

Empfehlungen für den Einsatz von Wearables / IMUs in der sportwissenschaftlichen Forschung

Stellungnahme der dvs-Sektionen Biomechanik & „Sportinformatik und Sporttechnologie“ vom März 2026

Problemformulierung

Viele Wearables sind mit Inertialsensoreinheiten (IMUs) ausgestattet, die die Aufzeichnung kinematischer und dynamischer Daten mit unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen (Aufnahmefrequenzen) und Messbereichen ermöglichen und schnell zur Verfügung zu stellen. Aufgrund ihrer geringen Größe und leichten Bauweise lassen sie sich flexibel in vielfältigen Anwendungsfeldern einsetzen und bieten damit eine attraktive Alternative zu bewährten, aber in der Anwendung deutlich aufwändigeren optischen 3D-Bewegungsanalysesystemen. Der zunehmende Einsatz lässt sich gut anhand einschlägiger Veröffentlichungen und deren Quantität belegen, welche laut einer PubMed-Recherche von 0 einschlägigen Quellen im Jahr 2010 auf mehr als 150 im Jahr 2024 gestiegen ist.

Damit sichergestellt ist, dass die mit derartigen Systemen gemessenen und errechneten Messwerte valide und interpretierbar sind, ist eine fundierte Kenntnis und Anwendung der Technologie erforderlich. Die mit IMUs erhaltenen Messergebnisse müssen stets im Kontext der Anwendung und der verwendeten Sensorik betrachtet werden. IMUs werden in der Regel eingesetzt, um Daten zu erhalten, die nicht direkt durch die verbauten Sensoren (Gyroskope, Beschleunigungsmesser sowie ggf. ergänzend Magnetometer) gemessen werden. Positionen, Geschwindigkeiten und Orientierungen im Raum (Winkel) können nur durch eine Integration der direkt gemessenen Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten erhalten werden. Bei dieser Integration werden aber kleine Messungenauigkeiten (z. B. eine nicht zu 100 % korrekte Berücksichtigung und Verrechnung der Erdbeschleunigung) aufsummiert, was zu sogenanntem Sensordrift führt und die Messergebnisse ungenau macht. Dieser Drift kann durch eine geschickte, und der Anwendung angepasste, Sensorfusion und dem Benutzen von biomechanischen Bedingungen reduziert werden. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die einzelnen Sensortypen einer IMU können zum Teil Messungenauigkeiten aufweisen. Diese lassen sich durch Sensorfusion und Datennachbearbeitung korrigieren, sofern geeignete komplementäre Informationen (wie bspw. die globale Position oder Geschwindigkeit) verfügbar sind.
- Messwerte können durch Umwelteinflüsse (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit, Vibrationen, Schocks, lokale Magnetfelder) und die Dynamik der Sensorbewegung beeinflusst werden.
- Die Sensorfusion, verwendete biomechanische Bedingungen und Parameterberechnungen müssen exakt an die Anwendung angepasst sein. Ein fürs Laufen entwickelter Algorithmus funktioniert z. B. nicht für Sprints.
- Am Markt ist eine Vielzahl von Messsensoren und -systemen mit unterschiedlicher Qualität verfügbar, die dem Nutzer die Auswahl geeigneter Systeme erschweren.
- Unterschiedliche Fusionsalgorithmen, die von verschiedenen Herstellern verwendet werden, können selbst bei identischem Sensorinput zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.
- Bei kommerziell verfügbaren Komplettsystemen sind die verwendeten Algorithmen häufig nicht offengelegt. Diese müssen daher vor der Verwendung unbedingt wissenschaftlich validiert werden.

Mit einer im Namen der dvs zu erarbeitenden **Guideline für die Sportwissenschaft zum validierten Einsatz von Inertialmesstechnik** sollen die Anwender:innen dieser Technologie unterstützt werden, das Messmittel „IMU“ geeignet zu verwenden und valide, d. h. qualitativ hinreichende Ergebnisse für Publikationen zu erhalten. Hierzu ist für eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen die Festlegung geeigneter Validierungsprozeduren (Bewegungsmuster, Referenzmesssysteme) erforderlich.

Insbesondere muss folgenden Aspekten besondere Beachtung bei der Durchführung, Auswertung und Publikation von empirischen Studien mittels IMUs geschenkt werden:

- 1) Es ist von grundlegender Bedeutung, im ersten Schritt die präzise Messaufgabe sowie das angestrebte Erkenntnisziel eindeutig zu definieren, um die Zweckmäßigkeit der Messung, die Auswahl der richtigen Messmittel bzw. Sensoren und die Ableitung belastbarer Ergebnisse sicherzustellen.
- 2) Die Messfrequenz muss geeignet hoch sein, um die höchste zu erwartende Frequenz des Signals zu erfassen. Daher ist eine entsprechende Berücksichtigung des Nyquist-Sampling-Theorems unter Zuhilfenahme geeigneter Filter unerlässlich.
- 3) Messbereich und Auflösung der Sensoren müssen ausreichend groß gewählt werden, um einerseits die zu erwartenden Maximalwerte zu erfassen und andererseits relevante Unterschiede detektieren zu können (hinreichende Auflösung).
- 4) Idealerweise sollten die Sensorrohdaten verfügbar sein. Hierbei ist festzustellen, ob es sich um unkalibrierte oder kalibrierte Sensorrohdaten handelt (z. B. inkl. oder exkl. Temperaturfehlerkompensation). Es sollte bekannt sein, wie sich die Sensorfehler und die Gesamtergebnisfehler über Änderung der Temperatur oder in Abhängigkeit der Bewegung ändern.
- 5) Das Filtern der Daten hat erheblichen Einfluss auf die Messdaten. Filteralgorithmen und -spezifikationen müssen offengelegt werden.
- 6) Die internen Sensorachsen müssen auf die anatomischen oder funktionellen Achsen der gemessenen Segmente ausgerichtet werden. Das Vorgehen, z. B. manuell durch bestimmtes und sorgfältiges Anbringen der Sensoren oder in einem separaten Kalibrationsschritt (anatomische oder funktionelle Kalibration), muss nachvollziehbar dokumentiert werden.
- 7) Der verwendete Sensorfusionsalgorithmus muss geeignet und bekannt sein. Die Randbedingungen des Algorithmus müssen klar definiert sein, damit beurteilt werden kann, ob das System im Rahmen der Spezifikation betrieben wird. Es ist zu überprüfen, ob der Algorithmus überhaupt für die Messaufgabe geeignet ist und ggfs. Anpassungen vorgenommen werden müssen, bevor die Messaufgabe bearbeitet werden kann. Hierzu ist eine hinreichende Sensibilisierung der Anwender:innen erforderlich.
- 8) Bei der zeitgleichen Verwendung mehrerer IMUs oder anderer Sensoren muss besonderer Wert auf eine hinreichend exakte Synchronisierung bzw. Zeitstempelung der Messwerte (je nach Anwendung im Milli- oder Mikrosekundenbereich) gelegt werden.
- 9) Wir empfehlen nachdrücklich, mit Ingenieur:innen und/oder Datenanalyt:innen aus wissenschaftlichen Disziplinen zusammenzuarbeiten, die über zentrale Kompetenzen in der Verarbeitung und Analyse von IMU-Sensordaten verfügen, oder validierte Werkzeuge und Algorithmen aus etablierten Forschungsbereichen wie der Luft- und Raumfahrt oder der Flugmesstechnik zu nutzen.

Unterzeichner:innen (alphabetisch)

Stefan Arenz, IAT Leipzig
Dr. Leon Brudy, Garmin Health & B2B Sales EMEA
Dr. Kristof De Mey, Universität Gent
Prof. Dr. Peter Düking, TU Braunschweig
Dr. Benedikt Fasel, Archinisis GmbH
Dr. Christina Fercher, Olympiastützpunkt NRW/Westfalen im Landessportbund NRW e.V.
Dr. Marco Giurgiu, Karlsruher Institut für Technologie
Dr. Clint Hansen, Universität Kiel
Prof. Dr. Dr. Karsten Hollander, MSH Medical School Hamburg
Prof. Dr. Thomas Jaitner, TU Dortmund
Prof. Dr. Daniel Link, TU München
Prof. Dr. Stefan Litzenberger, FH Technikum Wien
Thorben Menrad, Otto von Guericke Universität Magdeburg
Jasmin Schild, iMAR Navigation GmbH
Dr. Marcus Schmidt, TU Dortmund
Prof. Dr. Moritz Schumann, TU Chemnitz
Prof. Dr. emer. Veit Senner
Daniel Sporer, Eberhard Karls Universität Tübingen
Prof. Dr. Edgar von Hinüber, iMAR Navigation GmbH
Prof. Dr. Jörg Wagner, Universität Stuttgart
Prof. Dr. Veit Wank, Eberhard Karls Universität Tübingen
Prof.in Dr. Kerstin Witte, Otto von Guericke Universität Magdeburg