

# Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport auf die Knochengesundheit im Lebenslauf

## Ein Überblick

Zahlreiche aktuelle Beobachtungs- und Interventionsstudien beschreiben die Bedeutung von körperlicher Aktivität und Sport für die Knochengesundheit. Bereits im Kindes- und Jugendalter erhöht sich der Knochenzuwachs infolge körperlicher und sportlicher Aktivität. Im Erwachsenenalter können vor allem bei Frauen nach der Menopause altersbedingte Knochenabbauprozesse durch kontinuierlich durchgeführte Sportprogramme verlangsamt werden [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Die Wirkungsweise von körperlicher Aktivität und Sport auf die Knochenaufbau- und Knochenumstrukturierungsprozesse ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen [18, 19, 20, 21, 22, 23].

Aktuelle Übersichtsarbeiten fassen überwiegend Interventionsstudien, vor allem randomisierte kontrollierte Studien (RCT) zusammen, die die Wirkung bestimmter Sportarten und -programme auf den Knochenzuwachs in verschiedenen Lebensphasen untersuchen. Nur selten wurde jedoch der Einfluss alltäglicher körperlicher Aktivität untersucht. Zudem gibt es nur wenige Arbeiten, die den Einfluss von körperlicher Aktivität oder Sport im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter, das heißt im gesamten Lebenslauf, dar- und gegenüberstellen. Obwohl die unterschiedlichen Lebensphasen getrennt voneinander untersucht werden, wird häufig geschlussfolgert, dass körperliche Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter den Knochenzuwachs erhöhen und damit das Risiko für Erkrankungen des Bewegungsappara-

tes wie Osteopenie, Osteoporose und osteoporosebedingte Frakturen im Erwachsenenalter reduziert wird [18, 19, 24, 25].

Die vorliegende narrative Übersichtsarbeit fasst den gegenwärtigen Wissensstand zum Einfluss und zur Wirkungsweise körperlicher und sportlicher Aktivität auf die Knochengesundheit im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter, das heißt im gesamten Lebenslauf, zusammen. Eingeschlossen werden Überblicksartikel, Interventions- und Beobachtungsstudien ab dem Jahr 2000. Neben Besonderheiten und Limitationen der Studiendesigns werden mögliche sensible Zeitfenster für nachhaltige Interventionsstrategien im Lebenslauf diskutiert.

### Hintergrund

Die kritischste Eigenschaft, die einen Knochen als gesund oder krank beschreibt, ist die Knochenfestigkeit [21]. Knochenarchitektur und -struktur sind wichtige Charakteristika der Knochenfestigkeit, die an unterschiedlichen Knochen und Knochenregionen mithilfe verschiedener Indikatoren beschrieben werden [21, 23]. Aufgrund der hohen alters- und bewegungsabhängigen Abnutzungserscheinungen werden häufig Indikatoren an Knochenregionen der Extremitäten, Hüfte sowie der Lendenwirbelsäule als Endpunkte zur Erforschung der Knochenfestigkeit verwendet [26, 27]. Die am häufigsten untersuchten Knochenregionen und Indikatoren werden in **Tab. 1** dargestellt und sind in diesem Übersichtsartikel mit dem Begriff der „Kno-

chenfestigkeit“ (KF) zusammengefasst und definiert.

Die größte mechanische Einwirkung auf den Knochen hat die Muskelkontraktion, ausgelöst durch körperliche Aktivität [18, 20]. Zwischen Muskelkraft und KF besteht eine stärkere Assoziation als zwischen Alter oder Körpergewicht und KF [21, 22]. Es ist erwiesen, dass lang andauernde körperliche Inaktivität (Bettruhe) nicht nur zu Muskel-, sondern auch zu Knochenschwund führt. Infolge der reduzierten Knochenmasse und -dichte und einer zerstörten Mikroarchitektur ist das Risiko für Osteoporose und Osteopenie, die Vorstufe von Osteoporose, erhöht [19, 28]. Osteoporose ist heute ein bedeutendes gesellschaftliches Gesundheitsproblem von dem viele Millionen Menschen, vor allem postmenopausale Frauen, weltweit betroffen sind [27]. Die WHO definiert Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und Männern über 50 Jahren ab einer um 2,5 Standardabweichungen reduzierten Knochendichte (Bone Mineral Density, BMD) im Vergleich zu jungen gesunden Frauen (20 bis 29 Jahre). Die klinische Relevanz, Osteoporose zu erfassen, betrifft das erhöhte osteoporosebedingte Frakturrisiko von Oberschenkelhals, Hüfte und Lendenwirbelsäule. Zudem erhöhen sowohl Osteoporose als auch osteoporosebedingte Frakturen die Morbidität und Mortalität [26, 27].

Zahlreiche Beobachtungs- und Interventionsstudien haben den Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport auf die Knochengesundheit untersucht (**Tab. 2, 3, 4, 5, 6, 7**). Dabei zeigen

**Tab. 1** Knochenregionen, Indikatoren der Knochenfestigkeit und Erfassungsmethoden zur Bestimmung der Knochenfestigkeit in Beobachtungs- und Interventionsstudien

Knochenregionen		KF-Indikatoren		Methoden zur Erfassung der KF	
TB	Ganzer Körper ( <i>Total Body</i> )	BA	Knochenfläche ( <i>Bone Area</i> )	DEXA	<i>Dual Energy X-ray Absorptiometry</i>
OE	Obere Extremitäten	BMC	Knochenmineralmasse ( <i>Bone Mineral Content</i> )	HDR	<i>Dual Energy Radiograph Absorptiometry</i>
UE	Untere Extremitäten	BMD	Knochenmineraldichte ( <i>Bone Mineral Density</i> )	HSA	<i>Hip Structure Analysis</i>
ARM	Arme	aBMD	Flächenmineraldichte ( <i>Areal BMD</i> )	MRI	<i>Magnet Resonanz Imaging</i>
ARM <sup>dist</sup>	Distale Seite vom Unterarm ( <i>Distal Forearm</i> )	vBMD	Volumenmineraldichte ( <i>Volumetric BMD</i> )	pQCT	<i>Peripheral Quantitative Computed Tomography</i>
LEG	Beine	BMAD	Berechneter BMD ( <i>Bone Mineral Apparent Density</i> )	QUS	<i>Quantitative Ultrasound</i>
LS	Lendenwirbelsäule	CSA/ToA	Querschnittsfläche des Gesamtknochens		
HUM	Humerus	CSMI	<i>Cross-Sectional Moment of Inertia</i>		
HUM <sup>sh</sup>	Humerusschaft ( <i>Humerual Shaft</i> )	Cf/width	Knochenumfang ( <i>Bone Circumference</i> )		
HUM <sup>prox</sup>	Proximale Seite vom Humerus	BR	Ratio für Biegefähigkeit ( <i>Buckling Ratio</i> )		
RAD	Radius	Z	<i>Section Modulus</i>		
RAD <sup>dia</sup>	Radiusdiaphyse ( <i>Radius Diaphyse</i> )	I <sub>p</sub>	Knochenfestigkeit ( <i>Bone Strength</i> )		
RAD <sup>dist</sup>	Distale Seite des Radius ( <i>Distal Radius</i> )	BSI	Knochenfestigkeit-Index ( <i>Bone-Strength-Index</i> )		
RAD <sup>prox</sup>	Proximale Seite vom Radius	SSI	Belastbarkeits-Index ( <i>Strength-Strain-Index</i> )		
RAD <sup>sh</sup>	Radius Schaft ( <i>Radial Shaft</i> )	IBS	<i>Index of Bone Structural Strength</i>		
RAD <sup>UD</sup>	Ultradistal Radius	I <sub>min</sub> /I <sub>max</sub>	<i>Moments of inertia (minimum/maximum)</i>		
UL	Ulna	CoA	Querschnittsfläche des kortikalen Knochens		
HIP	Ganzer Hüftknochen ( <i>Total Hip</i> )	CoTh	Kortikale Dicke ( <i>Cortical Thickness</i> )		
WT	Wardsche Dreieck ( <i>Ward Triangle</i> )	CoBMC	Kortikaler BMC ( <i>Cortical BMC</i> )		
TR	Trochanter	CoBMD	Kortikaler BMD ( <i>Cortical BMD</i> )		
IT	Intertrochanter	CovBMD	Kortikaler vBMD ( <i>Cortical vBMD</i> )		
F <sup>dia</sup>	Diaphyse vom Femur	CWT	Dicke der kortikalen Knochenwand		
F <sup>dist</sup>	Distale Seite vom Femur	TrA	Querschnittsfläche des trabekulären Knochen		
F <sup>mid</sup>	Femur Schaftmitte ( <i>Midfemur</i> )	TrTh	Trabekuläre Dicke ( <i>Trabecular Thickness</i> )		
F <sup>sh</sup>	Oberschenkelchaft ( <i>Femoral Shaft</i> )	TrBMD	Trabekuläre BMD ( <i>Trabecular BMD</i> )		
F <sup>total</sup>	Ganzer Femur ( <i>Total Femur</i> )	TrvBMD	Trabekulärer vBMD ( <i>Trabecular vBMD</i> )		
F <sup>prox</sup>	Proximale Seite vom Femur	SI	Knochensteifigkeitsindex ( <i>Stiffness-Index</i> )		
FN	Oberschenkelhalsknochen ( <i>Femoral Neck</i> )	VOS	Knochensteifigkeitsindex ( <i>Stiffness-Index</i> )		
NN	<i>Narrow Neck</i>	SOS	Ultraschallgeschwindigkeit ( <i>Speed of Sound</i> )		
TIB	Tibia	BUA	Ultraschallabschwächung ( <i>Broadband Ultrasound Attenuation</i> )		
TIB <sup>dia</sup>	Diaphyse der Tibia				
TIB <sup>dist</sup>	Distale Seite der Tibia				
TIB <sup>prox</sup>	Proximale Seite der Tibia				
TIB <sup>sh</sup>	Schaft der Tibia ( <i>Midschaft</i> )				

Querschnittsstudien lediglich Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und KF. Prospektive Beobachtungsstudien und experimentelle Untersuchungen stellen hingegen mögliche Veränderungen und Wirkungen infolge körperlicher und sportlicher Aktivität auf den Bewegungsapparat dar. Um Studienergebnisse miteinander vergleichen zu können, müssen die Begriffe „körperliche Aktivität“ und „Sport“ unterschieden werden. Unter körperliche Aktivität (KA) ist jede körperliche Bewegung

zu verstehen, bei der die Skelettmuskulatur durch eine Muskelkontraktion beansprucht wird und die einen Energieverbrauch zur Folge hat. Sport ist eine geplante, strukturierte und sich wiederholende körperliche Aktivität, die eine Verbesserung der körperlichen Fitness anstrebt [29]. Der Effekt der Muskelkontraktion auf die KF ist von der Art, Dauer und Intensität der KA abhängig [30]. Vor allem kurzzeitig belastende und gewichtstragende Aktivitäten (Weight-Bearing Activities, WBA) mit einer hohen

Bodenreaktionskraft (Ground Reaction Force, GRF) lösen starke Muskelkontraktionen in den unteren und oberen Extremitäten, in der Hüfte sowie in der Lendenwirbelsäule aus und haben auf diese Knochenpartien eine osteogene (knochenaufbauende) Wirkung [7, 9, 25, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]. Bekannte WBA mit einer hohen GRF und einem nachgewiesenen Einfluss auf die KF sind Fußball, Kurz- und Mittelstreckenläufe (GRF: Zwei- bis Dreifache des Körpergewichts), Basketball (GRF: Vier- bis Fünffache des Kör-

pergewicht) oder Volleyball (GRF: Dreifach bis Sechsfache des Körpergewichts) [38]. Hingegen wurden für geringe gewichtstragende Aktivitäten mit einer niedrigen GRF (Schwimmen, Radfahren) keine osteogenen Effekte ermittelt [5, 13, 25, 31, 37]. Während mechanische Belastungen die Variabilität der KF bis zu 40% determinieren, bestimmen nicht-mechanische Faktoren wie Hormone (Wachstumshormone, Androgene) und Nährstoffe (Kalzium, Vitamin D) die Anbau- und Umstrukturierungsprozesse im Knochen zu einem geringeren Prozentsatz. So wurde festgestellt, dass bei gesunden Menschen ohne Hormonmangel, ohne eine klinisch relevante Rachitis oder ohne Erkrankungen des muskuloskeletalen Systems die Variabilität der KF durch nicht-mechanische Faktoren bis zu 10% determiniert werden kann [20, 21].

### **Einfluss körperlicher Aktivität auf die Knochengesundheit im Kindes- und Jugendalter**

Das Kindes- und Jugendalter gilt als eine der sensibelsten Phasen für Aufbau- und Umstrukturierungsprozesse des Knochens [18, 34]. Eine optimale Knochenentwicklung wird häufig anhand der maximalen Knochenmasse (Peak Bone Mass, PBM) geschätzt, die zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr erreicht ist. In der Knochenforschung werden einer hohen erreichten PBM eine verbesserte KF sowie ein protektiver Effekt in Bezug auf Frakturen und Osteoporose im Erwachsenenalter zugeschrieben [14, 19, 39]. Obwohl die PBM zu einem hohen Anteil genetisch festgelegt ist, weisen Beobachtungs- und Interventionsstudien darauf hin, dass KA und Sport die PBM in jungen Jahren positiv beeinflussen [19, 30, 33, 40].

### **Kinder vor und zu Beginn der Pubertät**

In Beobachtungsstudien werden bei Kindern häufig moderate bis starke KA (Moderate to Vigorous Physical Activity, MVPA) mittels Accelerometrie oder Fragebögen (Berechnung von KA-Skalen) erfasst (■ **Tab. 2, 3**). Ergebnisse aus Querschnitts- und longitudinalen Unter-

## **Zusammenfassung · Abstract**

Bundesgesundheitsbl 2011 · 55:35–54 DOI 10.1007/s00103-011-1393-z  
© Springer-Verlag 2011

D. Herrmann · A. Hebestreit · W. Ahrens

### **Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport auf die Knochengesundheit im Lebenslauf. Ein Überblick**

#### **Zusammenfassung**

Körperliche Aktivität und Sport sind nicht nur für die metabolische und kardiovaskuläre Gesundheit, sondern auch für die Knochengesundheit von großer Bedeutung. Der vorliegende Übersichtsartikel fasst Ergebnisse aus Beobachtungs- und Interventionsstudien zusammen, die den Zusammenhang zwischen körperlicher/sportlicher Aktivität und der Knochengesundheit im Lebenslauf untersuchen. Bereits im Kindes- und Jugendalter führen körperliche Aktivität und Sport zu einem erhöhten Knochenzuwachs. Im Erwachsenenalter kann altersbedingter Knochenschwund durch kontinuierliche und über mehrere Monate durchgeführte Sportprogramme vermindert werden. Dabei zeigen insbesondere Weight-Bearing Activities einen bedeutenden osteogenen Effekt. Im Kindes- und Jugendalter ist ein höherer Knochenzuwachs bis zu fünf Jahre nach Beendigung des Sportprogramms zu beobachten. Im Erwachsenenalter hingegen nimmt

die Knochenfestigkeit nach Einstellung sportlicher Aktivitäten sogar schneller ab als bei Personen, die keinen Sport getrieben haben. Kontinuierlich durchgeführte körperliche und sportliche Aktivität sowie die Implementierung von Sportprogrammen in Schulen und bevölkerungsbasierten Interventionsprogrammen sind präventive Maßnahmen, um Osteoporose und osteoporosebedingte Frakturen vorzubeugen. Aufgrund fehlender prospektiver Langzeituntersuchungen ist die vermutete langfristig anhaltende Schutzwirkung von hoher körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf den altersbedingten Knochenschwund im Erwachsenenalter noch nicht belegt.

#### **Schlüsselwörter**

Knochengesundheit · Osteoporose · Körperliche Aktivität · Sport · Kompetenznetz Adipositas

### **Impact of physical activity and exercise on bone health in the life course. A review**

#### **Abstract**

Physical activity and exercise are important determinants for metabolic and cardiovascular health. They also play an important role for bone health in childhood, adolescence, and adulthood. This review summarizes results from observational and intervention studies which evaluated the association between physical activity/exercise and bone health in different life course stages. In childhood and adolescence, physical activity and exercise induce improved bone accrual. In adulthood, mainly in postmenopausal women, long-term exercise programs reduce age-related bone loss. Especially weight-bearing activities seem to have an important osteogenic effect. Children and adolescent show a higher bone accrual until 5 years after cessation of an exercise program compared to their peers, who do not participate in an exercise program. In contrast, adults who quit

exercising have a higher decrease in bone stiffness compared to adults who never exercised. This effect was particularly seen in postmenopausal women. Continuous physical activity and exercise over the life course and the implementation of exercise programs in schools and community-based intervention programs can help prevent or even reduce osteoporosis and osteoporosis-related fractures. Due to the lack of prospective longitudinal studies, the supposed long-term sustainable protective effect of physical activity and exercise in childhood and adolescent on bone health in later adulthood is not well established.

#### **Keywords**

Bone health · Osteoporosis · Physical activity · Exercise · Competence Network Obesity

**Tab. 2** Ergebnisse von Querschnittstudien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß		Bemerkung
Tobias et al. 2007 [42]	♂ und ♀ N: 4457	11,8	Acc. Moderate Aktivität (MPA, 100 counts/min) Starke Aktivität (VPA, 100 counts/min)	DEXA TB <sub>BMC</sub> (g) TB <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> ) UE <sub>BMC</sub> (g) UE <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> ) OE <sub>BMC</sub> (g) OE <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	MPA β = 18,83, p < 0,001 β = 7,48, p < 0,001 β = 13,07, p < 0,001 β = 12,61, p < 0,001 β = 0,11, NS β = 0,17, NS	VPA β = 6,59, p = 0,03 β = 2,44, p = 0,04 β = 2,25, NS β = 2,91, NS β = 1,34, p = 0,008 β = 2,83, p = 0,004	– Multiple lineare Regression: AV = TB <sub>BMC</sub> , TB <sub>BMD</sub> , UE <sub>BMC</sub> , UE <sub>BMD</sub> , OE <sub>BMC</sub> , OE <sub>BMD</sub> , UV = MVPA – Die Knochenfläche der Knochenregionen war ebenfalls sig. positiv assoziiert mit MVPA
Janz et al. 2008 [9]	♂ und ♀ N: 449	11,2	Acc. MVPA (min/Tag)	DEXA ♂ HIP <sub>BMC</sub> (g) ♂ LS <sub>BMC</sub> (g) ♂ TB <sub>BMC</sub> (g) ♀ HIP <sub>BMC</sub> (g) ♀ LS <sub>BMC</sub> (g) ♀ TB <sub>BMC</sub> (g)	β = 0,04, p < 0,001 β = 0,03, p < 0,001 β = 1,42, p < 0,001 β = 0,02, p = 0,033 β < 0,01, NS β = 0,71, p = 0,054		– Multivariate Regression: AV = HIP <sub>BMC</sub> , LS <sub>BMC</sub> , TB <sub>BMC</sub> , UV = MVPA, adj. für KH, KG, TS – KA zusätzlich erfasst mit FB (PAQ-C), der eine geringere aufklärende Varianz zeigte als Acc.-Daten
Kriemler et al. 2008 [11]	♂ und ♀ N: 449	6–13	Acc. VPA (min/Tag)	DEXA HIP <sub>BMC</sub> (g) HIP <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	♂ r = 0,24, p < 0,01 r = 0,24, p < 0,01	♀ r = 0,10, NS r = 0,14, NS	– Partielle Korrelation, adj. für Alter, KH, TS – Keine sig. Ass. zwischen VPA und LS/TB – ♂ im niedrigsten VPA-Tertil hatten eine um 7,3% geringere HIP <sub>BMC</sub> als ♂ im höchsten VPA-Tertil
Wang et al. 2005 [30]	♀ N: 242	PRÄ, Beginn PUB 10–12	FB KA <sub>hoch</sub> (vs. KA <sub>niedrig</sub> )	DEXA, pQCT TB <sub>BMC</sub> TB <sub>aBMD</sub> LS <sub>BMC</sub> LS <sub>aBMD</sub> F <sup>total</sup> <sub>BMC</sub> F <sup>total</sup> <sub>aBMD</sub> TIB <sup>sh</sup> <sub>BMC</sub> TIB <sup>sh</sup> <sub>vBMD</sub> TIB <sup>sh</sup> <sub>CSA</sub> TIB <sup>sh</sup> <sub>CovBMD</sub> TIB <sup>sh</sup> <sub>CoTh</sub>	PRÄ + 5,2%, p = 0,015 <sup>c</sup> + 2,9%, p = 0,023 <sup>c</sup> + 8,2%, p = 0,025 <sup>c</sup> + 4,9%, NS <sup>c</sup> + 5,0%, p = 0,016 <sup>c</sup> + 5,6%, p = 0,016 <sup>c</sup> + 4,6%, p < 0,001 <sup>c</sup> + 1,7%, NS <sup>c</sup> + 2,2%, p = 0,003 <sup>c</sup> + 1,7%, p = 0,038 <sup>c</sup> + 3,8%, p = 0,021 <sup>c</sup>	Beginn PUB + 1,2%, NS <sup>c</sup> + 0,6%, NS <sup>c</sup> + 6,1%, p = 0,054 <sup>c</sup> + 6,3%, p = 0,025 <sup>c</sup> + 4,5%, NS <sup>c</sup> + 4,1%, NS <sup>c</sup> + 0,0%, NS <sup>c</sup> + 0,7%, NS <sup>c</sup> + 0,0%, NS <sup>c</sup> + 0,5%, NS <sup>c</sup> + 2,0%, NS <sup>c</sup>	– Dieselben Trends zeigen sich für „hohe WBA“ vs. „keine/geringe WBA“
Weeks et al. 2010 [16]	♂ und ♀ N: 99	13–14	FB BPAQ-Score Vertikale Sprunghöhe (cm)	DEXA, QUS FN <sub>BMC</sub> (g) BUA (dB/MHz) FN <sub>BMC</sub> (g) LS <sub>BMC</sub> (g) TB <sub>BMC</sub> (g) BUA (dB/MHz)	♂ r = 0,35, p = 0,03 r = 0,26, p = 0,05 r = 0,43, p < 0,01 r = 0,50, p < 0,01 r = 0,38, p = 0,02 r = 0,28, p = 0,03	♀ r = 0,32, p = 0,02 r = 0,17, p = 0,11 r = 0,18, p = 0,14 r = 0,23, p = 0,08 r = 0,02, p = 0,45 r = 0,07, p = 0,31	– Korrelationsplots – BPAQ-Score zudem Vorhersagewert für FN <sub>CSMI</sub> , LS <sub>BMC</sub> , LS <sub>IBS</sub> , TR <sub>BMC</sub> , TB <sub>BMC</sub> bei ♂ und FN <sub>BMD</sub> , TR <sub>BMC</sub> bei ♀
Tourmis et al. 2010 [49]	♀ N: 49	PRÄ 9–13	GYM	pQCT TIB <sub>BMC</sub> (mg) TIB <sub>vBMD</sub> (mg/cm <sup>3</sup> ) TIB <sub>CSA</sub> (mm <sup>2</sup> ) TIB <sub>CoBMC</sub> (mg) TIB <sub>CoCSA</sub> (mm <sup>2</sup> ) TIB <sub>CoTh</sub> (mm) TIB <sub>CoSlp</sub> (mm <sup>3</sup> )	%Differenz für GYM (vs. C) + 20,0%, p < 0,001 <sup>c</sup> + 7,2%, p = 0,007 <sup>c</sup> + 13,4%, p = 0,001 <sup>c</sup> + 30,3%, p < 0,001 + 30,1%, p < 0,001 + 25,8%, p < 0,001 + 31,5%, p < 0,001		– Rekrutiert aus Leistungssportvereinen (mindestens 2 Jahre Trainingsdauer)

**Tab. 2 Ergebnisse von Querschnittstudien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit (Fortsetzung)**

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß	Bemerkung		
Bass et al. 2002 [43]	♀ N: 47	PRÄ, Beginn PUB und POST 8–17	Tennis Belasteter (vs. nicht belasteter) Arm	DEXA, MRI	%-Differenz für belasteter Arm (vs. nicht belasteter Arm)	– Tennisclub für mindestens 2 Jahre – Ähnliche Trends an HUM <sup>dist</sup>		
					PRÄ		Beginn PUB	POST
				HUM <sub>CoBA</sub>	+ 7,7%, p < 0,001		+ 11,9%, p < 0,01	+ 12,1%, p < 0,001
			HUM <sub>Ip</sub>	+ 11,3%, p < 0,001	+ 16,9%, p < 0,01	+ 17,0%, p < 0,001		
Ferry et al. 2010 [5]	♀ N: 73	15,9 ± 2,0– 16,3 ± 1,2 <sup>b</sup>	SOC, SWIM	DEXA, HSA	%-Differenz für SOC (vs. SWIM)	– Rekrutiert aus Leistungssportvereinen (mindestens 6 Jahre Trainingsdauer) – SOC (vs. SWIM): höhere Werte für TR <sub>BMC</sub> , TR <sub>BMD</sub> , WT <sub>BMC</sub> , WT <sub>BMD</sub> , TIB <sub>BMC</sub> , TIB <sub>BMD</sub> (+ 11,11% bis + 20,71%, p < 0,001 <sup>c</sup> )		
				TB <sub>BMC</sub>	+ 16,6%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				TB <sub>BMD</sub>	+ 12,6%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				LS <sub>BMC</sub>	+ 19,7%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				LS <sub>BMD</sub>	+ 11,5%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				HIP <sub>BMC</sub>	+ 21,5%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				HIP <sub>BMD</sub>	+ 17,9%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
				FN <sub>BMC</sub>	+ 22,3%, p < 0,001 <sup>c</sup>			
FN <sub>BMD</sub>	+ 16,7%, p < 0,001 <sup>c</sup>							
			RAD/UL <sub>BMD</sub>	+ 5,6%, p < 0,03 <sup>c</sup>				
Duncan et al. 2002 [31]	♀ N: 75	POST 15–18	RUN, SWIM, RAD, TRI	DEXA	%-Differenz für RUN (vs. C, SWIM, RAD)	– Rekrutiert aus Sportvereinen – Keine sig. Unterschiede in ARM <sub>BMD</sub> zwischen den einzelnen Gruppen – Keine sig. Unterschiede zwischen RUN und TRI		
				TB <sub>BMD</sub>	+ 8,6– + 9,2%			
				LS <sub>BMD</sub>	+ 12,2%			
				FN <sub>BMD</sub>	+ 9,7– + 10%			
				LEG <sub>BMD</sub>	+ 11– + 13,2%			
Pettersson et al. 2000 [57]	♀ N: 50	POST 17,4 ± 0,8	JUMP, SOC	DEXA	%-Differenz für JUMP (vs. C)	– Rekrutiert aus Leistungssportvereinen (mindestens 2 Jahre Training) – Knochenfläche stark assoziiert mit Muskelkraft		
				TB <sub>BMD</sub> /TB <sub>BMC</sub>	+ 6,5– + 14,1%, p < 0,05 <sup>c</sup>			
				LS <sub>BMD</sub> /LS <sub>BMC</sub>	+ 12,4– + 18,4%, p < 0,05 <sup>c</sup>			
				TIB <sub>BMD</sub> <sup>dia</sup> /TIB <sub>BMC</sub> <sup>dia</sup>	+ 14,4– + 16,4%, p < 0,05 <sup>c</sup>			
					%-Differenz für SOC (vs. C)			
				FN <sub>BMD</sub> /FN <sub>BMC</sub>	+ 11,6– + 11,6%, p < 0,05 <sup>c</sup>			
				TR <sub>BMD</sub> /TR <sub>BMC</sub>	+ 14,3– + 18,3%, p < 0,05 <sup>c</sup>			
					%-Differenz für JUMP (vs. SOC)			
				TB <sub>BMD</sub>	+ 6,0%, p < 0,05			
				LS <sub>BMD</sub>	+ 10,3%, p < 0,05			
			HUM <sub>BMD</sub>	+ 8,6%, p < 0,05				
McKay et al. 2011 [100]	♂ und ♀ N: 278	POST 15–20	FB (PAQ-A)	pQCT	Aufklärende Varianzen von belastender KA	– Linear, multivariate Regression: AV = Indikatoren der TIB, UV = belastende KA, adj. für KH, KG, Tibiallänge, Kalzium Muskelfläche, Herkunft, TS		
			Belastende KA vs. nicht belastende KA	TIB <sub>Imin-max</sub>	10–12%, p < 0,001 (in ♂)			
				TIB <sub>ToA</sub>	6%, p = 0,003 (in ♂), 4%, p = 0,011 (in ♀)			
				TIB <sub>TRBMD</sub>	5%, p = 0,004 (in ♀)			

Acc. Accelerometer, Adj. adjustiert, Ass. Assoziation, AV abhängige Variable, BPAQ Bone-specific Physical Activity Questionnaire, C Kontrollen, FB Fragebogen, FM Fettmasse, GYM Eliteturnerinnen, JUMP Springen/Springseil, KA Körperliche Aktivität, KF Knochenfestigkeit, KG Körpergewicht, KH Körperhöhe, RUN Laufen, MM Magermasse, MVPA Moderate bis starke KA, PAQ-A/C Physical Activity Questionnaire for Adults/Children, POST nach der Pubertät, PRÄ vor der Pubertät, PUB zu Beginn der Pubertät, RAD Radfahren, RUN Rennen, sig. signifikant, SOC Fußball, SWIM Schwimmen, TRI Triathlon, TS Tanner-Stadium, UV unabhängige Variable, VPA starke KA, vs. versus, WBA Weight-Bearing Activities. <sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe **Tab. 1**. <sup>b</sup>Altersspanne ermittelt aus den gemittelten Altern pro Gruppe. <sup>c</sup>Prozentuale Effekte ermittelt aus den gemittelten Indikatoren der Knochenfestigkeit.

**Tab. 3** Ergebnisse von longitudinalen Studien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit

Studie (Beobachtungsdauer)	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß	Bemerkung
Janz et al. 2007 [41] (3 Jahre)	♂ und ♀ N: 468	5,3 (T0)	Acc.	DEXA, HSA		– Mehrebenen-Regressionsanalyse, AV = FN <sub>CSA</sub> , FN <sub>Z</sub> , UV = MVPA, adj. für Alter, KH, KG – Keine sig. positive Ass. zwischen MVPA und FN <sub>CSA</sub> /FN <sub>Z</sub> bei ♀ – k.A. zu Alter
			MVPA (10 min/Tag)	FN <sub>CSA</sub> (cm <sup>2</sup> )	β = 0,012, p < 0,001 (in ♂)	
				FN <sub>Z</sub> (cm <sup>3</sup> )	β = 0,004, p < 0,05 (in ♂)	
Janz et al. 2010 [10] (6 Jahre)	♂ und ♀ N: 333	5,3 (T0)	Acc.	DEXA		– Gemischtes lineares Regressionsmodell: AV = TB <sub>BMC</sub> , LS <sub>BMC</sub> , HIP <sub>BMC</sub> mit 8 und 11 Jahre; UV = MVPA mit 5 Jahre, adj. für Alter, TS, KH, KG, aktuelle MVPA, BMC (5 Jahre) – Keine sig. positive Ass. zwischen MVPA und BMC bei ♀
			MVPA mit 5 Jahre (10 min/Tag)	TB <sub>BMC</sub> (g)	β = 5,77, p = 0,046 (in ♂)	
				LS <sub>BMC</sub> (g)	β = 0,44, p = 0,002 (in ♂)	
			HIP <sub>BMC</sub> (g)	β = 0,13, p = 0,039 (in ♂)		
Devlin et al. 2010 [4] (6 Jahre)	♀ N: 78	11,9 (T0)	FB	DEXA, HSA	KA <sub>T3</sub> (vs. KA <sub>T1</sub> und KA <sub>T2</sub> )	– KA erfasst ab dem 12. Lebensjahr – Erfassung der KF im Alter von 17 Jahre
			KA-Score	NN <sub>SI</sub>	+ 10–11%, p < 0,02	
			Einteilung in Tertile	IT <sub>SI</sub>	+ 10–11%, p < 0,05	
Sundberg et al. 2002 [60] (3 Jahre)	♂ und ♀ N: 72	PRÄ, Beginn PUB 13,2 ± 0,3 (T0)	FB	DEXA, QUS	KA+ (vs. KA-) zu T0	– 3 Jahre mehr KA+ oder KA- (zwischen 13 und 16 Jahre), zeigte keine sig. erhöhten Unterschiede zwischen beiden KA-Gruppen – Sport und KA hatten zusätzliche Effekte vor dem 13. Lebensjahr, danach nicht mehr
			KA im Alter von 9–13 Jahre (Querschnittsbefragung)	FN <sub>BMC</sub>	+ 15,1%, p = 0,02	
			Einteilung in hohe (KA+) vs. niedrige (KA-)	FN <sub>BMD</sub>	+ 13,0%, p = 0,002	
				FN <sub>VMD</sub>	+ 11,6%, p = 0,004	
				BUA	+ 7,6%, p = 0,03	
	SOS	+ 1,5%, p = 0,01				
	SI	+ 13,0%, p = 0,01				
Kontulainen et al. 2001 [35] (5 Jahre)	♀ N: 91	JUNG: 10,5 ± 2,2 (Trainingsstart vor Menarche)  ALT: 26,4 ± 8,0 (Trainingsstart nach Menarche)	Tennis, Squash	DEXA	Mittlere Seitenveränderung (%) zwischen belastetem und nicht belastetem Arm von T0–T1	– Rekrutiert aus Leistungssportvereinen – JUNG: verringerte Differenz von T0–T1, da Erhöhung des BMC im nicht belasteten Arm – ALT: erhöhte Differenz zwischen T0 und T1, da Verringerung des BMC im nicht belasteten Arm und gleich bleibender BMC im belastetem Arm
			Belasteter vs. nicht belasteter Arm	HUM <sup>prox</sup> <sub>BMC</sub> (JUNG)	– 2,7% <sup>d</sup>	
				HUM <sup>sh</sup> <sub>BMC</sub> (JUNG)	+ 0,3%, NS	
				RAD <sup>dist</sup> <sub>BMC</sub> (JUNG)	– 2,1% <sup>d</sup>	
				HUM <sup>prox</sup> <sub>BMC</sub> (ALT)	+ 2,3% <sup>d</sup>	
				HUM <sup>sh</sup> <sub>BMC</sub> (ALT)	+ 1,3% <sup>d</sup>	
				RAD <sup>dist</sup> <sub>BMC</sub> (ALT)	– 0,4%, NS	

Acc. Accelerometer, Adj. adjustiert, Ass. Assoziation, AV abhängige Variable, C Kontrollen, FB Fragebogen, J Jahre (Alter), k.A. keine Angabe, KA körperliche Aktivität, KA<sub>T1</sub> 1. Tertile von KA, KA<sub>T2</sub> 2. Tertile von KA, KA<sub>T3</sub> 3. Tertile von KA, KF Knochenfestigkeit, KG Körpergewicht, KH Körperhöhe, MM Magermasse, MVPA Moderate bis starke KA, NS nicht signifikant, PRÄ vor der Pubertät, PUB zu Beginn der Pubertät, sig. signifikant, T0 Basiserhebung, T1 1. Follow-up, TS Tanner-Stadium, UV unabhängige Variable.  
<sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe Tab. 1. <sup>d</sup>Signifikant im 95%-Konfidenzintervall.

**Tab. 4** Interventionsstudien (RCT, CT) zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Interventionseffekte	Bemerkung
Fuchs et al. 2001 [32]	♂ und ♀ N: 89	PRÄ 5,9–9,8	7 Monate, 3 × /W	DEXA	%-Differenz für I (vs. C)	– Schulbasiert
			Sprungprogramm	FN <sub>BMC</sub>	+ 4,5% (k.A. zu p)	
			– 10 min Springen/Session	FN <sub>BMD</sub>	+ 1,4%, p = 0,085	
			– 50–100 Sprünge/Session	FN <sub>BA</sub>	+ 2,9% (k.A. zu p)	
			– GRF: 8,5 × KG	LS <sub>BMC</sub>	+ 3,1% (k.A. zu p)	
				LS <sub>BMD</sub>	+ 2,0% (k.A. zu p)	
Gunter et al. 2008a [33]	♂ und ♀ N: 57	PRÄ 7,6 ± 1,0– 7,9 ± 1,0 <sup>b</sup>	7 Monate, 3 × /W	DEXA	%-Differenz für I (vs. C)	– Schulbasiert – I-Effekt verliert nach 3 Jahren an Bedeutung – 5 Jahre nach Interventionsende: HIP <sub>BMC</sub> = 1,4% – Keine I-Effekte an FN <sub>BMC</sub> und TR <sub>BMC</sub>
			Sprungprogramm	HIP <sub>BMC</sub>	+ 3,6%, p < 0,05	
			– 10 min Springen/Session			
			– 50–100 Sprünge/Session			
			– GRF: 8,5 × KG			
Linden et al. 2006 [48]	♀ N: 99	PRÄ 7–9	2 Jahre, zusätzlich 40 min pro Tag extra WBA	DEXA	Erhöhter jährlicher Zuwachs (%) für I (vs. C)	– Schulbasiert
			– Innen- und Außenaktivitäten (Lauf-, Spring-, Ball-, Kletter-spiele)	LS <sup>2-4</sup> <sub>BMC</sub>	+ 3,8%, p = 0,007	
				LS <sup>2-4</sup> <sub>aBMD</sub>	+ 1,2%, p = 0,02	
				LS <sup>3</sup> <sub>BMC</sub>	+ 7,2%, p < 0,001	
				LS <sup>3</sup> <sub>aBMD</sub>	+ 1,6%, p = 0,006	
				LS <sup>3</sup> <sub>width</sub>	+ 1,8%, p < 0,001	
				LEG <sub>BMC</sub>	+ 3,0%, p = 0,07	
				LEG <sub>aBMD</sub>	+ 1,2%, p = 0,007	
TB <sub>aBMD</sub>	+ 0,6%, p = 0,006					
	FN <sub>width</sub>	+ 0,3%, p = 0,02				
Valdimars-son et al. 2006 [40]	♀ N: 103	PRÄ 7–9	1 Jahr, 2–5 × /W	DEXA	%-Differenz für I (vs. C)	– Schulbasiert – Nicht randomisiert
			Erhöhter Sportunterricht	LS <sup>2-4</sup> <sub>BMC</sub>	+ 4,7%, p < 0,001	
			– I: 40 min Sport/5 × W	LS <sup>3</sup> <sub>BMC</sub>	+ 9,5%, p < 0,001	
			C: 60 min Sport/1–2 × /W	LS <sup>2-4</sup> <sub>aBMD</sub>	+ 2,8%, p < 0,001	
				LS <sup>3</sup> <sub>aBMD</sub>	+ 3,1%, p < 0,001	
		LS <sup>3</sup> <sub>width</sub>	+ 2,9%, p < 0,001			
Gunter et al. 2008b [7]	♂ und ♀ N: 205	PRÄ 8,6 ± 0,9	7 Monate, 3 × /W	DEXA	%-Differenz für I (vs. C)	– Schulbasiert – I (vs. C) 3 Jahre nach Interventionsende: FN <sub>BMC</sub> 4,4%, p < 0,05, LS <sub>BMC</sub> 2,3%, p < 0,05, HIP <sub>BMC</sub> 3,2%, p < 0,05, TB <sub>BMC</sub> 2,9%, p < 0,05
			Sprungprogramm	FN <sub>BMC</sub>	+ 7,7%, p < 0,05	
			– 10 min Springen/Session	LS <sub>BMC</sub>	+ 7,9%, p < 0,05	
			– 50–100 Sprünge/Session	HIP <sub>BMC</sub>	+ 8,4%, p < 0,05	
			– GRF: 8,5 × KG	TB <sub>BMC</sub>	+ 7,3%, p < 0,05	
MacKell-vie et al. 2004 [46]	♂ N: 64	PRÄ 10,1 ± 0,5– 10,2 ± 0,5 <sup>b</sup>	20 Monate, 3 × /W	DEXA, HSA	%-Differenz für I (vs. C)	– Schulbasiert – Höherer Zuwachs für FN <sub>BA</sub> , IT <sub>CSA</sub> und IT <sub>CoTh</sub> in I-Gruppe (vs. C)
			Sprungprogramm	FN <sub>BMC</sub>	+ 4,3%, p < 0,01	
			– 10–12 min Springen/Session	NN <sub>CSMI</sub>	+ 12,4%, p < 0,05	
			– 50–100 Sprünge/Session	NN <sub>Z</sub>	+ 7,4%, p < 0,05	
			– GRF: 3,5–5 × KG	NN <sub>CSA</sub>	+ 2,5%, p = 0,17	
MacKell-vie et al. 2001 [1, 52]	♀ N: 70	PRÄ 10,0 ± 0,6– 10,1 ± 0,5 <sup>b</sup>	7 Monate, 3 × /W	DEXA	Keine sig. Veränderungen der Indikatoren der KF an FN, TB, TR und LS	– Schulbasiert
			Sprungprogramm			
			– 10–12 min Springen/Session			
			– 50–100 Sprünge/Session			
			– GRF: 3,5–5 × KG			
Petit et al. 2002 [1, 54]	♀ N: 70	PRÄ 10,0 ± 0,6– 10,1 ± 0,5 <sup>b</sup>	7 Monate, 3 × /W	DEXA, HSA	Keine sig. Veränderungen der Indikatoren der KF und Knochenstruktur an FN, NN, IT und F <sup>sh</sup>	– Schulbasiert
			Sprungprogramm			
			– 10–12 min Springen/Session			
			– 50–100 Sprünge/Session			
			– GRF: 3,5–5 × KG			

**Tab. 4** Interventionsstudien (RCT, CT) zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter auf die Knochengesundheit (Fortsetzung)

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Interventionseffekte	Bemerkung
McKay et al. 2000 [52]	♂ und ♀ N: 144	PRÄ, PUB 6,9–10,2	8 Monate, 3 × /W Sprungprogramm – 10 min Belastung/Session	DEXA TR <sub>aBMD</sub>	%-Differenz für I (vs. C) + 1,2%, p < 0,05	– Schulbasiert – Keine I-Effekte an FN, LS, TB und F <sup>prox</sup>
MacKellvie et al. 2003 [53]	♀ N: 75	PRÄ, PUB 9,9 ± 0,6– 10,3 ± 0,4 <sup>b</sup>	20 Monate, 3 × /W Sprungprogramm – 10–12 min Springen/Session – 50–100 Sprünge/Session – GRF: 3,5–5 × KG	DEXA LS <sub>BMC</sub> FN <sub>BMC</sub>	%-Differenz für I (vs. C) + 3,7%, p < 0,05 + 4,6%, p < 0,05	– Schulbasiert – Keine I-Effekt an TR und TB
Macdonald et al. 2007 [45]	♂ und ♀ N: 410	PRÄ, Beginn PUB 10,2 ± 0,6	16 Monate, täglich Sprungprogramm – 15 min Springen/Session	pQCT TIB <sub>BSI</sub> TIB <sub>BMD</sub>	Absolute Differenz für I (vs. C) + 222,9 mg <sup>2</sup> /mm <sup>4</sup> , (k.A. zu p) (nur in PRÄ ♂) + 6,5 mg/cm <sup>3</sup> , (k.A. zu p) (nur in PRÄ ♂)	– Schulbasiert
Meyer et al. 2011 [12]	♂ und ♀ N: 502	PRÄ: 6–7 PUB: 11–12	9 Monate, 5 × /W Sprungprogramm + 2 zusätzliche Sportstunden – 15 min Springen/Session	DEXA FN <sub>BMC</sub> LS <sub>BMC</sub> LS <sub>BMD</sub> TB <sub>BMC</sub> TB <sub>BMD</sub>	%-Veränderung T0–T1 für I-Gruppe + 5,4%, p = 0,04 + 4,7%, p = 0,01 + 7,3%, p ≤ 0,001 + 5,5%, p = 0,001 + 8,4%, p ≤ 0,001	– Schulbasiert – Höhere I-Effekte bei PRÄ an TB <sub>BMC</sub> , FN <sub>BMC</sub> , LS <sub>BMC</sub>
MacKellvie et al. 2001 [2] [52]	♀ N: 107	PUB 10,4 ± 0,7– 10,5 ± 0,6 <sup>b</sup>	7 Monate, 3 × /W Sprungprogramm – 10–12 min Springen/Session – 50–100 Sprünge/Session – GRF: 3,5–5 × KG	DEXA FN <sub>BMC</sub> FN <sub>aBMD</sub> FN <sub>vBMD</sub> LS <sub>BMC</sub> LS <sub>aBMD</sub>	%-Differenz für I (vs. C) + 1,9%, p < 0,05 + 1,6%, p < 0,05 + 3,1%, p < 0,05 + 1,8%, p < 0,05 + 1,7%, p < 0,05	– Schulbasiert
Petit et al. 2002 [2] [54]	♀ N: 107	PUB 10,4 ± 0,7– 10,5 ± 0,6 <sup>b</sup>	7 Monate, 3 × /W Sprungprogramm – 10–12 min Springen/Session – 50–100 Sprünge/Session – GRF: 3,5–5 × KG	DEXA, HSA FN <sub>BMD</sub> FN <sub>CSA</sub> FN <sub>CoTh</sub> FN <sub>Z</sub> IT <sub>BMD</sub>	%-Differenz für I (vs. C) + 2,6%, p = 0,03 + 2,3%, p = 0,04 + 3,2%, p = 0,03 + 4,0%, p = 0,04 + 1,7%, p = 0,02	– Schulbasiert
Weeks et al. 2008 [16]	♂ und ♀ N: 99	PUB, POST 13,8 ± 0,4	8 Monate, 2 × /W Sprungprogramm – 10 min Springen/Session – ~300 Sprünge/Session	DEXA, QUS FN <sub>BMC</sub> LS <sub>BMD</sub> TB <sub>BMC</sub> FN <sub>BA</sub> BUA	%-Veränderung T0–T1 für I (vs. C) + 13,9%, p = 0,05 vs. + 4,9%, NS (nur in ♀) + 5,2%, p = 0,04 vs. + 1,5%, NS (nur in ♀) + 10,6%, p = 0,001 vs. + 6,3%, p = 0,001 (nur in ♂) + 3,8%, p = 0,001 vs. + 2,7%, NS (nur in ♂) + 5,0%, p = 0,01 vs. + 1,4%, NS (nur in ♂)	– Schulbasiert – ♂ der I-Gruppe zeigten höhere TR <sub>BMC</sub> , LS <sub>BMC</sub> und TB <sub>BMC</sub> als ♀ der I-Gruppe
Johannsen et al. 2003 [51]	♂ und ♀ N: 54	PRÄ: 3–8 PUB: 11–12 POST: 15–18	12 Wochen, 5 × /W Sprungprogramm – ~45 Sprünge/Session – GRF: 4 × KG	DEXA, pQCT TB <sub>BMC</sub> LEG <sub>BMC</sub>	%-Differenz für I (vs. C) + 34,7%, p = 0,03 + 41,9%, p = 0,03	– Nicht schulbasiert, Kinder rekrutiert im Tageszentrum – Nur in PUB zeigte Sprungprogramm I-Effekt an TIB <sub>dist</sub> <sub>BMC</sub> , TIB <sub>vBMD</sub> <sub>dist</sub> , LS <sub>BMC</sub>

C Kontrollen, CT kontrollierte Studie (nicht randomisiert), GRF Bodenreaktionskraft (Ground Reaction Force), I Intervention, k.A. keine Angabe, KF Knochenfestigkeit, KG Körpergewicht, PRÄ vor der Pubertät, PUB Beginn Pubertät, POST späte/Ende Pubertät, RCT randomisierte kontrollierte Studie, sig. signifikant, T0 Basiserhebung, T1 1. Follow-up, WBA Weight-Bearing Activities, x/W Anzahl pro Woche. <sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe **Tab. 1**. <sup>b</sup>Altersspanne ermittelt aus den gemittelten Altern pro Gruppe

suchungen zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen MVPA und der KF [9, 10, 11, 41, 42]. So wird bei Grundschulkindern, die 40 Minuten am Tag moderat bis stark körperlich aktiv sind, eine bis zu 3% bis 5% höhere KF erwartet als bei Kindern, die nur zehn Minuten MVPA am Tag durchführen [41]. Teilweise wurde für moderate KA ein größerer osteogener Effekt auf die unteren Extremitäten ermittelt als für starke KA [42]. Die mittels Accelerometrie gemessene MVPA erklärt einen höheren Varianzanteil der KF als der häufig eingesetzte Fragebogen „Physical Activity Questionnaire for Children“ [9]. Das deutet darauf hin, dass aufgrund der durch Accelerometrie erfassten Beschleunigung in der vertikalen Bewegung der Effekt von WBA auf die KF besser festgehalten werden kann als durch Fragebögen und errechnete KA-Skalen.

Gegenüber Beobachtungsstudien untersuchen Interventionsstudien die Wirkung definierter, häufig schulbasierter Sport- und Bewegungsprogramme auf den Knochenzuwachs. Die über mehrere Monate durchgeführten Interventionsprogramme, häufig bestehend aus Sprungübungen (Seilspringen, Treppen-, Boxenhüpfen), erhöhten die KF an Lendenwirbelsäule, Hüfte und Oberschenkelhals (■ **Tab. 4**).

Studien, die Kinder vor und zu Beginn der Pubertät einschlossen, zeigten, dass die KF durch MVPA und Sportprogramme vor der Pubertät stärker beeinflusst wurde als zu Beginn der Pubertät [11, 12, 30, 43, 44, 45]. Besonders bei präpubertären Jungen wurde in einigen Beobachtungs- und Interventionsstudien ein bedeutender osteogener Effekt von KA und Sport beobachtet [10, 11, 45, 46]. Dieser Effekt lässt sich durch eine stärkere Beziehung zwischen KA und KF sowie durch die höhere KA/MVPA und Muskelstärke bei Jungen erklären [10, 11, 41, 42, 47]. Aber auch bei Mädchen konnte vor der Pubertät ein nennenswerter Effekt von Sport auf die KF gezeigt werden. Allerdings schlossen diese Studien keine Jungen ein, sodass ein direkter Vergleich zwischen den Geschlechtern schwierig ist [48, 49].

Schulbasierte Sportprogramme und KA hatten bei Mädchen auch zu Beginn

der Pubertät noch einen positiven Effekt auf den Knochenzuwachs [16, 50, 51, 52, 53, 54]. Bei ihnen beobachteten einige Studien mit Eintritt in die Pubertät einen stärkeren Einfluss von KA und Sport als im präpubertären Alter [52, 54]. Dieser Effekt kann bei Mädchen, aber auch bei Jungen auf die in der Pubertät erhöhte Östrogenproduktion zurückgeführt werden [21, 24]. Hingegen wurde für den ansteigenden Testosteronspiegel bei Jungen zu Beginn der Pubertät kein direkter Einfluss auf die Knochen, sondern lediglich auf die Muskelmasse gefunden [21].

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass KA und Sport bei Mädchen und Jungen sowohl vor als auch zu Beginn der Pubertät für einen beschleunigten Knochenzuwachs von großer Bedeutung sind. Die in den RCTs durchgeführten schulbasierten Interventionsprogramme bestätigen die Annahme, dass verstärkter Sportunterricht in Schulen ausreicht, um bei Kindern die KF zu erhöhen [40].

## Jugendliche und junge Erwachsene

Bei Jugendlichen sowie bei jungen Erwachsenen (bis zum 20. Lebensjahr) wurden in Beobachtungsstudien weniger die allgemeine KA als vielmehr der Einfluss von WBA bei bestimmten Sportarten auf den Knochenzuwachs untersucht. Vor allem im Rahmen von Querschnittsuntersuchungen wurden Jugendliche und junge Erwachsene aus Sportvereinen, bei denen zum Beispiel Fußball, Squash oder Gymnastik angeboten wurde, rekrutiert (■ **Tab. 2**). Die spontanen und abrupten Start- und Stoppmomente in den Bewegungsabläufen bei solchen Sportarten erhöhen die GRF [24, 55]. Die hierfür erforderlichen maximalen kurzzeitigen und wiederholenden Muskelkontraktionen üben eine hohe mechanische Belastung auf den jeweils belasteten Knochen aus [20]. Deshalb zeigten Jugendliche und junge Erwachsene, die in ihrer Freizeit Sport im Tennis-, Fußball-, Basketball- oder Volleyballverein durchführten, eine höhere KF als Jugendliche oder junge Erwachsene, die diese Freizeitsportarten nicht betrieben [5, 31, 35, 38, 43, 55, 56, 57, 58]. Dennoch wurde vor allem bei jungen Frauen eine Abnahme der Sensi-

tivität der Knochen gegenüber KA und Sport beobachtet [58]. Dieses Ergebnis wird durch Studien unterstützt, die alle drei Reifegrade, das heißt vor, zu Beginn und nach der Pubertät, einschlossen. Sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen war ab dem 14. Lebensjahr die Wirkung von KA und Sport auf die KF geringer als davor [43, 51, 59, 60]. Ob diese Beobachtung auf den Abschluss der Pubertät und der Körperlängenentwicklung sowie auf die Beendigung des Wachstums der Gelenkflächen zurückzuführen ist, wurde in der Literatur bisher kaum untersucht. Auch existieren bislang nur wenige Interventionsstudien, die die osteogene Wirkung bestimmter Sportarten in der späten und nach der Pubertät sowie im jungen Erwachsenenalter (14. bis 20. Lebensjahr) analysieren.

Nur wenige Studien haben die Effektivität von KA und Sport(programmen) gemeinsam untersucht und miteinander verglichen. So ermittelten Meyer et al. für KA (erfasst mit Accelerometrie) bei prä- und peripubertären Kindern keinen positiven Zusammenhang mit der KF. Hingegen konnten sie für ein schulbasiertes Sportprogramm in der Sportgruppe einen signifikanten Knochenzuwachs beobachten [12]. Eine Aussage zur Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen KA sowie Sport und dem Knochenzuwachs im Kindes- und Jugendalter ist aufgrund der heterogenen Datenlage problematisch. Dieser Überblicksartikel bestätigt die Aussage des US-amerikanischen Department of Health, dass vor allem WBA mit einer GRF über dem Dreifachen des Körpergewichts einen osteogenen Effekt auf die Lendenwirbelsäule und die Hüftknochen haben [61]. Mindestens zehn Minuten Sport, vor allem WBA, an zwei bis drei Tagen in der Woche über einen Mindestzeitraum von mehr als sechs bis sieben Monaten bewirken bei Kindern vor und zu Beginn der Pubertät eine positive Veränderung der Knochendichte und -struktur (■ **Tab. 4**, [61, 62]). Dabei hatten WBA mit einer höheren GRF (Achtfache des Körpergewichts) innerhalb eines kürzeren Interventionszeitraums eine osteogene Wirkung im Vergleich zu WBA mit einer geringeren GRF (Drei- bis Fünffache des Körpergewichts) (■ **Tab. 4**).

Mit Blick auf die Sensitivität bestimmter Knochenregionen und Indikatoren in den jeweiligen Reifestadien konnte bisher kein klarer Trend beobachtet werden (■ **Tab. 2, 3, 4**). Der Grund hierfür ist, dass bei Mehrpunktuntersuchungen insbesondere im Kindes- und Jugendalter infolge von Wachstum, Reifung und sich verändernden Proportionen nicht exakt derselbe Messpunkt erfasst wird wie in der jeweils vorausgehenden Untersuchung [45]. Zudem ist aufgrund der unterschiedlichen Methoden zur Erfassung der KF ein Vergleich der Indikatoren untereinander schwierig (■ **Tab. 2, 3, 4**).

Trotz der teilweise heterogenen Datenlage und der eingeschränkten Vergleichbarkeit unterschiedlicher Indikatoren und Erfassungsmethoden kann zusammenfassend sowohl für MVPA als auch für Sport bei Mädchen und Jungen vor und zu Beginn der Pubertät eine positive Wirkung auf den Knochenzuwachs konstatiert werden. Umstritten bleibt der Effekt von Leistungssport auf die KF. Sportler stellen eine selektierte Gruppe dar, die durch eine mögliche genetische Disposition, zum Beispiel für eine ausgeprägtere Muskulatur, bereits für bestimmte Sportarten geeigneter sind als andere Menschen. Hinzu kommt hier die Schwierigkeit, geeignete Kontrollpersonen zu finden, um für genetische, hormonelle und ernährungsbedingte Kofaktoren zu kontrollieren [13, 18, 24, 44]. Um diesen Selektionsbias zu vermeiden, wird häufig an einem einzigen Individuum der Effekt mechanischer Belastungen auf die KF untersucht. So ist Tennis ein geeigneter Sport, um die KF des spielenden (belasteten) Arms mit der KF des nicht spielenden (nicht belasteten) Arms zu vergleichen [35, 43, 63]. Während Studien zum Tennis sowie zu anderen Sportarten einen positiven Effekt auf die belasteten Knochenregionen zeigten [5, 13, 31, 35, 38, 43, 44, 55], wurde in anderen Untersuchungen an Leistungssportlern eine Verringerung der KF festgestellt. Auf der einen Seite bewirkt die reduzierte Verfügbarkeit von Energie für das Längenwachstum und für die Reifung einen verspäteten Eintritt in die Pubertät, vor allem bei weiblichen Leistungssportlern. Diese Wachstums- und Reifeverzögerungen sind stark mit einer verzögerten Knochenentwicklung assoziiert. Auf der anderen Seite erklärt sich die verringerte KF durch die sich wiederholenden, übermäßigen Belastungen des Knochens, wodurch es zur Ermüdung und Zerstörung der Mikrostruktur kommt. Abgebauter Knochen kann folglich nicht schnell genug ersetzt werden und wird brüchig [19, 24]. Ob die zurückgebliebene Knochenentwicklung nach Einstellung des Leistungssports langfristig wieder aufgeholt werden kann, konnte bislang nicht ausreichend geklärt werden [24, 64].

### Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit des osteogenen Effekts von KA und Sport im Kindes- und Jugendalter ist wenig untersucht. Häufig verfolgten Beobachtungs- und Interventionsstudien die Studienteilnehmer nur über wenige Jahre, sodass bisher keine Aussagen zur Wirkung von KA und Sport auf die KF über einen Zeitraum von zehn oder mehr Jahren gemacht werden können.

Allerdings wurde ein mittelfristig anhaltender Effekt von KA und Sport auf die KF beobachtet. So zeigten Kinder vor der Pubertät noch drei bis fünf Jahre nach einem siebenmonatigen schulbasierten Sprungprogramm im Vergleich zur Kontrollgruppe einen erhöhten Knochenmineralgehalt (Bone Mineral Content, BMC) (nach drei Jahren: 2,3 bis 4,4%; nach fünf Jahren: 1,4%) [33]. Auch bewirkte ein hohes Maß an KA im präpubertären Alter einen längerfristigen Effekt auf die KF im Vergleich zu präpubertären Kindern mit niedriger KA [4]. Fünfjährige mit einer hohen MVPA hatten auch noch nach drei und sechs Jahren (das heißt im Alter von acht und elf Jahren) eine um 4 bis 14% höhere BMC (Ganzkörper, Hüfte, Lendenwirbelsäule) als fünfjährige Kinder mit einer geringen MVPA [10]. Trotz der sich jährlich reduzierenden Effektstärke blieb dieser über den Beobachtungszeitraum statistisch signifikant [7, 10, 33]. Auch im Jugend- und frühen Erwachsenenalter hatte Sport (Fußball, Eishockey) einen mittelfristig anhaltenden Effekt auf die KF. Selbst fünf Jahre nach Beendigung des Trainings wurde bei männlichen Ex-

Sportlern ein um 4 bis 8% höherer BMD festgestellt als in der Kontrollgruppe [65]. Auch konnte bei jungen Frauen, die während ihrer Jugendzeit sportlich aktiv waren (Fußball), noch acht Jahre nach Beendigung der Sportausübung ein im Vergleich zur Kontrollgruppe höherer BMD am Oberschenkelhals nachgewiesen werden [58]. Ob diese Nachhaltigkeit von KA und Sport bis ins hohe Erwachsenenalter wirkt, wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

### Einfluss körperlicher Aktivität auf die Knochengesundheit im Erwachsenenalter

Infolge eines veränderten Hormonspiegels im Erwachsenenalter nehmen nach Erreichen der maximalen Knochenmasse (PBM) die Aufbau- und Umstrukturierungsprozesse im Knochen ab. Bei postmenopausalen Frauen finden kaum noch knochenaufbauende Prozesse statt [6]. Die Knochenfläche nimmt ab dem 60. Lebensjahr altersbedingt ab [66]. Der durchschnittliche altersbedingte Knochenschwund (BMC) pro Jahr liegt bei postmenopausalen Frauen bei etwa 0,5% [67]. Der Knochen verliert an Festigkeit. Damit erhöht sich das Risiko für Osteoporose und osteoporosebedingte Frakturen, insbesondere an Hüfte und Wirbelsäule [14, 26, 27, 68]. Inwiefern KA und Sport die knochenaufbauenden und Knochenumstrukturierungsprozesse im prä- und postmenopausalen Alter unterstützen, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Allerdings konnte sowohl in Beobachtungs- als auch in Interventionsstudien ein verringerter altersbedingter Knochenschwund durch KA und Sport an den unteren Extremitäten und der Lendenwirbelsäule beobachtet werden [1, 2, 6, 8, 15, 17, 69, 70, 71, 72, 73]. Zudem war sowohl im prä- als auch im postmenopausalen Alter die MVPA mit einem reduzierten Risiko für Hüftfrakturen assoziiert. So wurde für Frauen ein bis zu 38% und für Männer ein bis zu 45% reduziertes Hüftfrakturrisiko ermittelt [74].

Wie auch im Kindes- und Jugendalter untersuchen Beobachtungs- und Interventionsstudien im Erwachsenenalter den Einfluss jeweils unterschiedlicher körperlicher und sportlicher Aktivi-

**Tab. 5** Ergebnisse von Querschnittsstudien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Erwachsenenalter auf die Knochengesundheit

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß	Bemerkung
Creighton et al. 2001 [38]	♀ N: 41	PRÄ 18–26	HI (Basketball, Volleyball)	DEXA	HI (vs. NI, C)	– Rekrutiert aus Leistungs-sportvereinen
			OI (Fußball, Laufen)	TB <sub>BMD</sub>	+ 14,3– + 16,9%, p < 0,05 <sup>c</sup>	
			NI (Schwimmen)	FN <sub>BMD</sub>	+ 17,3– + 18,9%, p < 0,05 <sup>c</sup>	
				TR <sub>BMD</sub>	+ 18,1– + 19,0%, p < 0,05 <sup>c</sup>	
				TB <sub>BMD</sub>	OI (vs. NI, C)	
				TR <sub>BMD</sub>	+ 6,7– + 8,9%, p < 0,05 <sup>c</sup> + 14,9– + 15,8%, p < 0,05 <sup>c</sup>	
Heinonen et al. 2002 [44]	♀ N: 28	PRÄ 22,6–30,6 <sup>b</sup>	GEW	pQCT	%-Differenz für GEW (vs. C)	– Rekrutiert aus Leistungs-sportvereinen (6,5 bis 14 Jahre Trainingsdauer)
				F <sup>dist</sup> <sub>BMD</sub>	+ 11%, p = 0,04	
				RAD <sup>dist</sup> <sub>CoA</sub>	+ 38%, p = 0,03	
				RAD <sup>dist</sup> <sub>BSI</sub>	+ 41%, p < 0,01	
				RAD <sup>sh</sup> <sub>CoA</sub>	+ 26%, p < 0,01	
				RAD <sup>sh</sup> <sub>CWT</sub>	+ 13%, p = 0,04	
				RAD <sup>sh</sup> <sub>BSI</sub>	+ 43%, p < 0,01	
TIB <sup>sh</sup> <sub>CoA</sub>	+ 9%, p = 0,03					
Nikander et al. 2009 [55]	♀ N: 111	PRÄ 19,7 (± 2,4)– 28,9 (± 5,6) <sup>b</sup>	HI (Drei-, Hochsprung)	DEXA, MRI, pQCT	%-Differenz für HI und OI (vs. C)	– Rekrutiert aus Leistungs-sportvereinen – Keine sig. Unterschiede zwischen den Gruppen der KF am Radius
			OI (Fußball, Squash)	LS <sub>BMD</sub>	HI (vs. C)      OI (vs. C)	
			HM (Gewichtheben)	FN <sub>BMD</sub>	+ 25%, p < 0,001      + 15%, p = 0,001	
			LI (Ausdauerlauf)	FN <sub>CoA</sub>	+ 30%, p < 0,001      + 20%, p < 0,001	
			NI (Schwimmen)	FN <sub>Z</sub>	+ 30%, p = 0,001 + 30%, p = 0,018	
Nikander et al. 2010a [13]	♀ N: 254	PRÄ 20,2 (± 2,6)– 28,9 (± 5,6) <sup>b</sup>	HI (Drei-, Hochsprung)	pQCT	%-Differenz für HI, OI, LI (vs. C)	– Rekrutiert aus Leistungs-sportvereinen
			OI (Fußball, Squash)	TIB <sup>dist</sup> <sub>BMC</sub>	+ 15– + 26%, p < 0,05	
			HM (Gewichtheben)	TIB <sup>dist</sup> <sub>CoA</sub>	+ 33– + 53%, p < 0,05	
			LI (Ausdauerlauf)	TIB <sup>dist</sup> <sub>BSI</sub>	+ 20– + 46%, p < 0,05	
			NI (Schwimmen)	TIB <sup>sh</sup> <sub>BMC</sub>	+ 28– + 44%, p < 0,05 (nicht für LI)	
				TIB <sup>sh</sup> <sub>ToA</sub>	+ 13– + 21%, p < 0,05	
				TIB <sup>sh</sup> <sub>CoA</sub>	+ 18– + 28%, p < 0,05	
	TIB <sup>sh</sup> <sub>BSI</sub>	+ 19– + 32%, p < 0,05				
Uusi-Rasi et al. 2002 [98]	♀ N: 218	PRÄ: 32,6 ± 2,2 POST: 67,3 ± 2	Interview	pQCT	%-Differenz für KA + (vs. KA-)	– Kalziumzufuhr positiv assoziiert mit Knochenstruktur des Radius, aber nicht Tibia in PRÄ und POST
			Allgemeine KA (Kindes- und Erwachsenenalter)		PRÄ      POST	
			KA + (starke KA)	RAD <sup>dist</sup> <sub>BSI</sub>	– 8,1% <sup>d</sup> + 13,4% <sup>d</sup>	
			KA– (moderate, geringe KA)	RAD <sup>sh</sup> <sub>BSI</sub>	+ 4,4% (NS)      + 8,5% <sup>d</sup>	
				TIB <sup>dist</sup> <sub>BMC</sub>	–      + 5,0% <sup>d</sup>	
				TIB <sup>dist</sup> <sub>TrBMD</sub>	+ 6,9% <sup>c</sup> –	
				TIB <sup>sh</sup> <sub>BMC</sub>	+ 4,1% (NS)      + 5,9% <sup>d</sup>	
				TIB <sup>sh</sup> <sub>CoA</sub>	+ 4,2% (NS)      + 6,3% <sup>d</sup>	
	TIB <sup>sh</sup> <sub>BSI</sub>	–      + 8,6% <sup>d</sup>				
Gerdhem et al. 2003 [101]	♀ N: 995	POST 75	FB Allgemeine KA	DEXA TB <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub> FN <sub>BMD</sub> , TR <sub>BMD</sub>	Keine sig. Assoziation zwischen KA und BMD-Werte	
Bleicher et al. 2010 [3]	♂ N: 1705	POST 70–97	FB (PASE)	DEXA		– Multivariate Regression: AV = BMD, UV = KA, adj. für Alter, KG
			PASE-Score	HIP <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	β = 1,4, p < 0,001	
			KA/Gehen (km/Tag)	HIP <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	β = 1,4, p < 0,001	
			Sportaktivitäten in Freizeit	FN <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	Sport (vs. kein Sport in d. Freizeit) 6% (k.A. zu p)	
				HIP <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	8% (k.A. zu p)	
	LS <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	9% (k.A. zu p)				

**Tab. 5** Ergebnisse von Querschnittsstudien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Erwachsenenalter auf die Knochengesundheit (Fortsetzung)

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß	Bemerkung
Cousin et al. 2010 [94]	♂ N: 1171	POST 77,2 ± 5,1	FB (PASE)	DEXA, QCT	%-Differenz für KA <sub>Q4</sub> (vs. KA <sub>Q1</sub> )	
			Sport-/Freizeitaktivitäten eingeteilt in KA <sub>Q1</sub> –KA <sub>Q4</sub>	TIB <sub>TIBSI</sub>	+ 7%, p = 0,025	
				TIB <sub>TiToA</sub>	+ 3%, p = 0,008	
				TIB <sub>TiSSI</sub>	+ 4%, p = 0,025	
				TIB <sub>CoA</sub>	+ 4%, p = 0,006	
				TIB <sub>CoBMD</sub>	+ 1%, p = 0,004	
				TIB <sub>CoSSI</sub>	+ 4%, p = 0,014	
	TIB <sub>CoZ</sub>	+ 4%, p = 0,006				
Cauley et al. 2005 [93]	♂ N: 5995	POST 73,7 ± 5,9	FB (PASE) KA (PASE-Score)	DEXA FN <sub>BMD</sub> (g/cm <sup>2</sup> )	β = 0,97 <sup>d</sup>	– Multivariate Regression: AV = FN <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub> , HIP <sub>BMD</sub> UV = KA, adj. für Alter, KG – Keine sig. Veränderungen für LS <sub>BMD</sub> und HIP <sub>BMD</sub>
Daly und Bass 2006 [95]	♂ N: 161	POST 50–87	FB	DEXA, QCT, QUS	%-Differenz für H/H (vs. L/L)	– Selbst berichtete KA im Alter von 13–18 Jahre ist kein signifikanter Prädiktor für spätere Knochenstruktur und Knochensteifigkeit
			Sport/KA in der Freizeit	F <sup>mid</sup> <sub>ToA</sub>	+ 6,1%, p < 0,05	
			Einteilung in „high impact“ (H) und „low/non impact“ (L) pro Altersstufe	F <sup>mid</sup> <sub>CoA</sub>	+ 6,6%, p < 0,05	
			– H/H: H-Aktivitäten mit 13–18/19–50 + Jahre	F <sup>mid</sup> <sub>CoBMC</sub>	+ 6,7%, p < 0,05	
			– H/L: H-Aktivitäten mit 13–18 Jahre	F <sup>mid</sup> <sub>Ip</sub>	+ 12,4%, p < 0,05	
			– L/L: L-Aktivitäten mit 13–18/19–50 + Jahre	VOS BUA HIP <sub>aBMD</sub>	+ 0,6%, p < 0,05 + 8,2%, p < 0,05 + 6,6%, p < 0,01 (H/H > H/L)	
Bailey et al. 2010 [1]	♂ N: 281	POST 50–79	FB	QCT	%-Differenz für H/H (vs. L/L)	– Für BMC I <sub>min</sub> und I <sub>max</sub> gilt: HH > HL > LL
			Sport/KA in der Freizeit	F <sup>mid</sup> <sub>BMC</sub>	+ 7,1%, p < 0,01	
			Jugend- vs. Erwachsenenalter	F <sup>mid</sup> <sub>I<sub>max</sub></sub>	+ 12,6%, p < 0,01	
			– H/H vs. H/L vs. L/L (vgl. Daly und Bass, 2006)	F <sup>mid</sup> <sub>I<sub>min</sub></sub> TIB <sup>mid</sup> <sub>BMC</sub> TIB <sup>mid</sup> <sub>I<sub>max</sub></sub> TIB <sup>mid</sup> <sub>I<sub>min</sub></sub>	+ 13,0%, p < 0,001 + 9,5%, p < 0,001 + 16,2%, p < 0,001 + 14,7%, p < 0,001	

C Kontrollgruppe, FB Fragebogen, GEW Gewichtheben, HI hohe Belastung (high impact), HM hoher Kraftaufwand (high magnitude), J Jahre, KA körperliche Aktivität, KF Knochenfestigkeit, LI wiederholende, geringe Belastung (repetitive low impact), NI wiederholende, keine Belastung (repetitive non-impact), NS nicht signifikant, OI ungewohnte Belastung (odd impact), PASE Physical Activity Summary Scale for Elderly, PRÄ vor Eintritt der Menopause, POST während/nach Eintritt der Menopause, Q<sub>1</sub>–Q<sub>4</sub>: Quartile, sig. signifikant. <sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe **Tab. 1**. <sup>b</sup>Altersspanne ermittelt aus den gemittelten Altern pro Gruppe. <sup>c</sup>Prozentuale Effekte ermittelt aus den gemittelten Indikatoren der Knochenfestigkeit. <sup>d</sup>Signifikant im 95%-Konfidenzintervall.

**Tab. 6** Ergebnisse aus longitudinalen Studien zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Erwachsenenalter auf die Knochengesundheit

Studie (Beobachtungsdauer)	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Effektmaß			Bemerkung
Nordström et al. 2005 [65]	♂ N: 145	PRÄ	Eishockey, Fußball	DEXA	%Veränderung des BMD (T0-T1)			– Rekrutiert aus Leistungssportvereinen
(5 Jahre)		21,0 ± 4,5– 22,4 ± 6,3 <sup>b</sup>	Einteilung in Sportler und Ex-Sportler		<b>Sportler</b>	<b>Ex-Sportler</b>	<b>C</b>	– Zu T0 und T1 hatten Sportler und Ex-Sportler höhere BMD-Werte als Kontrollen
				TB <sub>BMD</sub>	+ 3,7% <sup>c</sup>	+ 1,5% <sup>c</sup>	– 3,3% <sup>c</sup>	– k.A. der Signifikanz für die %Veränderung der jeweiligen Gruppen zwischen T0 und T1
				LS <sub>BMD</sub>	+ 4,5% <sup>c</sup>	+ 2,4% <sup>c</sup>	– 7,0% <sup>c</sup>	
				FN <sub>BMD</sub>	– 1,5% <sup>c</sup>	– 6,7% <sup>c</sup>	+ 5,1% <sup>c</sup>	
				ARM <sub>BMD</sub>	+ 20,8% <sup>c</sup>	+ 14,2% <sup>c</sup>	– 2,0% <sup>c</sup>	
Uusi-Rasi et al. 2008 [15]	♀ N: 267	PRÄ: 25–30	Interview	DEXA, HSA	%Differenz der Veränderung T0–T1 für KA + (vs. KA–)			
(10 Jahre)		POST: 60–65	Allg. KA (Kindes- und Erwachsenenalter)	FN <sub>BMC</sub>	<b>PRÄ</b>	<b>POST</b>		
			KA + (starke KA)	TR <sub>BMC</sub>	+ 3,8% (NS)	+ 6,9% <sup>d</sup>		
			KA– (moderate, geringe KA)	NN <sub>CSA</sub>	+ 6,7% <sup>d</sup>	+ 5,5% <sup>d</sup>		
				NN <sub>Z</sub>	+ 3,7% (NS)	+ 6,8% <sup>d</sup>		
					+ 2,0% (NS)	+ 9,6% <sup>d</sup>		
Uusi-Rasi et al. 2006 [67]	♀ N: 217	POST	GYM	DEXA, pQCT	%Veränderung zwischen T0-T1			– Rekrutierung von Freizeitsportlerinnen (mindestens 34 Jahre Trainingsdauer)
(6 Jahre)		62,0 ± 4,6		FN <sub>BMC</sub>	<b>GYM</b>	<b>C</b>		
				TR <sub>BMC</sub>	– 3,4% <sup>d</sup>	– 3,8% <sup>d</sup>		
				TIB <sub>TRBMD</sub>	– 3,7% <sup>d</sup>	– 2,0% (NS)		
				TIB <sub>CoBMD</sub>	– 0,6% <sup>d</sup>	– 1,0% (NS)		
					– 2,0% <sup>d</sup>	– 2,0% (NS)		
Foley et al. 2010 [6]	♂ und ♀ N: 124	POST	Pedometer	DEXA	%Differenz für Schritt <sub>Q4</sub> (vs. Schritt <sub>Q1</sub> )			– Mit höherem Alter erhöht sich der Effekt von KA
(10 Jahre)		62,7 ± 7,3	Schrittzahl (Quartile)	HIP <sub>BMD</sub> (65 Jahre)	♀	♂		– k.A. von Signifikanzen für die %Differenz zwischen den I-Gruppen
				HIP <sub>BMD</sub> (75 Jahre)	+ 3,9%	+ 3,9%		
				LS <sub>BMD</sub> (65 Jahre)	+ 7,4%	+ 5,4%		
				LS <sub>BMD</sub> (75 Jahre)	+ 5,1%	k.A. (NS)		
					+ 4,2%	k.A. (NS)		
Puntila et al. 2001 [80]	♀ N: 1873	POST	FB	DEXA	Reduzierter jährlicher Knochen-schwund (%) für KA und WBA (je vs. C)			
(8–9 Jahre)		62,7 ± 7,3	KA, WBA		<b>KA</b>	<b>WBA</b>		
				LS <sub>BMC</sub>	27%, p=0,036	60%, p=0,022		
				LS <sub>BMD</sub>	23%, NS	52%, p=0,029		

C Kontrollgruppe, FB Fragebogen, GYM Gymnastik, J Jahre (Alter), k.A. keine Angabe, KA körperliche Aktivität, KF Knochenfestigkeit, NS nicht signifikant, PRÄ vor Eintritt der Menopause, POST während/nach Eintritt der Menopause, Q<sub>1</sub>–Q<sub>4</sub> Quartile, T0 Basiserhebung, T1 1. Follow-up, WBA Weight-Bearing Activities. <sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe **Tab. 1**. <sup>b</sup>Altersspanne ermittelt aus den gemittelten Altern pro Gruppe. <sup>c</sup>Prozentuale Effekte ermittelt aus den gemittelten Indikatoren der Knochenfestigkeit. <sup>d</sup>Signifikant im 95%-Konfidenzintervall.

Tab. 7 Interventionsstudien (RCT, CT) zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Erwachsenenalter auf die Knochengesundheit							
Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Interventionseffekte	Bemerkung	
Winters und Snow 2000 [76]	♀ N: 51	PRÄ 30–45	12 Monate, 3 × /W RES- und Sprungtraining	DEXA	%-Veränderung T0–T1 für I vs. C	– Kein randomisiertes Studiendesign – %-Veränderung 6 Monate nach Interventionsende: I vs. C: FN <sub>BMD</sub> –2,0%, p < 0,05 vs. –0,1%, NS LS <sub>BMD</sub> –0,7%, NS vs. +1,0%, p < 0,05	
				FN <sub>BMD</sub>	+1,2%, p < 0,05 vs. –0,3%, NS		
				TR <sub>BMD</sub>	+2,7%, p < 0,05 vs. +0,8%, p < 0,05		
				TB <sub>BMD</sub>	+1,0%, p < 0,05 vs. +0,2%, NS		
Winters-Stone und Snow 2006 [73]	♀ N: 59	PRÄ 38,3 ± 3,8– 41,3 ± 3,8 <sup>b</sup>	12 Monate, 3 × /W RES an Unter- (I <sub>u</sub> )/Gesamtkörper (I <sub>G</sub> )	DEXA	%-Veränderung T0–T1 für IU vs. IG (vs. C)	– Kein randomisiertes Studiendesign – Keine I-Effekte an TB <sub>BMD</sub> , HIP <sub>BMD</sub> und FN <sub>BMD</sub>	
				TR <sub>BMD</sub>	+2,6% vs. +2,2% (vs. +0,7%), p < 0,02		
				LS <sub>BMD</sub>	–0,3% vs. +1,3% (vs. –0,5%), p = 0,06		
Vainionpää et al. 2005 [72]	♀ N: 120	PRÄ 35–40	12 Monate, 3 × /W Sprung- und Laufprogramm	DEXA, QUS	%-Veränderung T0–T1 für I vs. C	– Keine I-Effekte an LS und Unterarmknochen	
				FN <sub>aBMD</sub>	+1,1% vs. –0,4%, p = 0,003		
				IT <sub>aBMD</sub>	+0,8% vs. –0,2%, p = 0,029		
				F <sup>total</sup> <sub>aBMD</sub>	+1,0% vs. –0,3%, p = 0,006		
Vainionpää et al. 2007 [75]	♀ N: 80	PRÄ 35–40	12 Monate, 3 × /W Sprung- und Laufprogramm Einteilung in Subgruppen: I <sub>Q1</sub> (< 19 Übungen) bis I <sub>Q4</sub> (> 66 Übungen)	DEXA, QCT	%-I-Effekt für I und C	– Keine I-Effekte auf Indikatoren der KF am Oberschenkelhals	
				F <sup>mid</sup> <sub>CF</sub>	+0,2%, p = 0,033		
				TIB <sup>prox</sup> <sub>CF</sub>	%-Differenz für I <sub>Q4</sub> (vs. I <sub>Q1</sub> )		
				TIB <sup>prox</sup> <sub>CoCSA</sub>	+1,2%, p = 0,03		
Singh et al. 2009 [78]	♀ N: 58	PRÄ 30–50	9 Monate, 2 × /W RES	DEXA	Keine sig. I-Effekte an TB <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub> , HIP <sub>BMD</sub> , ARM <sub>BMD</sub> und LEG <sub>BMD</sub>		
Vanni et al. 2010 [79]	♀ N: 27	PRÄ 39,6 ± 0,4	28 Wochen, 2 × /W RES	DEXA	Keine sig. I-Effekte an FN <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub>		
Helge et al. 2010 [8]	♀ N: 65	PRÄ 36,5 ± 7,7	14 Wochen, ~2 h/W SOC (I <sub>SOC</sub> ), LAUF (I <sub>LAUF</sub> )	DEXA, pQCT	%-Veränderung für rechtes/linkes Bein	– Keine sig. Veränderungen in TB – Keine sig. Veränderungen in C	
				I <sub>SOC</sub>	I <sub>LAUF</sub>		
				TIB <sub>VBMD</sub>	+2,6%/ +2,1%, p < 0,01		0,7%/1,1%, p ≤ 0,05
Bemben et al. 2000 [77]	♀ N: 25	POST 41–60	6 Monate, 3x/W RES (hohe (8 × 80% 1RM) vs. geringe Intensität (16 × 40% 1RM))	DEXA	Keine sig. I-Effekte an TB <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub> , FN <sub>BMD</sub> , TR <sub>BMD</sub> , HIP <sub>BMD</sub> und WT <sub>BMD</sub>	– Tendenz zu verringerten BMDs nach der Intervention	
Rhodes et al. 2000 [83]	♀ N: 40	POST 65–75	6 Monate, 3 × /W RES (8 × 75% 1RM)	DEXA	Keine sig. I-Effekte an LS, FN, TR und WT	– ♀ mit Osteopenie	
Maddalozzo und Snow 2000 [71]	♂ und ♀ N: 54	POST 52,8 ± 3,3– 54,6 ± 3,2 <sup>b</sup>	6 Monate, 3 × /W RES Hohe (50–70% 1RM) vs. moderate Intensität (40–60% 1RM)	DEXA	%-Veränderung T0–T1 für I <sub>hoch</sub>	– ♀ mit Östrogenfazit (keine Östrogensatztherapie)	
					♂		♀
				TR <sub>BMD</sub>	+1,3%, p < 0,05		+2,0, p < 0,05
				FN <sub>BMD</sub>	–1,8%, p < 0,05		+6,0%, p < 0,05 <sup>c</sup>
Bemben et al. 2011 [2]	♂ und ♀ N: 124	POST 55–74	40 Wochen, 2–3x/W RES 4 verschiedene Intensitäten	DEXA	%-Veränderung T0–T1 für alle Intensitäten	– ♀ mit HRT – I-Effekt auch an HIP <sub>BMD</sub> – Kein I-Effekt an Femur	
					♂		♀
				LS <sub>BMD</sub>	+1,8%, p = 0,054		+0,4, p = 0,054
				TR <sub>BMD</sub>	+0,5– +1,5%, p < 0,05		+0,5– +1,5%, p < 0,05
			TB <sub>BMD</sub>	–0,6% (k.A. zu p)	–0,5% (k.A. zu p)		

**Tab. 7** Interventionsstudien (RCT, CT) zum Einfluss von körperlicher Aktivität und Sport im Erwachsenenalter auf die Knochengesundheit (Fortsetzung)

Studie	Studienumfang	Altersspanne (Jahre)	Methode/Art KA/Sport	Methode/KF-Indikatoren <sup>a</sup>	Interventionseffekte	Bemerkung
Kemmler et al. 2003 [84]	♀ N: 100	POST I: 55,1 ± 3,4 C: 55,9 ± 3,1	14 Monate, 4 × /W Kombinationstraining (Lauf-, Kraft- und Sprungtraining)	DEXA, QCT LS <sub>BMD</sub> FN <sub>BMD</sub> HIP <sub>BMD</sub>	%-Veränderung T0-T1 für I vs. C + 1,3% vs. - 1,2%, p < 0,001 (für I und C) - 0,8%, p < 0,05 vs. - 1,8%, p < 0,001 - 0,3% (NS) vs. - 0,8%, p < 0,05	- ♀ mit Osteopenie - Kein randomisiertes Studiendesign - Zusätzlich Kalziumsupplementation - Kein I-Effekt an ARM
Engelke et al. 2006 [70]	♀ N: 78	POST I: 55,1 ± 3,3 C: 55,5 ± 3,0	3 Jahre, 4 × /W Kombinationstraining (Lauf-, Kraft- und Sprungtraining)	DEXA, QCT, QUS LS <sub>BMD</sub> LS <sub>TiBMD</sub> LS <sub>CoBMD</sub> HIP <sub>BMD</sub> ARM <sup>dist</sup> SOS BUA	%-Veränderung T0-T1 für I vs. C + 0,8%, NS vs. - 3,3%, p < 0,001 + 1,1%, NS vs. - 7,7%, p < 0,001 + 5,3%, p < 0,001 vs. - 2,6%, p < 0,001 - 0,2% NS vs. - 1,9%, p < 0,001 - 2,8%, p < 0,001 vs. - 3,8%, p < 0,001 + 0,3% NS vs. - 1,0%, p < 0,001 - 0,3% NS vs. - 5,4%, p < 0,001	- ♀ mit Osteopenie - Kein randomisiertes Studiendesign - Keine sig. Veränderungen im Femur
Bemben et al. 2010 [82]	♀ N: 55	POST 55-75	8 Monate, 3 × /W Kombinationstraining: RES (80% 1RM) + Körpervibration	DEXA	Keine sig. I-Effekte an TB <sub>BMD</sub> , LS <sub>BMD</sub> , FN <sub>BMD</sub> , TR <sub>BMD</sub> , HIP <sub>BMD</sub> und RAD <sub>BMD</sub>	- ♀ mit Östrogendefizit (ohne HRT) - Kein randomisiertes Studiendesign
Korpelainen et al. 2006 [85]	♀ N: 160	POST I: 72,9 ± 1,1 C: 72,8 ± 1,2	30 Monate, 3 × /W Sprung- und Balance-training	DEXA, QUS FN <sub>aBMD</sub> TR <sub>aBMD</sub> TR <sub>BMC</sub> RAD <sub>distaBMD</sub> RAD <sup>UD</sup> <sub>aBMD</sub>	%-Veränderung T0-T1 für I vs. C - 0,6%, NS vs. - 1,1% <sup>d</sup> - 0,3%, NS vs. - 1,6% <sup>d</sup> - 2,9% <sup>d</sup> vs. - 7,7% <sup>d</sup> - 3,8%, p = 0,001 vs. - 3,1%, p = 0,001 - 3,1%, p = 0,003 vs. - 3,4%, p = 0,01	- Keine sig. Veränderung für BUA und SOS
Borer et al. 2007 [69]	♀ N: 49	POST 50-65	15 Wochen, 5 × /W 4,8 km Schnelles Gehen Intensität hoch: 88% VO <sub>2</sub> max Intensität niedrig: 62% VO <sub>2</sub> max	DEXA TB <sub>aBMD</sub> LEG <sub>aBMD</sub>	%-Veränderung T0-T1 für I <sub>88%</sub> vs. I <sub>62%</sub> + 0,4 vs. - 1,3% (k.A. zu p) + 0,1 vs. - 1,1% (k.A. zu p)	- HRT Subgruppe: kein Effekt von HRT auf die Veränderung der Indikatoren - An HIP <sub>aBMD</sub> : sig. Zunahme in I <sub>88%</sub> und sig. Abnahme in I <sub>62%</sub>
Karinkanta et al. 2007 [87]	♀ N: 149	POST 70-78	12 Wochen, 3 × /W - RES (I <sub>RES</sub> ) - Sprung-/Balancetraining (I <sub>BAL</sub> ) - Kombination RES und BAL (I <sub>COMB</sub> )	pQCT FN <sub>Z</sub>	%-Differenz für IRES (vs. I <sub>COMB</sub> ) + 5% (NS)	- Keine sig. Veränderungen an FN <sub>BMC</sub> und TIB <sup>sh</sup> <sub>BSI</sub> - COMB: 2% geringerer Knochenschwund im Vergleich zu C
Whiteford et al. 2010 [17]	♀ N: 143	POST 55-80	12 Monate, 3 × /W RES	DEXA TR <sub>BMD</sub> HIP <sub>BMD</sub>	%-Veränderung T0-T1 für I <sub>88%</sub> vs. I <sub>62%</sub> + 2,2 vs. + 2,2%, p < 0,5 für beide + 0,9 vs. + 0,9%, p < 0,5 für beide	- Keine sig. Veränderungen an TB <sub>BMD</sub> und LS <sub>BMD</sub>

C Kontrollgruppe, COMB Kombination, I Intervention, HRT Hormonersatztherapie, k.A. keine Angabe, KF Knochenfestigkeit, LAUF Ausdauerlaufen, NS nicht signifikant, PRÄ vor Eintritt der Menopause, POST während/nach Eintritt der Menopause, RES Resistenztraining, RM maximale Wiederholung (Repetition Maximum), sig. signifikant, SOC Fußball, T0 Basierhebung, T1 1. Follow-up, x/W Anzahl pro Woche. <sup>a</sup>Abkürzungsverzeichnis siehe **Tab. 1**. <sup>b</sup>Altersspanne ermittelt aus den gemittelten Altern pro Gruppe. <sup>c</sup>Prozentuale Effekte ermittelt aus den gemittelten Indikatoren der Knochenfestigkeit. <sup>d</sup>Signifikant im 95%-Konfidenzintervall.

tät auf die KF (■ Tab. 5, 6, 7). Beobachtungsstudien richteten den Fokus sowohl auf die allgemeine KA in der Freizeit (häufig erfasst mittels Fragebögen und KA-Skalen) als auch auf definierte Sportarten, wie Fußball, Squash oder Gymnastik. Allerdings fand sich keine Studie, die einen möglichen osteogenen Effekt von MVPA (mittels Accelerometrie) sowohl für das prä- als auch für das postmenopausale Alter untersuchte. Interventionsstudien bewerten hingegen die osteogene Wirkung von Sportprogrammen, die häufig aerobe (Ausdauersportarten wie Laufen, schnelles Gehen) und anaerobe Aktivitäten (Resistenztraining) kombinieren (■ Tab. 7).

### Prämenopausales Alter

Trotz unterschiedlicher Studiendesigns bestätigen Beobachtungs- und Interventionsstudien die positive Wirkung von WBA auf die KF an Lendenwirbelsäule, Hüfte, Oberschenkelhals- und Unterarmknochen [8, 44, 55, 72, 73, 75, 76].

Ein Vergleich der Interventionsergebnisse zeigt, dass Resistenztraining ohne zusätzliche aerobe Sportübungen und durchgeführt in einem Zeitraum von unter einem Jahr keine osteogene Wirkung hatte [77, 78, 79]. Erst die Durchführung eines Resistenztrainings am Ober- und Unterkörper, durchgeführt in einem Zeitraum von über zwölf Monaten, zeigte eine signifikante Zunahme des BMD an Lendenwirbelsäule und Trochanter [76]. Resistenztraining in Kombination mit Lauf- und Sprungübungen verbesserte nach zwölf Monaten ebenfalls die KF der unteren Extremitäten, nicht aber die der Lendenwirbelsäule [8, 72, 75, 76]. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass durch Laufen oder Sprungübungen primär die Knochen der unteren Extremitäten und Hüfte beansprucht werden, weniger die der Lendenwirbelsäule. Lediglich für Sportarten wie Fußball oder Squash konnten schwache osteogene Effekte an der Lendenwirbelsäule nachgewiesen werden. Sie erklären sich dadurch, dass diese Sportarten nicht nur die Muskeln der unteren Extremitäten, sondern die Muskeln des gesamten Bewegungsapparates, das heißt auch die der Lendenwirbelsäule, intensiv beanspruchen [55, 73].

Für Männer in der Altersspanne von 20 Jahren bis zum Einsetzen der Andropause wurde in der Literaturrecherche keine Studie gefunden, die den Zusammenhang zwischen körperlicher/sportlicher Aktivität und dem Knochenstatus untersuchte.

### Postmenopausales Alter

Weitaus mehr Studien existieren zum Einfluss von KA und Sport auf die KF bei Frauen im postmenopausalen Alter. Beobachtungsstudien zeigen, dass körperlich aktive Frauen eine höhere KF haben als körperlich inaktive Frauen [6, 15, 80]. Bereits schnelles Gehen (6,1 km/h) über eine Distanz von 4,8 km viermal die Woche bei einer maximalen Herzfrequenz von über 82% und einem Sauerstoffvolumen von 74% VO<sub>2</sub>max verringerte den altersbedingten Knochenschwund [69]. Unabhängig von der Geschwindigkeit, zeigten Frauen mit einer höheren Schrittzahl bessere Werte an der Lendenwirbelsäule als Frauen mit einer geringeren Schrittzahl [6]. Regelmäßiges schnelles Gehen reduzierte zudem das Risiko für Hüftfrakturen [81].

Interventionsstudien zeigen unterschiedliche Ergebnisse zum osteogenen Effekt von Resistenztrainings und deren Kombination mit Lauf- und Sprungübungen. Ein sechsmonatiges Resistenztraining ohne zusätzliche Lauf- und Sprungübungen erzielte bei gesunden postmenopausalen Frauen mit Kalziumsupplementation keine signifikanten positiven Veränderungen der KF. Allerdings wurde in dieser Interventionsstudie keine Kontrollgruppe berücksichtigt. Folglich ist eine Aussage zu einem möglichen verringerten Knochenschwund durch das Resistenztraining problematisch [77]. Auch bei Frauen mit Osteopenie und Östrogendefizit bewirkte ein Resistenztraining über acht bis zwölf Monate keine osteogenen Effekte [82, 83]. Eine Ausnahme zeigte sich bei Frauen mit Östrogendefizit nach einem sechsmonatigen intensiven Resistenztraining. Bei ihnen erhöhte sich der BMD an Trochanter und Oberschenkelhals [71]. Lediglich die Kombination von Resistenztraining mit Lauf- und Sprungübungen über einen Zeitraum von mindestens zehn Mona-

ten wirkte bei gesunden und osteopenen Frauen einem altersbedingten Knochenschwund entgegen [2, 70, 84, 85].

Die Frage zur präventiven Wirkung von KA und Sport in Bezug auf Osteoporose ist bisher nicht eindeutig beantwortet. Der Hüftknochen (insbesondere der Oberschenkelhals) sowie die Lendenwirbelsäule sind besonders anfällige Knochenregionen für eine Osteopenie, Osteoporose oder für osteoporosebedingte Frakturen [26, 27]. An diesen Knochenregionen wurde nach KA und kombinierten Sportprogrammen häufig kein osteogener Effekt beobachtet (■ Tab. 5, 6, 7, [2, 69, 70, 71, 77, 80, 82, 83, 84, 85, 86]). So führte ein bis zu drei Jahre durchgeführtes kombiniertes Sportprogramm bei osteopenen Frauen nur zu geringen oder auch zu keinen osteogenen Effekten an der Hüftregion [70, 84]. Auch an der Lendenwirbelsäule konnten Interventionsprogramme (kombiniert aus Resistenztraining und schnellem Gehen) unter sechs Monaten keine bedeutenden positiven Veränderungen der KF erzielen [69, 71]. Erst die Kombination der Sportprogramme mit einer Kalziumsupplementation oder einer Hormonersatztherapie (HRT) über einen Zeitraum von mindestens zehn Monaten zeigte eine osteogene Wirkung an der Lendenwirbelsäule und am Trochanter [2, 70, 84]. Aufgrund der zusätzlichen Kalziumsupplementation und HRT sind Aussagen über den osteogenen Effekt kombinierter Sportprogramme schwierig. Dennoch deuten diese Studienergebnisse darauf hin, dass ein protektiver Effekt in Bezug auf Osteoporose bei postmenopausalen Frauen (vor allem an der Lendenwirbelsäule) nur mittels kombinierter und langfristig durchgeführter Sportprogramme, die den gesamten Bewegungsapparat belasten, bewirkt werden kann [2, 70, 84]. Die Wirkung am Oberschenkelhals bleibt fraglich [84, 85, 87]. Trotz der geringen beobachteten osteogenen Effekte sind langfristige Sportprogramme für das hohe Alter von großer Bedeutung. Die Kombination von WBA sowie Ausdauer-, Resistenz- und Balancetrainings verbessern die Muskelkraft, Balance und Koordination, wodurch das Sturzrisiko sowie sturzabhängige Frakturen bei postmeno-

pausalen Frauen gesenkt werden konnten [6, 8, 74, 88, 89, 90, 91].

## Andropause

Im Vergleich zu postmenopausalen Frauen haben Männer im hohen Alter eine geringere Osteoporoseprävalenz und -inzidenz [92]. Das kann unter anderem auf ihren allgemein höheren BMD zurückgeführt werden [2]. Wie bei postmenopausalen Frauen zeigten Männer ab dem 50. Lebensjahr, die in der Freizeit noch körperlich und sportlich aktiv waren, eine bessere KF als körperlich inaktive Männer [1, 3, 6, 93, 94, 95]. Obwohl sich die positive Beziehung zwischen Freizeitsport und BMD (Hüfte) mit zunehmendem Alter abschwächte [3], hatte die Muskelkraft und -masse bei Männern mit zunehmendem Alter immer noch eine große Bedeutung für die KF [94, 96]. Der Zusammenhang zwischen KA/Sport und KF wurde bei Männern bisher überwiegend nur in Querschnittsstudien untersucht (■ **Tab. 5**). Die wenigen Interventionsstudien zeigen allerdings, dass Resistenztraining bei Männern während der Andropause bereits nach sechs Monaten zu einem osteogenen Effekt an der Lendenwirbelsäule führte, während bei postmenopausalen Frauen ein Interventionseffekt erst nach zehn Monaten zu beobachten war [2, 71, 82]. Allerdings beschreiben Whiteford et al., dass ein Resistenztraining keinen zusätzlichen Effekt auf den BMD bei älteren Männern hat. Durch schnelles Gehen wurden dieselben Interventionseffekte erzielt [17]. KA und Sport in der Freizeit schützten bei Männern im hohen Alter nicht nur vor Knochenschwund, sondern senkten auch das Risiko für Hüftfrakturen [74, 97].

Wie im Kindes- und Jugendalter wurden auch im Erwachsenenalter verschiedene Methoden zur Erfassung der KF eingesetzt (■ **Tab. 5, 6, 7**). Deshalb sind Aussagen zur Sensitivität der einzelnen Knochenregionen und Indikatoren sowie ein Vergleich dieser untereinander problematisch.

Klare Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen KA beziehungsweise Sport und der KF bei Männern und Frauen sind aus bisherigen Metaanalysen nicht bekannt [61]. Zusammenfassend lässt sich aber

feststellen, dass die Ausführung kombinierter anaerober und aerober Sportarten (Resistenz-, Lauf- und Sprungübungen) an drei Tagen pro Woche über mindestens zwölf Monate den altersbedingten Knochenschwund bei postmenopausalen Frauen reduziert. Eine zusätzliche Kalziumsupplementation oder HRT kann die osteogene Wirkung dieser Sportprogramme erhöhen [2, 84].

## Nachhaltigkeit

Bisher untersuchten nur wenige longitudinale Studien die Auswirkungen von KA und Sport im Kindes- und Jugendalter auf das hohe Erwachsenenalter. Vor allem im Rahmen von Interventionsstudien wurden die Studienteilnehmer nur über wenige Jahre aktiv verfolgt. In Beobachtungsstudien erfolgte auch häufig nur eine retrospektive Querschnittsbefragung, in der die vergangene KA sowie die Durchführung bestimmter Sportarten bis zurück in das Kindes- und Jugendalter erfasst wurde [1, 13, 44, 55, 64, 67, 95, 98]. Allerdings zeigten die Studien unterschiedliche Ergebnisse. Kato et al. ermittelten bei Frauen (52 bis 73 Jahre), die in ihrer Jugendzeit WBA betrieben, 40 Jahre später nachhaltige Veränderungen in BMC, Geometrie und Struktur am Oberschenkelhals [99]. Demgegenüber reichte nach einer Untersuchung von Daly und Bass sportliche Aktivität im Jugendalter (13 bis 18 Jahre) nicht aus, um unter anderem die Knochenstruktur und -festigkeit am Oberschenkelhals im hohen Alter (50 bis 87 Jahre) aufrechtzuerhalten [95]. Die größte osteogene Wirkung wurde bei kontinuierlich und aktuell durchgeführter körperlicher oder sportlicher Aktivität beobachtet (■ **Tab. 6, 7**). Bereits sechs bis zwölf Monate nach Abbruch des Trainings reduzierte sich bei prämenopausalen Frauen nicht nur die Muskelkraft, sondern auch der Interventionseffekt an Oberschenkelhals, Wirbelsäule und Gesamtkörper. Die Ex-Sportler zeigten sogar einen höheren Knochenschwund nach Abbruch der sportlichen Aktivität als die Kontrollen [75, 76]. Ein Abbruch des Trainings oder eine Verringerung regelmäßiger körperlicher und sportlicher Aktivität in der Freizeit erhöhte zudem das Hüftfraktur- und Sturzrisiko [89].

Ein langfristiger nachhaltiger Effekt von KA und Sport im Kindes- und Jugendalter auf das Frakturrisiko im hohen Erwachsenenalter wurde bisher nicht ermittelt [64, 65].

Diese Studienergebnisse belegen, dass KA und Sport, vor allem WBA, kontinuierlich im Kindes-, Jugend- und Erwachsenenalter durchgeführt werden sollten, um einen protektiven und präventiven Effekt für die Knochengesundheit bis ins hohe Alter zu erreichen und Osteoporose vorzubeugen. Prospektive Langzeituntersuchungen, die die Nachhaltigkeit von KA und diversen Sportarten auf die Knochengesundheit bis ins hohe Erwachsenenalter untersuchen, sind bisher nicht bekannt [64, 65, 99].

## Fazit

**Dieser Überblicksartikel beschreibt den Einfluss körperlicher und sportlicher Aktivität auf den Knochenzuwachs und die Knochengesundheit in unterschiedlichen Lebensphasen. Beobachtungs- und Interventionsstudien konnten eine osteogene Wirkung von KA und Sport – vor allem von WBA – bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen bis ins hohe Alter belegen. Zudem wurde für hohe KA und Sport neben der osteogenen Wirkung auch eine Erhöhung der Mager-, insbesondere der Muskelmasse und eine Verringerung des Fettgewebes beobachtet [16, 42, 46, 57, 94]. Im Kindesalter sind die Präpubertät und der Beginn der Pubertät bei Jungen und Mädchen sensible Phasen, in denen der Knochenzuwachs durch regelmäßige MVPA und Sport beschleunigt werden kann. Dieser Effekt hat noch einige Jahre später Bestand. Im Erwachsenenalter nimmt der nachhaltige Effekt von KA und Sport mit zunehmendem Abstand zur sportlich aktiven Zeit ab. Daher kann das Risiko für Osteoporose und osteoporosebedingte Frakturen – insbesondere bei postmenopausalen Frauen – nur durch regelmäßige mehrmonatige Sportprogramme (kombiniert aus Resistenz-, Lauf- und Sprungübungen) reduziert werden. Eine zusätzliche HRT und Kalziumsupplementation kann helfen, das Risiko für Osteopenie, Osteoporose und osteoporosebedingte Frakturen**

ren zu verringern. Weitere Untersuchungen sind nötig, um auf einen therapeutischen Effekt von KA/MVPA und Sport bei postmenopausalen Frauen mit Östrogendefizit oder bei Frauen mit bereits bestehender Osteopenie/Osteoporose schließen zu können.

Aussagen über eine langfristig nachhaltige Wirkung von KA und Sport sowohl auf die Erhöhung der KF als auch auf die Reduktion des Sturz- und Frakturrisikos im gesamten Lebenslauf, sind aufgrund des Mangels an entsprechenden prospektiven Langzeitstudien nur beschränkt möglich. Studienergebnisse weisen lediglich auf einen mittelfristigen Interventionseffekt von Sport auf die KF in den jungen Lebensjahren hin. Da der überwiegende Anteil von Frakturen nicht nur auf eine geringe KF, sondern auch auf Stürze über die gesamte Altersspanne zurückzuführen ist, könnten in diesem Kontext die Zusammenhänge zwischen den neuromuskulären Funktionen und dem Sturzrisiko eine besondere Bedeutung haben. Diese Zusammenhänge fanden vor allem in der Literatur zur Wirkung der KA im Kindes- und Jugendalter bisher wenig Berücksichtigung. Die Bedeutung von Sport- und Bewegungsprogrammen im Kindes- und Jugendalter erklärt sich nicht nur aus der hohen osteogenen Wirkung von KA vor Abschluss des Längenwachstums und der Pubertät. Sport und Bewegungsprogramme verbessern auch die motorischen Fähigkeiten. Ob dadurch das Sturzrisiko und folglich das spätere Fraktur- und Osteoporoserisiko bereits im Kindes- und Jugendalter gesenkt werden kann, sollte Inhalt zukünftiger Studien sein.

Eine Limitation vieler Studien ist die Rekrutierung zu kleiner Stichproben. Zudem erschwert die unzureichende Datenlage zur nachhaltigen Wirkung von MVPA die sichere Beantwortung der Frage, ob sie das spätere Osteoporoserisiko reduziert. Weitere Langzeituntersuchungen, vornehmlich bevölkerungsbasierte RCTs mit größeren Stichproben, einer längeren Beobachtungszeit und standardisierten Studienprotokollen sind erforderlich, um eine langfristige Wirkung von KA und Sport auf die

KF und das spätere Osteoporoserisiko nachzuweisen.

### Hinweis

Die Arbeit wurde unterstützt durch das Kompetenznetz Adipositas, gefördert vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen DLR 01GI0822).

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. rer. nat. W. Ahrens**  
BIPS - Institut für Epidemiologie und Präventionsforschung GmbH  
Achterstr. 30, 28359 Bremen  
ahrens@bips.uni-bremen.de

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

1. Bailey CA, Kukuljan S, Daly RM (2010) Effects of lifetime loading history on cortical bone density and its distribution in middle-aged and older men. *Bone* 47:673–680
2. Bemben DA, Bemben MG (2011) Dose-response effect of 40 weeks of resistance training on bone mineral density in older adults. *Osteoporos Int* 22:179–186
3. Bleicher K, Cumming RG, Naganathan V et al (2011) Lifestyle factors, medications, and disease influence bone mineral density in older men: findings from the CHAMP study. *Osteoporos Int* 22(9):2421–2437
4. Devlin MJ, Stetter CM, Lin HM et al (2010) Peripubertal estrogen levels and physical activity affect femur geometry in young adult women. *Osteoporos Int* 21:609–617
5. Ferry B, Duclos M, Burt L et al (2011) Bone geometry and strength adaptations to physical constraints inherent in different sports: comparison between elite female soccer players and swimmers. *J Bone Miner Metab* 29:342–351
6. Foley S, Quinn S, Jones G (2010) Pedometer determined ambulatory activity and bone mass: a population-based longitudinal study in older adults. *Osteoporos Int* 21:1809–1816
7. Gunter K, Baxter-Jones AD, Mirwald RL et al (2008) Jump starting skeletal health: a 4-year longitudinal study assessing the effects of jumping on skeletal development in pre and circum pubertal children. *Bone* 42:710–718
8. Helge EW, Aagaard P, Jakobsen MD et al (2010) Recreational football training decreases risk factors for bone fractures in untrained premenopausal women. *Scand J Med Sci Sports* 20(Suppl 1):31–39
9. Janz KF, Medema-Johnson HC, Letuchy EM et al (2008) Subjective and objective measures of physical activity in relationship to bone mineral content during late childhood: the Iowa Bone Development Study. *Br J Sports Med* 42:658–663
10. Janz KF, Letuchy EM, Eichenberger Gilmore JM et al (2010) Early physical activity provides sustained bone health benefits later in childhood. *Med Sci Sports Exerc* 42:1072–1078

11. Kriemler S, Zahner L, Puder JJ et al (2008) Weight-bearing bones are more sensitive to physical exercise in boys than in girls during pre- and early puberty: a cross-sectional study. *Osteoporos Int* 19:1749–1758
12. Meyer U, Romann M, Zahner L et al (2011) Effect of a general school-based physical activity intervention on bone mineral content and density: a cluster-randomized controlled trial. *Bone* 48:792–797
13. Nikander R, Kannus P, Rantalainen T et al (2010) Cross-sectional geometry of weight-bearing tibia in female athletes subjected to different exercise loadings. *Osteoporos Int* 21:1687–1694
14. Schoenau E (2004) The peak bone mass concept: is it still relevant? *Bone* 19:825–831
15. Uusi-Rasi K, Sievanen H, Pasanen M et al (2008) Influence of calcium intake and physical activity on proximal femur bone mass and structure among pre- and postmenopausal women. A 10-year prospective study. *Calcif Tissue Int* 82:171–181
16. Weeks BK, Young CM, Beck BR (2008) Eight months of regular in-school jumping improves indices of bone strength in adolescent boys and girls: the POWER PE study. *J Bone Miner Res* 23:1002–1011
17. Whiteford J, Ackland TR, Dhaliwal SS et al (2010) Effects of a 1-year randomized controlled trial of resistance training on lower limb bone and muscle structure and function in older men. *Osteoporos Int* 21:1529–1536
18. Daly RM (2007) The effect of exercise on bone mass and structural geometry during growth. *Med Sport Sci* 51:33–49
19. Rizzoli R, Bianchi ML, Garabedian M et al (2010) Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone* 46:294–305
20. Schoenau E, Frost HM (2002) The „muscle-bone unit“ in children and adolescents. *Calcif Tissue Int* 70:405–407
21. Schoenau E (2006) Bone mass increase in puberty: what makes it happen? *Horm Res* 65(Suppl 2):2–10
22. Schoenau E, Fricke O (2006) Interaction between muscle and bone. *Horm Res* 66:73–78
23. Schoenau E, Fricke O (2008) Mechanical influences on bone development in children. *Eur J Endocrinol* 159:S27–S31
24. Borer KT (2005) Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women: interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports Med* 35:779–830
25. Nikander R, Sievanen H, Heinonen A et al (2010) Targeted exercise against osteoporosis: a systematic review and meta-analysis for optimizing bone strength throughout life. *BMC Med* 8:47
26. World Health Organisation (WHO) (1994) Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. *World Health Organ Tech Rep Ser* 843:1–129 (edn. Geneva)
27. World Health Organisation (WHO) (2007) WHO scientific group on the assessment of osteoporosis at primary health care level. Summary Meeting Report Brussels, Belgium, 5–7 May 2004
28. Sievanen H (2010) Immobilization and bone structure in humans. *Arch Biochem Biophys* 503:146–152

29. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM (1985) Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 100:126–131
30. Wang QJ, Suominen H, Nicholson PH et al (2005) Influence of physical activity and maturation status on bone mass and geometry in early pubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 15:100–106
31. Duncan CS, Blimkie CJ, Cowell CT et al (2002) Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength. *Med Sci Sports Exerc* 34:286–294
32. Fuchs RK, Bauer JJ, Snow CM (2001) Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial. *J Bone Miner Res* 16:148–156
33. Gunter K, Baxter-Jones AD, Mirwald RL et al (2008) Impact exercise increases BMC during growth: an 8-year longitudinal study. *J Bone Miner Res* 23:986–993
34. Karlsson MK (2007) Does exercise during growth prevent fractures in later life? *Med Sport Sci* 51:121–136
35. Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H et al (2001) Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: a prospective 5-year follow-up study of young and old starters and controls. *J Bone Miner Res* 16:195–201
36. McKay H, Tsang G, Heinonen A et al (2005) Ground reaction forces associated with an effective elementary school based jumping intervention. *Br J Sports Med* 39:10–14
37. Ward KA, Roberts SA, Adams JE, Mughal MZ (2005) Bone geometry and density in the skeleton of pre-pubertal gymnasts and school children. *Bone* 36:1012–1018
38. Creighton DL, Morgan AL, Boardley D, Brolinson PG (2001) Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* 90:565–570
39. Berger C, Goltzman D, Langsetmo L et al (2010) Peak bone mass from longitudinal data: implications for the prevalence, pathophysiology, and diagnosis of osteoporosis. *J Bone Miner Res* 25:1948–1957
40. Valdimarsson O, Linden C, Johnell O et al (2006) Daily physical education in the school curriculum in prepubertal girls during 1 year is followed by an increase in bone mineral accrual and bone width – data from the prospective controlled Malmo pediatric osteoporosis prevention study. *Calcif Tissue Int* 78:65–71
41. Janz KF, Gilmore JM, Levy SM et al (2007) Physical activity and femoral neck bone strength during childhood: the Iowa Bone Development Study. *Bone* 41:216–222
42. Tobias JH, Steer CD, Mattocks CG et al (2007) Habitual levels of physical activity influence bone mass in 11-year-old children from the United Kingdom: findings from a large population-based cohort. *J Bone Miner Res* 22:101–109
43. Bass SL, Saxon L, Daly RM et al (2002) The effect of mechanical loading on the size and shape of bone in pre-, peri-, and postpubertal girls: a study in tennis players. *J Bone Miner Res* 17:2274–2280
44. Heinonen A, Sievanen H, Kannus P et al (2002) Site-specific skeletal response to long-term weight training seems to be attributable to principal loading modality: a pQCT study of female weightlifters. *Calcif Tissue Int* 70:469–474
45. Macdonald HM, Kontulainen SA, Khan KM, McKay HA (2007) Is a school-based physical activity intervention effective for increasing tibial bone strength in boys and girls? *J Bone Miner Res* 22:434–446
46. Mackelvie KJ, Petit MA, Khan KM et al (2004) Bone mass and structure are enhanced following a 2-year randomized controlled trial of exercise in prepubertal boys. *Bone* 34:755–764
47. McKay HA, Petit MA, Schutz RW et al (2000) Augmented trochanteric bone mineral density after modified physical education classes: a randomized school-based exercise intervention study in prepubescent and early pubescent children. *J Pediatr* 136:156–162
48. Linden C, Ahlborg HG, Besjakov J et al (2006) A school curriculum-based exercise program increases bone mineral accrual and bone size in prepubertal girls: two-year data from the pediatric osteoporosis prevention (POP) study. *J Bone Miner Res* 21:829–835
49. Tournis S, Michopoulou E, Fatouros IG et al (2010) Effect of rhythmic gymnastics on volumetric bone mineral density and bone geometry in premenarcheal female athletes and controls. *J Clin Endocrinol Metab* 95:2755–2762
50. Ducher G, Bass SL, Saxon L, Daly RM (2010) Effects of repetitive loading on the growth-induced changes in bone mass and cortical bone geometry: a 12-month study in pre/peri- and post-menarcheal tennis players. *J Bone Miner Res* [Epub ahead of print]
51. Johannsen N, Binkley T, Englert V et al (2003) Bone response to jumping is site-specific in children: a randomized trial. *Bone* 33:533–539
52. Mackelvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PR (2001) A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *J Pediatr* 139:501–508
53. Mackelvie KJ, Khan KM, Petit MA et al (2003) A school-based exercise intervention elicits substantial bone health benefits: a 2-year randomized controlled trial in girls. *Pediatrics* 112:e447
54. Petit MA, McKay HA, Mackelvie KJ et al (2002) A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: a hip structural analysis study. *J Bone Miner Res* 17:363–372
55. Nikander R, Kannus P, Dastidar P et al (2009) Targeted exercises against hip fragility. *Osteoporos Int* 20:1321–1328
56. Fredericson M, Chew K, Ngo J et al (2007) Regional bone mineral density in male athletes: a comparison of soccer players, runners and controls. *Br J Sports Med* 41:664–668
57. Petteersson U, Nordstrom P, Alfredson H et al (2000) Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: a comparative study between two different types of sports. *Calcif Tissue Int* 67:207–214
58. Valdimarsson O, Alborg HG, Duppe H et al (2005) Reduced training is associated with increased loss of BMD. *J Bone Miner Res* 20:906–912
59. Ducher G, Daly RM, Bass SL (2009) Effects of repetitive loading on bone mass and geometry in young male tennis players: a quantitative study using MRI. *J Bone Miner Res* 24:1686–1692
60. Sundberg M, Gardsell P, Johnell O et al (2002) Physical activity increases bone size in prepubertal boys and bone mass in prepubertal girls: a combined cross-sectional and 3-year longitudinal study. *Calcif Tissue Int* 71:406–415
61. Physical Activity Guidelines Advisory Committee (2008) Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008.: U.S.: Department of Health and Human Service, Washington, DC
62. Janssen I, Leblanc AG (2010) Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth 3. *Int J Behav Nutr Phys Act* 7:40
63. Haapasalo H, Kontulainen S, Sievanen H et al (2000) Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone* 27:351–357
64. Karlsson MK, Linden C, Karlsson C et al (2000) Exercise during growth and bone mineral density and fractures in old age. *Lancet* 355:469–470
65. Nordstrom A, Karlsson C, Nyquist F et al (2005) Bone loss and fracture risk after reduced physical activity. *J Bone Miner Res* 20:202–207
66. Oliver H, Jameson KA, Sayer AA et al (2007) Growth in early life predicts bone strength in late adulthood: the Hertfordshire Cohort Study. *Bone* 41:400–405
67. Uusi-Rasi K, Sievanen H, Heinonen A et al (2006) Long-term recreational gymnastics provides a clear benefit in age-related functional decline and bone loss. A prospective 6-year study. *Osteoporos Int* 17:1154–1164
68. Jarvinen TL, Kannus P, Sievanen H (2003) Estrogen and bone – a reproductive and locomotive perspective. *J Bone Miner Res* 18:1921–1931
69. Borer KT, Fogleman K, Gross M et al (2007) Walking intensity for postmenopausal bone mineral preservation and accrual. *Bone* 41:713–721
70. Engelke K, Kemmler W, Lauber D et al (2006) Exercise maintains bone density at spine and hip EFOPS: a 3-year longitudinal study in early postmenopausal women. *Osteoporos Int* 17:133–142
71. Maddalozzo GF, Snow CM (2000) High intensity resistance training: effects on bone in older men and women. *Calcif Tissue Int* 66:399–404
72. Vainionpaa A, Korpelainen R, Leppaluoto J, Jamsa T (2005) Effects of high-impact exercise on bone mineral density: a randomized controlled trial in premenopausal women. *Osteoporos Int* 16:191–197
73. Winters-Stone KM, Snow CM (2006) Site-specific response of bone to exercise in premenopausal women. *Bone* 39:1203–1209
74. Moayyeri A (2008) The association between physical activity and osteoporotic fractures: a review of the evidence and implications for future research. *Ann Epidemiol* 18:827–835
75. Vainionpaa A, Korpelainen R, Sievanen H et al (2007) Effect of impact exercise and its intensity on bone geometry at weight-bearing tibia and femur. *Bone* 40:604–611
76. Winters KM, Snow CM (2000) Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women. *J Bone Miner Res* 15:2495–2503
77. Bembien DA, Fettes NL, Bembien MG et al (2000) Musculoskeletal responses to high- and low-intensity resistance training in early postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc* 32:1949–1957
78. Singh JA, Schmitz KH, Petit MA (2009) Effect of resistance exercise on bone mineral density in premenopausal women. *Joint Bone Spine* 76:273–280

79. Vanni AC, Meyer F, Veiga AD da, Zanardo VP (2010) Comparison of the effects of two resistance training regimens on muscular and bone responses in premenopausal women. *Osteoporos Int* 21:1537–1544
80. Puntilla E, Kroger H, Lakka T et al (2001) Leisure-time physical activity and rate of bone loss among peri- and postmenopausal women: a longitudinal study. *Bone* 29:442–446
81. Feskanich D, Willett W, Colditz G (2002) Walking and leisure-time activity and risk of hip fracture in postmenopausal women. *JAMA* 288:2300–2306
82. Bemben DA, Palmer IJ, Bemben MG, Knehans AW (2010) Effects of combined whole-body vibration and resistance training on muscular strength and bone metabolism in postmenopausal women. *Bone* 47:650–656
83. Rhodes EC, Martin AD, Taunton JE et al (2000) Effects of one year of resistance training on the relation between muscular strength and bone density in elderly women. *Br J Sports Med* 34:18–22
84. Kemmler W, Engelke K, Weineck J et al (2003) The Erlangen Fitness Osteoporosis Prevention Study: a controlled exercise trial in early postmenopausal women with low bone density-first-year results. *Arch Phys Med Rehabil* 84:673–682
85. Korpelainen R, Keinänen-Kiukaanniemi S, Heikinen J et al (2006) Effect of impact exercise on bone mineral density in elderly women with low BMD: a population-based randomized controlled 30-month intervention. *Osteoporos Int* 17:109–118
86. Kemmler W, Engelke K, Lauber D et al (2002) Exercise effects on fitness and bone mineral density in early postmenopausal women: 1-year EFOPS results. *Med Sci Sports Exerc* 34:2115–2123
87. Karinkanta S, Heinonen A, Sievanen H et al (2007) A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: randomized, controlled trial. *Osteoporos Int* 18:453–462
88. Hamilton CJ, Swan VJ, Jamal SA (2010) The effects of exercise and physical activity participation on bone mass and geometry in postmenopausal women: a systematic review of pQCT studies. *Osteoporos Int* 21:11–23
89. Karlsson MK, Nordqvist A, Karlsson C (2008) Physical activity, muscle function, falls and fractures. *Food Nutr Res* 52
90. Liu-Ambrose T, Khan KM, Eng JJ et al (2004) Resistance and agility training reduce fall risk in women aged 75 to 85 with low bone mass: a 6-month randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 52:657–665
91. Sherrington C, Whitney JC, Lord SR et al (2008) Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 56:2234–2243
92. Cawthon PM (2011) Gender differences in osteoporosis and fractures. *Clin Orthop Relat Res* 469(7):1900–1905
93. Cauley JA, Fullman RL, Stone KL et al (2005) Factors associated with the lumbar spine and proximal femur bone mineral density in older men. *Osteoporos Int* 16:1525–1537
94. Cousins JM, Petit MA, Paudel ML et al (2010) Muscle power and physical activity are associated with bone strength in older men: the osteoporotic fractures in men study. *Bone* 47:205–211
95. Daly RM, Bass SL (2006) Lifetime sport and leisure activity participation is associated with greater bone size, quality and strength in older men. *Osteoporos Int* 17:1258–1267
96. Blain H, Jausset A, Thomas E et al (2010) Appendicular skeletal muscle mass is the strongest independent factor associated with femoral neck bone mineral density in adult and older men. *Exp Gerontol* 45:679–684
97. Michaelsson K, Olofsson H, Jensevik K et al (2007) Leisure physical activity and the risk of fracture in men. *PLoS Med* 4:e199
98. Uusi-Rasi K, Sievanen H, Pasanen M et al (2002) Associations of calcium intake and physical activity with bone density and size in premenopausal and postmenopausal women: a peripheral quantitative computed tomography study. *J Bone Miner Res* 17:544–552
99. Kato T, Yamashita T, Mizutani S et al (2009) Adolescent exercise associated with long-term superior measures of bone geometry: a cross-sectional DXA and MRI study. *Br J Sports Med* 43:932–935
100. McKay H, Liu D, Egeli D et al (2011) Physical activity positively predicts bone architecture and bone strength in adolescent males and females. *Acta Paediatr* 100:97–101
101. Gerdhem P, Akesson K, Obrant KJ (2003) Effect of previous and present physical activity on bone mass in elderly women. *Osteoporos Int* 14:208–212

## Ein neuer Ansatz: Sport in der Onkologie

Körperliche Aktivität und Sport können das allgemeine Risiko, an bestimmten Krebsformen zu erkranken, vermindern. Aber auch wer schon erkrankt ist, kann sein Wohlbefinden und Selbstvertrauen durch spezielle Bewegungsprogramme steigern. Darauf weist die Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention hin.

Frühzeitig eingeleitete Bewegungsprogramme sowie die daraus resultierenden positiven Effekte haben bei Tumorerkrankungen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Abnehmende Fatigue-Symptomatik und gesteigerte Lebensqualität sind nachweisbare relevante Effekte. Verschiedene Studien belegen, dass körperliche Aktivität auf nahezu alle Symptome einen positiven Einfluss hat. Die Effekte eines aeroben Ausdauertrainings sind vielfältig und reichen von einer Reduktion der Fatigue-Symptomatik über eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Lebensqualität bis hin zur Rezidiv-Prophylaxe. Erste aktuelle Studien zeigen, dass auch durch Krafttraining gute Erfolge erzielt werden können. Krafttraining ermöglicht eine Verhinderung von Muskelatrophien und leistet einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der Alltagsbewältigung sowie Lebensqualität. Tumorpatienten, die intensivere Krafttrainingseinheiten absolvieren, verbessern ihre Kraftleistung und Koordinationsfähigkeit. Die frühe moderat sportliche Intervention gilt daher als ein weiterer Baustein in einer multimodalen Krebstherapie.

Jedoch sind viele Patienten nicht ausreichend über die positiven Auswirkungen körperlicher Aktivität aufgeklärt. Informations- und Beratungsangebote für onkologische Patienten sowie eine Sportgruppe mit Anschluss an die behandelnde Klinik sind dementsprechend als nächster Schritt zu favorisieren.

*Quelle:*  
**Deutsche Gesellschaft für  
Sportmedizin und Prävention (DGSP),  
Frankfurt,  
www.dgsp.de**