

8.4 | TRAININGSWISSENSCHAFTLICHE LEISTUNGSDIAGNOSTIK

Auf fortgeschrittenem Leistungsniveau bzw. bei Kaderathleten mit internationaler Perspektive genügen einfache Tests allein nicht mehr für eine angemessene Leistungs- und Trainingssteuerung. Vielmehr muss die Trainings- und Wettkampf-Diagnostik präziser und zuverlässiger werden. Im Zuge der Professionalisierung des Leistungssports wurde daher in den vergangenen Jahrzehnten durch Anstellung von Leistungs-Diagnostikern bzw. Trainingswissenschaftlern die Trainingssteuerung professionalisiert und verwissenschaftlicht. Die Trainingswissenschaftler wurden hauptamtlich bei den Fachverbänden, den Olympiastützpunkten und am Institut für angewandte Trainingswissenschaft eingestellt. Im westlichen Teil Deutschlands werden Trainingswissenschaftler seit Gründung der Olympiastützpunkte (OSP) 1986 systematisch zur Unterstützung des Leistungssports eingesetzt, im östlichen Teil Deutschlands (DDR) schon in den Sechziger Jahren. Zur Entwicklung der Leistungsdiagnostik in Deutschland siehe Wank (2021) und Killing (2019)..

Die Para Leichtathletik verfügt aktuell (2023) über einen eigenen, beim DBS angestellten Trainingswissenschaftler. Zusätzlich sind am paralympischen Zentrum in Cottbus und beim IAT Leipzig zwei weitere Trainingswissenschaftlerinnen mit dem Arbeitsschwerpunkt Para Leichtathletik beschäftigt, zusätzliche Stellen sind geplant. Darüber hinaus kann die Para Leichtathletik auf weitere Trainingswissenschaftler der Olympiastützpunkte und des IAT zurückgreifen.

Die wissenschaftliche Unterstützung des Leistungssports wurde auf unterschiedliche Felder ausgedehnt bzw. differenziert: Der Bereich Trainingswissenschaft wird in Biomechanik, Kraftdiagnostik und Leistungsphysiologie mit je eigener Expertise unterteilt. Darüber hinaus werden Ärzte verschiedener Fachrichtungen, Psychologen und Ernährungsberater zur Optimierung der sportlichen Leistung beschäftigt. Für die Para Leichtathletik kommen teils wissenschaftlich ausgebildete Physiotherapeuten, orthopädische Schuhmacher (Schäfte), Orthopädiemechaniker (Prothesen) und Orthopädietechniker (Roll-/Wurfstühle) hinzu, so dass sich auch die Auswertung in unterschiedliche Diagnostikbereiche auffächert (Abb. 8.7). Diese verschiedenen Expertisen müssen anschließend gebündelt werden, damit sie in die Trainingssteuerung durch den Trainer einfließen können.

Tab. 8.11 Entwicklung von Kugelstoßleistung, Körpergewicht und ausgewählten Trainingsparametern von Niko Kappel

Alter	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Stoßweite in m (4 kg)	10,54	12,85	13,57	13,81	14,02	14,11	14,30	13,83	14,99
Körpergewicht (kg)		65	66	67	68	69	69	71	68
Reiß-Kniebeuge (kg)		80	110	130	150				
Tief-Kniebeuge (kg)						240	250	260	260
Bankdrücken (kg)	100	130	140	160	150	160	170	160	160
Reißen (kg)				65	73				
Sprungkraft vertikal (cm)					36,6*	41,8	42,7	43,9	45,8
* Sprunghöhe gemessen mit Kistler-Messplatte, im ersten Jahr ohne, danach mit Armeinsatz									

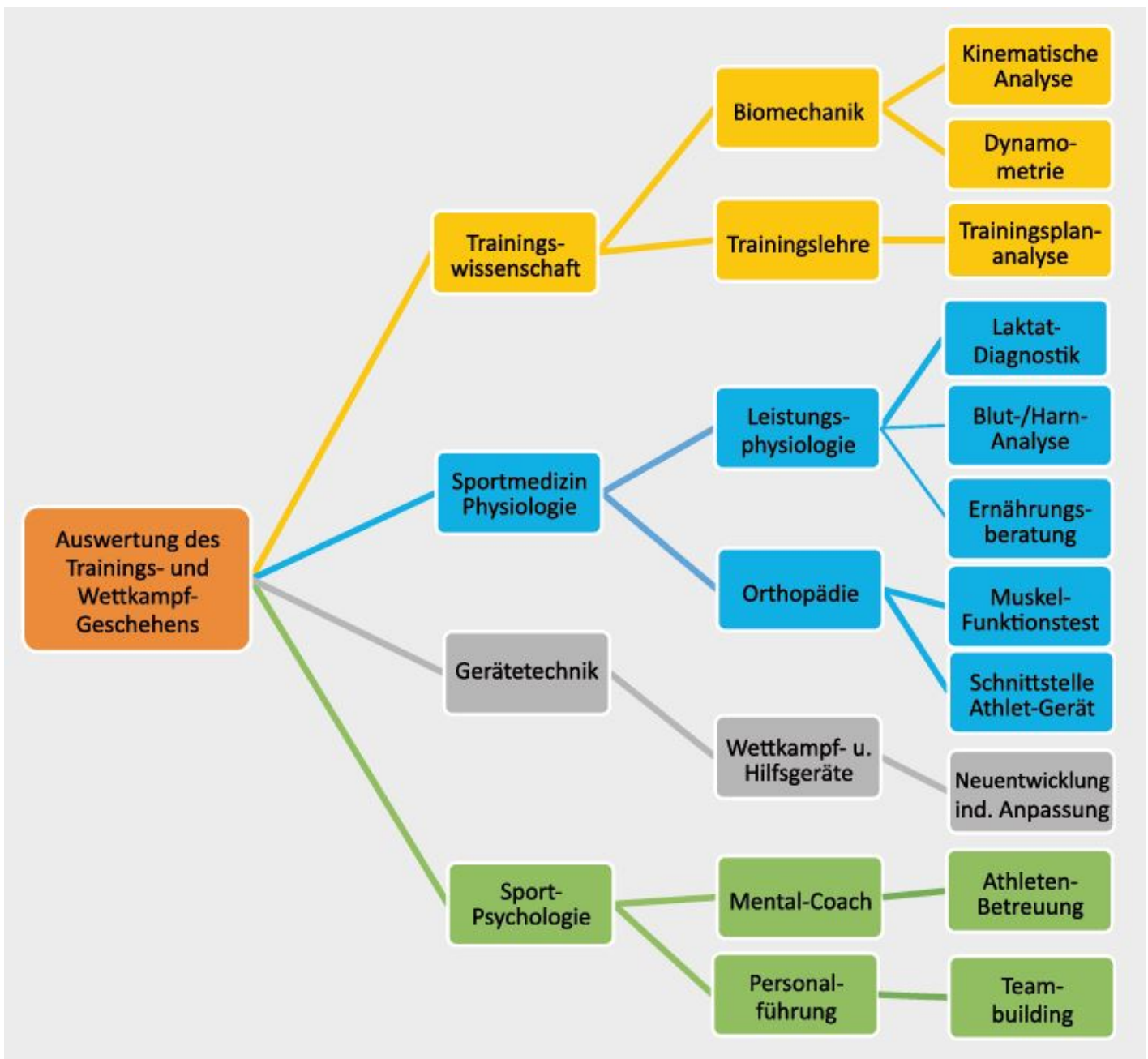


Abb. 8.7 Ausdifferenzierung der Diagnostik in unterschiedliche wissenschaftliche Sektionen

8.4.1 Zur Zusammenarbeit von Trainern und Trainingswissenschaftlern

Die betreuenden Trainingswissenschaftler sollen mit ihrer Arbeit bzw. ihren Untersuchungen die Trainer bei der Analyse und Steuerung des Trainings unterstützen. Denn nur die Trainer verfügen über ein komplexes Wissen zur Entwicklung der sportlichen Leistung:

- Langjährige Zusammenarbeit mit aktuellen und früheren Athleten

- Erfahrungen im Handlungsfeld Para Leistungssport (Kap. 2)
- Besonderheiten einzelner Behinderungsklassen, Klassifizierung (Kap. 3)
- Funktionsweise der Wettkampfgeräte in einzelnen Startklassen (Kap. 3)
- Ziele und Etappen des langfristigen Trainingsaufbaus (Kap. 4)
- Hauptwettkampftechniken in den einzelnen Startklassen (Kap. 5)
- Geeignete Lernmethoden und wichtige Trainingsinhalte (Kap. 5)
- Besonderheiten des motorischen Lernens in einzelnen Startklassen (Kap. 5)
- Methoden und Inhalte zur Ausprägung konditioneller Fähigkeiten (Kap. 6)
- Periodisierungsschemata zur Leistungsentwicklung (Kap. 7)
- Analyse des aktuellen und perspektivischen Weltstandes in einzelnen Startklassen
- Beobachtung der Material- und Sportgeräteentwicklung im internationalen Bereich

Aus diesem Wissen heraus formulieren die Trainer Frage- bzw. Aufgabenstellungen für den Einsatz der Trainingswissenschaftler. Auch die Trainingswissenschaftler (und andere Experten) können über ihre akademische Ausbildung, ihre Messtechnik, ihr entsprechendes Know-how und ihre Erfahrung eigene Zugänge zur Leistungsanalyse einbringen. Um diese Kompetenzen zusammenzuführen, müssen Trainer und Leistungsdiagnostiker frühzeitig in einen Dialog miteinander treten, um sich auf bestimmte Fragestellungen bzw. Untersuchungsbereiche zu verständigen.

8.4.2 Berücksichtigung von Startklassen und besonderen Wettkampfgeräten

Die Ergebnisse von Wettkampf- und Trainingsdiagnostik gilt es in der Para Leichtathletik immer vor dem Hintergrund der individuellen Beeinträchtigung und in Verbindung mit den Wettkampfgeräten zu bedenken:

- Art und Ausmaß der Behinderung können nicht nur die Zielleistung mindern, sondern auch bei Testübungen zu Einbußen führen. Dies gilt es grundsätzlich bei der Gestaltung der Leistungsdiagnostik zu berücksichtigen, beispielsweise durch eine methodische Anpassung der standardisierten Messverfahren oder Verlängerung der Pausenzeiten.
- Sind die Athleten bei der Durchführung der Wettkampfdisziplin auf bestimmte Geräte (Prothese, Rollstuhl, Starthilfe) angewiesen, ist zu beachten, dass nicht die verwendeten Geräte „trainiert“ werden können, sondern ihre Ansteuerung durch den Athleten. Dies ist zunächst eine Frage der Technik und Koordination, dann aber auch der Kräftigung der benachbarten bzw. ausführenden Muskulatur.
- Die Wettkampfgeräte bleiben bestenfalls über eine bestimmte Zeit in ihrer Funktion gleich. Geht die Belastbarkeit der Wettkampfgeräte verloren, müssen sie ersetzt werden, nicht zuletzt, um Unfälle zu vermeiden.

- Zudem muss bei steigender technischer und konditioneller Entwicklung der Athleten geprüft werden, ob das einzelne Gerät, z. B. die Beinprothese noch optimal ist oder ob ein neues, leistungsfähigeres bzw. modifiziertes Gerät besser geeignet ist (was nicht zuletzt auch eine wirtschaftliche Frage ist).

8.4.3 Instrumentarium der Trainingswissenschaftler

Ausgehend von den Anforderungen der Leistungssportpraxis (formuliert durch die Trainer), ihren eigenen Kenntnissen der Sportarten/Disziplinen sowie ihrem biomechanischen, physiologischen und informationstechnologischen Grundwissen entscheiden sich die Trainingswissenschaftler für die Anschaffung bestimmter Messgeräte (siehe Tab. 8.12) und Auswertungssoftware. Mit diesen Geräten und ihrem Know-how nehmen sie zu definierten Trainingszeitpunkten bzw. Wettkämpfen Messungen vor, die sie mittels Software bzw. Algorithmen aufbereiten und den Trainern/Athleten zur Verfügung stellen. Tab. 8.12 zeigt, dass die Unterstützung von einfachen Videoaufnahmen bis zu hochkomplexen Messungen reichen kann.

Auch die instrumentelle Mess-Technik entwickelt sich fortgesetzt weiter. Als Beispiel sei die Sensortechnik genannt, bei der kleine Mess- und Sendergeräte am Athleten bzw. dem Wettkampf- oder Trainingsgerät (Kugel, Rollstuhl, Hantel) befestigt werden. Damit können sehr viele Daten ermittelt und gesammelt werden:

- Sensoren an der Startnummer ermöglichen mittels GPS die Erfassung des Lauf-/Fahrwegs, der Gesamt- und Teilstrecken sowie permanente Geschwindigkeits-/Beschleunigungsmessung einzelner Athleten, aber auch gleich aller Teilnehmer eines Rennens, dadurch auch über Positionskämpfe
- Sensoren am Körper des Athleten können fortlaufend Herzfrequenz, Körpertemperatur, Schlafphasen, Schweißbildung, Glukose- und bald auch den Laktatspiegel bestimmen
- Sensoren an/in beiden Schuhen geben Auskunft über Schrittlängen, Stützzeiten, Laufgeschwindigkeit und -frequenz
- Sensoren am Wurfgerät informieren über die Vor- und Endbeschleunigung, Länge des Beschleunigungswegs, Abflugwinkel, -geschwindigkeit sowie theoretische und faktische Weite
- Sensoren am Rennrollstuhl/Greifreifen können Informationen über die Antriebsleistung (in Watt), die Schlagfrequenz und -dauer sowie die Geschwindigkeit übermitteln
- Sensoren an der Hantel messen die Hantelbeschleunigung bzw. -geschwindigkeit und die Anzahl der Wiederholungen bzw. die Hebefrequenz

Diese Daten werden von den Sensoren an Computer bzw. Smartphone übermittelt, gespeichert, geordnet und mithilfe entsprechender Auswertungssoftware oder innerhalb der Applikation über sogenannte „Algorithmen“, ausgewertet. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten der Leistungs- und Zustandserfassung, steigt aber auch der Auswertungsaufwand.

Tab. 8.12 Einsatzbereiche der Trainingswissenschaftler (vergl. Killing, 2019)

Messtechnik	Details	Informationstyp	Einsatzbereiche
Video-Feedback	Wiedergabe, Zeitlupe, Standbild, Erläuterung durch den Trainer, selten durch den Trainingswissenschaftler	Schnell- und Spätinformation	Überall leicht möglich (Tr + WK)
Zeitmessung mit Lichtschranke, Video oder LAVEG	Teilzeiten nach Anzahl der Lichtschranken, stetige Geschwindigkeitskurve	Sofort- und Schnellinformation, aber auch Spätinformation mit Video	Training, ausgewählte Wettkämpfe überall einsetzbar, aber störanfällig
biomechanische Leistungsdiagnostik	Aufzeichnung von Wettkampf-/ Trainingsübungen mit nonreaktiven Verfahren (2/3D, Kraftmessplatte)	Nur Spätinformation (24h = über Nacht, einige Tage bis 2 Wochen)	Training und ausgewählte Wettkämpfe
Qualitative Wett-kampfbeobachtung	Protokollierung des Aufwärm-/Wettkampf-/Abwärm-Verhaltens von Topathleten	Nur Spätinformation	Internationale Wettkämpfe mit Topathleten
Komplexe Leistungsdiagnostik	Feststellung technischer, koordinativer und konditioneller Leistungsvoraussetzungen mit diversen Geräten (z. B. Isomed, Kraft-Messplatte, Spirometrie)	Spätinformation	Am Ende großer Trainingsabschnitte (z. B. aVP 1./2. Teil, sVP)
Herz-Kreislauf-Diagnostik/ Physiologie	Herzfrequenz (-Variabilität), physiologische Parameter in Blut und Urin	Mittelschnell- und Spätinformation	Im Training überall, im Wettkampf nur bedingt möglich
GPS- und Sensor-Technik („Wearables“)	Streckenlänge, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Lage- und Gelenkwinkel Herz-Kreislaufdaten	Sofort- und Schnellinformation	vermeint bei Wettkämpfen in Startnummern eingesetzt
Messplatztraining	Kombinierter Einsatz von Video, kinematischen und dynamometrischen Verfahren Automatische 3D-Erfassung	Schnellinformation für den unmittelbaren Einsatz in der Technikkorrektur	An wenigen dafür eingerichteten Standorten
Trainingslager-Einsatz	Videoeinsatz, einfache kinematische und physiologische Messungen	Schnell- und Spätinformation Videofeedback, Zeitmessung, Laktat	überall möglich
IDA, Trainingsdatenanalyse	Trainings-/Protokollauswertung	Spätinformation	Internet/Datenbank
Datenanalyse	Vergleichende Analyse mehrerer/Vieler Datensätze von einzelnen oder verschiedenen Sportlern	Spät- und Nachinformation	Längsschnitt

8.4.4 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Für die Auswertung seiner Untersuchungsergebnisse und deren Vermittlung an die Trainer hat der Trainingswissenschaftler unterschiedliche Möglichkeiten, wie sie in Tab. 8.13 zusammengetragen sind. Ähnlich wie bei der Korrektur durch den Trainer wird in Synchron-, Schnell- und Spätinformation unterschieden:

Synchroninformationen. Zum Teil kann die Auswertung synchron zur Leistungserbringung erfolgen, wenn Zwischenzeiten ermittelt und an die Athleten weitergegeben werden (Lauf mit Lichtsignal oder Tönen für Geschwindigkeits- oder Zeitvorgaben). Bei fortlaufenden Bewegungen z. B. auf dem Laufbandergometer können synchron Stützkräfte ermittelt, dadurch der Fußaufsatz bzw. das Fußabrollen korrigiert werden.

Tab. 8.13 Auswertungsmöglichkeiten der betreuenden Trainingswissenschaftler

- Qualitative Video-Analyse vor Ort
- Überlassung der Videoaufzeichnung an Trainer und Athleten
- Videoauswertung am Abend (formlos, messunterstützt, als Format)
- Messplatztraining mit Schnellinformationen diverser Geräte/Messungen
- Messblatt von biomechanischen Auswertungen als Spätanalyse (1-2 Wochen)
- Messblatt bei Topathleten vor wichtigen Wettkämpfen als schnelle Spätinformation (1-3 Tage)
- Individuelle Trainingsempfehlungen anhand von Textbausteinen
- Trainingsprotokoll- bzw. Längsschnittauswertungen (eher selten)

Schnellinformationen. Ein großer Teil biomechanischer Messergebnisse kann als Schnellinformation nach Abschluss der Trainingsübung oder des Wettkampfes an Trainer und Athlet weitergegeben werden, z. B. Anlaufgeschwindigkeit durch Lichtschrankenmessung (Abb. 8.8) oder Video-Wiedergabe in Zeitlupe und Standbildern. Läuft im Video eine Uhr mit, kann auch auf die Bewegungsdynamik rückgeschlossen werden. Durch entsprechende Software (z. B. *Dartfish*) können zusätzlich z. B. Winkelstellungen ermittelt (quantifiziert) und kommuniziert werden. Arbeitet man mit im Boden versenkten Kraftmessplatten, können dynamometrische Ergebnisse wie Stützkräfte bei Sprint, Sprung und Wurf unmittelbar nach Versuchsende erfasst bzw. dargestellt und zur weiteren Trainingssteuerung genutzt werden. Alle Bereiche der Synchron- und Schnellinformation können im Rahmen von Messplatztraining und Trainingslagern sehr gut eingesetzt werden.



Abb. 8.8 Lichtschrankenbatterie zur Bestimmung der Anlaufgeschwindigkeit im Weitsprung

Spätinformationen. Viele Messergebnisse bedingen nach dem Messereignis eine Bearbeitung und Aufbereitung durch den Trainingswissenschaftler, bevor sie als Spätinformationen an Trainer und Athleten weitergegeben werden. So können auf sogenannten „Messblättern“ aktuell gemessene Werte mit Sollwerten weltbesten Sportler oder früherer guter Versuche des Sportlers verglichen und Verbesserungsvorschläge gemacht werden (Tab. 8.14).

Tab. 8.14 Ausgewählte Messblattinhalte der verschiedenen Disziplinblöcke (Killing, 2019)

Sprint	Gesamtzeit, Reaktionszeit, Teilabschnittszeiten, Höchstgeschwindigkeit Schrittlängenentwicklung, -vergleich links zu rechts, Flug- und Kontaktzeiten Schritt- bzw. Schlagfrequenz (Rennrollstuhl) Kraftwerte am Startblock, Bodenreaktionskräfte erste Schritte
Lauf/Rennrollstuhl	Gesamtzeit, Abschnittszeiten, Rennverlauf, Lauf-/Fahrtgeschwindigkeiten Schrittlänge und Schrittfrequenz Laktatkurve und Herzfrequenz nach Rennen Stufentest: Laktatleistungskurve, vL10, vL3, vL2, VO2max, Intensitätsvorgaben für das Lauftraining (für GA1 kurz, mittel, lang, GA2 DL, GA2 TL lang), ausgewählte physiologische Parameter in Blut und Urin, z. B. CK und Harnstoff, Atemanalyse, O2-Verbrauch,
Sprungdisziplinen	Anlaufgeschwindigkeit, Geschwindigkeit und Längen letzte drei Schritte L1 Absprungweite, L2 Flugweite, L3 Landeweite, Landeverlust offizielle, erwartete und effektive Weite, Verlust zum Balken h0 KSP-Absprungbeginn, h1 KSP-Abflug, h2 Steigehöhe, h3 Lattenüberhöhung Sprungauslage- und Innenlagewinkel, Kontaktzeit, Amortisationswinkel horizontale und vertikale Abfluggeschwindigkeit, Geschwindigkeitsbilanz Hüftüberstreckungswinkel über der Latte
Wurf-Disziplinen stehend und sitzend	Abwurf-/Abstoßgeschwindigkeit v0, Abwurf-/Abstoßhöhe und -weite Tatsächliche und theoretische Wurfweite Abwurf-/Abstoßwinkel, Anstell- und Verkantungswinkel Länge finaler Beschleunigungsweg, Geschwindigkeitsverlauf Verwindung Hüfte-Schulter-Wurfarm, maximale Winkelgeschwindigkeit Maximaler Hüftwinkel beim Ausholen im Sitzwurf Anlaufgeschwindigkeit, Schrittlängen Impuls- und Stemmschritt im Speerwurf

8.4.5 Beispiele trainingswissenschaftlicher Leistungsdiagnostik

Nachfolgend zeigen wir die Möglichkeiten der biomechanischen Leistungsdiagnostik an Beispielen der Para Leichtathletik aus Sprint, Sprung und Wurfdisziplinen:

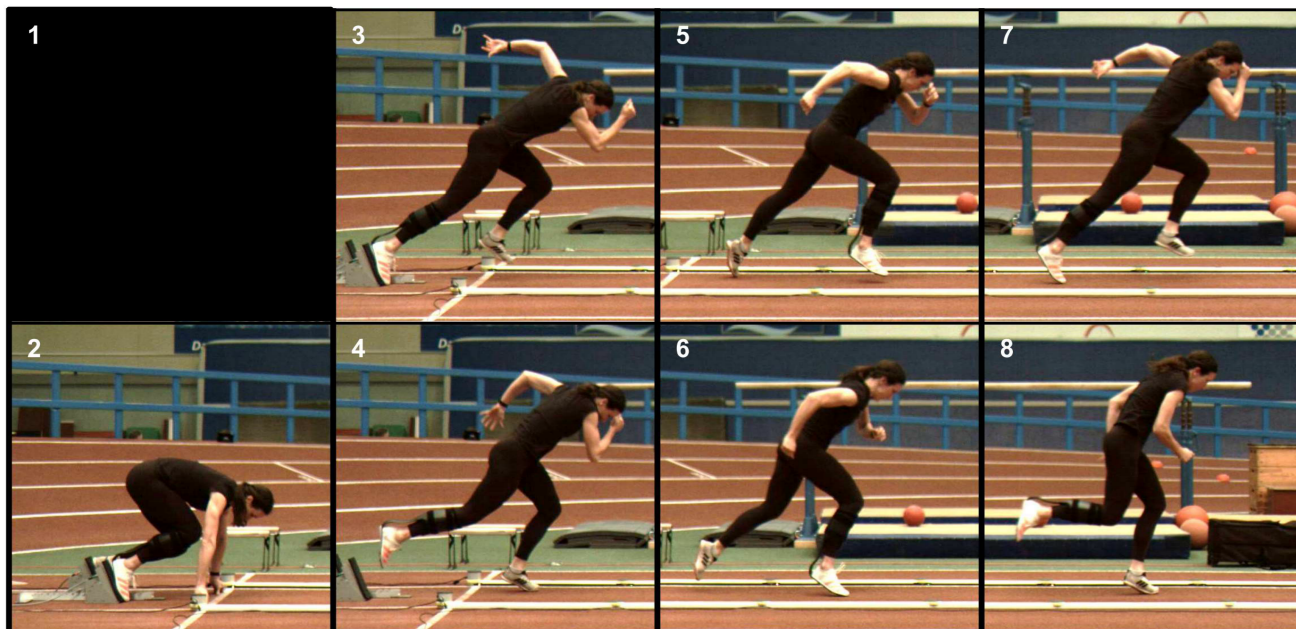
1. Sprintstartdiagnostik im Training
2. Wettkampfdiagnostik Weitsprung
3. Wettkampfdiagnostik Kugelstoß stehend

4. Wettkampfanalyse Speerwurf sitzend
5. Ausdauerdiagnostik Rennrollstuhlfahren
6. Komplexe Leistungsdiagnostik

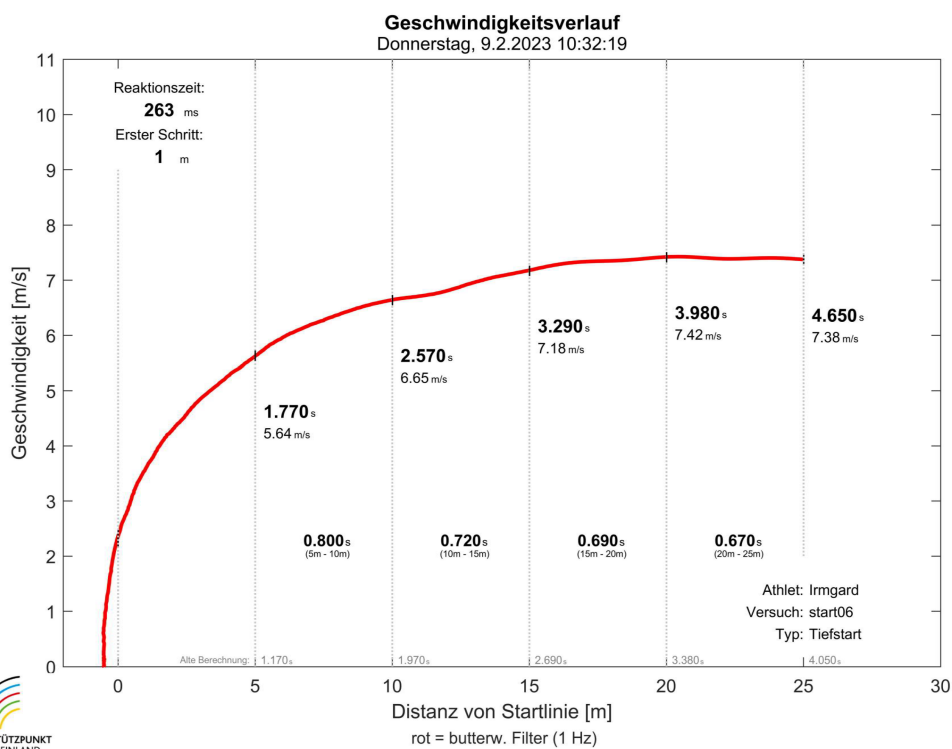
Ausgangspunkt der Leistungsdiagnostik ist zumeist die kinematische Analyse der Wettkampfbewegung. Dazu werden die Wettkampfbewegungen mit einer, wenn möglich mit mehreren Kameras aufgenommen, um eine zwei- oder dreidimensionale Animation der Bewegung zu erhalten, aus der alle wichtigen kinematischen Parameter (Gesamt- und Teilgeschwindigkeiten, Wegstrecken, Winkelstellungen, ...) bestimmt werden können. Diese können dann in Beziehung zu früheren Versuchen desselben Athleten oder anderen Athleten gleichen oder besseren Leistungsvermögens gesetzt werden.

Beispiel 1: Sprintstartdiagnostik im Training

Die Abb. 8.9 zeigt ausgewählte Elemente des Messblatts "Sprintstartdiagnostik" mit Bildreihe, Schrittlängen, Kontaktzeiten, Geschwindigkeitsverlauf und kurzen Empfehlungen für Athleten und Trainer. In den Sprint- und in den technischen Disziplinen verwenden die Trainingswissenschaftler gerne Bildreihen vom Bewegungsablauf, um Trainer und Athleten für die nachfolgenden Tabellen und Graphiken zu orientieren.



Entfernung:	
Bodenkontaktzeit:	0.46m (0.258s)
Schrittlänge:	1.00m
Flugzeit:	1.05m (0.026s)
	1.51m (0.216s)
	2.70m (0.183s)
	1.19m (0.089s)



Bemerkungen

Vorderer Block steiler gestellt...sorgt für einen flacheren Abdruck.

Super Start mit neuer Orthese!! Sie muss lernen die Orthesen „aktiv“ zu setzen/nutzen.

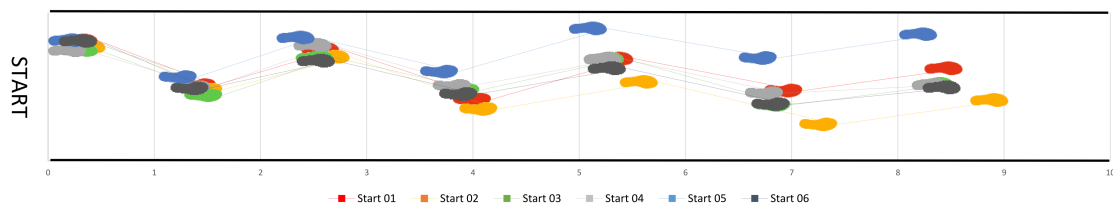
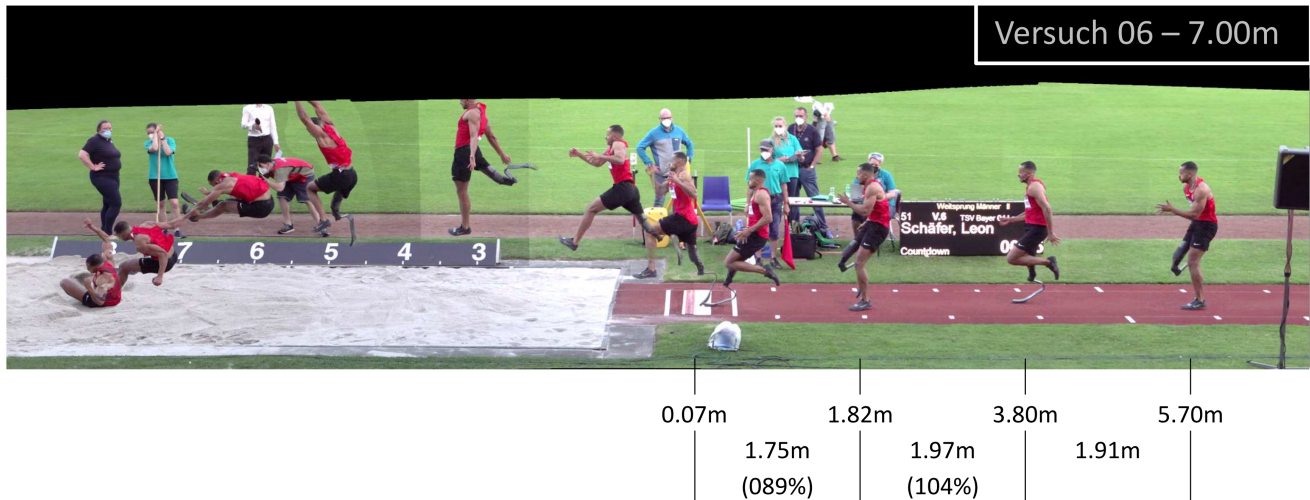


Abb. 8.9 Ausgewählte Elemente der Sprintstartdiagnostik: Bildreihe, Geschwindigkeitsverlauf und Positionierung der ersten Schritte bei verschiedenen Starts (Böhle/OSP Rheinland, 2023)

Beispiel 2: Wettkampfdiagnostik im Weitsprung

Abb. 8.10 zeigt eine stroboskopische Bildaufnahme mit Schrittlängenangaben zu den letzten Anlaufschritten sowie eine Graphik zum Geschwindigkeitsverlauf im Anlauf, bei der die Horizontalachse den Nullpunkt am Absprungbalken und den Ablaufpunkt bei ca. 36 m hat, sich die Geschwindigkeit also von rechts nach links entwickelt. Tab. 8.15 zeigt korrespondierend zu Abb. 8.10 die tabellarische Auswertung der Schrittlängen in Meter und Prozent sowie die Anlaufgeschwindigkeit auf den letzten und vorletzten 5-m-Abschnitten bei allen Versuchen des Wettkampfs.

Anlaufgestaltung



Geschwindigkeitsverlauf

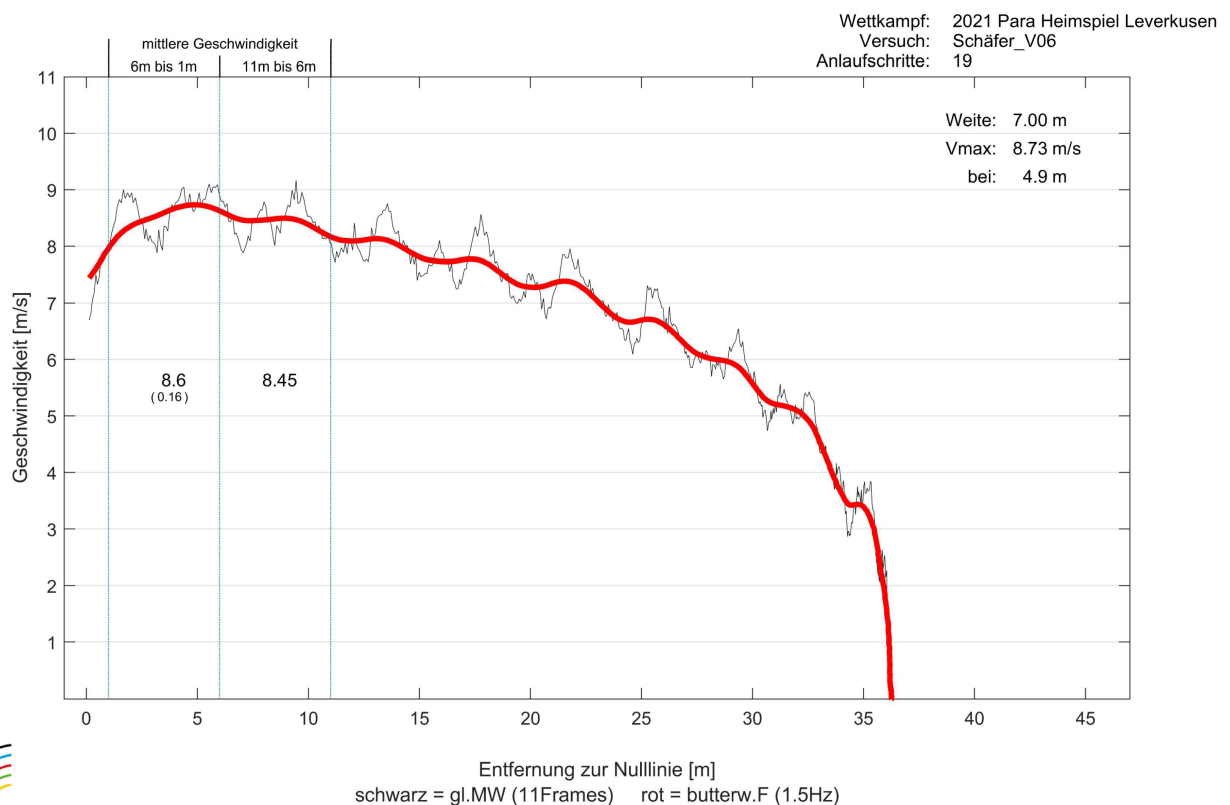


Abb. 8.10 Elemente der Weitsprung-Wettkampfdiagnostik (Böhle/OSP Rheinland, 2021)

Tab. 8.15 Tabellarische Auswertung des Weitsprung-Wettkampfes eines Athleten (Böhle/OSP Rheinland)

2021_06_25 Para Heimspiel Leverkusen

Leon Schäfer



Ralf Böhle, Paula Lassner



Schrittgestaltung (19 Schritte)

Versuch	Fuß	Entfernung zur Nulllinie [m]	Schrittlänge [m]	Schrittlänge zum Vorherigen [%]	Geschwindigkeit [m/s] 11m - 6m	Geschwindigkeit [m/s] 6m - 1m
V.01 - 6.53m (Wind: +0.0)	rechts	8.22				
	links	6.19	2.02			
	rechts	4.31	1.88	93		
	links	2.37	1.95	103		
	Absprung	0.35	2.02	104	8.22	8.33 (+0.11)
V.02 - x (Wind: x)	rechts	7.26				
	links	5.35	1.91			
	rechts	3.62	1.73	91		
	links	1.73	1.88	109		
	Absprung	-0.01	1.74	93	8.11	8.52 (+0.41)
V.03 - 6.61m (Wind: -0.2)	rechts	7.82				
	links	5.83	1.99			
	rechts	3.97	1.86	94		
	links	2.03	1.94	104		
	Absprung	0.16	1.87	97	8.34	8.55 (+0.21)
V.04 - 6.75m (Wind: +0.1)	rechts	7.42				
	links	5.45	1.96			
	rechts	3.73	1.72	88		
	links	1.79	1.94	112		
	Absprung	0.04	1.74	90	8.14	8.35 (+0.21)
V.05 - 6.74m (Wind: +0.3)	rechts	7.53				
	links	5.61	1.91			
	rechts	3.80	1.81	95		
	links	1.77	2.03	112		
	Absprung	0.07	1.70	84	8.34	8.40 (+0.07)
V.06 - 7.00m (Wind: +0.7)	rechts	7.66				
	links	5.70	1.96			
	rechts	3.80	1.91	97		
	links	1.82	1.97	104		
	Absprung	0.07	1.75	89	8.45	8.60 (+0.16)

Beispiel 3: Wettkampfdiagnostik Kugelstoß stehend

Ausgewertet wurde der Weltrekord-Stoß von Niko Kappel 14,94 m, (die er nachfolgend mit 14,99 m noch einmal übertraf, vergl. Kap. 5, Bildreihe 16). Die Abbildung 8.13 zeigt eine Animation des Kugelverlaufs (in rot) und die Fuß-/Beinstellung (grün) aus der Draufsicht (obere Graphik) und der

Seitansicht mit markanten Phasen (1-5 in blau) und verschiedenen Kennwerten.



z [m]

2,5

Seitenansicht der Kugelbewegung
Position des Hüftpunktes der Wurfseite
Drehstoß:
Pose 2: Position des Fußballens der Gegenseite
Posen UP, 1, 3 bis 5: Position des Fußballens der Wurfseite

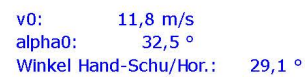
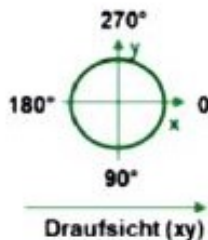
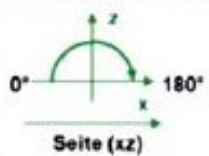
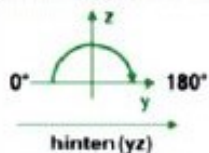


Abb. 8.11 Zwei Graphiken der biomechanischen Analyse des Weltrekordstoßes von Niko Kappel (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

Beispiel 4: Wettkampfanalyse Speerwurf sitzend

Analyse eines Wettkampf-Wurfs von Martina Willing mit Bildreihe, Graphik und Messblatt. Abb. 8.12 zeigt acht Phasen des Wurfs zu normierten Zeitpunkten rückwärts vom Abwurf gerechnet, Abb. 8.13 stellt den Geschwindigkeitsverlauf des Speers während Ausholen und Abwurf nach.

Tab. 8.16 Messblatt der 3-D-Auswertung eines Speerwurfs einer Sitzwerferin (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

Dreidimensionale Videoanalyse		SPEERWERFEN				IAT	
18.06.22 Regensburg		Martina Willing				2. Versuch 20,72 m (600 g)	
ohne Auftakt							
Abfluggeschwindigkeit: 12,5 m/s		Wurfweite SOLL: 17,35 m				17,35 m	
Abflugwinkel 35,9 °		Aerodynamische Güte: 119,5 %				119,5 %	
Verkantungswinkel: 14,1 °		maximale Leistung 0,61 kW				0,61 kW	
Bewegungsposen 	1. Beginn der Bewegung	2. Zwischenbild	3. Umkehrpunkt	5. Ellenbogen über Schulter	7. Lösen Speer	0,04 s nach Lösen Speer	
Zeit [s]	-1,42	-0,88	-0,34	-0,08	0,00	0,04	
Zeitdifferenz [s]	0,54	0,54	0,26	0,08	0,04		
Speergriff x [m]	-0,09	-0,57	-0,76	-0,31	0,19	Speerbiegung: 14 mm	
Speergriff z [m]	1,81	1,51	1,21	1,47	1,94		
Speergriff y [m]	-0,07	-0,05	0,20	-0,19	-0,46		
Speerweg im Raum	-2,69	-2,10	-1,65	-0,87	0,00		
Diff. Speerweg [m]	0,59	0,45	0,79	0,87			
Geschw. Speer [m/s]	0,30	1,15	0,25	6,30	12,53		
Maxima [m/s]	1,37	1,27	6,30	12,06			
Zeit [s]				0,00			
Beschl. Speer [m/s²]	9,74	14,32	20,61	58,55	79,94		
Maxima [m/s²]	14,77	20,81	58,55	108,20			
Zeit [s]				-0,04			
Winkel Ellenbogen [°]	137	135	137	93	134		
Speerwinkel xz-Ebene	-19,9	23,7	66,1	50,8	45,7	45,3	
Speerwinkel xy-Ebene	179,9	180,3	224,2	211,1	204,9	206,2	
Wi. der Achsen (xy)						 Draufsicht (xy)	
Schulterachse [°]	97	114	137	99	93		
Differenz [°]	17	23	-37	-7			
Geschw. [°/s]	32	42	144	83			
Oberarmachse [°]	74	160	180	117	38		
Differenz [°]	86	20	-63	-79			
Geschw. [°/s]	159	37	241	992			
Unterarmachse [°]	194	191	223	211	118		
Differenz [°]	-3	32	-12	-92			
Geschw. [°/s]	5	58	48	1152			
Rumpfachse xz-Eb. [°]							
 Seite (xz)	78	69	60	85	87		
Rumpfachse yz-Eb. [°]							
 hinten (yz)	82	80	75	88	82		

Tab. 8.16 zeigt korrespondierend zu Abb. 8.12 und 8.13 die tabellarische Auswertung einer 3D-Auswertung, in der eine Vielzahl von Weglängen, Geschwindigkeiten und Winkeln zu verschiedenen, definierten Zeitpunkten

des Wurfvorgangs dargestellt sind.

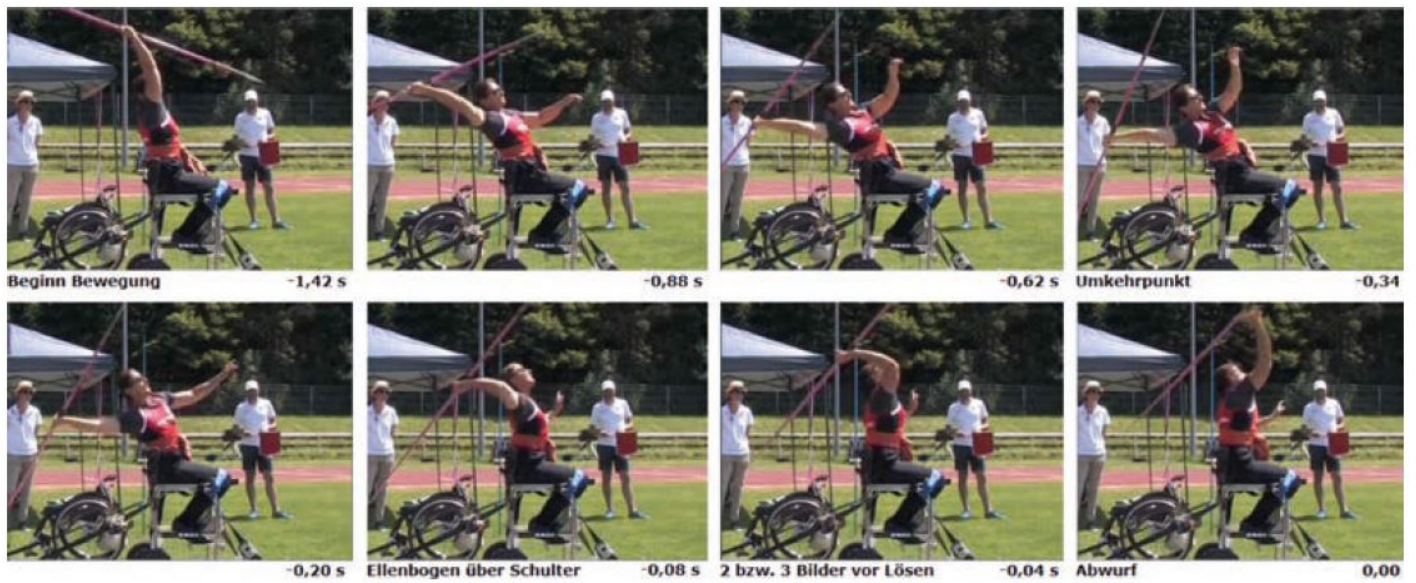


Abb. 8.12 Bildreihe Speerwurf sitzend (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

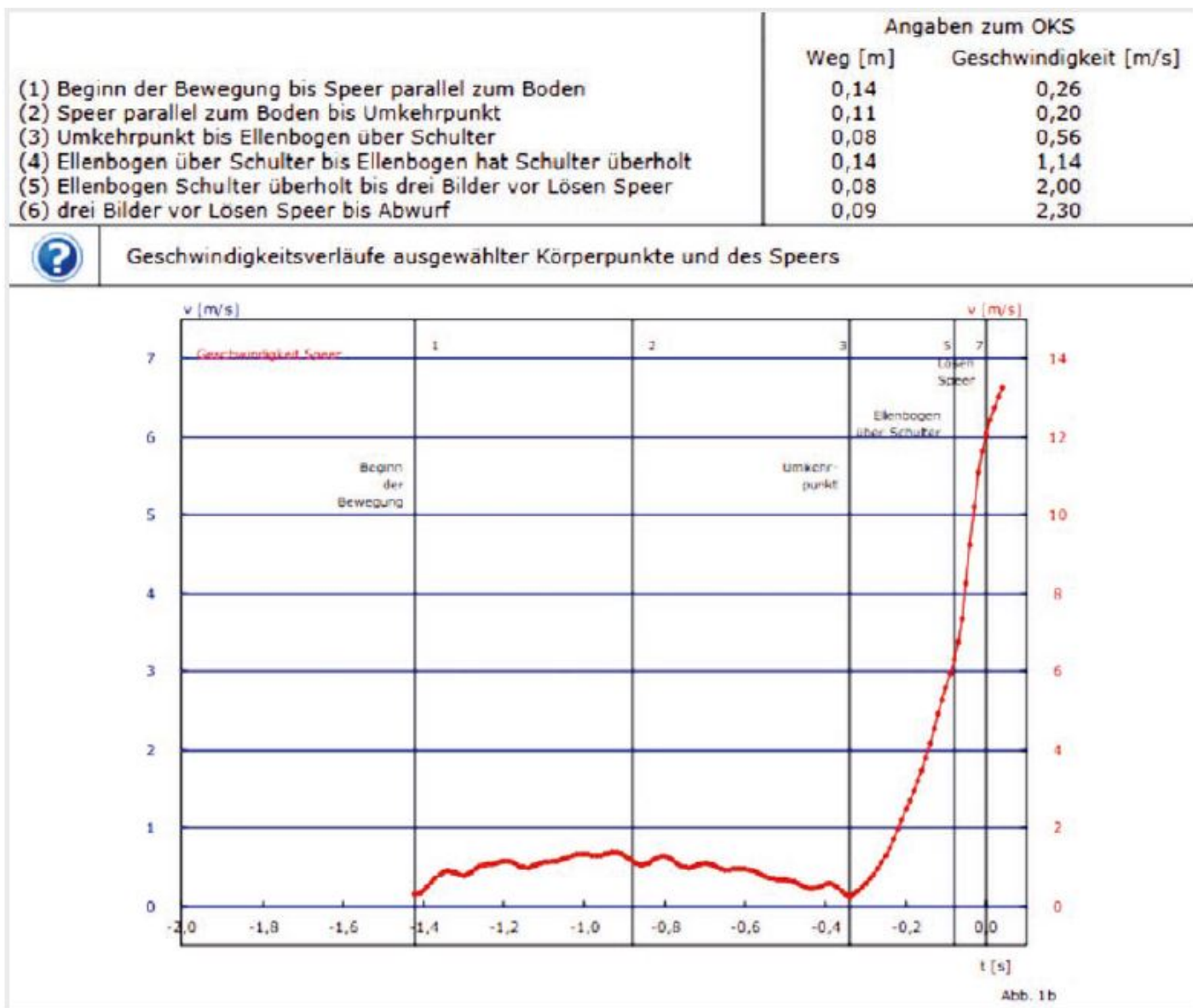


Abb. 8.13 Graphik des Geschwindigkeitsverlaufs des Speers im Abwurf von Martina Willing (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

Beispiel 5: Ausdauerdiagnostik Rennrollstuhlfahren

Im Ausdauerbereich werden Diagnostiken zumeist im Labor auf dem Lauf- bzw. Fahrband durchgeführt. Dabei wird in einem Stufentest alle drei Minuten die Geschwindigkeit um 2 km/h erhöht bis der Athlet die Belastung abbrechen muss. In Abb. 8.14 und Tab. 8.17 sind entsprechende Werte für einen Rennrollstuhlfahrer abgetragen. Aus dem Stufentest werden Empfehlungen für weitere Trainingsgestaltung in Form von Richtgeschwindigkeiten gegeben.

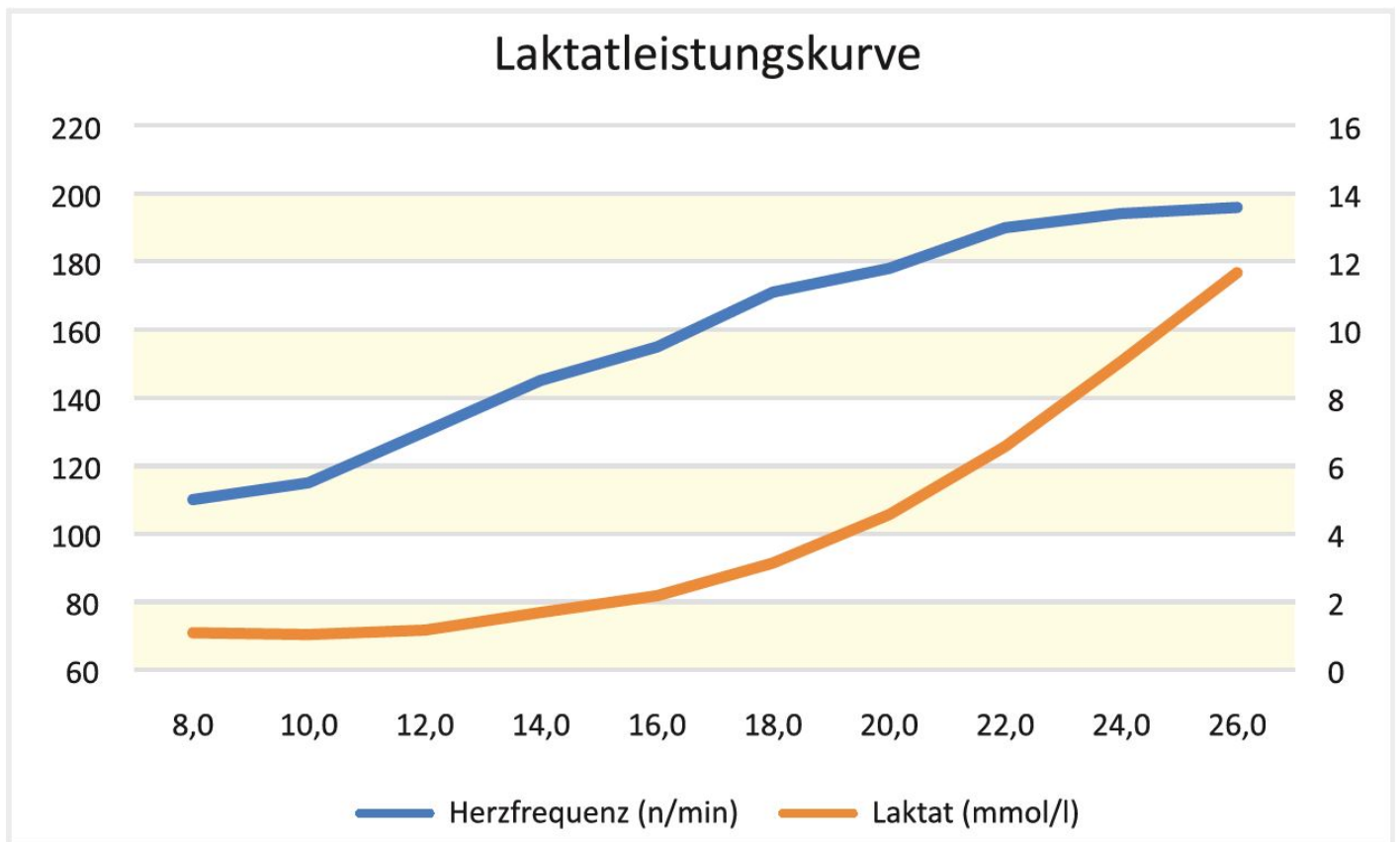


Abb. 8.14 Laktatleistungskurve im Stufentest von R. B. (DBS, nach Uni Freiburg, 2007)

Tab. 8.17 Laufband-Ergometer-Stufentest von R. B. (DBS, nach Uni Freiburg, 2007)

Geschwindigkeit (km/h)	Herzfrequenz (S/min)	Laktat (mmol/l)	Energieverbrauch (kcal/h)
8,0	110	1,08	471
10,0	115	1,03	589
12,0	130	1,16	707
14,0	145	1,68	825
16,0	155	2,18	942
18,0	171	3,14	1060
20,0	178	4,56	1178
22,0	190	6,57	1296
24,0	194	9,05	1414
25,3	196	11,68	1492

Einschub: Herzfrequenz und (Blut-)Laktat

Ein wichtiger, zugleich immer präsenter Gradmesser für die verschiedenen Formen der Ausdauer, aber auch der aktuellen Beanspruchung ist der Puls, also die Herzschlagfrequenz pro Minute (=HF). Während dem Untrainierten schon nach wenigen Minuten Dauerbelastung das „Herz bis zum Hals schlägt“, hat der Trainierte bei deutlich höherer Belastung einen nur leicht erhöhten Puls. Zur feineren Trainingssteuerung empfiehlt sich eine genaue Erfassung des Pulses, wie es heute mit preisgünstigen Pulsuhren (am Handgelenk oder mittels Brustgurt erfasst) möglich ist. Damit kann auch die Herzfrequenzvariabilität gemessen werden, die ein Kennwerte auf die Frische bzw. Belastbarkeit des Athleten ist (Richarz, 2018). Ohne auf die vielfältigen Möglichkeiten, aber auch Besonderheiten und Grenzen der Leistungssteuerung über die Pulsmessung eingehen zu können, sollen doch zwei Begriffe bzw. Phänomene kurz erläutert werden. Der Ruhepuls wird nach längerer Ruhezeit im Liegen gemessen. Er liegt beim untrainierten Jugendlichen bei ca. 60-70 Schlägen pro Minute. Leistungssportler bestimmen den Ruhepuls jeden Morgen, nach immer gleichen Bedingungen vor dem Aufstehen und notieren ihn, so dass eine Pulskurve entsteht. Durch ein fortgesetztes Ausdauertraining sinkt der Ruhepuls kontinuierlich ab und kann durchaus Werte unter 50, bei hoch Ausdauertrainierten sogar unter 40 annehmen. Nach einem anstrengenden Training am Vortag, schlechtem Schlaf in der Nacht oder durch bevorstehenden Schulstress kann der Ruhepuls kurzfristig um 10 und mehr Punkte ansteigen. Er zeigt damit eine befristet verringerte Leistungsfähigkeit an, in der das Training entsprechend reduziert werden sollte. Ist der Ruhepuls mehrtägig erhöht, dies kann als Warnsignal für ein Übertraining oder eine mögliche Erkrankung verstanden werden. Dann sind ein umgehender Arztbesuch und eine Unterbrechung des Trainings angebracht. Der Belastungspuls wird bei bzw. unmittelbar nach Beendigung der Trainingsbelastung bestimmt, sei es nach einem Dauerlauf, sei es nach Intervallläufen oder Durchgängen im Zirkeltraining. Der Belastungspuls bildet das Bindeglied zwischen objektiver Trainingsleistung und physiologischer Beanspruchung. Sinkt bei der gleichen Leistung (z. B. 4-km-Dauerlauf in 16 min) oder sogar bei einer höheren Leistung der Belastungspuls, kann man von einer Steigerung des Ausdauer-Leistungsvermögens ausgehen. Dies gilt auch bei Intervallbelastungen: Ist bei gleicher oder höherer Leistung (Laufzeit, Wiederholungszahl im Zirkeltraining) der Belastungspuls erniedrigt, ist die (Kraft-) Ausdauer verbessert. So kann beim nächsten Mal die Belastungsintensität gesteigert oder die Belastungsdauer verlängert werden. Zu guter Letzt gibt der Belastungspuls auch Hinweise auf den Energiestoffwechsel: Bei niedrigen Puls-Werten dominiert die aerobe Fettverbrennung, bei höheren Werten steigt der Anteil der Kohlenhydratverbrennung. Bei hohen bis maximalen Pulswerten dominiert der anaerobe Stoffwechsel, der aufgrund von Blutübersäuerung und Laktatbildung nur befristet aufrechterhalten werden kann und im Grundlagentraining nur begrenzt beansprucht werden sollte (s. o.).

Eine präzise Auskunft über die energetische Beanspruchung gibt das Blutlaktat, gemessen in Millimol pro Liter (mmol/l). Solange der Körper das Blutlaktat konstant halten kann, befindet er sich im „steady state“ und kann die Belastungsintensität fortsetzen. Im sogenannten Stufentest wird bei schrittweise steigender Belastung die aktuelle Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt. Daraus wird die Laktatkurve abgeleitet, die einerseits einen Hinweis auf die Art bzw. den Mix der Energiebereitstellung gibt, an der andererseits einzelne Intensitätsbereiche für das Training abgeleitet werden können (siehe Abbildungen in Kap. 6.3.2). Während bisher das Laktat nur invasiv (durch Blutabnahme) bestimmt werden konnte, steht aktuell (2023) eine nichtinvasive Laktatbestimmung in Aussicht, die ihren permanenten Einsatz ermöglichen und damit die Trainingssteuerung im Ausdauersport noch einmal stark verändern wird.



Abb. 8.15 Rennrollstuhlfahrer nutzen den Windschatten um Energie zu sparen (btr)

Beispiel 6: Komplexe Leistungsdiagnostik

Die komplexe Leistungsdiagnostik (KLD) der leistungsbestimmenden Fähigkeiten und Fertigkeiten mit verschiedenen Teststationen (u. a. Technik, Sprungtests, Kraftdiagnostik, Beweglichkeit) ist ein wichtiges Instrument zur Erfassung des aktuellen individuellen Leistungsvermögens zu bestimmten Terminen im Jahresverlauf. Bei der KLD können Übungen analog des Tests, wie sie zuvor vorgestellt wurden, zum Einsatz kommen, zumeist werden sie aber apparativ flankiert, um die Bewegungen und Leistungen exakt zu erfassen, beispielsweise beim Dropjump mit dem Optojump-System (Abb. 8.16).

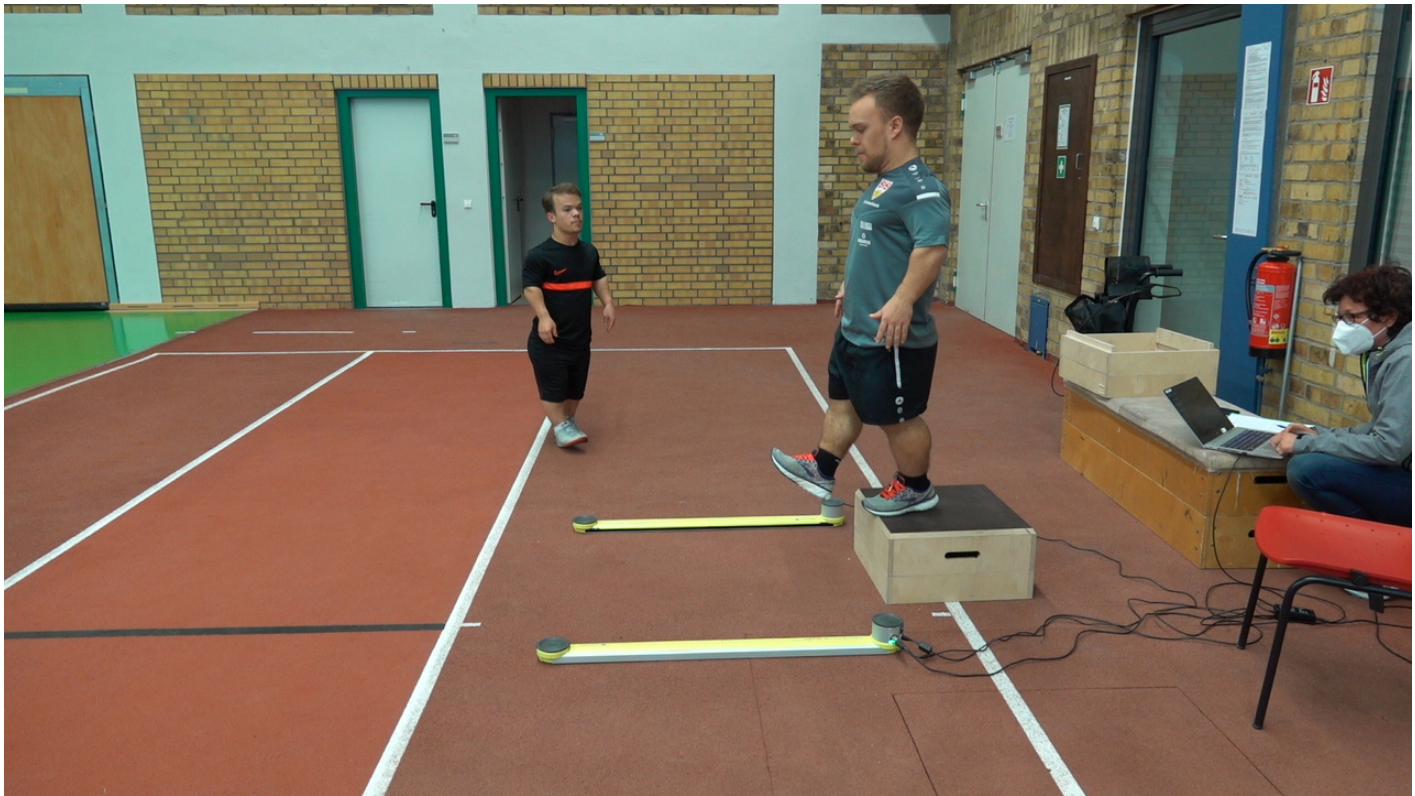


Abb. 8.16 Dropjump zur präzisen Ermittlung der reaktiven Sprungkraft im Rahmen der Komplexen Leistungsdiagnostik (KLD) beim IAT Leipzig

Ein erheblicher Teil der Messungen erfolgt methodisch standardisiert an genormten Geräten, die zugleich die Übungen vorgeben und die Kraftleistung bzw. den Widerstand, den die Athleten erzeugen messen. Durch die Normierung der Geräte und Einstellungen können Leistungen intraindividuell längsschnittartig erfasst und verglichen werden. Tab. 8.18 und Abb. 8.16 zeigen Ausschnitte eines Messblatts des IAT Leipzig mit den Auswertungen des Rückenkraft-Messgerätes Pegasus (Fa. BfMC) für einen Kugelstoßer.

Tab. 8.18 Ergebnisse der Beweglichkeits- und Rumpfkraftmessung (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

Ergebnisse Test Bewegungsbereich (Tabelle)											
Ebene	Bewegung	Winkel [°]							Dysbalances		
		Soll	Ist	%	Bewegung	Soll	Ist	%	[°]	%	[°]
Frontal	Seitbeug l	25	46	186	Seitbeug r	25	42	171	-	9	4
Transversal	T-Rot. li	52	50	97	T-Rot. re	52	57	109	7	12	-

Ergebnisse Test Maximalkraft (Tabelle)											
Ebene	Bewegung	Moment [Nm]							Normales Modell		
		Soll	Ist	%	Bewegung	Soll	Ist	%	[Nm]	%	[Nm]
Sagittal	nach vorn	378	382	101	nach hinten	757	830	110	33	8	-
Frontal	nach links	378	260	69	nach rechts	378	349	92	89	26	-
Transversal	Linksdrehung	378	252	67	Rechtsdrehung	378	293	77	41	14	-

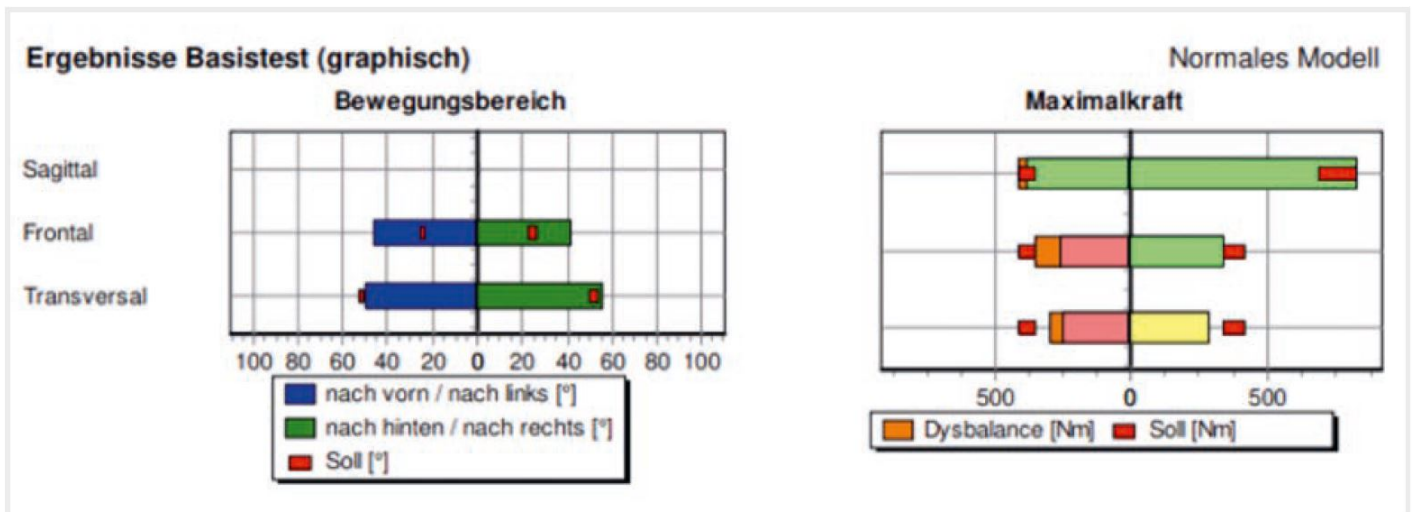


Abb. 8.17 Graphische Darstellung Erfassung der Beweglichkeit und Rumpfkraft am Pegasus-Gerät (Roediger/IAT Leipzig, 2022)

Durch die numerische und graphische Darstellung der Messergebnisse ist ein Links-Rechts-Vergleich (Abb. 8.17), sind aber auch Vergleiche mit früheren Messungen bzw. Normwerten möglich. So erläutert die Autorin, dass sich das Kraftniveau insgesamt verbessert habe, aber die linke Seite bzw. die Rotation nach links schwächer wäre und hier noch Reserven liegen. Noch weitergehend – hier die Forderung von Lösel (2022, s. o.) umsetzend, dass jedes Testergebnis eine Konsequenz haben müsse – gibt sie konkrete Empfehlungen für das weitere Training und stellt mögliche Trainingsgeräte/-übungen vor: „Vermehrtes Training der Rotation generell und der Linksneigung zur Vorbeugung von Dysbalancen und daraus resultierend Rückenschmerzen“ (Roediger, 2022). Diese textlichen Empfehlungen für Schwerpunktsetzungen im Training werden durch Fotos ausgewählter Trainingsübungen veranschaulicht.

„Reserven“ statt Stärken und Schwächen

Auch wenn die Identifikation und Beseitigung von Schwachpunkten in der Bewegungskette eine naheliegende Maßnahme der individuellen Leistungsdiagnostik ist, sollten die Stärken nicht außer acht werden. Denn bei der menschlichen Bewegungskette können sich einzelne Elemente z. T. kompensieren, z. B. übernehmen bei einer schwachen Wadenmuskulatur/Fußstreckern die Knie- und Hüftstrecker teilweise deren Funktion: Kann der Athlet im Sprint die Spannung im Sprunggelenk nicht aufrechterhalten, sorgt aber durch energische Knie- und Hüftstreckung für den Vortrieb. Da die Sprunggelenke durch die fortdauernde Beanspruchung unphysiologisch überlastet werden würden, ist es mittelfristig dennoch erstrebenswert, die Wadenmuskulatur zu kräftigen. Graf empfiehlt, statt von Stärken und Schwächen von „Reserven“ zu sprechen, die erkannt und verfügbar gemacht werden müssen (Graf & Killing, 2021). Durch Folgemessungen (Screening oder Monitoring) kann festgestellt werden, ob und wie das absolvierte Training gewirkt hat.

8.4.6 Festlegung der Messtermine im Rahmen der Jahresplanung

Die Leistungsdiagnostik gibt den Trainern, insbesondere den Verbandstrainern in zentraler Verantwortung nicht nur wissenschaftlich-inhaltliche Orientierungen, sondern setzt durch standardisierte Messtermine auch Eckpunkte der Jahresplanung, durch die deren Akzeptanz seitens der Athleten und Heimtrainer wächst. Dies betrifft ganz praktisch die Gestaltung des Trainings- und Wettkampjahres (s. o., Kap. 7, Abb. 7.17), indem nun nicht nur die Kaderlehrgänge, Trainingslager und Test-/Qualifikationwettkämpfe des Verbandstrainers als Orientierungspunkte bzw. Rahmentrainingsplan dienen, sondern auch die Leistungsdiagnostik-Maßnahmen, die ebenfalls über das Jahr verteilt sind und wie ein weiteres Gerüst/Netz des Rahmentrainingsplans dienen (Abb. 8.18). Verbands- und Heimtrainer gestalten das Trainingsjahr nach einem ähnlichen Zeitraster. Dies ist nicht verwunderlich, unterstützt doch der eine den anderen.

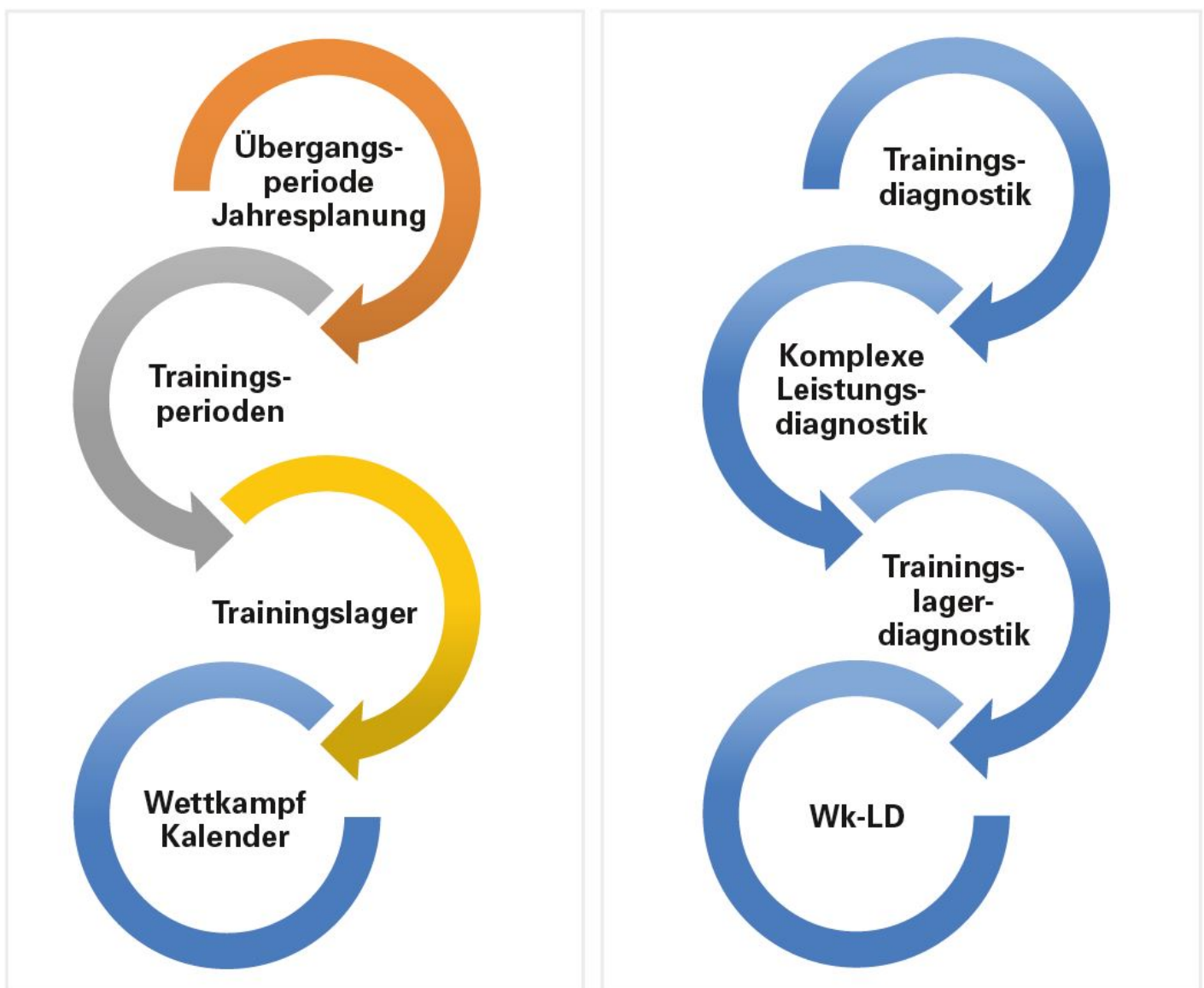


Abb. 8.18 Strukturierung des Jahrestrainingsplans: links Ordnungsprinzipien der Trainer, rechts der Trainingswissenschaftler