieder (Beeco & Hallo, 2014; Lucas, 1981; McFarlane et al., 1998; Walker & Virden, 2005;

Wiener et al., 2009; Xia, 2007). Schamel (2017) entwickelte ein Modell zur Erklärung altersbedingter Unterschiede raumzeitlicher Bewegungsmuster bei landschaftsbezogenen Erholungsaktivitäten. Er berücksichtigt vorhandene Konzepte aus der Literatur (u. a. Beeco & Hallo, 2014; Hägerstrand, 1970; Leiper, 1990; Lucas, 1981; McFarlane et al., 1998; Walker & Virden, 2005) und erweitert diese durch Annahmen über Wirkungszusammenhänge zwischen den Faktoren (Schamel, 2017, S. 58). Im Wesentlichen basiert sein Modell auf zwei Konzepten: Der „Time-Geography“ (Hägerstrand, 1970) und dem „Constraints-Modell“ (Walker & Virden, 2005). Diese dienen der Erklärung von Einflussfaktoren über die Teilnahme bzw. Nicht-Teilnahme an landschaftsbezogenen Aktivitäten (Schamel, 2017). Nach Schamels Modell sind es Makrofaktoren, individuelle und strukturelle Faktoren, welche zur Herausbildung von Wegpräferenzen beitragen. Die Gebietscharakteristik bestimmt weiter die Toureoptionen. Wegpräferenzen und Toureoptionen resultieren schließlich im raumzeitlichen Verhalten (ebd.).

Die gewonnen theoretischen Kenntnisse über die Wegfindung wurden für die empirische Untersuchung weiterführend in einem konzeptionellen Analyserahmen zusammengefasst (siehe Abb. 2). Die auf die Wegplanung wirkenden Einflussfaktoren wurden in die Kategorien Individuelle Faktoren, Soziale Faktoren und Umweltfaktoren eingeordnet. Diese Faktoren determinieren die Wegepräferenzen und Toureoptionen, stellen also die Kriterien der Wegwahl dar und werden zur Wegplanung herangezogen. Das raumzeitliche Verhalten ist nach Passini (1984) eine verhaltensbezogene Fähigkeit. Auf der Wanderung wird die Tourenplanung umgesetzt. Das raumzeitli-

che Verhalten lässt sich gemäß der Time-Geography (Hägerstrand, 1970; Neutens et al., 2011) durch räumliche und zeitliche Variablen wie z. B. Höhenmeter, Distanz, Dauer und Geschwindigkeit charakterisieren. Auf der Wanderung muss die Wegplanung fortlaufend mit den aktuellen Bedingungen und räumlichen Informationen abgeglichen und ggf. angepasst werden.

Material und Methoden

Für die empirische Untersuchung wurde eine Methodenkombination aus einem GPS-Logging und einer standardisierten Befragung (Pre/Post) gewählt. Die Erhebung fand vom 16.-22.07.2020 und vom 06.-19.08.2020 im Untersuchungsgebiet des Stubaitals in Tirol an zwei ausgewählten Standorten statt (Standort 1: Talstation Elferbahnen, Standort 2: Parkplatz Oberissalm). Gemäß dem Tiroler „Wander- und Bergwegekonzept“ ist das dortige Wegenetz in vier Schwierigkeiten eingeteilt: Gelber Wanderweg (leicht), Roter Bergweg (mittelschwer), Schwarzer Bergweg (schwer) und Alpine Route (sehr schwer). Die Pre-Befragung und die Ausgabe der GPS-Logger sowie eines Post-Fragebogens fanden persönlich zu Beginn der Wanderung statt. Die Ansprache erfolgte willkürlich. Ausgeschlossen aus der Stichprobe wurden Einheimische und Personen, die nicht zu Fuß unterwegs waren. Die Stichprobengröße umfasst 366 durchgeführte Befragungen (n = 366). Es wurden sowohl Einzelpersonen als auch Gruppen befragt, sodass insgesamt von 1076 Wandernden die soziodemographischen Merkmale erfasst wurden (n = 1076). Insgesamt wurden 363 auswertbare GPS-Tracks der Wanderungen erhoben (n = 363). Bei der Fragebogenkonstruktion wurde überwiegend auf geeignete

Items aus vorangegangenen Studien zurückgegriffen (Schamel, 2017; Bach et al., 2007; Driver, 1983; Hammitt et al., 2004; Rupf, 2015). Inhaltlich wurde sich an dem Modell des konzeptionellen Analyserahmens orientiert. Ergänzt wurden die Erhebungsdaten zudem durch eine Geodatenbank mit Informationen zu geographischen Merkmalen des Stubaitals. Die Datenaufbereitung und -analyse der Geodaten wurden mit ArcMap, dem GPS-Hilfsprogramm GPS-Track-Analyser und Microsoft Excel durchgeführt. Die statistischen Analysen wurden mit SPSS vollzogen.

Charakterisierung der Bergwandernden

Das durchschnittliche Alter liegt bei 41 Jahren (n = 916), wobei die älteste Person 82 Jahre alt ist. Mit einem Anteil von 15% (n = 160) sind zusätzlich Kinder unter 15 Jahren in der Stichprobe vertreten. Die meisten Personen sind zwischen 20 und 59 Jahre alt (68%), wobei die 50- bis 59-Jährigen mit 19% gesamt gesehen am häufigsten vorkommen. Das Geschlechterverhältnis ist mit einem Anteil von 48% Frauen und 52% Männern annähernd ausgeglichen. Die durchschnittliche Gruppengröße besteht aus 2,9 Personen. Insgesamt gibt es nur 22 Einzelwandernde (6%). 22% der Gruppen sind mit Kindern unterwegs. 60% der Gruppen weisen eine Altersspanne von max. 20 Jahren auf. Die Mehrheit der Gruppen ist außerdem gemischten Geschlechts (85%). Das Wandern ist demnach unabhängig von Alter und Geschlecht sowie überwiegend eine soziale Aktivität, die wir mit der Partnerin bzw. dem Partner, mit befreundeten Personen oder der Familie ausüben.

Der wichtigste Grund zum Wandern im Stubaital ist das Natur erleben (M = 4.9, SD = 0.4, n = 366) gefolgt von dem Motiv der Geselligkeit (M = 4.4, SD



Abb. 3 Frequentierung der Wanderwege und POIs am Erhebungsstandort Elfer (Quelle: Eigene Darstellung).

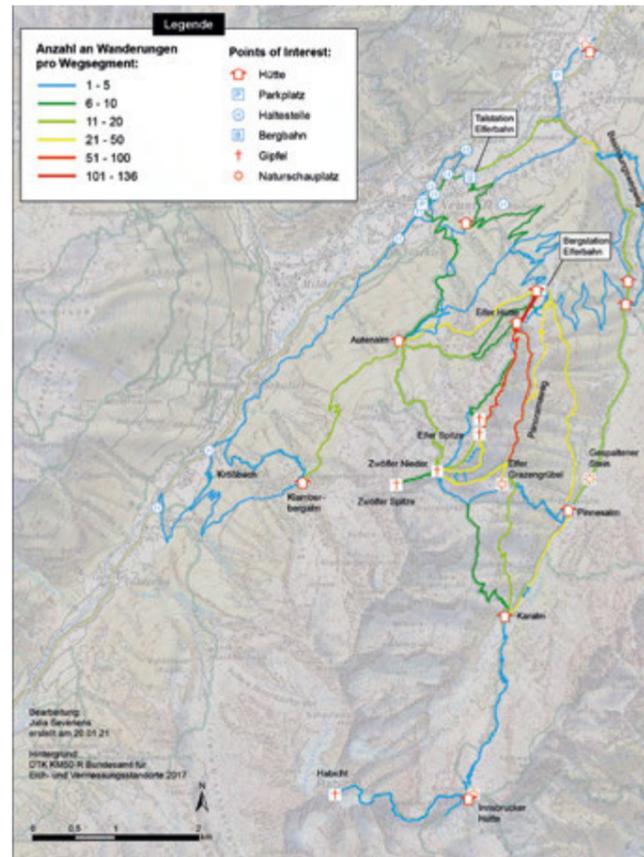
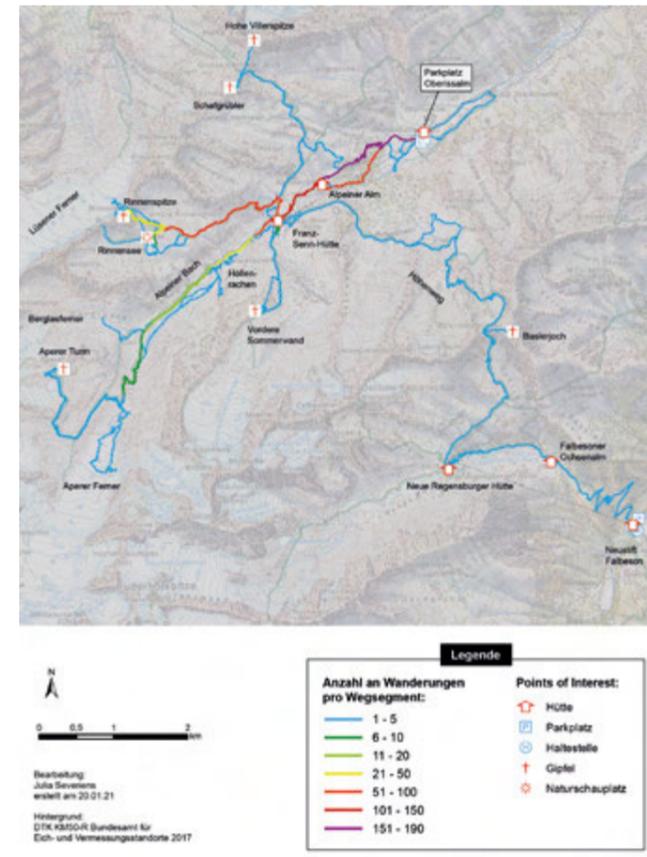


Abb. 4 Frequentierung der Wanderwege und POIs am Erhebungsstandort Oberissalm (Quelle: Eigene Darstellung).



= 1.0). Dementsprechend liegt das Motiv des Alleinseins auf dem letzten Rang ($M = 2.0$, $SD = 1.0$). Der Faktor Erholung und Alltagsflucht ($M = 4.2$, $SD = 0.9$) liegt vor dem Motivbündel Fitness und Sport ($M = 3.6$, $SD = 0.9$).

Gemäß der Anzahl der Jahre und Wanderungen in den Alpen sowie im Stubaital können rund ein Drittel der Stichprobe als Anfänger*innen (32%) klassifiziert werden. Diese verfügen über nur wenig Bergwandererfahrung und haben keinerlei Gebietskenntnis. Außerdem ist die Mehrheit (75%) der Befragten nicht Mitglied in einem Wanderverein. Kondition, Trittsicherheit und Schwindelfreiheit sind grundlegende Fähigkeiten zum Wandern. Bezüglich der Kondition schätzen sich die Befragten durchschnittlich ($M = 3.3$, $SD = 0.8$, $n = 710$) und hinsichtlich Trittsicherheit ($M = 4.0$, $SD = 0.7$) sowie Schwindelfreiheit ($M = 4.0$, $SD = 1.0$) als gut ein. Weitere spezifisch für das Bergwandern wichtige Anforderungen sind Sicherungstechniken, Klettererfahrung, Ausrüstung und Orientierungssinn. Hinsichtlich Sicherungstechniken ($M = 2.7$, $SD = 1.4$) und Klettererfahrung ($M = 2.4$, $SD = 1.4$) bewerten sich die Befragten unterdurchschnittlich. Bezüglich Ausrüstung zum Bergwandern ($M = 3.9$, $SD = 0.9$) und Orientierungs-

sinn ($M = 3.8$, $SD = 1.0$) schätzen sich die Befragten tendenziell als gut ein. Rund 15% der Befragten geben zudem an, unter körperlichen Beschwerden zu leiden, die sie beim Wandern einschränken. Mit Abstand am häufigsten genannt wurden Probleme mit dem Knie.

Die überwiegende Mehrheit hat eine Tourenplanung durchgeführt (88%). Von den 12%, die keine Vorplanung haben, sind knapp die Hälfte (46%) Anfänger*innen. Weiter weiß etwas mehr als ein Drittel (34%) nicht, wie viele Höhenmeter die geplante Wanderung aufweist. Insbesondere diese Einschätzung scheint vielen schwer zu fallen. Informationsquellen für die Tourenplanung sind am häufigsten fast zu gleichen Teilen Printmedien (32%) und digitale Medien (31%). Persönliche Informationsquellen wie Empfehlungen von Bekannten oder die Beratung in der Touristeninformation spielen mit 17% keine unwesentliche Rolle. Von denjenigen, die digitale Medien nutzen, haben 46% sich auf der Website des Stubaitals direkt informiert. Auf der Wanderung ist die Wegbeschilderung das meist genutzte Orientierungsmittel (58%). 10% nutzt eine topografische Wanderkarte. 13% verwendet das Smartphone zur Navigation. Insgesamt 15% finden ihren Weg



Im Jahr 2021 gingen in der deutschsprachigen Bevölkerung ab 14 Jahre rund 40 Millionen Personen in ihrer Freizeit häufig oder ab und zu Wandern. 17 Millionen Deutsche favorisieren Wanderurlaub als Urlaub (Quelle: statista).



per GPS-Technologie. Das Smartphone wird (6%) häufiger verwendet als ein reines GPS-Gerät (1%). Die Smartwatch mit GPS-Navigation als relativ neue Technologie ist mit 1% vertreten.

Charakterisierung der Wanderungen

Die genutzten Wege am Erhebungsstandort 1 umfassen ein Routennetzwerk von 94 km Länge. Die Summe der Wanderungen ($n = 174$) beträgt insgesamt 1719 km. Zu annähernd gleichen Teilen wurden überwiegend leichte Gelbe Wanderwege (47%) und mittelschwere Rote Bergwege (43%) bewandert. Schwere Schwarze Bergwege werden von einem kleinen Anteil (4%) genutzt. Sehr schwere Alpine Routen bzw. Klettersteige sind mit 1% vertreten. Nicht kategorisierte Wege sind mit 5% vorhanden. Hinsichtlich der Frequentierung der Wege (siehe Abb. 3) lässt sich eine starke Konzentration der Wanderrouten um die Bergstation, Hütten, Gipfel, inszenierten Naturschauplätze sowie Themenwege feststellen. Der überwiegende Anteil nutzt die Talbahn, um zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Auch erfolgt häufiger der Abstieg über das Seitental, wo der Weg zurück zur Talstation meist zu Fuß absolviert wird.

Das Routennetzwerk am Erhebungsstandort 2 hat eine Gesamtlänge von über 65 km. Die Wanderungen ($n = 189$) umfassen insgesamt 2080 km. Größtenteils werden mittelschwere Rote Bergwege (47%) bewandert. Nicht kategorisierte Wege sind mit 29% vertreten. An mehreren Stellen wird von der offiziellen Wegführung abgewichen. Zu etwa einem Zehntel werden sehr schwere Alpine Routen bzw. Klettersteige aufgesucht (10%). Leichte Gelbe Wanderwege machen einen geringen Anteil von rund 8% aus. Schwere Schwarze Wanderwege bilden mit circa 6% die Minderheit. Hinsichtlich der Wegfrequentierung (siehe Abb. 4) lässt sich eine klare Konzentration auf der Aufstiegsroute erkennen. Von der Franz-Senn-Hütte (2147 m) folgen viele dem Weg zum Rinnensee (2646 m) und einige weiter zur Rinnenspitze (3003 m). Ebenfalls führen die Wanderrouten häufig entlang des Alpeiner Bachs, der durch eine Art Hochtal fließt. Der dort befindliche Klettersteig Höllenrachen zieht viele Schaulustige an, wird aber nur von einigen wenigen beklettert. Einige wenige Routen

führen in die Gletschergebiete. Der Abstieg erfolgt in der Regel zurück über die Franz-Senn-Hütte.

Die durchschnittliche Wanderdistanz der Gruppen beträgt 10,5 km ($SD = 4.3$ km, $n = 363$). Im Durchschnitt werden im Aufstieg 647 hm überwunden ($SD = 355$ hm). 84% der Wanderungen sind in der relativen Höhendifferenz ausgeglichen. Für die Mehrheit ist der Startpunkt also gleich dem Endpunkt der Wanderung. Im Mittel dauert die Wanderung knapp 5 h ($SD = 1:44$ h, $n = 363$). Rund 70% der Wanderungen dauern zwischen 3-6 h. Es ist also anzunehmen, dass der Großteil der Wanderungen nicht tagesfüllend ist. Die durchschnittliche Pausenzeit liegt bei rund einer Stunde ($SD = 0:42$ h). Im Schnitt werden 2 Pausen während der Wanderung eingelegt ($SD = 1.4$). Dementsprechend liegt der Mittelwert der reinen Gehzeit bei knapp 4 h ($SD = 1:33$ h). 14% der Pausen sind von kürzerer Art (5-15 min). Weiter lag die mittlere Gehgeschwindigkeit bei 2,7 km/h ($SD = 0.7$ km/h).

Anhand der raumzeitlichen Nutzung und der Bewegungsparameter lassen sich Wanderpräferenzen ablesen, die folglich die Grundlage für bedürfnisorientierte Wanderangebote und damit die Ausweisung von Wanderrouten darstellen können. Dabei steht die raumzeitliche Nutzung in einem wechselseitigen Verhältnis mit der jeweiligen Gebietscharakteristik (Schamel, 2017). Das ursprüngliche und abgeleitete touristische Angebot (vgl. Kaspar, 1996) bestimmt wiederum die möglichen Orte und Wege, die innerhalb eines verfügbaren Zeitbudgets theoretisch erreicht werden können (Neutens et al., 2011). Veranschaulicht wird dies in der räumlichen Nutzung an den beiden Erhebungsstandorten. Die Wanderungen orientieren sich an dem vorhandenen

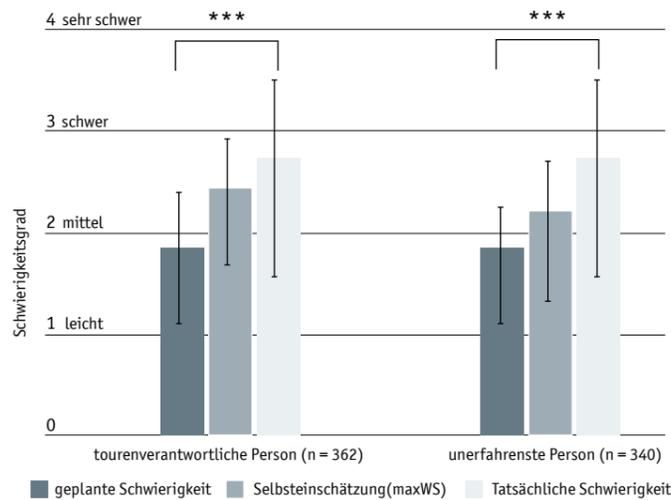


Abb. 5 Mittelwerte der geplanten Schwierigkeit, der theoretisch maximal begehbaren Wegschwierigkeit (maxWS) gemäß der Selbsteinschätzung der tourenverantwortlichen Personen (n = 362) und der unerfahrensten Personen (n = 340) und der tatsächlich maximal begangenen Schwierigkeit. Schwierigkeitsgrade 1 = leicht (Gelber Wanderweg), 2 = mittel (Roter Bergweg), 3 = schwer (Schwarzer Bergweg), 4 = sehr schwer (Alpine Route). t-Test. ***p < .001. Fehlerbalken repräsentieren die Standardabweichung.

Wegenetz, der touristischen Infrastruktur und den Naturattraktionen. Dies bekräftigt die Aussage von Roth et al. (2004), dass Infrastruktureinrichtungen eine stark lenkende Funktion haben. Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass man aufgrund der Standortabhängigkeit nicht pauschal für jede alpine Destination Angaben zur genauen Ausgestaltung des Wanderangebotes machen kann, sondern die Nachfrage in Abhängigkeit der jeweiligen Gebietscharakteristik individuell bestimmt werden muss.

Vergleich Tourenplanung und durchgeführte Wanderung

Bei dem Vergleich der geplanten und der tatsächlichen Schwierigkeit zeigt sich ein höchst signifikanter Unterschied, $t(351) = 17.42$, $p < .001$, $d = 0.92$, $n = 352$ (siehe Abb. 5). Die Effektstärke nach Cohen (1988) entspricht einem starken Effekt. Ähnlich verhält es sich bezüglich der theoretisch maximal begehbaren Wegeschwierigkeit (maxWS), die auf Basis der Selbsteinschätzung der Wanderfähigkeiten ermittelt wurde. Die tatsächlich maximal begangene Wegeschwierigkeit auf der Wanderung liegt höchst signifikant über der Selbsteinschätzung der Wanderfähigkeiten sowohl der tourenverantwortlichen Person, $t(361) = 6.49$, p

$< .001$, $d = 0.34$, $n = 363$, als auch der unerfahrensten Begleitperson, $t(339) = 9.83$, $p < .001$, $d = 0.53$, $n = 340$. Die Wanderfähigkeiten werden also – insbesondere die der unerfahrensten Begleitperson – nicht entsprechend der Anforderungen der Wegeschwierigkeit eingeschätzt, die Tour dementsprechend unterschätzt, was dazu führen kann, dass die Wandernden auf zu anspruchsvollen Wegen unterwegs sind.

50% (n = 165) der Wanderungen verliefen außerdem laut Feedback der Proband*innen nicht erwartungsgemäß. Frei genannte Gründe für einen Abbruch der Tour sind körperliche Beschwerden wie Knie- oder Kreislaufprobleme; Wetterbedingungen wie Hitze, aufkommendes Gewitter oder Regen; wahrgenommene Einschränkungen aufgrund der Kinder oder mitgeführter Hunde. 27% haben darüber hinaus Probleme den Weg zu finden. Für 44% ist die Schwierigkeit der Wanderung nicht angemessen. Bei diesen problematischen Touren handelt es sich zwar nicht um Notrufe, aber man erkennt das Risikopotential, dass aus den identifizierten Gründen dieser betroffenen Wanderungen solche kritischen Einzelfälle werden können.

Literatur bei der Autorin



Dr. Julia Severiens

hat zunächst im Bachelor „Integrated Design“ an der Köln International School of Design studiert, bevor sie an der Deutschen Sporthochschule den Master „Sporttourismus und Destinationsmanagement“ absolviert hat. Anschließend hat sie am Institut für Outdoor Sport und Umweltforschung über Wanderleitsysteme promoviert. Dort arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin und Lehrkraft für besondere Aufgaben. Als Sportwissenschaftlerin und disziplinübergreifende Designerin verknüpft sie in ihrer Forschung die Themenbereiche Natursport mit Kommunikationsdesign.

» j.severiens@dshs-koeln.de



Managementimplikationen für die bedarfsgerechte Gestaltung von Wanderleitsystemen

Ausrichtung von Kommunikationsmaßnahmen an Wandereinsteigende

Ein Drittel der erhobenen Stichprobe sind Anfänger*innen, die oftmals nicht über einen Wanderverein organisiert sind. Dieser hohe Anteil spiegelt die gestiegene Beliebtheit des Wanderns in der Gesellschaft wider. Die fehlende Erfahrung drückt sich ebenfalls in einer unzureichenden Tourenplanung und Fehleinschätzung der Wanderfähigkeiten aus. Dementsprechend sollten insbesondere Wandereinsteigende diesbezüglich angesprochen werden.

Hilfestellung zur Selbsteinschätzung der Wanderfähigkeiten

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Wanderfähigkeiten in Relation zur Schwierigkeit der durchgeführten Wanderung signifikant fehlgeschätzt. Verhaltens- und erfahrungsbezogene Fragen zu den geforderten Fähigkeiten z. B. könnten zu einer realistischeren Selbsteinschätzung führen.

Unterstützung in der Tourenplanung

Neben einer realistischen Selbsteinschätzung kann eine sorgfältige Tourenplanung zur Unfallprävention beitragen. Insbesondere Wandereinsteigende benötigen diesbezüglich Unterstützung.

Individualisierte Tourenvorschläge auf der destinationseigenen Website

Das Internet ist u. a. die wichtigste Informationsquelle zur Tourenplanung. Besonders die Website der Region wird gemäß der Untersuchung dafür überwiegend konsultiert. Häufig verfügen Destinations-Websites bereits über eine Wandertourensuche mit Filterfunktionen. Denkbar wäre eine Integration von verhaltens- und erfahrungsbezogenen Fragen zu den Wanderfähigkeiten aller

Personen der Wandergruppe, um individualisierte Tourenvorschläge geben zu können.

Personenbezogener Netzwerkdatsatz zur Planung von Wanderangeboten

Als Grundlage für zukünftige Planungen von zielgruppenorientierten Wanderangeboten könnte ein personenbezogener Netzwerkdatsatz dienen, wie er in der vorliegenden Arbeit erhoben wurde. Die Verknüpfung von raumzeitlichen Routendaten mit personenbezogenen Daten erlaubt zielgruppenspezifische Analysen. So können z. B. diejenigen Routen identifiziert werden, die insbesondere für Wandereinsteigende passend bzw. weniger geeignet sind.

Touristeninformation als Kompetenzzentren zur Tourenplanung

Nach wie vor spielen bei der Tourenplanung persönliche Informationsquellen eine bedeutende Rolle. Örtliche Touristeninformationen könnten verstärkt als Kompetenzzentren zur Tourenplanung und als Schnittstelle zu örtlichen Bergführer*innen fungieren. Touristeninformationen haben somit eine Beratungs-, Bildungs- und Vermittlungsfunktion.

Qualitätssicherung und Instandhaltung der Wegbeschilderung

Rund 12% der Stichprobe brechen ohne jegliche Tourenplanung zur Wanderung auf. Dementsprechend sollten Informations- und Orientierungstafeln an Ausgangsorten und Hauptkreuzungen anfangersfreundlich optimiert werden. Als präferiertes Orientierungsmittel sollte zudem eine hohe Qualität der Wegbeschilderung angestrebt werden.



Prädiktive Modelle im Sport: Wissen was passiert, bevor es passiert.

In unserer Gesellschaft ist es völlig normal den Blick auf die Zukunft zu richten und dafür gibt es zahlreiche verschiedene Gründe: Existenzielle Gründe, denn wir möchten regionale Naturkatastrophen und globale Bedrohungen wie die Klimakrise vorhersehen, um sicher leben und überleben zu können. Alltägliche Gründe, denn wir schauen in die Wettervorhersage, um jeden Tag die richtige Kleidung dabeizuhaben. Und selbstverständlich auch wirtschaftliche Gründe, denn nichts würde uns wohlhabender machen, als wenn wir Aktienkurse, Zinsraten, oder Trends im Konsumentenverhalten immer präzise vorhersagen könnten.



Geht der Ball ins Tor oder daneben? Gewinnt der Favorit oder der Underdog? Der Sportbereich bietet ein perfektes Datenumfeld um Vorhersagemodelle weiterzuentwickeln.

Nicht zuletzt ist auch Pandemiezeit Prognosezeit. Wie schnell werden die Infektionszahlen steigen? Wie stark wird sich eine Maßnahme auswirken? Welche Virusvariante wird sich durchsetzen? Die globale Pandemie hat quasi ein gesellschaftliches Brennglas auf die Relevanz des Themas Prognosen gelegt. Wie viel einfacher wären politische Entscheidungen zu treffen gewesen, wenn zumindest Einigkeit über deren Auswirkung in der Zukunft bestanden hätte.

Aber nicht nur das, die Pandemie hat uns gesellschaftlich auch gelehrt wie fragil prädiktive Modelle sind und wie leicht wir mit unseren Einschätzungen daneben liegen können. Quantitative Prognosemodelle müssen Entwicklungen in der Zukunft vorhersehen und können dabei nur auf Daten aus der Vergangenheit zurückgreifen. Eine fast unmögliche Aufgabe, weswegen in der Versicherungswirtschaft manchmal davon gesprochen wird ein Auto zu lenken und dabei nur in den Rückspiegel schauen zu können.

Genau diese Mischung aus Relevanz und Komplexität, so lässt sich argumentieren, treibt das wissenschaftliche Interesse am Thema Prognosemodelle in verschiedensten Disziplinen. Nur einige der bekanntesten Beispiele sind Wetter (Taylor & Buizza, 2004), Klima (Green et al., 2009), demographische Entwicklungen (Booth, 2006), Wahlausgänge (Wolfers & Leigh, 2002), politische Konflikte (Brandt et al., 2014), Kriminalität (Gorr et al., 2003) oder Energiebedarf und -bereitstellung (Hong et al., 2016). Hinzu

kommen zahllose ökonomische Prognosefelder wie Aktienkurse, Zinsniveaus, Wirtschaftswachstum oder Arbeitslosigkeit (Timmermann, 2000). Kein Wunder also auch, dass sogar einige hochrangige Journals wie das International Journal of Forecasting oder das Journal of Forecasting sich ganz dem interdisziplinären Thema Prognosen verschrieben haben.

Die Relevanz von Prognosen im Sport

Auch im Sportbereich sind prädiktive, also auf die Zukunft gerichtete, Fragestellungen allgegenwärtig. Prognosen im Sport sind daher ein vielbeachtetes Anwendungsfeld, dessen Relevanz unter anderem durch drei wichtige Aspekte begünstigt wird.

Erstens lebt mit der Sportwettenbranche ein ganzes Milliardenbusiness von der Fähigkeit gute Prognosen zu treffen und gleichzeitig von der Überschätzung zahlreicher Kunden, die hartnäckig und unbeirrt glauben die Ergebnisse besser vorhersehen zu können. Kein Wunder also, dass auf Seiten der Buchmacher, aber auch der kleinen Gruppe von professionellen Wettspielern ein Interesse an guten mathematischen Modellen besteht (McHale & Morton, 2011; Koopman & Lit, 2019; Manner, 2016).

Zweitens helfen prädiktive Modelle und der damit verbundene streng statistische Blick die Prozesse in Sportspielen besser zu verstehen. Dabei kann es zum Beispiel darum gehen inwieweit Tore im Fußball vom bisherigen Spielverlauf abhängen (Heuer & Rubner, 2012), welche Spielaktionen im Basketball häufig

aufeinander folgen (Štrumbelj und Vračar, 2012), oder welche Schläge im Tennis die Wahrscheinlichkeit auf einen Punkterfolg steigern (Wei et al., 2013).

Drittens bietet der Sportbereich mit seinem großen Zuschauer- und Medieninteresse ein perfektes Datenumfeld, um prädiktive Methoden weiterzuentwickeln. Während in anderen Bereichen vermehrt Firmengeheimnisse oder Datenschutz eine Rolle spielen, schauen einer Fußballmannschaft bei einem Spiel Millionen von Zuschauern zu, die Ergebnisse und Statistiken werden medial aufbereitet und viele Daten sind damit frei und in einer großen Menge zugänglich.

In meiner Dissertation mit dem Originaltitel „Sports forecasting – Current applications in sports science and moving towards Big Data“ habe ich unter der Betreuung von Prof. Dr. Daniel Memmert daher die Möglichkeit genutzt, prädiktive Modelle im Sport aus drei verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten und dabei Aspekte der Sportwissenschaft, Ökonomie und Informatik beleuchtet.

Sportwissenschaft – Was kann der Sport aus Wettquoten lernen?

Eines der zentralsten und robustesten Ergebnisse in der Literatur zu prädiktiven Modellen im Sport ist, dass die von Buchmachern im Markt angebotenen Wettquoten ein hervorragender Prädiktor für Sportereignisse sind (Kovalchik, 2016; Hvattum & Arntzen, 2010; Štrumbelj & Vračar, 2012). Sowohl die Ergebnisse von quantitativen Modellen, als auch von Menschen individuell oder kooperativ getroffenen Prognosen sind der in den Wettquoten aggregierten Meinung des Marktes regelmäßig unterlegen, oder erreichen im besten Fall eine vergleichbare Prognose

qualität (Spann & Skiera, 2009; Kovalchik, 2016; Baker & McHale, 2013).

Erstaunlicherweise scheint diese Macht von Wettquoten in der medialen Berichterstattung, der gesellschaftlichen Diskussion oder der Sportpraxis bisher nicht angekommen zu sein. Selbst in der Sportwissenschaft werden die in Wettquoten reflektierten Informationen weitgehend ignoriert. Wenn es um die Unterscheidung von Mannschaften im Fußball geht, wird hier frei nach dem Motto „die Tabelle lügt nicht“ zum Beispiel auf Tabellenplätze zurückgegriffen (Evangelos et al., 2018; Taylor et al., 2008). Dies ist einerseits problematisch, weil Tabellenplätze erst bei zunehmender Dauer der Saison an Genauigkeit gewinnen und zudem aus statistischer Sicht fragwürdig, weil Punkte nachweislich weniger aussagekräftig sind als Tore (Heuer & Rubner, 2009) und selbst Tore sehr stark zufallsbehaftet sind (Wunderlich et al., 2021a; Lames, 2018). Genau aus diesem Grund werden im Bereich der Performance Analysis zunehmend Metriken wie sogenannte Expected Goals (Brecht & Flepp, 2020) oder auf Positionsdaten basierende Key Performance Indikatoren (Rein et al., 2017) genutzt.

In einer 2018 in der Zeitschrift PLOS One veröffentlichten Studie (Wunderlich und Memmert, 2018) haben wir uns mit der Frage beschäftigt wie zu jedem Zeitpunkt in einer Saison möglichst genau die Spielstärke einer Fußballmannschaft geschätzt werden kann. Statt dafür datenintensive Modelle zu nutzen, wählen wir einen alternativen Weg und extrahieren die in Wettquoten enthaltenen Informationen zu Mannschaften.

Technisch basiert das Modell auf dem ursprünglich im Schach genutzten ELO-Rating, auf dessen Idee seit

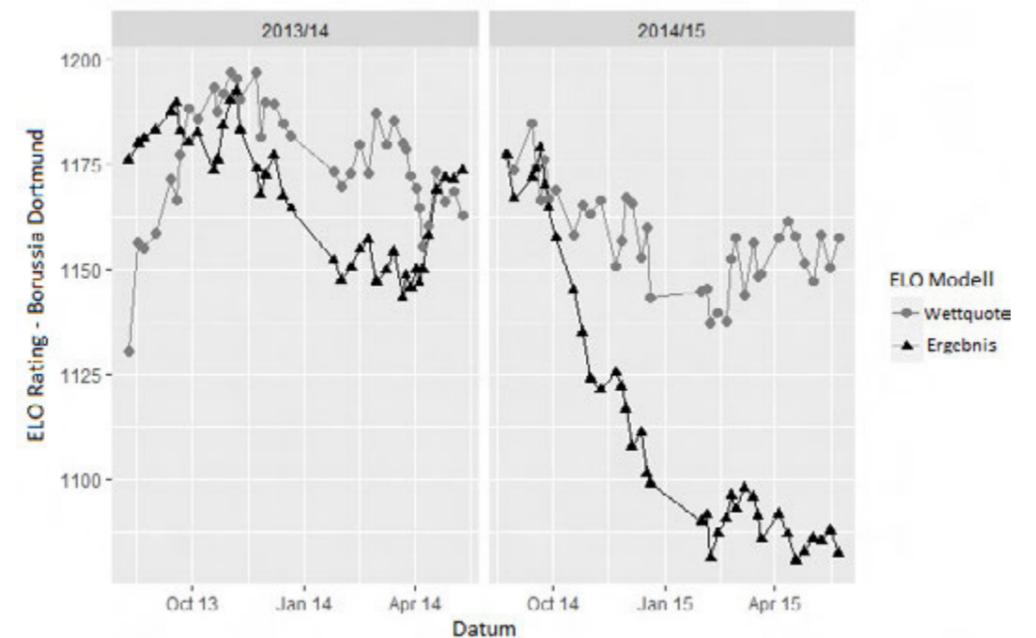


Abb. 1 Die anhand eines ELO-Modells geschätzte Mannschaftsstärke von Borussia Dortmund in den Saisons 2013/14 und 2014/15. Die schwarzen Punkte beziehen sich auf ein Modell unter Berücksichtigung der Endergebnisse, während die hellgrauen Punkte als Information die Wettquoten berücksichtigen.

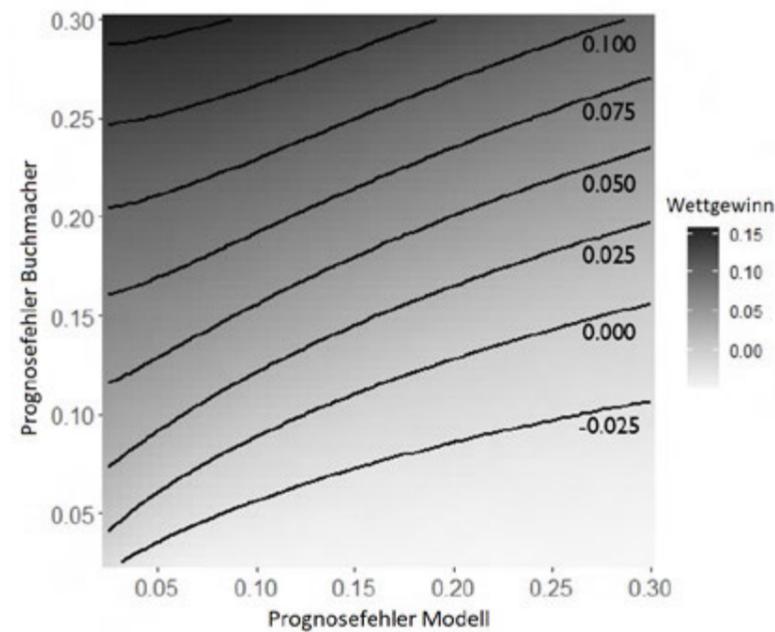


Abb. 2 Konturdiagramm der simulierten Wettgewinne in Abhängigkeit der Prognosefehler von Modell und Buchmacher. Dunklere flächen repräsentieren größere relative Wettgewinne, die schwarzen Linien geben dabei bestimmte Wettgewinnniveaus an.

einigen Jahren auch die Fußball-Weltrangliste des Weltfußballverbands FIFA beruht. Untersucht haben wir dabei insbesondere die Unterschiede zwischen klassischen ELO-Ratings, die auf dem Endergebnis von Spielen beruhen und einem neu vorgestellten Rating, das stattdessen die Wettquoten vor dem Spiel nutzt.

Anhand einer Datenbasis von fast 15.000 Fußballspielen der vier größten europäischen Ligen, sowie der Europa und Champions League lässt sich belegen, dass die auf Wettquoten basierende Mannschaftsstärke der auf Ergebnissen basierenden Mannschaftsstärke signifikant überlegen ist ($p < .001$). Das bedeutet, dass die Wettquoten tatsächlich mehr Informationen über die Mannschaftsstärke beinhalten als die reinen Spielergebnisse und diese über das ELO-Rating sichtbar gemacht werden können.

Anschaulich illustrieren lassen sich die Unterschiede anhand eines prominenten Beispiels. Abbildung 1 zeigt die geschätzte Mannschaftsstärke von Borussia Dortmund in den Spielzeiten 2013/2014 und 2014/2015. Dargestellt sind sowohl die Ratings basierend auf Ergebnissen, als auch auf Wettquoten. Dortmund beendete die Saison 2013/2014 erfolgreich auf Platz 2. Trotz kleiner Abweichungen (vor allem zu Beginn der Saison) stimmen die Werte der beiden Modelle weitgehend überein und gleichen sich insbesondere gegen Saisonende. Im Februar 2015, nach einem halben Jahr massiver Erfolglosigkeit, lag Dortmund auf dem letzten Platz der Ligatabelle, was in dem massiven Rückgang des ergebnisbasierten Ratings zu sehen ist. Überraschenderweise zeigten die Wettquoten nur eine sehr schwache Reaktion auf die erfolglose Periode. Die Markteinschätzung der Mannschaftsstärke blieb also weitestgehend stabil,

was aufgrund der erfolgreiche Restsaison und der auf Platz 2 bzw. 3 erfolgreich abgeschlossenen nächsten beiden Spielzeiten durchaus plausibel erscheint.

Im Rahmen der Dissertation konnte gezeigt werden, dass Wettquoten nicht nur zur hier beschriebenen Markteinschätzung von globalen Mannschaftsstärken, sondern auch zur Markteinschätzung von matchspezifischen Mannschaftsstärken (Wunderlich et al., 2020), der Markteinschätzung zum Heimvorteil (Wunderlich et al., 2021b) und zur Markteinschätzung zur Ausgeglichenheit von Spielen (Wunderlich et al., 2021b) gewinnbringend in sportwissenschaftliche Fragestellungen integriert werden können.

Ökonomie – Wie wird meine Prognose zu Geld?

Natürlich geht es bei der Entwicklung von prädiktiven Modellen immer darum möglichst gut zu sein. Ein gutes prädiktives Modell zu entwickeln erfordert jedoch nicht nur Fachwissen, die Verfügbarkeit von relevanten Daten, passende Methoden und eine sorgfältige mathematische Modellierung, sondern kann auch in hohem Maße von dem Ziel abhängen, das mit der Prognose verfolgt wird. Denn was gut bei einer Prognose überhaupt bedeutet ist nicht von vorneherein eindeutig.

Wenn es das einzige Ziel eines Experten ist, seine Medienpräsenz zu steigern, dann sind spektakuläre (aber falsche) Prognosen möglicherweise erwartbaren (aber richtigen) Prognosen vorzuziehen. Wenn bei einer Prognose selbsterfüllende Aspekte eine Rolle spielen können, wie bei einem Politiker, der nach seinen Chancen auf einen Wahlsieg gefragt wird, dann kann eine optimistische Vorhersage sinnvoller als eine realistische Vorhersage sein. Auch in der wis-

enschaftlichen Auseinandersetzung mit prädiktiven Modellen gibt es in der Regel zwei unterschiedliche Ziele: Genauigkeit und Profitabilität.

Genauigkeit bezieht sich dabei im Sportkontext auf die Frage wie genau ein Modell die Wahrscheinlichkeiten für zukünftige Sportereignisse schätzen kann (Wheatcroft, 2021; Constantinou & Fenton, 2012). Profitabilität bezieht sich auf die Frage, ob aus einem Modell abgeleitete Wettstrategien zu systematischen positiven Wettgewinnen im Sportwettenmarkt führen können (Constantinou et al., 2012; Hubáček et al., 2019). Einfach ausgedrückt, geht es also darum die eigene Prognose zu Geld zu machen, indem sie am Markt gewinnbringend eingesetzt wird.

Unterschiede zwischen Genauigkeit und Profitabilität werden im Bereich der prädiktiven Modelle im Sport bisher nicht im Detail diskutiert, teilweise wird sogar implizit oder explizit angenommen, dass genauere Modelle auch eine höhere Profitabilität bewirken müssen. Dabei nähren sowohl empirische Ergebnisse aus dem Sportbereich (Peeters, 2018; Baker & McHale, 2013) als auch Ergebnisse aus anderen ökonomischen Bereichen wie Aktienpreise, Zinsraten oder Wechselkurse (Boothe & Glassman, 1987; Ertimur et al., 2007; Leitch & Tanner, 1991) Zweifel, dass diese Verbindung immer derart eindeutig ist.

In einer 2020 im International Journal of Forecasting veröffentlichten Studie (Wunderlich & Memmert, 2020) haben wir uns daher mit der Frage beschäftigt, welche systematischen und unsystematischen Gründe dazu beitragen können, dass Genauigkeit und Profitabilität von Modellen nicht im Einklang miteinander sind. Hinter den Ergebnissen steckt ein Simulationsmodell, bei dem eine große Anzahl künstlich er-

zeugter Daten genutzt wird um den Zusammenhang systematisch zu untersuchen. Die Hauptidee dabei ist es durch die Simulation gezielt die Genauigkeit der Prognosen von Buchmacher und Modell sowie deren Interaktion steuern zu können. Durch Berechnung der jeweiligen Wettgewinne kann somit ein direkter Zusammenhang zwischen Genauigkeit und Profitabilität hergestellt und untersucht werden. Jedes der verschiedenen berechneten Szenarien basiert dabei auf der Simulation von 10 Millionen Wettmöglichkeiten.

Abbildung 2 illustriert die Hauptergebnisse der Studie anhand von einem Konturdiagramm, das die Wettgewinne in Abhängigkeit der Prognosefehler von Modell (x-Achse) und Buchmacher (y-Achse) illustriert. Zu erkennen ist ein genereller Zusammenhang zwischen Genauigkeit und Profitabilität, da ein höherer Modellfehler (bei gleichbleibendem Buchmacherfehler) niedrigeren Wettgewinnen entspricht. Allerdings können positive Wettgewinne auch dann erzielt werden, wenn der Modellfehler den Buchmacherfehler übersteigt. Einfach ausgedrückt kann also auch ein Modell, das ungenauere Prognosen als der Markt erstellt profitabel an diesem Markt eingesetzt werden.

Ein weiteres zentrales Ergebnis der Studie ist, dass Wettgewinne dann ansteigen, wenn die Fehler von Modell und Markt negativ miteinander korreliert sind. Dieser Vorteil von dekorrelierten Prognosen wird bisher, mit Ausnahme der Arbeit von Hubáček et al. (2019) noch nicht ausreichend genutzt. Insgesamt zeigt sich, dass Genauigkeit und Profitabilität als zwei getrennte Maße zur Bewertung von prädiktiven Modellen behandelt werden sollten und Wettgewinne nicht automatisch mit einer hohen Modellgenauigkeit gleichgesetzt werden dürfen.



15.000 analysierte Fußballspiele der vier größten europäischen Ligen zeigen: Die Wettquoten beinhalten mehr Informationen über die Mannschaftsstärke als die reinen Spielergebnisse.



Abb. 3 Wordcloud, die die von Nutzern diskutierten Themen im direkten Anschluss an erzielte Tore visualisiert. Dargestellt sind häufig verwendete Begriffe in den zehn auf ein Tor folgenden Spielminuten basierend auf fast 2 Millionen Tweets aus über 400 Premier League Matches.

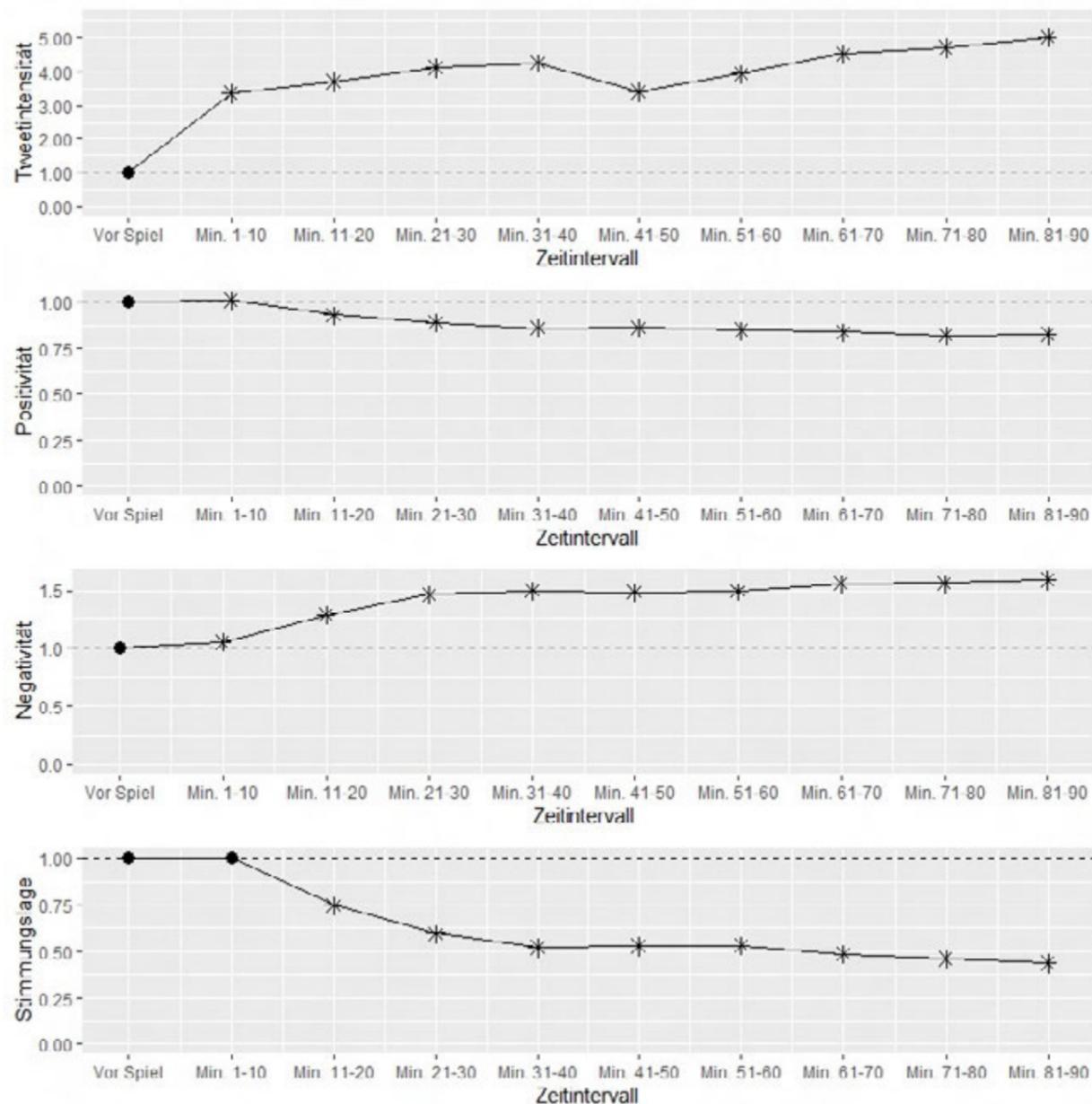


Abb. 4 Entwicklung verschiedener aus Tweets extrahierter Variablen im Spielverlauf. Die Zeiträume auf der x-Achse beziehen sich auf die letzte Stunde vor einem Spiel sowie neun zehnminütige Abschnitte im Spiel. Tweetintensität repräsentiert die Anzahl der Tweets, während die Positivität, Negativität und Stimmungslage auf Methoden des Sentiment Analysis basiert, bei denen algorithmisch positive und negative Begriffe in den Tweets erfasst werden. Alle Variablen sind normiert auf die Werte vor einem Spiel.

Informatik – Kann Big Data die Zukunft der Prognosen verändern?

Die oft unter dem Modebegriff Big Data zusammengefasste Erhebung, Verarbeitung und Analyse großer und komplexer Datenmengen, hat in den letzten Jahren massiven Einfluss auf viele Aspekte der Wirtschaft und der Gesellschaft genommen. In diesem Zuge gewinnen auch Machine Learning Verfahren als Tool zur Analyse solcher komplexen Datenmengen immer mehr an Bedeutung. Im Fußballbereich werden derartige Ansätze zum Beispiel bereits genutzt um taktisches Verhalten zu verstehen und erfolgsversprechende Strategien zu identifizieren (Dick & Brefeld, 2019; Grunz et al., 2012; Rein & Memmert, 2016).

Auch im Bereich der prädiktiven Modelle im Sport liegt die Frage nahe, ob Big Data und Machine Learning ein neues Zeitalter einläuten können. Dass dies allerdings tatsächlich so ist und ob komplexe Modelle überhaupt simplen Modellen überlegen sind, kann durchaus angezweifelt werden, wie Ergebnisse von ökonomischen Prognosemodellen nahelegen (Gilliland, 2020).

In einer 2022 im Journal Social Network Analysis and Mining veröffentlichten Studie (Wunderlich & Memmert, 2022) haben wir Daten des sozialen Netzwerks Twitter untersucht und dabei versucht die während Fußballspielen entstehenden Kurznachrichten (Tweets) zur Verbesserung von prädiktiven Modellen zu nutzen. Die Studie basiert auf einem Datensatz von fast 2 Millionen solcher Tweets, die kurz vor oder während laufender Premier League Spiele geschrieben wurden. Um diese textuellen Daten in mathematischen Modellen nutzbar zu machen, wurde u.a. die sogenannte Sentiment Analysis (Piryani et al., 2017; Mäntylä et al., 2018) genutzt, um in Tweets reflektierte positive oder negative Stimmungslagen zu erkennen.

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass die Anzahl der in einem Spiel geschriebenen Tweets signifikant von der Popularität der beteiligten Mannschaften

sowie der Anzahl der Tore im Spiel abhängen. Um zu visualisieren über welche Themen innerhalb eines Fußballspiels diskutiert wird, wurden sogenannte wordclouds genutzt. Abbildung 3 illustriert beispielhaft von den Nutzern häufig genutzte Worte in den zehn Spielminuten nach einem Tor. Diese beinhalten erwartbare Begriffe wie goal oder score, mit dem Tor in Verbindung stehende Ereignisse oder Akteure repräsentiert durch die Begriffe penalty, player oder var (video assistant referee), aber auch generelle Themen wie die Live-Übertragung von Matches repräsentiert durch den Begriff live stream.

Abbildung 4 illustriert wie sich einige der aus den Tweets extrahierten Variablen im Verlauf von Fußballspielen entwickeln. Dabei zeigt sich im Spielverlauf unter anderem ein erwartbarer Anstieg der Tweetintensität, also der Anzahl an erfassten Tweets. Interessant ist auch die Stimmungslage der Tweets, bei der im Spielverlauf die Positivität immer weiter abnimmt und die Negativität immer weiter zunimmt, was zu einer insgesamt stark abfallenden Stimmungslage in den Tweets führt. Während die genauen Gründe für dieses Muster in der Studie nicht fokussiert wurden, deuten die Ergebnisse somit daraufhin, dass bei Fußballfans sprichwörtlich Vorfreude die schönste Freude ist.

Während Twitter-Daten also eine reiche Datengrundlage für verschiedenste Analysen bietet, konnten wir keinen Hinweis darauf finden, dass die Daten auch prädiktive Modelle innerhalb eines Spiels verbessern können. Interessanterweise konnten weder die textuellen Daten von Twitter noch die bisher tatsächlich erzielten Tore in einem Spiel die Prognosen für den weiteren Spielverlauf präzisieren. Dieses Ergebnis ergibt sich sowohl bei Nutzung eines logistischen Regressionsmodells als auch bei Nutzung eines Machine Learning Ansatzes (Random Forest). Als beste Möglichkeit für Prognosen innerhalb des Spiels zeigten sich auch hier wieder die vor dem Spiel bereits bekannten Wettquoten.

Literatur bei dem Autor



Passend zum Beitrag erschienene Publikationen

Wunderlich, F., & Memmert, D. (2018). The betting odds rating system: Using soccer forecasts to forecast soccer. *PLoS one*, 13(6), e0198668.

Wunderlich, F., & Memmert, D. (2020). Are betting returns a useful measure of accuracy in (sports) forecasting?. *International Journal of Forecasting*, 36(2), 713-722.

Wunderlich, F., & Memmert, D. (2022). A big data analysis of Twitter data during premier league matches: do tweets contain information valuable for in-play forecasting of goals in football?. *Social Network Analysis and Mining*, 12(1), 1-15.



Dr. Fabian Wunderlich

hat an der Universität zu Köln Wirtschaftsmathematik studiert und an der Deutschen Sporthochschule Köln zum Thema prädiktive Modelle im Sport promoviert. Seit 2017 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik. Seine primäre Expertise liegt in der Anwendung von mathematischen und informatischen Verfahren auf Sportdaten (u.a. Big Data Analysen, statistische Modellierung, künstliche Daten), und seine primären Forschungsschwerpunkte u.a. in den Bereichen prädiktive Modelle im Sport, Sportwetten, Wettquoten sowie Zufallseinflüsse im Sportspiel.

» f.wunderlich@dshs-koeln.de



Text Andrea Schaller & Carina Hoffmann

Hier steckt Bewegung drin: Das Projekt KomRüBer

Einblick in die empirisch basierte Konzeption eines überbetrieblichen Netzwerks zur Bewegungsförderung.



Die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität und Training auf die Vermeidung und den Verlauf chronischer Erkrankungen (Lee et al., 2012; Powell et al., 2011; Fiuza-Luces et al., 2013; Pedersen & Saltin, 2015; Booth et al., 2012) sowie die psychische Gesundheit (Sudeck & Thiel, 2020; Gillison et al., 2009) sind unbestritten. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt für Erwachsene mindestens 150 Minuten moderate oder 75 Minuten intensive aerobe körperliche Aktivität pro Woche. Zudem sollten an mindestens zwei Tagen pro Woche die großen Muskelgruppen trainiert werden (World Health Organization, 2020). Diese beiden Empfehlungen werden allerdings nur von knapp 25% der Männer und 21% der Frauen in Deutschland erreicht (Finger et al., 2017).

In der Gesundheitsversorgung fehlt es allerdings nach wie vor an Evidenz zu geeigneten Zugangswegen, der systematischen Nutzung und auch der Wirksamkeit bewegungsbezogener Angebote in der Gesundheitsversorgung (Deutsches Netzwerk Versorgungsforschung e. V., 2021). Seit dem Präventionsstärkungsgesetzes im Jahr 2016 rücken dabei auch Angebote der Prävention und Gesundheitsförderung, als verpflichtende Satzungsleistung der gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV) (Bundesgesetzblatt, 24.07.2015), verstärkt ins Zentrum des Interesses. Insbesondere für die Zielgruppe der Erwachsenen spielt das Setting der betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF) eine zentrale Rolle. Im Jahr 2019 wurden 240 Millionen Euro und damit 38% der GKV Präventionsausgaben für BGF verwendet. Mehr als die Hälfte der verhältnisbezogenen und knapp 70% der verhaltensbezogenen BGF-Angebote sind dabei dem Handlungsfeld Bewegung zuzuordnen (Bauer et al., 2020). Insgesamt gelten

zur Bewegungsförderung im betrieblichen Setting Mehrkomponentenansätze, die Maßnahmen auf Struktur- und Prozessebene (z.B. bewegungsfreundliche Umgestaltung betrieblicher Abläufe; Schaffung von bewegungsförderlichen Infrastrukturen) und verhaltensbezogene Maßnahmen (z.B. konkrete Kurs- bzw. Bewegungsangebote) kombinieren, als vielversprechend (Pfeifer et al., 2017).

Überbetriebliche Netzwerke zur BGF in kleineren und mittelständischen Unternehmen

In der BGF gelten Kleinstunternehmen, kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) unter 100 Beschäftigten – als schwer erreichbare Zielgruppe. Als Gründe dafür werden beispielsweise mangelnde finanzielle, personelle und zeitliche Ressourcen der Unternehmen, der Vorrang des Tagesgeschäfts und mangelndes Wissen zu Umsetzungsmöglichkeiten und externen Unterstützungsangeboten genannt (Wanek & Hupfeld, 2018; Dale et al., 2019; Hente & Schlesinger, 2021; Williams & Snow, 2012; Linnan et al., 2008). Um diese Unternehmen bei der Etablierung von BGF zu unterstützen, verfolgen Krankenkassen verstärkt den Ansatz der überbetrieblichen Netzwerke (Schempp & Strippel, 2017; Wagner, 2016). Darunter versteht man einen organisatorischen Zusammenschluss verschiedener Unternehmen, die überbetrieblich zur BGF betreut werden und gemeinsam Maßnahmen umsetzen. Sie können dabei beispielsweise von Krankenkassen, weiteren Sozialversicherungsträgern oder auch externen Anbietern sowie Organisationen (lokale Gesundheitsdienstleister, Wirtschaftsfachverbänden etc.) unterstützt werden. Auf diese Weise werden auf Netzwerkebene Ressourcen und Kompetenzen gebündelt, damit auch kleinere Unternehmen

einen niedrighschwelligem Zugang zu BGF-Angeboten haben und davon profitieren können (vgl. Schauerte & Zähringer, 2017). Damit erscheint der Netzwerkansatz für Beschäftigte in KMU auch ein vielversprechender Zugangsweg zu Angeboten zur Bewegungsförderung (Peters & Wäsche, 2017). Allerdings liegen bisher keine empirischen Daten dazu vor, wie überbetriebliche Netzwerke zur BGF bzw. Bewegungsförderung systematisch entwickelt werden können.

Hier steckt Bewegung drin: Das Projekt KomRüBer
Ziel des Modellprojektes KomRüBer war es, eine überbetriebliche Nachbarschaft zur Bewegungsförderung für Beschäftigte in KMU theoriebasiert und partizipativ zu entwickeln. Dabei wurde die überbetriebliche Bewegungsnachbarschaft als offenes und dynamisches Netzwerk definiert, welches im Projektverlauf sukzessive erweitert und evaluiert wurde. Analog zum Ansatz der Präventionsketten (Stolz et al., 2016) wurden dabei auch Akteure berücksichtigt, deren Angebote und/oder Arbeitsbereiche über den Bewegungs- bzw. Gesundheitsbereich hinausgehen (z.B. Wirtschaftsförderung). Das Projekt wurde im Rahmen des Förderschwerpunktes „Bewegung und Bewegungsförderung“ vom Bundesministerium für Gesundheit (Bundesministerium für Gesundheit, 2022) über einen Zeitraum von drei Jahren (6/2019 - 5/2022) gefördert und in einem Technologiepark in der Nähe von Köln durchgeführt. Es wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für qualifizierende Innovationsforschung und -beratung (<https://www.iqib.de/>) als weiteres wissenschaftlichen Partner und dem Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung (<https://www.bgf-institut.de/bgf-institut/>) als Praxispartner durchgeführt.

Das KomRüBer-Projekt war in eine Konzeptionsphase (neun Monate) und eine Umsetzungsphase (25 Monate) unterteilt. Theoretischer Bezugsrahmen für die Vorgehensweise war das BIG-Manual (Rütten & Wolff, 2017). Die Konzeption des unternehmensübergreifenden Netzwerks umfasste dabei die Phasen A) Findungsphase, B) Vorbereitungsphase und C) kooperativer Planungsprozess. Die Phasen D) Umsetzung und E) Sicherung der Nachhaltigkeit bildeten die Umsetzungsphase, die sich unmittelbar an die Konzeption anschloss. Der vorliegende Beitrag zeigt die Vorgehensweise und die Ergebnisse aus der Konzeptionsphase.

Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse der Konzeptionsphase

Die Konzeptionsphase umfasste neun Monate und hatte zwei Ziele: a) die theoriebasierte Entwicklung der überbetrieblichen Bewegungsnachbarschaft und b) die partizipative Entwicklung einer Mehrkomponenten-Intervention zur Bewegungsförderung. Das Ausmaß der Zielgruppenpartizipation erfolgte dabei im Bereich der Partizipationsstufen 5 (Einbeziehung), 6 (Mitbestimmung) und 7 (Teilweise Übertragung von Entscheidungskompetenz) (Wright et al., 2007). Die

empirisch basierte Vorgehensweise umfasste sowohl quantitative als auch qualitative Forschungsmethoden (vgl. Hoffmann et al., 2020). Zudem wurde der Projektverlauf mit einer sozialen Netzwerkanalyse begleitet.

Als erster Schritt wurde im Juli 2019 ein Workshop zur Sammlung erster Ideen für bewegungsfördernde Maßnahmen auf verhaltens- und verhältnisbezogener Ebene im Technologiepark durchgeführt ((A) Findungsphase) (siehe Abb. 1).

Dabei nahmen 13 Vertreter*innen aus verschiedenen Akteursgruppen teil (Unternehmensvertreter*innen, Bewegungsanbieter*innen, unterstützende Netzwerkpartner*innen aus Öffentlichkeit, Politik und Gesellschaft, Wirtschaft).

Folgende Leitfragen wurden gemeinsam bearbeitet:

- » Welche Angebote zur Bewegungsförderung fallen Ihnen für den Technologiepark ein?
- » Welche weiteren Partner*innen sollten aus Ihrer Sicht noch im Projekt berücksichtigt werden?
- » Was muss aus Ihrer Sicht passieren, damit das Projekt (für Sie) ein Erfolg wird?



Abb. 1 Eindrücke aus dem Planungsworkshop

Die Ideen zur Bewegungsförderung waren sehr vielfältig und konnten drei Kategorien zugeordnet werden: Bewegungsprogramme, Umgestaltung von betrieblichen Abläufen und Schaffung einer bewegungsfreundlichen Infrastruktur im Technologiepark bzw. den Unternehmen. Hinsichtlich der Bewegungsangebote gab es beispielsweise Vorschläge zu individueller Beratung und Kursen, Veranstaltungen, Mannschaftssportarten oder Gamification-Ansätzen. In Bezug auf die Umgestaltung von Arbeitsabläufen sahen die beteiligten Akteure verschiedene Möglichkeiten körperliche Aktivität in den Arbeitsalltag zu integrieren, z.B. Bewegungspausen am Morgen, ergonomische Anpassungen oder die Flexibilisierung von Arbeitszeiten. Für die Schaffung einer bewegungsfreundlichen

Tab. 1 Wünsche der Beschäftigten in Bezug auf bewegungsbezogene Angebote, *Mehrfachnennungen waren möglich

Dimension (Frage)	Hauptergebnisse (Top 3 der am häufigsten gewählten Antwortmöglichkeiten*)	Stichprobe (n = 285) [n; %]
Inhalt („Was würden Sie zum Thema Bewegung gerne wissen?“)	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Bewegungen bzw. Übungsformen sich für bestimmte Beschwerden eignen • Wie ich meine Muskulatur stärken kann • Wie ich mit einseitigen Belastungen am Arbeitsplatz umgehe 	<p>151 (53.0%)</p> <p>150 (52.6%)</p> <p>146 (51.2%)</p>
Umgestaltung betrieblicher Gegebenheiten („Was würde Ihnen helfen, um an Ihrem Arbeitsplatz mehr in Bewegung zu kommen?“)	<ul style="list-style-type: none"> • Angeleitete Bewegungspausen • Bewegungsunterstützende Büroorganisation • Personen, die mich zur Bewegung motivieren 	<p>138 (48.4%)</p> <p>137 (48.1%)</p> <p>110 (38.6%)</p>
Infrastruktur („Welche infrastrukturellen Maßnahmen würden Ihnen helfen, um mehr Bewegung in Ihren Arbeitsalltag zu integrieren?“)	<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtung eines Fitnessraumes • Duschen • Umkleiden 	<p>195 (68.4%)</p> <p>167 (58.6%)</p> <p>163 (57.2%)</p>
Formate („Welche Angebotsformate interessieren Sie?“)	<ul style="list-style-type: none"> • Kurse • Outdoor-Angebote • Arbeitsplatzbezogene Programme 	<p>174 (61.1%)</p> <p>159 (55.8%)</p> <p>114 (40.0%)</p>

Tab. 2 Bewegungsangebote der KomRüBer-Intervention

Verhaltensbezogene Angebote	Verhältnisbezogene Angebote
Kursangebote (Rückentraining, Entspannung, Nordic-Walking)	Umsetzung einer professionellen Kommunikationsstrategie
Schrittzählerwettbewerb	Implementierung der Bewegungsnachbarschaftsmanagerin / des Bewegungsnachbarschaftsmanagers
Bewegungsaktionen (1-2 mal pro Jahr)	Treppenhausaktionen
Arbeitsplatzbezogene Rückenschulen / Ergonomie-Beratungen	Trimm-Dich-Pfad
Bewegungspausen	Multiplikatorinnen und Multiplikatoren-Schulungen zu Bewegungs-Scouts
Aktionstage „Bewegung“ (halbjährlich)	Einrichtung von Fahrradstellplätzen
Outdoor-Angebote (funktionelles Training)	Beschilderung von Lauf- und Spazierwegen in und um den Technologiepark
Präventionsleistungen der Rentenversicherung	
Impulsvorträge und Workshops zu den Themen Bewegung, Rücken-gesundheit, Ergonomie	



Infrastruktur wurde vorgeschlagen, auf dem Gelände des Technologieparks (indoor und outdoor) Flächen und Möglichkeiten für Training und körperliche Aktivität zu etablieren. Zudem wurde die Einrichtung von Duschen und Fahrradstellplätzen angeregt.

Im Hinblick auf die Einbindung weiterer Partner*innen wurden zwei konkrete lokale Unternehmen und verschiedene regionale Bewegungsanbieter*innen (z.B. Fitnessstudios, Fahrradverleih, lokale Sportvereine) sowie die Stadtverwaltung, lokale Medien und Betriebsärzte vorgeschlagen.

Als Notwendigkeit für den Projekterfolg wurden aus Sicht der Beteiligten eine transparente und niederschwellige Kommunikation der Angebote und die Implementierung eines/einer „Kümmerers/Kümmerer*in“ und Ansprechperson im Netzwerk genannt. Aus Unternehmenssicht wurde die Steigerung der Attraktivität als Arbeitgeber durch die Mitwirkung im Netzwerk als möglicher aktorsbezogener Erfolg genannt. Netzwerkpartner*innen und Bewegungsanbieter*innen erhofften sich von der Teilnahme am Projekt eine größere lokale Bekanntheit. Allerdings zeigten sich seitens der Unternehmen auch Vorbehalte gegenüber dem Projekt aufgrund einer möglichen Verletzungsgefahr der Beschäftigten bei den Bewegungsangeboten.

Im zweiten Schritt ((B) Vorbereitungsphase) wurde die Zielgruppe, d.h. die Beschäftigten der Unternehmen im Technologiepark, adressiert. In einer Mitarbeitendenbefragung wurden im Oktober 2019 die bewegungsbezogenen Bedarfe und Wünsche der Beschäftigten erhoben. Es wurden unter anderem Fragen zu den Themenbereichen Inhalte und Angebotsformate sowie zu verhältnisbezogenen Förderfaktoren (Strukturebene und Prozessebene) gestellt. Insgesamt nahmen 285 Beschäftigte verschiedener Unternehmen an der Befragung teil (Durchschnittsalter: 37 (±10) Jahre; weiblich: 164 (58%), Erwerbstätigkeit >35h/Woche: 243 (87%)). Der Bedarf an bewegungsfördernden Maßnahmen zeigte sich unter anderem an dem hohen Anteil von Befragten mit sitzender Tätigkeit (n = 256 (91%)). Lediglich 20% (n=57) der Befragten erreichten die WHO-Mindestempfehlungen zur aeroben körperlichen Aktivität und 27% (n=77) die WHO-Mindestempfehlungen zur Muskelkräftigung. Die häufigsten inhaltlichen Wünsche waren Übungen gegen spezifische Beschwerden (z.B. Nackenschmerzen) sowie allgemeine Kräftigungsübungen und Ausgleichsübungen am Arbeitsplatz. Bezüglich des Angebotsformates wurden Kursange-

bote und Outdoor-Angebote bevorzugt. Fast 70% der Befragten wünschten sich einen Fitnessraum im Technologiepark und fast die Hälfte der Befragten wünschte sich angeleitete Bewegungspausen und eine Umstrukturierung des Arbeitsplatzes (siehe Tab. 1). Geschlechtsbezogene Unterschiede zeigten sich beispielsweise bezüglich der gewünschten Formate, wobei Frauen häufiger den Wunsch nach Kursen oder arbeitsplatzbezogenen Programmen nannten.

Im dritten Schritt ((C) kooperativer Planungsprozess) wurden nochmals alle Akteursgruppen einbezogen. Ausgehend von den Ergebnissen der quantitativen Mitarbeitendenbefragung wurden zwischen November 2019 und Februar 2020 acht Leitfadeninterviews mit Beschäftigten geführt, um einen vertieften Einblick in die Beschäftigtenperspektive hinsichtlich der Gestaltung der Mehrkomponenten-Intervention zur Bewegungsförderung zu erhalten. Die Leitfadeninterviews bestätigten weitestgehend die quantitativen Ergebnisse, lieferten darüber hinaus aber noch wertvolle Hinweise zur Integration der Angebote in den Arbeitsalltag, zur Bekanntmachung der Angebote vor Ort, zu Finanzierungsaspekten zur Zielgruppenspezifität oder zu den Erwartungen an die Qualifikation der Anbieter*innen.

Im letzten Schritt der Konzeptionsphase wurde im Januar 2020 nochmals ein Workshop mit den verschiedenen Akteuren des Projektes durchgeführt. Ziel des Workshops war die konkrete Maßnahmenplanung für die Umsetzungsphase ab März 2020. Insgesamt nahmen 15 Akteure der verschiedenen Gruppen teil (Unternehmensvertreter*innen, Netzwerkpartner*innen aus Öffentlichkeit, Wirtschaft, Gesellschaft/Politik und Bewegungsanbieter*innen).

Die Leitfragen des Workshops lauteten:

- » Welche konkreten Bewegungsangebote sind seitens der Akteure möglich? Was braucht es dazu?
- » Welche bereits etablierten unternehmensbezogene Bewegungsangebote können für externe Beschäftigte „geöffnet“ werden?
- » In wie weit sind die verhältnisbezogenen und infrastrukturellen Wünsche umsetzbar?
- » Die mit den Akteuren entwickelten konkreten verhaltens- und verhältnisbezogenen Bewegungsangebote sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet (siehe Tab. 2).

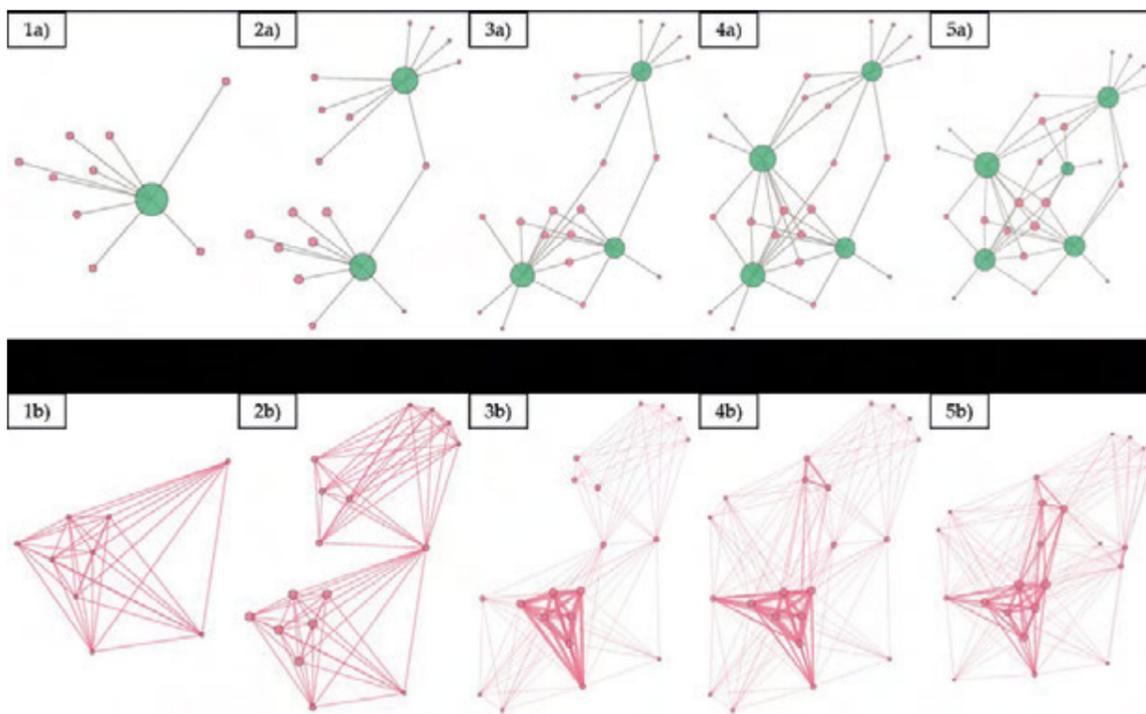


Abb. 3 Visualisierung des Netzwerks bei T1 (Absichtserklärung), T2 (Information und Konsultation vor Ort), T3 (Stakeholder-Workshop), T4 (Stakeholder-Workshop II) und T5 (Lenkungsgruppe (digitales Treffen)) (rot = Organisationen; grün = Veranstaltungen; a) Zwei-Modus; b) Ein-Modus (projiziert Zwei-Modus). Quelle: IQIB



Die geplanten Angebote wurden mit einer Zeitschiene für den weiteren Projektverlauf hinterlegt. Dabei wurde der Schwerpunkt auf verhältnisbezogener Ebene zunächst auf die Implementierung eines Bewegungsnachbarschaftsmanagements und die Entwicklung einer professionellen Kommunikationsstrategie gelegt. Das Bewegungsnachbarschafts-Management konnte über die Drittmittelförderung und die Beteiligung des BGF-Instituts als Praxispartner des Projektes finanziert werden. Die KomRüBer-Kommunikationsstrategie umfasste die systematische Entwicklung von Botschaften und Kommunikationskanälen, ein Projektlogo (siehe Abb. 2) und das gesamte Kommunikationsmanagement zur Bekanntmachung der Maßnahmen und des Projektes.

Bezüglich der Verbesserung der Bewegungsverhältnisse konnte der Wunsch der Beschäftigten nach der Einrichtung eines Fitnessraumes aus finanziellen und rechtlichen Gründen nicht umgesetzt werden. Alternativ wurden eine QR-Code basierte Treppenhausaktion und eine QR-Code basierter Trimm-Dich-Pfad geplant. Die Umsetzung der Einrichtung von Fahrradstellplätzen und die Ausarbeitung von Spazierwegen rund um den Technologiepark konnten durch einen Projektpartner geplant werden.

Als erste verhaltensbezogene Maßnahme wurde für die Umsetzungsphase eine Auftaktveranstaltung für die Beschäftigten des Technologieparks mit allen regionalen Partner*innen geplant. Die daran anschließende Planung umfasste einen Schrittzähler-

Wettbewerb, mehrere Kurs- und Outdoor-Angebote sowie angeleitete Bewegungspausen während der Mittagszeit.

Soziale Netzwerkanalyse im KomRüBer Projekt

Wie eingangs beschrieben, liegen bisher noch keine empirischen Daten dazu vor, wie überbetriebliche Netzwerke systematisch entwickelt werden können. Für die zielgerichtete strukturelle Entwicklung überbetrieblicher Netzwerke zur Bewegungsförderung liefert die Begleitevaluation des KomRüBer Projektes einen ersten methodischen Ansatz und erste Daten. Die Begleitevaluation basierte auf dem theoretischen Konzept der sozialen Netzwerkanalyse (SNA) (Leppin et al., 2018; Valente et al., 2015; Mays et al., 2010). Auch wenn die SNA bereits in verschiedenen Bereichen der Gesundheitsversorgung angewandt wird (Chambers et al., 2012; Shelton et al., 2019), erfolgte dies in der bewegungsbezogenen Gesundheitsversorgung bisher kaum (Wäsche et al., 2017) und wurde im KomRüBer Projekt erstmalig bei der Entwicklung überbetrieblicher Netzwerke erprobt (vgl. Schaller et al., 2021).

Der methodische Ansatz der SNA basierte auf der Annahme einer globalen, nicht-direktionalen Netzwerkanalyse. Für die Analyse wurden die beteiligten Akteure (Unternehmensvertreter*innen, Netzwerkpartner*innen aus Öffentlichkeit, Wirtschaft, Gesellschaft/Politik und Bewegungsanbieter*innen) als Knoten definiert. Ausgehend von der theoriebasierten Vorgehensweise nach dem BIG-Modell (siehe

oben) wurden fünf Messzeitpunkte definiert. Die Visualisierung im Zeitverlauf und die Berechnung der Metriken erfolgte mit Gephi. Zum aktuellen Zeitpunkt kann die Netzwerkentwicklung zwischen August 2018 und Oktober 2020 beschrieben werden.

Insgesamt zeigen die bisher vorliegenden Ergebnisse, dass im Projektverlauf eine kontinuierliche Erweiterung und Verdichtung des Netzwerks realisiert werden konnte. Das Netzwerk entwickelte sich von zwei schwach vernetzten Sub-Clustern beim zweiten Messzeitpunkt (T2) zu einem stark verbundenen Netzwerk mit einem klar etablierten Kern (siehe Abb. 3). Die Visualisierung wurde durch die verwendeten Metriken bestätigt (vgl. Schaller et al., 2021).

Gemeinsam mit den praktischen Erfahrungen aus dem Projekt unterstreichen die Ergebnisse der SNA die Bedeutung eines aktiven Netzwerkmanagements. Der verwendete methodische Ansatz, die ersten Daten und das im Rahmen des Projektes entwickelte Monitoring-Tool bieten für den Aufbau künftiger überbetrieblicher Bewegungsnachbarschaften eine vielversprechende Möglichkeit zum Monitoring. Die Ergebnisse der SNA

im Verlauf der weiteren Umsetzungsphase sowie die Akteursgruppen-spezifische Analyse werden derzeit ausgewertet.

Input, Activities, Output, Outcome

Ab Juni 2022 erfolgt die Auswertung der Umsetzungsphase und Abschlussevaluation des Projektes. Dies erfolgt auf Grundlage eines Wirkungsmodells (vgl. Schaller & Hoffmann, 2021), wobei eine theoretische Annahme dazu skizziert wurde, mit welchen Mitteln (Input), über welchen Weg (Activities), mittels welcher Leistungen (Output), welche Wirkungen bei der Zielgruppe (Outcome) erzielt werden. Die Activities des KomRüBer Projektes beinhalten dabei alle bewegungsbezogenen Angebote (verhaltens- und verhältnisbezogen) und Netzwerkaktivitäten (organisationale Ebene). Zudem wird das Nachhaltigkeits- und Transferkonzept zur Dissemination überbetrieblicher Bewegungsnachbarschaften sowie zur Rolle und dem Profil des/der Bewegungsnachbarschaftsmanager*in fertig gestellt.

Literatur bei den Autorinnen



Carina Hoffmann, geboren 1989, studierte an der Deutschen Sporthochschule Köln den M.A. Prävention, Rehabilitation und Gesundheitsmanagement. Seit 2019 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Bewegungsbezogene Präventionsforschung. Neben ihrer Tätigkeit an der Sporthochschule arbeitet sie seit 2015 im Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung (BGF-Institut) der AOK Rheinland/Hamburg in Köln.
» carina.hoffmann@bgf-institut.de



Univ.-Prof. Dr. Andrea Schaller, geboren 1976 in Kaufbeuren, studierte an der Deutschen Sporthochschule Köln Diplom-Sportwissenschaft mit dem Schwerpunkt Prävention und Rehabilitation sowie an der Heinrich Heine Universität Düsseldorf den M.Sc. Public Health. Seit 2018 leitet sie die Arbeitsgruppe Bewegungsbezogene Präventionsforschung am Institut für Bewegungstherapie und bewegungsorientierte Prävention und Rehabilitation an der Sporthochschule.
» a.schaller@dshs-koeln.de

ClearMind

Die akuten psychologischen und neurophysiologischen Auswirkungen nach selbst- und fremdbestimmtem Laufen

Kann Sport helfen, den Kopf frei zu kriegen oder das Chaos im Kopf zu reduzieren, wie so oft propagiert wird? Bekannt ist, dass Sporttreiben sich positiv auf das Wohlbefinden und die Kognition auswirken kann. Zur psychologischen Erklärung wird häufig die Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 1985) herangezogen und die Bedeutung der Autonomie hervorgehoben (Ekkekakis, 2009). Doch was passiert im Gehirn? Welche neurophysiologischen Veränderungen liegen den positiven Effekten zugrunde und lässt sich eine Beeinflussung der Selbstbestimmung beim Sporttreiben in der Gehirnaktivität abbilden?



Text Leonard Brauns mann & Vera Abeln

Im Leichtathletikstadion der Deutschen Sporthochschule Köln liefen die Probandinnen und Probanden ihre Runden – einmal mit Zeitvorgabe und einmal ohne. Was dabei im Gehirn passiert ist, haben die Wissenschaftler*innen Dr. Vera Abeln und Leonard Brauns mann untersucht. Mithilfe sogenannter EEG-Kappen haben sie die Gehirnaktivität gemessen und die Unterschiede zwischen selbstbestimmtem und fremdbestimmtem Laufen verglichen.



Sporttreiben verbessert das Wohlbefinden und die Kognition

Sport und körperliche Aktivität können sich positiv auf das Wohlbefinden und die Kognition auswirken (Basso & Suzuki, 2017; Reed & Buck, 2009; Liao et al., 2015). Zur psychologischen Erklärung wird häufig die Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 1985) herangezogen. Demnach sollen die drei Grundbedürfnisse nach Autonomie, Kompetenz und Eingebundensein optimal befriedigt sein, um bestmögliche Leistungen für sich persönlich sowie im Austausch und Umgang mit der Umwelt zu erzielen (Deci & Ryan, 2015). Beim Sporttreiben scheint insbesondere das Autonomieerleben die Effekte zu

beeinflussen, vor allem im Bereich des Wohlbefindens (Vazou-Ekkekakis & Ekkekakis, 2009). Andererseits kann durch externe Kontrolle seitens der Umwelt eine ursprünglich vorhandene intrinsische Motivation unterminiert werden (Deci, 1971). Somit moderiert unter anderem der Grad der empfundenen Selbstbestimmung das Erleben von (mentaler) Gesundheit und Wohlbefinden. Da auch das Wohlbefinden einen großen Einfluss auf die Kognition hat (Niven, 2013) und sich beide Komponenten wechselseitig beeinflussen können (Kleinstäuber, 2013), untersucht die Sportwissenschaft in ihrer Interdisziplinarität unter anderem die Beziehung zwischen Sport, Wohlbefinden und Kognition (Tomprowski,

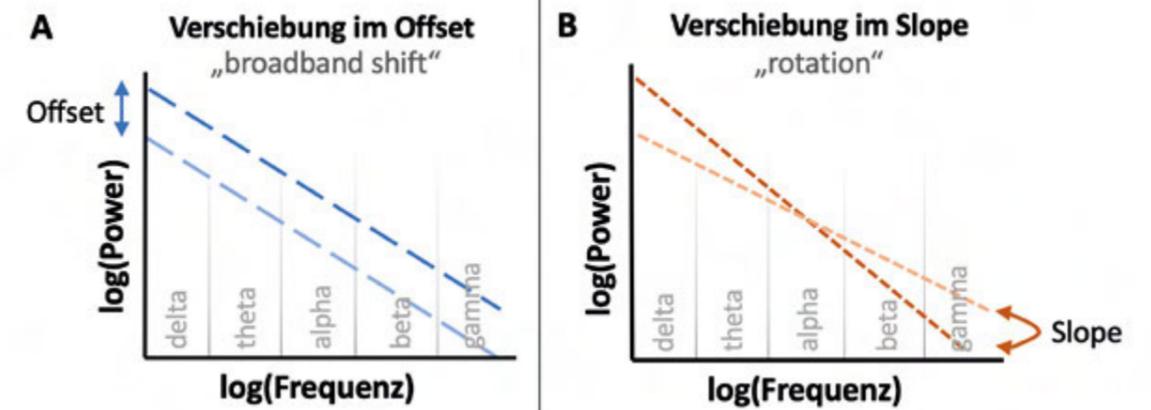


Abb. 1 Schematische Darstellung der nicht-oszillatorischen Aktivität im logarithmischen Powerspektrum (eigene Darstellung in Anlehnung an Donoghue et al., 2020).

A: Stimulusinduzierte Veränderungen im Offset äußern sich durch eine Verschiebung entlang der Y-Achse. B: Stimulusinduzierte Veränderungen im Slope äußern sich durch eine Rotation der Steigungsgeraden (vgl. Podvalny et al., 2015) und können einen Shift im Offset zur Folge haben (siehe Y-Achse).

2003; vgl. Reisenzein, 2006). Dabei sind auch neurophysiologische Faktoren Forschungsgegenstand, um die Interaktion besser verstehen zu lernen (Mandolesi et al., 2018).

Wie verändert sich die Gehirnaktivität nach dem Sporttreiben?

Die Auswirkungen des Sporttreibens auf die Gehirnaktivität lassen sich unter anderem mittels Elektroenzephalographie (EEG) untersuchen. Die damit gemessenen Gehirnströme weisen unter anderem regelmäßige Schwingungen bzw. Oszillationen auf. Diese sind beispielsweise anhand des Alpha-Frequenzbands, das sich durch langsame Schwingungen mit einer Frequenz von 8 bis 12 Hz kennzeichnet, seit mittlerweile rund einhundert Jahren Forschungsgegenstand (Berger, 1929). Bisherige sportwissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Alpha-Aktivität infolge des Sporttreibens erhöht und die Beta-Aktivität (12-30 Hz) reduzieren soll (Brümmer et al., 2011; Schneider, Askew et al., 2009; Vogt et al., 2010). Eine erhöhte Alpha-Aktivität und reduzierte Beta-Aktivität wird mit einer Reduktion bzw. mit einer erhöhten Synchronität der Gehirnaktivität oder auch Entspannung assoziiert (Klimesch, 1999; Niedermeyer, 1999). Bei der Betrachtung der bisherigen Studienlage fällt jedoch auf, dass die Ergebnisse in Bezug auf elektrokortikale Veränderungen stark variieren (Crabbe & Dishman, 2004; Gramkow et al., 2020). Grund hierfür könnte der Einfluss der aperiodischen Komponente der Gehirnaktivität sein.

Erstmals untersucht: Das „neuronale Rauschen“

Elektrokortikale Signale bestehen nicht nur aus rhythmischen, oszillatorischen Mustern, sondern enthalten auch arhythmische, aperiodische Signale (Haller et al., 2018; He, 2014). Die nicht-oszillatorische Gehirnaktivität wurde zunächst häufig als „Rauschen“ im Sinne eines Störsignals betrachtet und bei der Analyse herausgefiltert, entfernt und nicht weiter untersucht (Donoghue et al., 2020). Erst in den letzten Jahren wurde die funktionale Relevanz dieser aperiodischen Aktivität nachgewiesen (vgl. He, 2014; Voytek et al., 2015). Dabei können in einem Powerspektrum, welches die Verteilung der Signale pro Frequenzband visualisiert, zwei aperiodische Parameter unterschieden werden: Die Neigung (engl.: slope) gibt Auskunft über das Verhältnis der Frequenzen zueinander (Buzsáki & Draguhn, 2004; McSweeney et al., 2021) und der Achsenversatz (engl.: offset) beschreibt die Höhe neuronaler Aktivität frequenzbandunabhängig (Donoghue et al., 2020; Numan et al., 2021). Übergeordnet werden die beiden Parameter, Slope und Offset, mit der durchschnittlichen neuronalen Feuerrate bzw. mit kortikaler Aktivierung assoziiert (Manning et al., 2009; Miller et al., 2012), sodass eine Reduktion der aperiodischen Aktivität mit einer besseren neuronalen Kommunikation einhergehen soll (Voytek & Knight, 2015). Wie sich die aperiodischen Parameter im Zusammenhang mit sportlicher Betätigung verhalten, wurde nach bestem Wissen zuvor noch nicht untersucht.

Ziel der ClearMind – Laufstudie

Das Ziel der Studie war es, herauszufinden, wie sich das Wohlbefinden, die Kognition sowie die Gehirnaktivität nach dem selbstbestimmten Laufen im Unterschied zum fremdbestimmten Laufen verändern. Dabei sollte durch externe Vorgabe der Geschwindigkeit beim fremdbestimmten Laufen die Autonomie bzw. Selbstbestimmung beeinflusst werden.

Methode

Wer wurde untersucht?

An der Untersuchung nahmen 29 gesunde, junge und erfahrene Freizeitsportläufer*innen teil (15 männlich, 14 weiblich; Ø-Alter: 22 ± 2,5 Jahre; BMI: 22,9 ± 2,5 kg/m²). Alle Testpersonen waren seit mindestens einem halben Jahr zwei Mal pro Woche aus primär gesundheitlichen Gründen läuferisch aktiv.

Was wurde gemacht?

Im Frühjahr 2021 wurden zwei Laufinterventionen auf der 400-Meter-Tartanbahn der Deutschen Sporthochschule Köln durchgeführt. Bei der ersten Intervention sollten die Proband*innen mit einer von ihnen selbst gewählten Wohlfühlintensität in einem kontinuierlichen Tempo über einen Zeitraum von 30 Minuten laufen. Während der zweiten Laufintervention, vier Wochen später, wurde bei identischer Dauer von 30 Minuten die Laufgeschwindigkeit der Proband*innen fortlaufend von der Versuchsleitung kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass die jeweilige Versuchsperson bei beiden Interventionen mit gleicher Intensität lief, also in ihrer Wohlfühlgeschwindigkeit. Den Proband*innen war der tatsächliche Sinn und Zweck der Korrekturen seitens der Versuchsleitung nicht bekannt. Entsprechend der Selbstbestimmungstheorie sollte durch die fortlaufende Kontrolle und Korrektur der Laufgeschwindigkeit bei der zweiten Intervention das Autonomieerleben der Proband*innen beeinflusst werden, womit sich der Literatur zufolge Freude und Motivation verringern sollen (Ekkekakis, 2009; Vazou-Ekkekakis & Ekkekakis, 2009). Die jeweiligen Effekte auf das Wohlbefinden (Feeling Scale, Felt Arousal Scale, MoodMeter®) und die Kognition (d2-R, Zahlenspanne-Test) sowie die Auswirkungen auf die Gehirnaktivität (Slope, Offset) wurden untersucht.

Ergebnisse: Was passiert nach 30 Minuten selbst- vs. fremdbestimmtem Laufen?

Die Laufintervention

Wie beabsichtigt zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Laufinterventionen hinsichtlich Belastungsdauer, Geschwindigkeit, Herzfrequenz sowie Laktatkonzentrationen im venösen Blut (je $p > .05$), wodurch die Vergleichbarkeit gewähr-

leistet ist. Die Belastung wurde jedoch nach dem fremdbestimmten Laufen subjektiv höher wahrgenommen als nach dem selbstbestimmten Laufen ($z = 2.65$, $p = .008$): Die Werte auf der Borg-Skala von 13,4 (± 1,5) bei der ersten Intervention bzw. 14,5 (± 2,1) bei der zweiten Intervention deuten auf eine Belastung hin, die als „etwas anstrengend“ (= 13) bzw. „anstrengend“ (= 15) wahrgenommen wurde. Dieser Unterschied spiegelt sich in den Ergebnissen des Manipulationsfragebogens wider, in dem zwei Drittel der Proband*innen (66 % bzw. $n = 19$) angaben, die Intensität wäre bei der zweiten Intervention höher als beim ersten Termin gewesen, was – wie dargestellt – im Widerspruch zu den objektiven Laufparametern steht. Dabei wurden auch relevante Einflussfaktoren beachtet: Eine mögliche psychische Beeinträchtigung durch die COVID-19-Pandemie im Untersuchungszeitraum erscheint unwahrscheinlich, da die Angaben der Proband*innen auf eine generell niedrige Beeinträchtigung hindeuteten, die beim zweiten Termin noch einmal geringer war. Auch wenn die Außentemperatur bei der zweiten Intervention (20,9 ± 4,1 °C) signifikant höher war als beim ersten Termin (12,9 ± 4,0 °C; $t(28) = 7.24$, $p < .001$), kann der Einfluss auf die Belastungswahrnehmung auf Basis der Studienlage vernachlässigt werden (Sparks et al., 2005).

Vergleich der Laufdaten und Einflussfaktoren bei den Interventionen.

Die Veränderungen im Wohlbefinden

Nach beiden Läufen wurden in der Felt Arousal Scale akute Anstiege der Aktivierung festgestellt ($p < .001$). Diese fielen beide Male nahezu gleichstark aus, unabhängig davon, ob hinsichtlich der Laufgeschwindigkeit Vorgaben gemacht wurden oder nicht. Dagegen zeigte die affektive Valenz, die mit der Feeling Scale erfasst wurde, keine akuten Veränderungen nach den jeweiligen Läufen ($p > .05$). Auch im MoodMeter® wurden keine akuten Effekte nach den Läufen im psychischen und physischen Befinden festgestellt ($p > .05$). Dies kann daran gelegen haben, dass die Proband*innen ohnehin schon ein hohes Wohlbefinden äußerten, welches im Sinne eines Deckeneffekts (engl.: ceiling effect) kaum entscheidende Verbesserungen zuließ. Möglicherweise beeinflusste aber auch die zeitliche Verzögerung von ca. 11 Minuten nach dem Laufen das Antwortverhalten, da eine Studie zeigte, dass die Effekte auf das Wohlbefinden ausschließlich unmittelbar nach dem Sporttreiben nachzuweisen sind, aber bereits wenige Minuten danach nicht mehr (Schneider, Askew et al., 2009). Im motivationalen Befinden des MoodMeter® wiesen die akuten Veränderungen auf eine Verbesserung der Motivation nach dem selbstbestimmten Laufen hin, dessen statistische Signifikanz knapp verfehlt wurde ($p = .054$). Nach dem fremdbestimmten Laufen zeichnete sich eine solche



Die Nervenzellen in unserem Gehirn kommunizieren miteinander in regelmäßigen Schwingungen, auch Oszillationen genannt. Unser Gehirn sendet aber nicht nur rhythmische, sondern auch arrhythmische, aperiodische Signale. Dieses neuronale Rauschen wurde in der Studie erstmals untersucht.

Tab. 1 Vergleich der Laufdaten und Einflussfaktoren bei den Interventionen

	SL (Ø ± SD)	FL (Ø ± SD)	Vergleich SL - FL (p)
Belastungsdauer (min)	30:26 ± 00:48	30:20 ± 00:42	.558
Geschwindigkeit (km/h)	11,6 ± 1,4	11,6 ± 1,2	.870
Durchschnittliche Herzfrequenz (Schläge/min)	162,5 ± 10,3	163,4 ± 9,0	.357
% der maximalen Herzfrequenz	85 % ± 0.05 %	85 % ± 0.05 %	.355
Laktat prä (mmol/l)	1,2 ± 0,4	1,1 ± 0,3	.301
Laktat post1 (mmol/l)	2,6 ± 1,8	2,7 ± 1,3	.614
Laktat post10 (mmol/l)	1,5 ± 0,9	1,6 ± 0,7	.442
Borg-Skala	13,4 ± 1,5	14,5 ± 2,1	.008*
Temperatur (°C)	12,9 ± 4,0	20,9 ± 4,1	< .001*
Wetterbedingung (Anzahl der Messungen)	sonnig 4 wolkig 22 regnerisch 3	sonnig 16 wolkig 13 regnerisch 0	.457
Beeinflussung Corona (0-10)	4,0 ± 2,1	2,9 ± 1,6	.001*

SL = selbstbestimmtes Laufen; FL = fremdbestimmtes Laufen; Ø = Durchschnitt; SD = Standardabweichung; p = Signifikanzwert; min = Minute(n); km/h = Kilometer pro Stunde; mmol/l = Millimol pro Liter (Blut); °C = Grad Celsius; * = signifikant ($p < .05$).

Abb. 2
Affektive Reaktionen im Circumplexmodell (Ekkekakis & Petruzzello, 1999; Russell, 1980; eigene Darstellung).

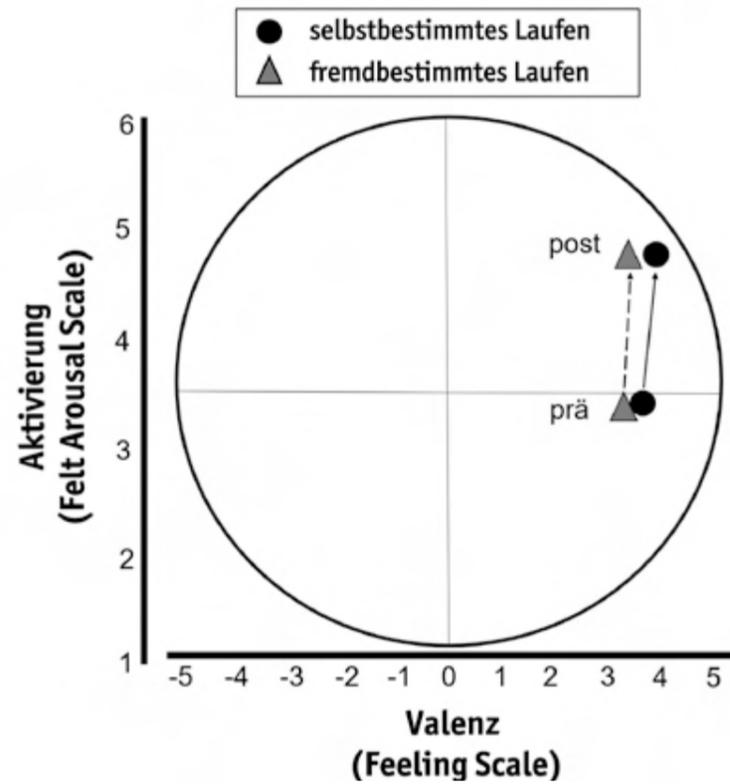


Abb. 3 Überblick über die Veränderungen im Zahlenspanne-Test.

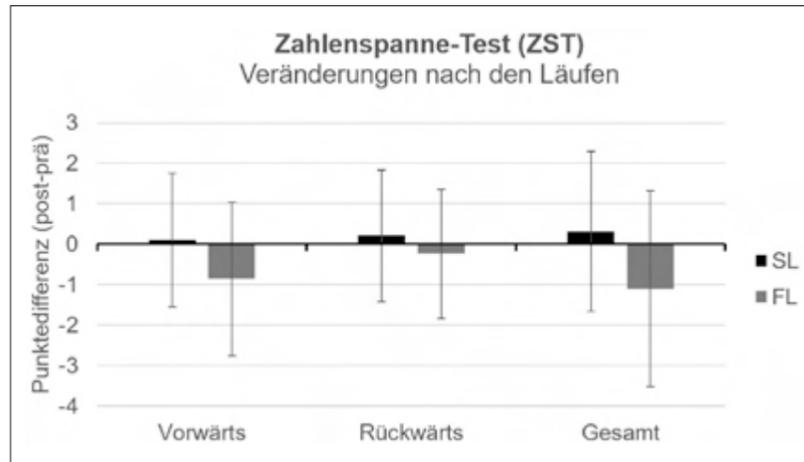
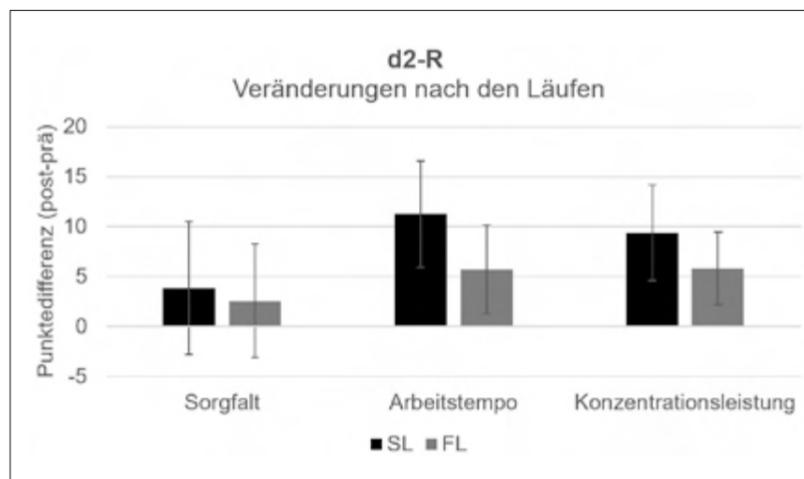


Abb. 4 Überblick über die Veränderungen im d2-R.



Dargestellt sind die Veränderungen nach dem selbstbestimmten Laufen (SL; schwarz) und nach dem fremdbestimmten Laufen (FL; grau). Dargestellt ist die jeweilige Punktedifferenz zwischen der post- und prä-Erhebung.

Tendenz hingegen nicht ab ($p = .306$). Hierbei wird möglicherweise im Rahmen der Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 1985b) ein Unterminierungseffekt deutlich, bei dem die intrinsische Motivation durch eine externe Einflussnahme ungünstig beeinflusst wird. Die erlebte Einflussnahme ist allerdings von bisherigen (Interaktions-) Erfahrungen sowie von den zeitlich relativ stabilen Einstellungen einer Person abhängig (Deci & Ryan, 2000; vgl. DeCharms, 1968). Dieser Erklärungsansatz kann durch die in der Sportwissenschaft untersuchte exercise preference hypothesis unterstützt werden, welche davon ausgeht, dass sportinduzierte Veränderungen des Wohlbefindens von individuellen Vorlieben, Gewöhnungseffekten sowie sportlicher Vorerfahrung abhängen (Brümmer et al., 2011; Schneider, Brümmer et al., 2009). Aufgrund ihrer Erfahrungen waren es die Sportler*innen bzw. Sportstudierenden dieser Studie vermutlich gewohnt, Anweisungen zu erhalten, wodurch sie diese möglicherweise nicht als Einschränkung ihrer Autonomie empfunden haben.

Die Veränderungen in der Kognition

Die Vorgaben beim fremdbestimmten Laufen hatten keine bzw. keine eindeutigen negativen Effekte auf die kognitive Leistungsfähigkeit zur Folge. Interessanterweise zeigten die Gesamtergebnisse im Zahlenspanne-Test ($p = .678$) sowie die dazugehörigen Teilergebnisse aus dem vorwärts durchgeführten Test ($p = .405$) zur Erfassung der auditiven Merkspanne keine akuten Verbesserungen nach dem selbstbestimmten Laufen, aber Verschlechterungen nach dem fremdbestimmten Laufen (je $p < .05$). Dabei muss berücksichtigt werden, dass vor dem fremdbestimmten Laufen bessere Ausgangswerte erzielt wurden als vor dem selbstbestimmten Laufen. Da

dies allerdings nicht auf methodische oder motivationale Aspekte zurückgeführt werden kann und auch ein Lerneffekt über einen Zeitraum von vier Wochen unwahrscheinlich erscheint, sollte die Möglichkeit eines negativen Einflusses der externen Vorgaben in Betracht gezogen werden. Bei den Ergebnissen aus dem Zahlenspanne-Test-rückwärts, der das Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis erfasst, gab es keine akuten Veränderungen nach den Läufen.

In Bezug auf die konzentrierte Aufmerksamkeit im d2-R erzielten die Proband*innen bei beiden Interventionen in allen untersuchten Dimensionen nach dem selbst- und dem fremdbestimmten Laufen akute Verbesserungen (je $p < .01$). Die generelle Verbesserung ist im Einklang mit der Literatur, wonach eine erhöhte kognitive Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeitsleistung unmittelbar im Anschluss an körperliche Aktivität festzustellen ist (Basso & Suzuki, 2017; Chang et al., 2012). Ein Erklärungsansatz dafür bietet die Hypothese einer sportinduzierten Erhöhung des Erregungszustandes (Arousal), die für die verbesserte kognitive Leistungsfähigkeit verantwortlich gemacht wird (Audiffren et al., 2008; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris & Hale, 2012). Die vorliegende Studie unterstützt diese Überlegung: Die Ergebnisse der Felt Arousal Scale bestätigen, dass die Aktivierung nach beiden Läufen erhöht war. Obwohl ein leichter Nachteil für das fremdbestimmte Laufen in der Leistung des d2-R zu erkennen ist, wurde keine signifikante Beeinflussung der externen Vorgaben auf die Kognition in diesem Test festgestellt.



Die Erkenntnisse der ClearMind-Studie liefern nicht nur weitere wichtige Anhaltspunkte zur Erklärung neurophysiologischer Mechanismen im Sport, sie sind auch für andere Bereiche relevant: Im Alter oder bei Erkrankungen nimmt das neuronale Rauschen zu. Welche therapeutischen Effekte hätte es, sich auf die Abnahme des Rauschens zu fokussieren?

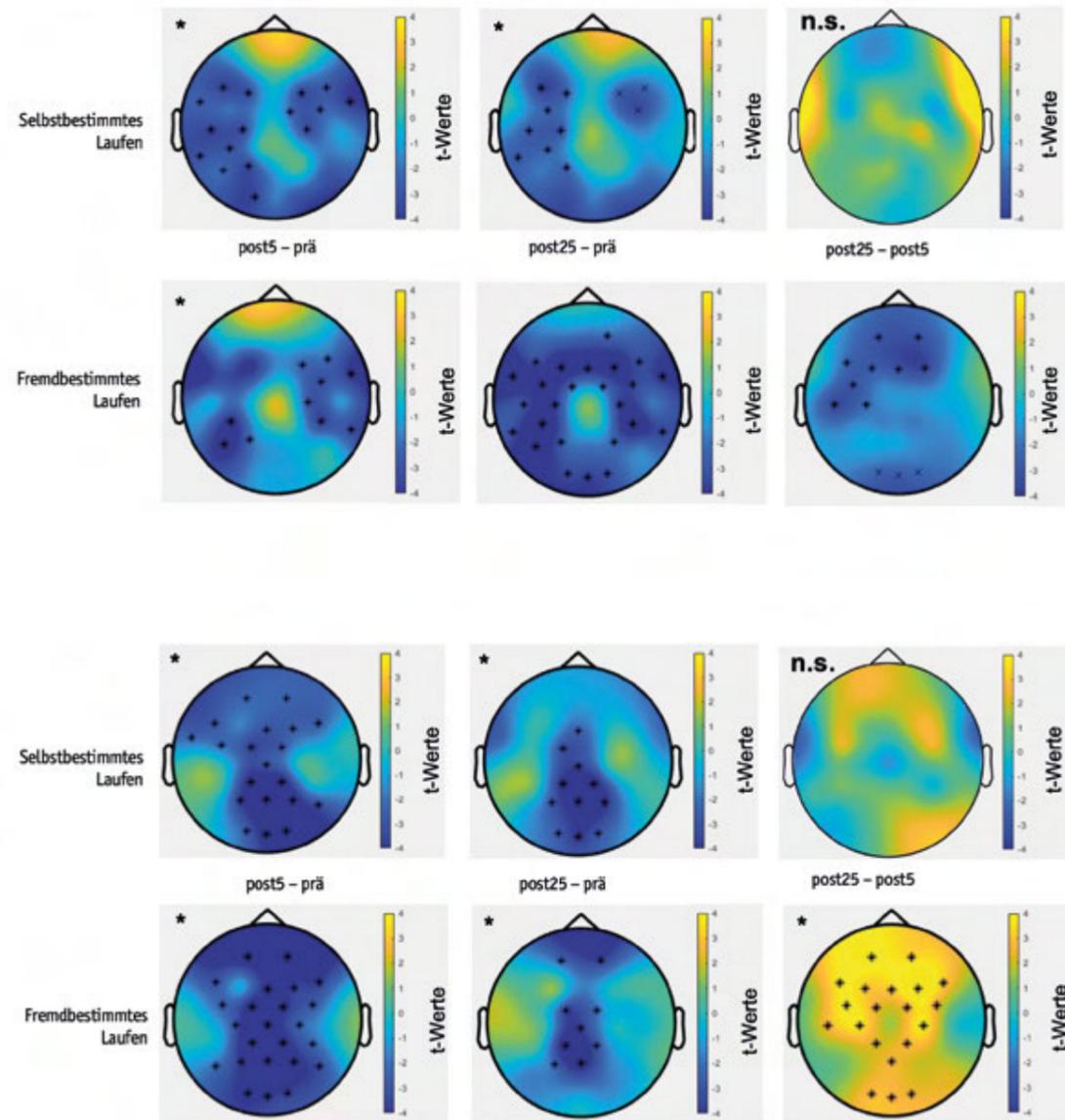


Abb. 5 Veränderung des aperiodischen Slopes.

Abb. 6 Veränderung des aperiodischen Offsets.

Der aperiodische Slope und Offset bei beiden Interventionen. Die Farben stellen die topographische Verteilung der t-Werte dar, die mittels clusterbasierter Permutationstests in Form von abhängigen t-Tests berechnet wurden. In einem Farbverlauf signalisiert die Farbe Blau stark negative t-Werte bis zur Farbe Gelb, die stark positive t-Werte darstellt. x = hochsignifikant ($p < .01$); * = signifikant ($p < .05$); n.s. = nicht signifikant.

Die Veränderungen der Gehirnaktivität

Der aperiodische Slope war bei beiden Interventionen fünf Minuten nach dem Laufen reduziert ($p < .001$). Basierend auf der Forschungslage (vgl. Pertermann et al., 2019) hießte das, dass nach den beiden Laufinterventionen ein geringeres „neuronales Rauschen“ zu beobachten war als vor dem Laufen. Darüber hinaus kann die Reduktion des Slopes dahingehend interpretiert werden, dass die Hemmung der neuronalen Aktivität größer war als die Erregung (Chini et al., 2021; Gao et al., 2017; Waschke et al., 2019). Bei der Untersuchung von Bewusstseinszuständen deutete ein reduzierter Slope auf ein reduziertes neuronales Erregungslevel hin (Lendner et al., 2020). Berücksichtigt man nun, dass sich die Proband*innen nach beiden Läufen aktiverer fühlten als jeweils vor den Läufen, kann spekuliert werden, ob ein reduziertes Erregungslevel auf neurophysiologischer Ebene mit einer erhöhten Aktivierung auf psychologischer Ebene einhergeht. Dies kann anhand der negativen Korrelation zwischen dem Slope und der Felt Arousal Scale untermauert werden (spearman's $\rho = 0,21$, $p = .002$), wonach ein reduzierter Slope mit einer höheren (psychischen) Aktivierung in Zusammenhang steht. Die hier festgestellte Reduktion des Slopes, einhergehend mit einer verbesserten neuronalen Kommunikation im Sinne eines reduzierten neuronalen Rauschens (Voytek & Knight, 2015), könnte zudem auf eine erhöhte kognitive Leistungsbereitschaft hinweisen. Dies bestätigt sich insofern, als zwischen dem Slope und der Sorgfalt beim d2-R eine schwach negative Korrelation festgestellt wurde (spearman's $\rho = -0,18$, $p = .006$). Demnach geht ein negativer Slope mit einer höheren Sorgfalt einher.

Der aperiodische Offset reduzierte sich ebenfalls nach dem Sporttreiben ($p < .01$). Da dieser aperiodische Parameter die kumulierte neuronale Feuerrate repräsentiert (Manning et al., 2009; Miller et al., 2007; Miller et al., 2009), ist die Reduktion nach den Läufen im Einklang mit den Befunden zum zuvor dargestellten Slope. Eine mit einer Offset-Reduktion einhergehende Deaktivierung der kortikalen Aktivität wurde auch in einer weltraumwissenschaftlichen Isolationsstudie nachgewiesen, bei der vermutet wurde, dass eine mehrmonatige, sensorische Deprivation zu diesem Effekt führte (Weber et al., 2020). An dieser Stelle lässt sich nur mutmaßen, dass hier das 30-minütige Laufen eine Reduktion der sensorischen Verarbeitung und somit der kortikalen Aktivität (reduzierter Offset) bewirkte. Da sich die Ausprägung und die zeitliche Stabilität der Effekte zwischen dem selbst- und fremdbestimmten Laufen teilweise unterscheiden, ist anzunehmen, dass die externen Vorgaben beim Laufen zu abweichenden neurophysiologischen Verarbeitungsprozessen führen.

Die sportinduzierten behavioralen Auswirkungen im Bereich der Motivation und Kognition könnten durch die generell reduzierte aperiodische Aktivität und der damit einhergehenden verbesserten neuronalen Kommunikation reflektiert sein und neurophysiologisch begründen, warum (selbstbestimmtes) Joggen „den Kopf frei macht“.

*Literatur bei den Autor*innen*

Das Forschungsprojekt wurde durch die hochschulinterne Forschungsförderung der Deutschen Sporthochschule Köln gefördert, Grant Agreement Nummer L-11-10011-239-152000.



Leonard Braunsmann

ist seit 2018 wissenschaftliche Hilfskraft und seit 2022 Mitarbeiter am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft. Bereits während seines Bachelor- und Masterstudiums an der Deutschen Sporthochschule Köln untersuchte er die Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf psychologischer und neurophysiologischer Ebene. Darüber hinaus beschäftigt er sich im Rahmen weltraumwissenschaftlicher Studien mit den psycho-physischen Auswirkungen von simulierter Schwerelosigkeit und körperlicher Inaktivität.

» l.braunsmann@dshs-koeln.de



Dr. Vera Abeln

untersucht seit 17 Jahren im Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft der Deutschen Sporthochschule Köln neurophysiologische Korrelate von gesteigerter bzw. reduzierter körperlicher Aktivität im Rahmen von Trainingsinterventionen, Bettruhe-, Isolations- und Weltraumstudien. Ihre Intention ist zu verstehen, wie sich Bewegung gezielt einsetzen lässt, um die psycho-physiologische Gesundheit, Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden unserer Gesellschaft zu bewahren und zu steigern.

» v.abeln@dshs-koeln.de



Organ-On-A-Chip-Verfahren

Mit Mini-Organen dem Doping auf der Spur

Das Organ-On-A-Chip-Verfahren könnte die Anti-Doping-Forschung nachhaltig verändern. Auf einen ungefähr kreditkartengroßen Träger werden 3D-Mini-Organen eingesetzt und mit Hilfe von Druck und Wärme in einem miniaturisierten Nährstoffkreislauf kultiviert, um eine dem menschlichen Organismus möglichst ähnliche Umgebung zu simulieren. Die Ausscheidungen dieser Organe könnten Forscher*innen helfen, neuartige (potentiell) leistungssteigernde Substanzen schneller nachweisen zu können. In einer Pilotstudie haben Forscher*innen der Deutschen Sporthochschule Köln das Verfahren erstmals im Bereich der Anti-Doping-Forschung mit anabolen Steroiden getestet: mit vielversprechenden Ergebnissen. Wenn Sportler*innen auf der Suche sind nach dem Hauch mehr an Leistung, scheint für manche der Griff zu Medikamenten eine logische Konsequenz. Medikamente können die Muskeln schneller wachsen lassen oder die Lunge besser belüften. Andere helfen dabei, das harte Training wegzustecken oder vor dem Wettkampf die Ruhe zu bewahren. Weil sie einen unerlaubten Vorteil verschaffen, sind diese Medikamente im Sport verboten. Viele solcher leistungssteigernden Substanzen sind bekannt. Sie sind sogar bis ins kleinste Detail analysiert. Forscher*innen wissen, wie sie im Körper verstoffwechselt werden und kennen ihre Abbauprodukte. Erst, wenn man einen Stoff so genau kennt, kann er standardmäßig in Urin oder in Blutproben nachgewiesen werden.

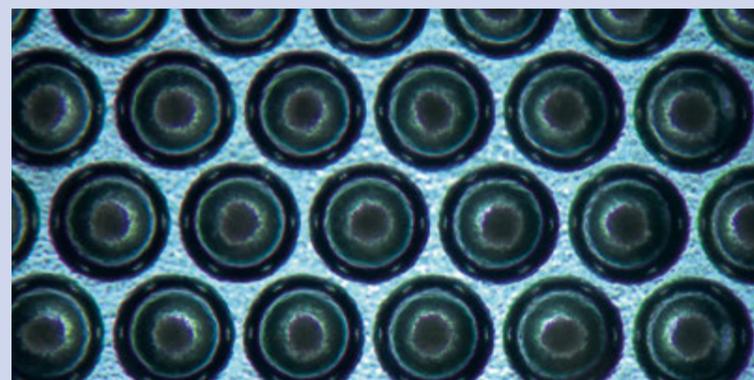
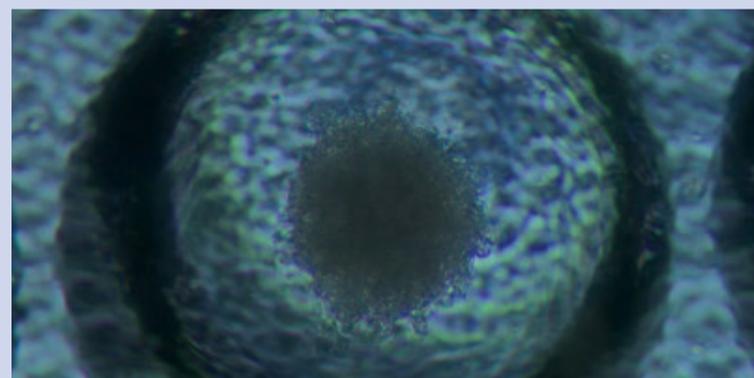
Schwierig wird es, wenn Athlet*innen den Analyselaboren einen Schritt voraus sind. Wenn sie zu Substanzen greifen, die bisher nicht auf dem Markt und nicht klinisch zugelassen sind, ist der Nachweis fast unmöglich. Es fehlen die nötigen Studien. Erst wenn konkrete Stoffwechselmarker bekannt sind, können die Substanzen mit den hochsensiblen Massenspektrometern im Analyselabor erkannt werden. „Es geht hier vor allen Dingen um Metabolismus-Forschung. Laufend beginnen klinische Studien zu

neuen Substanzen und Substanzklassen. Bereits in frühen Phasen dieser klinischen Studien finden sich zum Beispiel im Netz entsprechende Schwarzmarktprodukte dopingrelevanter Verbindungen. Zu diesen neuen Substanzen haben wir im Labor aber erstmal ganz wenige Informationen“, erläutert Dr. Christian Görgens, Chemiker am Institut für Biochemie und Projektmitarbeiter der Pilotstudie.

Die Helfer: Mini-Organen in der Analytik

An dieser Stelle kommt eine Technologie ins Spiel, die den Stoffwechsel des menschlichen Körpers simulieren kann: das sogenannte Organ-On-A-Chip-Verfahren. Auf einen ungefähr kreditkartengroßen Träger, den Chip, werden 3D-Mini-Organen eingesetzt und mit Hilfe von Druck und Wärme in einem miniaturisierten Nährstoffkreislauf kultiviert, um eine dem menschlichen Organismus möglichst ähnliche Umgebung zu schaffen. Ob eine Mini-Leber, -Niere, -Haut, -Bauchspeicheldrüse oder sogar ein Mini-Herz: In die Chips können verschiedenste Zellkulturen eingesetzt werden. Sogar die Kombination mehrerer Mini-Organen auf einem Chip ist möglich. Wenn man Mini-Leber und Mini-Niere kombiniert – zwei zentrale Organe für den Abbau von Medikamenten – dann sondert die Mini-Niere sogar eine urinähnliche Flüssigkeit ab, die im Dopingkontrolllabor analysiert werden könnte.

Ganz so weit ist die Technologie im Bereich der Dopinganalytik allerdings noch nicht. Bisher kommt die Organ-On-A-Chip-Technologie im Pharmabereich oder in der Forschung zur Lebensmittelsicherheit zum Einsatz. Ihr Prinzip scheint jedoch vielversprechend für die Dopinganalytik. Ob sich das Verfahren auch für den komplexen Nachweis geringster Mengen an potentiell leistungssteigernden Substanzen eignet, haben Wissenschaftler*innen des Instituts für Biochemie an der Deutschen Sporthochschule in einem interdisziplinären Pilotprojekt zusammen mit dem Berliner Chip-Hersteller „TissUse“ untersucht.



Auf dem oberen Bild ist die Mikroskopaufnahme eines einzelnen Sphäroids zu sehen. Das untere Bild zeigt die Mikroskopaufnahme mehrerer Sphäroide.

Sollte es sich eignen, müssten die Mini-Organen ähnliche Stoffwechselprodukte produzieren, wie der menschliche Körper.

Das Ziel: Neue Substanzen schneller nachweisen können

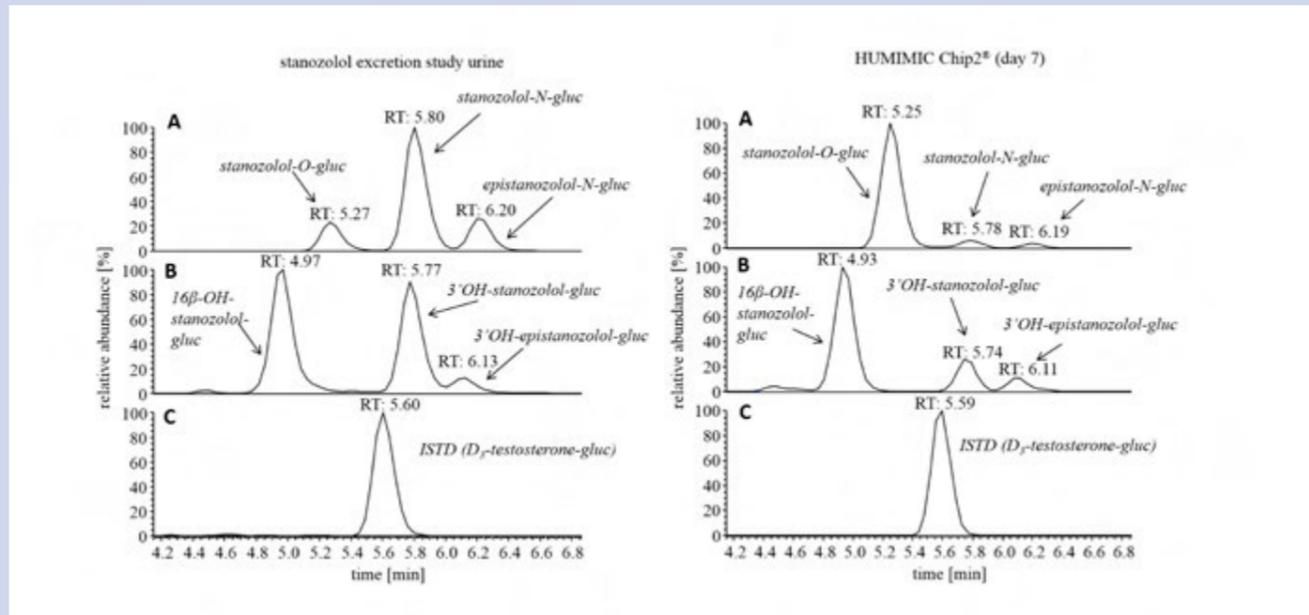
Ziel des Pilotprojektes war es also, die Ausscheidungen der Mini-Organen auf dem Chip mit denen eines Menschen zu vergleichen. Dafür wurden die Mini-Organen – erstmals überhaupt – mit anabolen Steroiden „gedopt“. Weil es zum Zeitpunkt der Pilotstudie noch keine eigene Zellkultur und kein Organ-On-A-Chip-System an der Sporthochschule gab, bekamen die Kölner Forscher*innen Unterstützung aus Berlin. Mitarbeitende der Firma „TissUse“ züchteten für das Experiment sogenannte Leber-Sphäroide. Das sind Mini-Leber-Organen, einhunderttausendfach kleiner als eine echte Leber, jedes Einzelne bestehend aus circa 3.000 Zellen. 316 dieser Mini-Organen, auch Organoide bezeichnet, wurden über 14 Tage mit dem Organ-On-A-Chip-Verfahren versorgt. Das bedeutet, sie wurden auf 37 Grad erwärmt, mit Schläuchen an ein Pumpsystem angeschlossen und zu bestimmten Zeiten wurde eine Nährstofflösung zugegeben. „Zwei Faktoren machen das System besonders: einmal die 3D-Organstruktur, die aus parenchymalen und nonparenchymalen Zellen hergestellt wird. Das ist einmal eine Leberzelllinie, die die Funktion des Organs simuliert, und hepatische

Sternzellen, die die Regeneration und Stabilisierung des Organoids unterstützen. Besonders ist auch, dass durch die Kreisläufe, in denen immer gepumpt wird und ein bestimmter Sauerstoffaustausch herrscht, eine eher physiologische Situation entsteht, die dem Blutkreislauf im Körper ähnelt“, erläutert Projektmitarbeiterin und Biologin Dr. Nana Naumann. „Das bedeutet auch, dass ein gewisser Stress für die Zellen entsteht, wenn sie diesem Druck ausgesetzt sind. Das ist physiologischer als eine statische Kultur, die sich in einer Schicht auf die Wand oder auf den Boden des Gefäßes setzt“, ergänzt ihr Kollege Dr. Christian Görgens.

Am dritten, fünften und siebten Tag des Experiments wurden die Organoide einer Nährstofflösung ausgesetzt, der eine geringe Menge des dopingrelevanten anabolen Steroids Stanozolol oder des anabolen Steroids Oral-Turinabol beigemischt war. Beides sind Medikamente, die unter anderem Muskeln schneller wachsen lassen und deshalb im Sport verboten sind. „Stanozolol ist die am häufigsten missbrauchte Substanz im Sport. Wir haben sehr viele Studien mit Stanozolol durchgeführt, uns liegen viele positive Athleten-Urine und viele Daten zu Stoffwechselwegen vor. Deshalb haben wir uns in der Pilotstudie für diese Substanz entschieden“, so Görgens. Eine, drei und sechs Stunden nach der Applikation der Dopingsubstanz und zu mehreren Zeitpunkten im Verlauf des Experiments wurden die Ausscheidungen der Organoide aus dem Organ-On-A-Chip-System entnommen und zur weiteren Analyse nach Köln geschickt. Im Kölner Labor erfolgte die Analyse auf dopingrelevante Marker. Dr. Christian Görgens und seine Kolleg*innen untersuchten die Proben mit ihren Massenspektrometern, die auch standardmäßig in der Dopinganalytik eingesetzt werden, um Substanzen im Urin oder Blut nachzuweisen. Mit Hilfe geeigneter Extraktionsverfahren können die hochpräzisen Geräte selbst kleinste Bestandteile sichtbar machen.

Das Ergebnis: ähnliche Ausscheidungen wie beim Humanmodell

Das überraschende Ergebnis: Das Chip-Experiment zeigte bei beiden Substanzen ein qualitativ ähnliches



Extrahierte Ionenchromatogramme des Urins einer menschlichen Stanozolol-Verabreichungsstudie und das Stoffwechselergebnis des HUMIMIC Chip2®.

metabolisches Profil wie im Urin von Menschen. In den Ausscheidungen der Mini-Organen konnten die beiden anabolen Steroide mit den identischen Stoffwechselmarkern, auch Metaboliten genannt, nachgewiesen werden. „Typischerweise gibt es immer ein spezifisches Metaboliten-Muster, wenn Stanozolol verabreicht wurde. Dieses Muster kennen wir aus Urinproben. Wir konnten zeigen, dass die Zellen auf dem Chip genau diese bekannten Metaboliten produzieren. Jeder Peak in der Grafik (Anm. der Redaktion, siehe Grafik) steht für einen Metaboliten. Man sieht, dass die Zellen auf dem Chip genau diese Metaboliten machen. Zwar in einem etwas anderen Verhältnis, aber im Prinzip finden wir alles, was wir im Urin finden, auch in den Chips. Damit hatte ich ehrlich gesagt gar nicht gerechnet, weil anabole Steroide sehr intensiv verstoffwechselt werden“, erläutert Görgens.

Für die Doping-Analytik könnten die Ergebnisse der Pilotstudie einen Fortschritt bedeuten. Bestätigt sich auch in weiteren Studien, dass die Ausscheidungen der Mini-Organen denen von Proband*innen gleichen, könnte das Verfahren bisherige In vitro-Untersuchungen (Untersuchungen außerhalb eines lebenden Organismus), Tierversuche und langfristig sogar Studien am Menschen ersetzen. Weil sich Alternativen oft nicht gut auf den Menschen übertragen lassen, müssen Studien zu neuen Medikamenten bisher schon früh am Menschen durchgeführt werden – mit den damit verbundenen gesundheitlichen Risiken.

Die vielversprechenden Ergebnisse der Pilotstudie haben die Forschenden des Instituts für Bioche-

mie mittlerweile dazu veranlasst, sich ein eigenes Organ-On-A-Chip-System anzuschaffen. Das Kölner Institut ist das erste von der Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA) akkreditierte Anti-Doping-Labor, in dem ein solches System genutzt wird. Im vierten Stock des naturwissenschaftlich-medizinischen Institutsgebäudes der Sporthochschule arbeitet vor allem Biologin Dr. Nana Naumann mit dem neuen Verfahren. Sie setzt mittlerweile auch am Kölner Institut eigene Zellkulturen und Mini-Organen an. Zusätzlich zu den beiden getesteten anabolen Steroiden sollen auch weitere dopingrelevante Substanzen untersucht und verglichen werden. Das Ziel der Forscher*innen ist es, bald auch komplexere Organ-On-A-Chip-Modelle am Institut einzusetzen, die dem Stoffwechsel des Menschen noch ein Stück näherkommen. Denkbar wäre ein kombiniertes Haut-Leber- oder ein Leber-Niere-Modell. Den Urin der Mini-Niere können die Wissenschaftler*innen des Instituts dann vermutlich noch besser für ihre Analysen nutzen, um so den Stoffwechselprodukten neuer Substanzen schneller auf die Spur zu kommen.

Text: Marilena Werth



#LEISTUNGLEBEN

**DER WEG AN
DIE WELTSPITZE
FÜHRT NICHT
ÜBER DEN
ROTEN TEPPICH.**

Danke an alle,
die helfen!



© World Vision



Nothilfe Ukraine: **jetzt spenden!**

Es herrscht Krieg mitten in Europa. Millionen Kinder, Frauen und Männer bangen um ihr Leben und ihre Zukunft.

Aktion Deutschland Hilft leistet den Menschen Nothilfe. Gemeinsam, schnell und koordiniert. **Helfen Sie jetzt – mit Ihrer Spende.**



Spendenkonto: DE62 3702 0500 0000 1020 30

Spenden unter: www.Aktion-Deutschland-Hilft.de



Hilfe zur Selbsthilfe



Malteser
...weil Mitleid zählt.



World Vision
ZUKUNFT FÜR KINDER



**Aktion
Deutschland Hilft**

Bündnis deutscher Hilfsorganisationen