

3 Ergebnisse

3.1 Qualitätskontrolle und methodische Reproduzierbarkeit

3.1.1 In-vitro Präzisionen

Während der Studie betrugen die in-vitro Präzisionen des US-Gerätes bei der täglichen Qualitätskontrolle (so genannte Langzeit-in-vitro Präzision) unter zu Hilfenahme des Phantoms während des Messzeitraumes für den schmalen Schallkopf 0,25% und für den breiten Schallkopf 0,28%.

3.1.2 In-vivo Präzisionen

Die in-vivo Präzisionen wurden durch Messungen an 15 Probandinnen bestimmt. Dazu wurden an den drei Messorten einerseits Doppelmessungen unter Beibehaltung der Messmarkierung und Position des Körperteils nach Absetzen und Neupositionierung des Schallkopfes nach wenigen Minuten und andererseits im zeitlichen Abstand von mehreren Tagen mit Neubestimmung des Messortes durchgeführt. Die in-vivo Präzisionen der direkt aufeinander folgenden Messungen (so genannte Kurzzeitpräzision) und die in-vivo Präzisionen an unterschiedlichen Messtagen nach Neubestimmung des Messortes (so genannte Langzeitpräzision) an Radius, Tibia und an der Grundphalanx Digitus III sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: Darstellung der in-vivo Präzisionen (Kurz- und Langzeitpräzision)

Messort	Kurzzeitpräzision (%)	Langzeitpräzision (%)
Radius	0,41	0,85
Tibia	0,36	1,47
Grundphalanx Digitus III	0,45	0,67

3.2 Patientencharakteristik

An der Studie nahmen 335 Probandinnen im Alter von 7-18 Jahren teil. Ausschlusskriterien waren eine systemische Glukokortikoidmedikation, rheumatische Erkrankungen, Tumorerkrankungen und eine nichtkaukasische Abstammung. Es wurde keine Probandin komplett aus der Auswertung ausgeschlossen, bei einigen Mädchen wurden lediglich die Messergebnisse eines Messortes wegen stattgehabter Fraktur oder nicht gewinnbarem Messwert nicht in die statistische Auswertung eingeschlossen (vgl. Tabelle 5). Das mittlere Alter lag bei $12,59 \pm 3,11$ Jahren (7-18 Jahre), die mittlere Größe bei $155,87 \pm 14,61$ cm (115-183 cm) und das mittlere Gewicht bei $46,62 \pm 13,07$ kg (20-89 kg). Der mittlere Body mass index (BMI) betrug $18,79 \pm 3,06$ kg·m⁻². 166 der 335 Mädchen hatten bereits die Menarche erreicht, das mittlere Menarchealter lag bei $12 \pm 1,17$ Jahren (8-15 Jahre).

Die Verteilung der Mädchen auf die Pubes- und Brustentwicklung nach Tanner ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 4: Zuordnung der Probandinnen zu den Tanner-Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Tanner-Stadium	Tanner-Stadium Pubes		Tanner-Stadium Brust	
	N	%	N	%
1	88	26	74	22
2	43	13	43	13
3	43	13	62	19
4	125	37	97	29
5	35	10	59	18
Gesamt	335	100	335	100

N = Anzahl der Probandinnen

38 der 335 Mädchen hatten in der Vergangenheit eine oder mehrere Frakturen erlitten. 110 der 335 Probandinnen trieben regelmäßig Sport. Ein täglicher Milchkonsum wurde von 289 Probandinnen angegeben. Hinweise für eine positive Familienanamnese (1. und 2. Grades) für Osteoporose lagen bei 45 Mädchen vor.

3.3 Partiiell ausgeschlossene Probandinnen

Bei der Untersuchung am Radius wurden die Ergebnisse von 313 der 335 Mädchen in die statistische Auswertung eingeschlossen. 16 Probandinnen wurden wegen einer Fraktur am zu untersuchenden Unterarm ausgeschlossen, bei sechs Probandinnen konnte trotz wiederholter Versuche kein Messergebnis gewonnen werden. Von diesen sechs nicht messbaren Probandinnen wiesen zwei Mädchen einen BMI oberhalb der Standardabweichung (24,62 und 34,19 kg/m²) auf, bei einer Probandin war der Unterarm adipös.

Die SOS der Tibia konnte bei 328 Mädchen bestimmt werden, zwei Probandinnen wurden wegen einer Fraktur ausgeschlossen, bei fünf Probandinnen konnte kein Messergebnis gewonnen werden. Bei vier dieser Mädchen war der BMI erhöht und lag oberhalb der Standardabweichung (22,22-34,19 kg/m²), bei der fünften Probandin mit normalem BMI lag ein ausgeprägtes subkutanes Fettgewebe am Unterschenkel vor.

Die Phalanxmessung konnte bei 313 Probandinnen durchgeführt werden. Die Gruppe der Siebenjährigen konnte komplett wegen einer noch zu kurzen Grundphalanx nicht untersucht werden. Bei weiteren vier Mädchen konnte ebenfalls kein Messergebnis gewonnen werden. Zwei Mädchen wurden wegen einer stattgehabten Fraktur des linken Mittelfingers von der Messung ausgeschlossen (vergleiche Tabelle 5).

Tabelle 5: Anzahl der Probandinnen (N) in den verschiedenen Altersstufen, Anzahl der stattgehabten Frakturen (Fx) am Messort und Anzahl der Mädchen ohne verwertbares Messergebnis (NA)

	Alter	Radius			Tibia			Phalanx			Gesamt
		N	Fx	NA	N	Fx	NA	N	Fx	NA	
	7	15	0	1	16	0	0	0	0	16	16
	8	13	0	0	13	0	0	12	0	1	13
	9	31	1	0	32	0	0	30	1	1	32
	10	42	1	0	42	0	1	42	0	1	43
	11	32	1	2	32	1	2	34	0	1	35
	12	24	3	1	28	0	0	28	0	0	28
	13	24	4	2	30	0	0	30	0	0	30
	14	36	1	0	36	0	1	36	1	0	37
	15	28	1	0	28	1	0	29	0	0	29
	16	23	2	0	25	0	0	25	0	0	25
	17	25	1	0	25	0	1	26	0	0	26
	18	20	1	0	21	0	0	21	0	0	21
Gesamt		313	16	6	328	2	5	313	2	20	335

3.4 Normalverteilung

Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests konnte gezeigt werden, dass die SOS-Mittelwerte aller drei Messorte normalverteilt sind. Große Signifikanzwerte ($p > 0.05$) indizieren eine Normalverteilung der Variablen:

	SOS Radius	SOS Tibia	SOS Phalanx
N (Anzahl Probandinnen)	329	330	315
Kolmogorov-Smirnov-Z	,821	1,011	,722
Asymptotische Signifikanz (p-Wert)	,511	,258	,675

3.5 Tabellarische Darstellung in Abhängigkeit vom Alter

Die folgenden Tabellen der SOS-Ergebnisse des distalen Radius, der mittleren Tibia und der Grundphalanx Digitus III geben den Mittelwert, die Standardabweichung und das 95%-Konfidenzintervall an und sollen als Referenzdaten an den drei Messorten dienen.

3.5.1 Radius

Tabelle 6: Mittelwert \pm Standardabweichung und 95% Konfidenzintervall der SOS-Werte des Radius für die verschiedenen Altersstufen

Alter	Anzahl	SOS Mittelwert \pm Standardabweichung (m/s)	95% Konfidenzintervall für den Mittelwert (m/s)	
			Untergrenze	Obergrenze
7	15	3719,63 \pm 90,73	3669,39	3769,88
8	13	3749,88 \pm 84,88	3698,59	3801,18
9	31	3732,23 \pm 86,35	3700,55	3763,90
10	42	3756,18 \pm 92,01	3727,51	3784,85
11	32	3739,91 \pm 58,76	3718,72	3761,09
12	24	3762,42 \pm 95,60	3722,05	3802,78
13	24	3775,31 \pm 83,43	3740,08	3810,54
14	36	3823,08 \pm 94,91	3790,97	3855,20
15	28	3892,68 \pm 85,45	3859,54	3925,81
16	23	3943,63 \pm 95,44	3902,36	3984,90
17	25	3949,92 \pm 75,97	3918,56	3981,28
18	20	4001,40 \pm 69,87	3968,70	4034,10
gesamt	313	3816,90 \pm 123,11	3803,21	3830,59

3.5.2 Tibia

Tabelle 7: Mittelwert \pm Standardabweichung und 95% Konfidenzintervall der SOS-Werte der Tibia für die verschiedenen Altersstufen

Alter	Anzahl	SOS Mittelwert \pm Standardabweichung (m/s)	95% Konfidenzintervall für den Mittelwert (m/s)	
			Untergrenze	Obergrenze
7	16	3517,38 \pm 144,00	3440,64	3594,11
8	13	3533,15 \pm 163,30	3434,47	3631,83
9	32	3588,78 \pm 121,27	3545,06	3632,50
10	42	3601,11 \pm 106,74	3567,84	3634,37
11	32	3592,78 \pm 115,73	3551,05	3634,51
12	28	3612,36 \pm 141,41	3557,52	3667,19
13	30	3691,60 \pm 115,58	3648,44	3734,76
14	36	3695,82 \pm 119,05	3655,54	3736,10
15	28	3805,73 \pm 98,20	3767,66	3843,81
16	25	3840,60 \pm 104,95	3797,28	3883,92
17	25	3852,02 \pm 128,51	3798,97	3905,07
18	21	3819,17 \pm 99,62	3773,82	3864,51
gesamt	328	3680,75 \pm 159,91	3663,38	3698,12

3.5.3 Phalanx

Tabelle 8: Mittelwert \pm Standardabweichung und 95% Konfidenzintervall der SOS-Werte der Grundphalanx Digitus III für die verschiedenen Altersstufen

Alter	Anzahl	SOS Mittelwert \pm Standardabweichung (m/s)	95% Konfidenzintervall für den Mittelwert (m/s)	
			Untergrenze	Obergrenze
8	12	3823,21 \pm 214,82	3686,72	3959,70
9	30	3921,82 \pm 167,43	3859,30	3984,34
10	42	3902,54 \pm 154,73	3854,32	3950,75
11	34	3861,49 \pm 128,47	3816,66	3906,31
12	28	3890,32 \pm 137,17	3837,13	3943,51
13	30	3937,10 \pm 105,67	3897,64	3976,56
14	36	3920,76 \pm 136,57	3874,56	3966,97
15	29	3954,88 \pm 139,79	3901,71	4008,05
16	25	3993,92 \pm 156,66	3929,25	4058,59
17	26	4024,46 \pm 116,11	3977,57	4071,36
18	21	4028,60 \pm 126,43	3971,04	4086,15
gesamt	313	3931,93 \pm 150,41	3915,21	3948,66

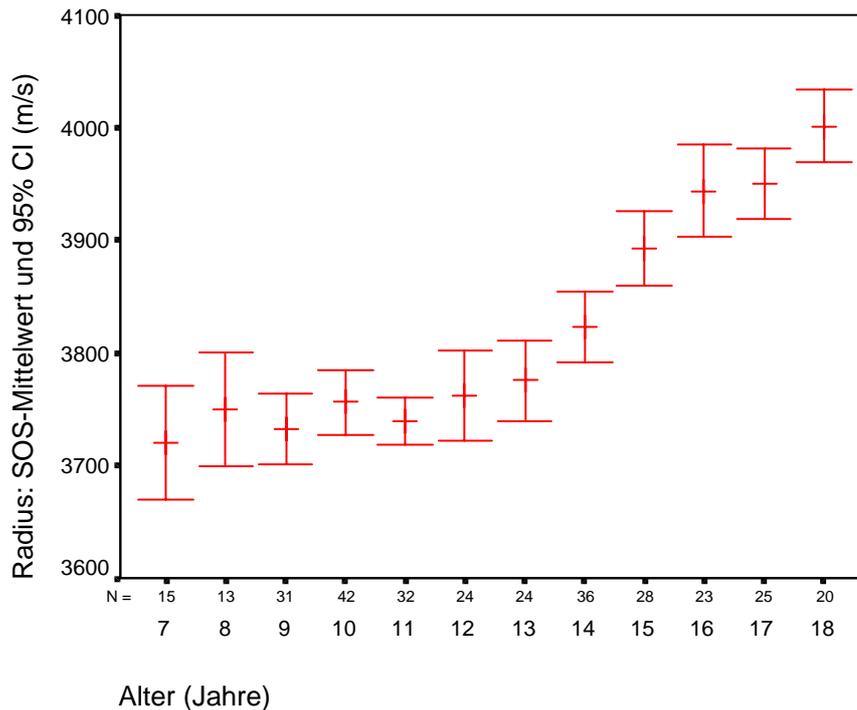
3.6 Graphische Darstellung der Altersabhängigkeit

Zur graphischen Darstellung der Altersabhängigkeit der SOS-Werte an den drei Messorten wurde ein Diagramm gewählt, das mittels Fehlerbalken Mittelwert und 95% Konfidenzintervall jeder Altersgruppe zeigt.

3.6.1 Radius

Die SOS-Mittelwerte am Radius steigen mit dem Eintritt der Menarche an, wobei eine deutliche Erhöhung ab dem Alter von 14 Jahren zu verzeichnen ist.

Im Mittel nehmen die SOS-Werte am distalen Radius jährlich um $26,50 \pm 3,14$ m/s (95% Konfidenzintervall) zu.



N = Anzahl der Probandinnen in der jeweiligen Altersgruppe; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 7: SOS-Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall des Radius in Abhängigkeit vom Alter

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der Radius-Werte unter Anwendung der Bonferroni-Methode zwischen den verschiedenen Altersgruppen dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $\alpha=0,05$.

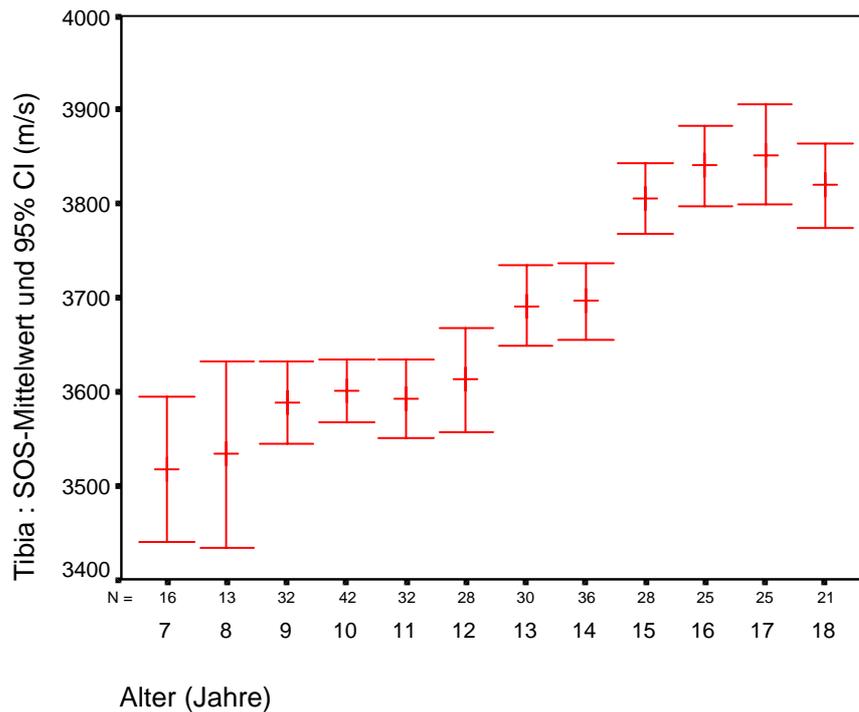
Tabelle 9: Mittelwertvergleich der Radiusmessung zwischen den Altersgruppen (Bonferroni-Methode, Signifikanzniveau: $\alpha=0,05$)

Alter	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	-											
8	n.s.	-										
9	n.s.	n.s.	-									
10	n.s.	n.s.	n.s.	-								
11	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-							
12	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-						
13	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-					
14	,007	n.s.	,001	,042	,005	n.s.	n.s.	-				
15	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	n.s.	-			
16	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	n.s.	-		
17	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	n.s.	n.s.	-	
18	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,001	n.s.	n.s.	-

n.s.: nicht signifikant

3.6.2 Tibia

Das folgende Diagramm zeigt die SOS-Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervall der Tibia in Abhängigkeit vom Alter. Im Alter von 7 bis 12 Jahren ist nur ein geringer Anstieg der SOS-Werte zu erkennen. Ab einem Alter von 13 Jahren steigen die SOS-Mittelwerte hingegen deutlich an. Der mittlere jährliche Zuwachs der SOS-Werte an der Tibia beträgt $32,68 \pm 4,19$ m/s (95% Konfidenzintervall).



N = Anzahl der Probandinnen in der jeweiligen Altersgruppe; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 8: SOS-Mittelwerte der Tibia mit 95%-Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Alter.

Ein deutlicher Anstieg der SOS-Mittelwerte mit nur geringer Überschneidung der benachbarten Konfidenzintervalle ist bereits im Alter von 13 Jahren zu erkennen.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche der SOS-Werte der Tibia unter Anwendung der Bonferroni-Methode zwischen den verschiedenen Altersgruppen dargestellt. Das Signifikanzniveau liegt bei $\alpha=0,05$.

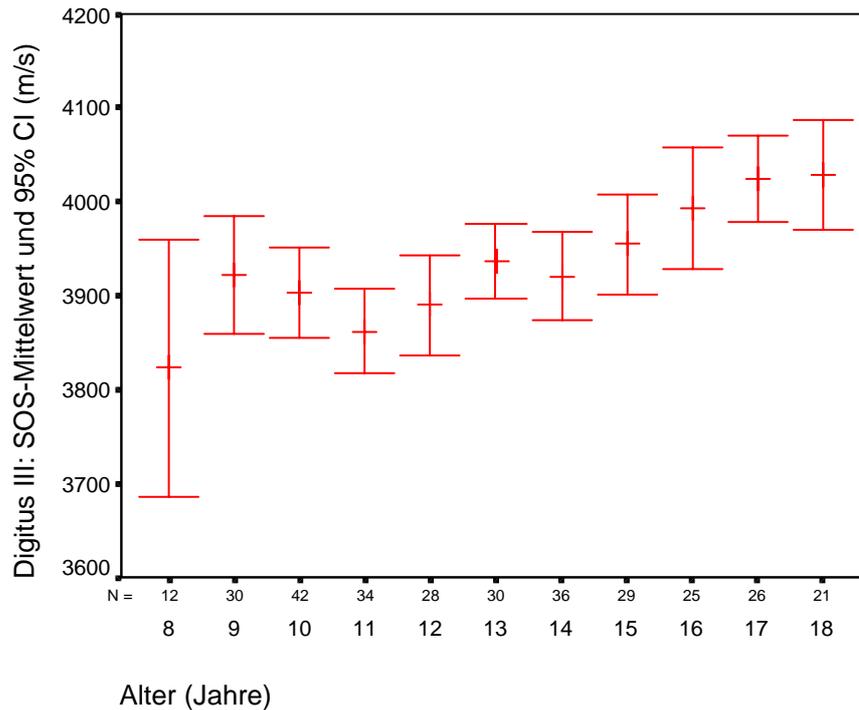
Tabelle 10: Mittelwertvergleich der Tibiamessung zwischen den Altersgruppen (Bonferroni-Methode, Signifikanzniveau: $\alpha=0,05$)

Alter	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	-											
8	n.s.	-										
9	n.s.	n.s.	-									
10	n.s.	n.s.	n.s.	-								
11	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-							
12	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-						
13	,000	,005	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-					
14	,000	,002	,018	,036	,029	n.s.	n.s.	-				
15	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,021	,020	-			
16	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	n.s.	-		
17	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	n.s.	n.s.	-	
18	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,014	,013	n.s.	n.s.	n.s.	-

n.s.: nicht signifikant

3.6.3 Phalanx

Die SOS-Mittelwerte der Grundphalanx Digitus III zeigen ebenfalls einen Anstieg in Abhängigkeit vom Alter. Der mittlere jährliche Anstieg der SOS-Werte an der Grundphalanx Digitus III beträgt $16,12 \pm 5,40$ m/s (95% Konfidenzintervall).



N = Anzahl der Probandinnen in der jeweiligen Altersgruppe; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 9: SOS-Mittelwerte der Grundphalanx Digitus III mit 95% Konfidenzintervall in Abhängigkeit vom Alter

Das Diagramm zeigt, dass sich die Mittelwerte der 8- bis 16-Jährigen nicht signifikant voneinander unterscheiden, da sich die 95% Konfidenzintervalle dieser Gruppen überschneiden. Wie graphisch bereits ersichtlich, ergab die Varianzanalyse, dass sich nur die Mittelwerte einzelner, weit auseinander liegender Altersstufen (z.B. die 11- und 17-Jährigen) signifikant voneinander unterscheiden. Auf eine tabellarische Darstellung der Signifikanzprüfung wurde daher verzichtet.

3.7 Mittelwertvergleich von Alter, Größe, Gewicht, BMI und SOS bezüglich der Pubes- und Brustentwicklung

Bei Mädchen werden nach Tanner die Pubertätsstadien von Schambehaarung und Brustentwicklung getrennt bestimmt, da eine unterschiedlich schnelle Entwicklung möglich ist. Die folgenden Tabellen vergleichen die Mittelwerte der den verschiedenen Brust- und Pubes-Tannerstadien zugehörigen Probandinnen bezüglich Alter, Größe, Gewicht, BMI und die Knochenleitgeschwindigkeit (SOS) an den verschiedenen Messorten.

Tab. 11: Gegenüberstellung der Mittelwerte (MW) des Alters (Jahre) \pm Standardabweichung (SD) in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (MW in Jahren)	9,3 \pm 1,2	11,3 \pm 0,9	12,6 \pm 1,2	15,4 \pm 1,9	17,0 \pm 1,3
Tanner-Brust (MW in Jahren)	9,1 \pm 1,1	10,9 \pm 0,9	12,6 \pm 1,4	15,3 \pm 1,8	16,5 \pm 1,8

Tab. 12: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Größe (cm) \pm SD in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (cm)	137,5 \pm 9,5	148,9 \pm 6,8	158,2 \pm 7,6	166,7 \pm 6,2	169,1 \pm 6,6
Tanner-Brust (cm)	136,3 \pm 9,5	145,9 \pm 6,4	157,6 \pm 8,0	166,4 \pm 7,2	168,4 \pm 5,6

Tab. 13: Gegenüberstellung der Mittelwerte des Gewichts (kg) \pm SD in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (kg)	32,1 \pm 7,3	39,3 \pm 8,5	47,4 \pm 7,3	55,7 \pm 8,1	57,8 \pm 8,1
Tanner-Brust (kg)	30,9 \pm 6,4	38,1 \pm 7,9	47,3 \pm 9,2	54,9 \pm 9,3	57,5 \pm 6,1

Tab. 14: Gegenüberstellung der Mittelwerte des BMI \pm SD in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (kg/cm ²)	16,9 \pm 2,9	17,6 \pm 2,8	18,9 \pm 2,5	20,0 \pm 2,5	20,2 \pm 2,2
Tanner-Brust (kg/cm ²)	16,6 \pm 2,6	17,8 \pm 3,1	18,9 \pm 2,8	19,8 \pm 2,7	20,3 \pm 1,9

Tab. 15: Gegenüberstellung der Mittelwerte der SOS \pm SD am Radius in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (SOS (m/s))	3738,8 \pm 85,5	3770,5 \pm 72,3	3744,5 \pm 95,3	3875,4 \pm 115,8	3951,7 \pm 79,8
Tanner-Brust (SOS (m/s))	3741,6 \pm 88,2	3759,9 \pm 76,8	3748,8 \pm 97,2	3870,6 \pm 111,5	3936,8 \pm 93,1

Tab. 16: Gegenüberstellung der Mittelwerte der SOS \pm SD an der Tibia in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (SOS (m/s))	3570,3 \pm 129,7	3589,6 \pm 117,7	3656,1 \pm 129,2	3752,6 \pm 135,4	3849,0 \pm 107,3
Tanner-Brust (SOS (m/s))	3571,8 \pm 127,1	3583,0 \pm 118,2	3640,0 \pm 148,2	3761,6 \pm 137,2	3798,8 \pm 115,7

Tab. 17: Gegenüberstellung der Mittelwerte der SOS \pm SD an der Grundphalanx Digitus III in den unterschiedlichen Stadien der Pubes- und Brustentwicklung

Stadium	1	2	3	4	5
Tanner-Pubes (SOS (m/s))	3893,1 \pm 168,6	3901,7 \pm 138,5	3874,8 \pm 137,4	3961,3 \pm 142,4	4010,8 \pm 115,6
Tanner-Brust (SOS (m/s))	3895,8 \pm 178,0	3899,1 \pm 146,0	3882,7 \pm 121,1	3961,0 \pm 147,7	3992,7 \pm 129,4

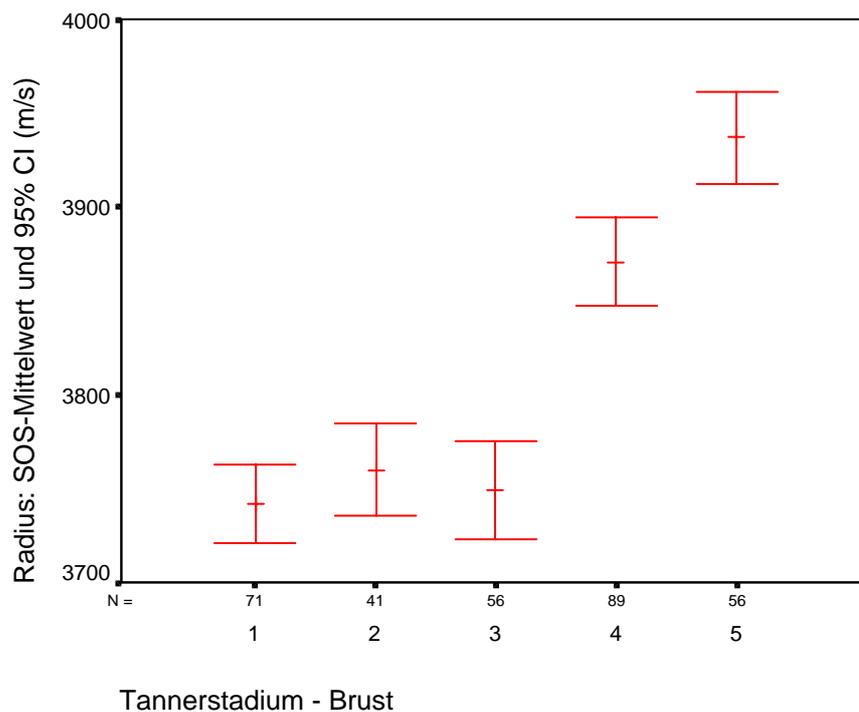
Es zeigen sich nur geringe Unterschiede in den Mittelwerten der verschiedenen Parameter im Vergleich der Tanner-Stadien der Brust- und Schambehaarung. Orientierend an anderen Studien wurde bei Probandinnen mit ungleichen Stadien in Brust- und Pubesentwicklung dem Bruststadium Vorzug gegeben und soll im Folgenden als Bezugsgröße dienen (42, 43).

3.8 Abhängigkeit vom Stadium der Pubertätsentwicklung

Zur Darstellung der Knochenleitgeschwindigkeit in Abhängigkeit zum Pubertätsstadium der Brust wurden für alle Messorte Fehlerbalkendiagramme mit Mittelwert und 95% Konfidenzintervall gewählt.

3.8.1 Radius

In der Darstellung der SOS-Ergebnisse am Radius in Abhängigkeit vom Tanner-Stadium der Brust ist ein deutlicher Anstieg zwischen den Tanner-Stadien 3 und 4 zu verzeichnen.



N = Anzahl der Probandinnen im jeweiligen Tanner-Stadium; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 10: SOS-Ergebnisse des Radius in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung als Fehlerbalken mit Mittelwert und 95% Konfidenzintervall

Der Einzelvergleichstest der durchgeführten Varianzanalyse (Bonferroni-Methode) zeigte folgende Ergebnisse:

Tabelle 18: Mittelwertsvergleich der SOS-Ergebnisse am Radius in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung

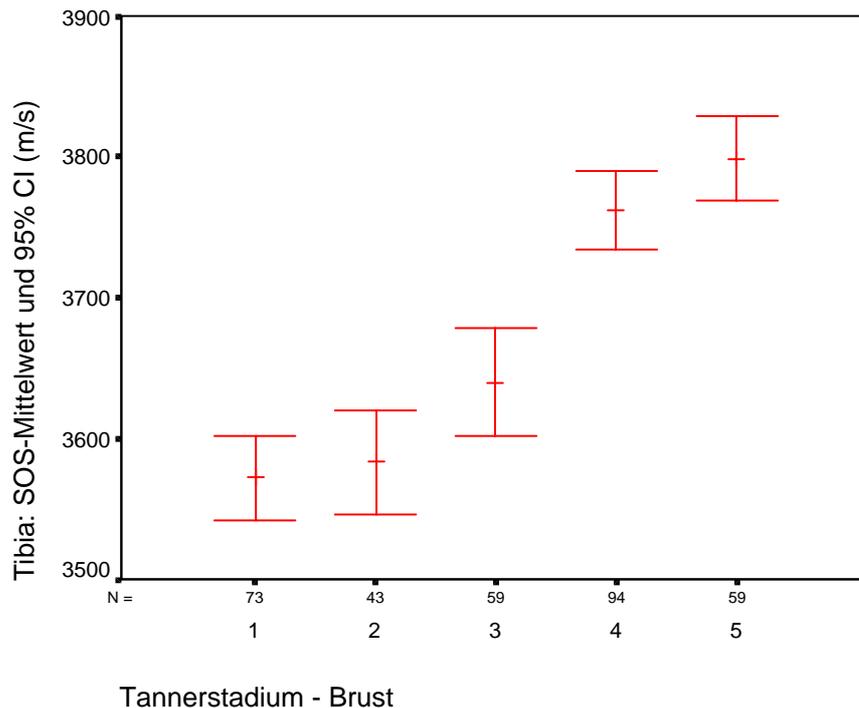
Tanner-Stadium Brust	1	2	3	4	5
1	-				
2	n.s.	-			
3	n.s.	n.s.	-		
4	.000	.000	.000	-	
5	.000	.000	.000	.001	-

n.s.: nicht signifikant

Demnach unterscheiden sich die SOS-Mittelwerte des Radius der ersten drei Tanner-Stadien nicht signifikant voneinander. Die SOS-Mittelwerte des Radius der Tanner-Stadien 4 und 5 unterscheiden sich dagegen signifikant von den ersten drei Stadien. Ferner unterscheiden sich die Mittelwerte der Stadien 4 und 5 signifikant voneinander.

3.8.2 Tibia

In der Darstellung der SOS-Ergebnisse an der Tibia in Abhängigkeit vom Tanner-Stadium der Brust zeigt sich der deutlichste Anstieg der SOS-Werte ebenfalls zwischen den Tanner-Stadien 3 und 4.



N = Anzahl der Probandinnen im jeweiligen Tanner-Stadium; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 11: SOS-Ergebnisse der Tibia in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung als Fehlerbalken mit Mittelwert und 95% Konfidenzintervall

Der Einzelvergleichstest der durchgeführten Varianzanalyse (Bonferroni-Methode) zeigte folgende Ergebnisse:

Tabelle 19: Mittelwertsvergleich der SOS-Ergebnisse an der Tibia in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung

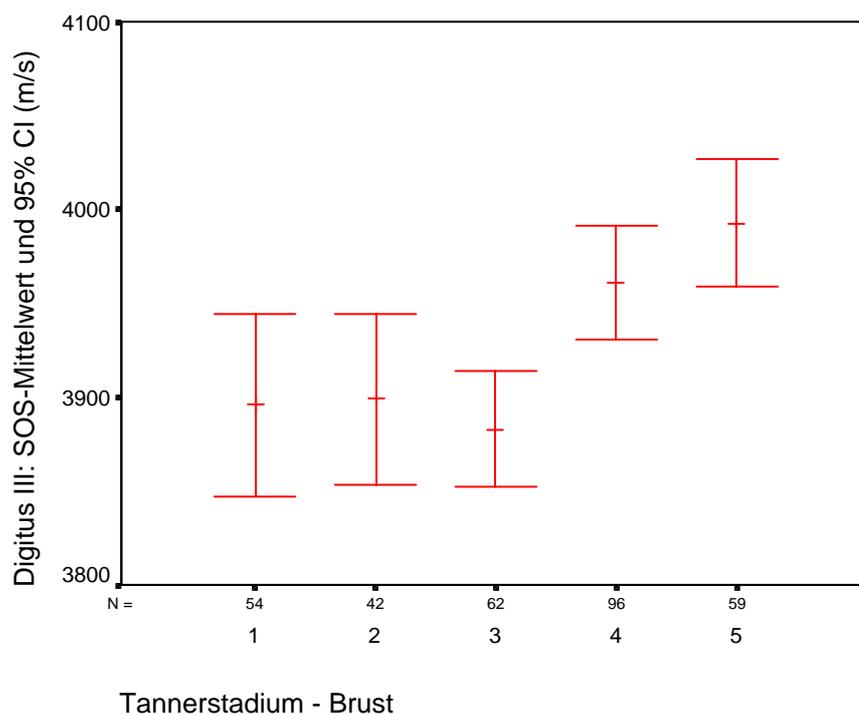
Tanner-Stadium Brust	1	2	3	4	5
1	-				
2	n.s.	-			
3	,032	n.s.	-		
4	,000	,000	,000	-	
5	,000	,000	,000	n.s.	-

n.s.: nicht signifikant

Die Mittelwerte der SOS-Ergebnisse der Tibia bei den Mädchen mit den Tanner-Stadien 1 und 2, 2 und 3 sowie 4 und 5 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Die Mittelwerte der SOS-Ergebnisse der Tibia der Tanner-Stadien 1-3 dagegen unterscheiden sich signifikant von denen der Tanner-Stadien 4 und 5 ebenso wie die Mittelwerte des Tanner Stadiums 1 von denen des Stadiums 3.

3.8.3 Grundphalanx Digitus III

Die an der Grundphalanx Digitus III erhobenen SOS-Werte steigen ebenfalls an, wobei sich der deutlichste Anstieg zwischen den Tanner-Stadien 3 und 4 zeigt; im Vergleich zu Radius und Tibia ist er jedoch weniger ausgeprägt.



N = Anzahl der Probandinnen im jeweiligen Tanner-Stadium; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 12: SOS-Mittelwerte und 95% Konfidenzintervall von Grundphalanx Digitus III in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung als Fehlerbalken

Der Einzelvergleichstest der durchgeführten Varianzanalyse (Bonferroni-Methode) zeigte folgende Ergebnisse:

Tabelle 20: Mittelwertsvergleich der SOS-Ergebnisse an der Grundphalanx Digitus III in Abhängigkeit von den Tanner-Stadien der Brustentwicklung

Tanner-Stadium Brust	1	2	3	4	5
1	-				
2	n.s.	-			
3	n.s.	n.s.	-		
4	n.s.	n.s.	,010	-	
5	,005	,015	,000	n.s.	-

n.s.: nicht signifikant

Die Mittelwerte der SOS-Ergebnisse der Grundphalanx Digitus III der Tanner-Stadien 1-3 unterscheiden sich nicht signifikant. Auch die Mittelwerte der SOS-Ergebnisse der Grundphalanx Digitus III der Tanner-Stadien 1 und 4, 2 und 4 sowie 4 und 5 sind nicht signifikant voneinander unterschiedlich. Dagegen unterscheiden sich die SOS-Ergebnisse der Grundphalanx Digitus III der Tanner-Stadien 1 bis 3 jeweils von dem des Tanner-Stadiums 5 ebenso wie die SOS-Werte des Tanner-Stadiums 3 von dem des Tanner-Stadiums 4 signifikant voneinander.

3.9 Darstellung der SOS-Ergebnisse gruppiert nach Tanner-Stadien der Brust im Verhältnis zum realen Alter

Für alle Messorte wurden die Messwerte nach den Tanner-Stadien der Brustentwicklung gruppiert, wobei das Stadium 1 als präpubertär, die Stadien 2 und 3 als pubertär und die Stadien 4 und 5 als spätpubertär zusammengefasst wurden. Die drei Gruppen sind im Folgenden graphisch jeweils als verschiedenfarbige Punktwolken dargestellt. Für jede Gruppe wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Die jeweils berechneten Regressionsgeraden geben Auskunft über die Stärke des Zusammenhangs zwischen den SOS-Ergebnissen des Radius und des Alters der Probandinnen.

3.9.1 Radius

Abbildung 13 zeigt die SOS-Mittelwerte des Radius nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter der Probandinnen.

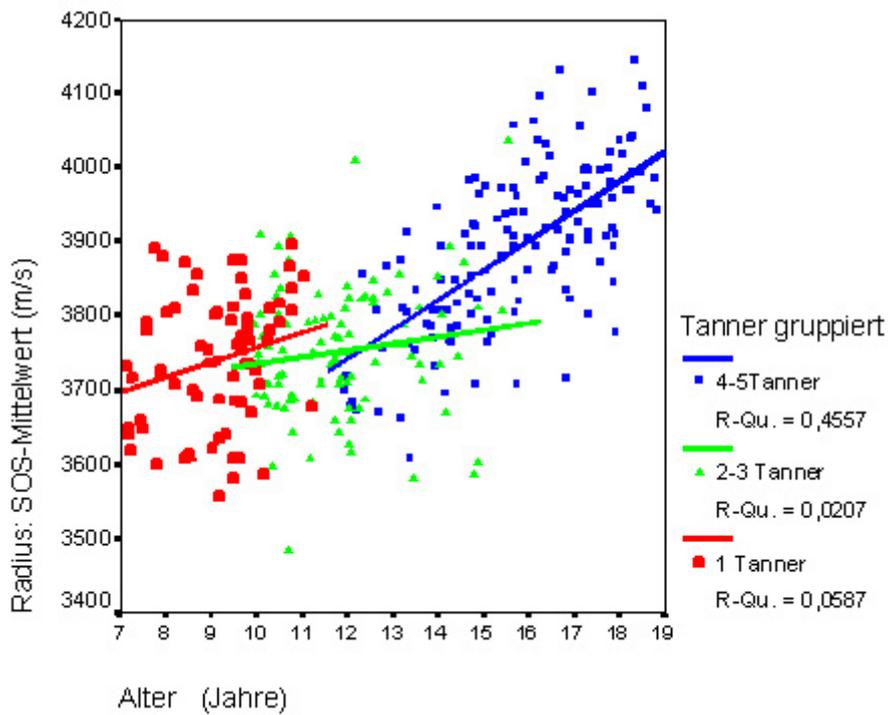


Abbildung 13: Streudiagramm: SOS-Mittelwerte des Radius nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter; lineare Regressionsgeraden für die einzelnen Tanner-Gruppen

Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse für die SOS-Mittelwerte des Radius.

Tabelle 21: Modellgüte R^2 in % und nicht-standardisierter Regressionskoeffizient B der Regressionsmodelle (*: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; n.s.: nicht signifikant).

	Tanner-Stadien		
	präpubertär	pubertär	spätpubertär
Modellgüte R in %	5,9	2,1	45,6
B	19,6*	n.s.	39,7**

Die drei berechneten Regressionsmodelle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Modellgüte. Im Regressionsmodell für die spätpubertären Probandinnen können 45,6 Prozent der Varianz der SOS-Werte des Radius durch die Variable Alter erklärt werden. Der nicht-standardisierte Regressionskoeffizient B mit einer Größe von 39,7 besagt, dass für Probandinnen dieses Pubertätsstadiums mit jedem zusätzlichen Lebensjahr ein signifikanter Anstieg der SOS-Werte des Radius um 39,7 m/s einhergeht. Die erklärten Varianzanteile des Regressionsmodells der präpubertären Probandinnen (5,9 Prozent) sowie der pubertierenden Probandinnen (2,1 Prozent) liegen deutlich unter dem erklärten Varianzanteil des Regressionsmodells der spät- bzw. postpubertären Probandinnen. Während für die Probandinnen im präpubertären Stadium mit jedem zusätzlichen Lebensjahr ein Anstieg der SOS-Werte des Radius um 19,6 durch das Regressionsmodell vorhergesagt wird, ist ein derartiger positiver Zusammenhang zwischen SOS-Werten und Lebensalter für die Probandinnen des pubertären Stadiums nicht zu verzeichnen.

Eine bessere graphische Repräsentation der Mittelwertverteilung als durch drei unterschiedliche Regressionsgraden kann durch die Verwendung einer iterativ lokal gewichteten Schätzmethode (Lowess-Funktion) erzielt werden. Die Lowess-Funktion zeigt, dass ein deutlicher Anstieg der SOS-Werte des Radius zu Beginn des spätpubertären Stadiums erfolgt.

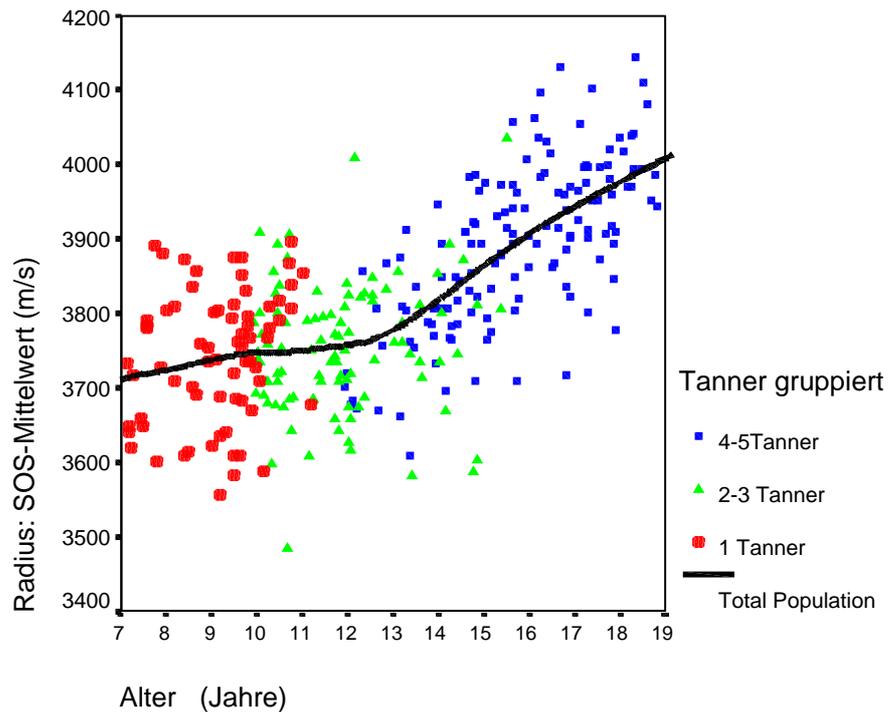


Abbildung 14: Streudiagramm: SOS-Mittelwerte des Radius nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter mit Verwendung der lowess-Funktion

3.9.2 Tibia

Abbildung 15 zeigt die SOS-Mittelwerte der Tibia nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter der Probandinnen.

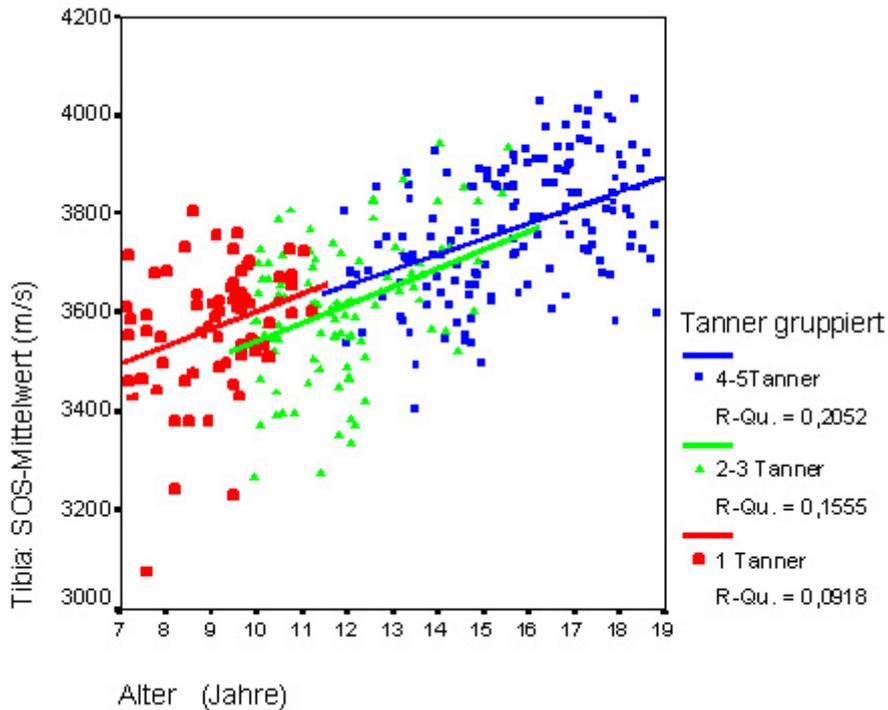


Abbildung 15: Streudiagramm: SOS-Werte der Tibia nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter; lineare Regressionsgeraden für die einzelnen Tanner-Gruppen

Tabelle 22: Modellgüte R^2 in % und nicht-standardisierter Regressionskoeffizient B der Regressionmodelle (**: $p \leq 0.01$) für die SOS-Werte der Tibia.

	Tanner-Stadien		
	präpubertär	pubertär	spätpubertär
Modellgüte R in %	9,2	15,5	20,5
B	35,0**	37,1**	31,2**

Die drei berechneten Regressionsmodelle unterscheiden sich ebenfalls hinsichtlich ihrer Modellgüte. Im Regressionsmodell für die spätpubertären Probandinnen können 20,5 Prozent der Varianz der SOS-Werte der Tibia durch die Variable Alter erklärt werden. Der nicht-standardisierte Regressionskoeffizient B mit einer Größe von 31,2 besagt, dass für Probandinnen dieses Pubertätsstadiums mit jedem zusätzlichen Lebensjahr

ein signifikanter Anstieg der SOS-Werte des Radius um 31,2 m/s einhergeht. Die erklärten Varianzanteile des Regressionsmodells der präpubertären Probandinnen (9,2 Prozent) sowie der pubertierenden Probandinnen (15,5 Prozent) liegen etwas unter dem erklärten Varianzanteil des Regressionsmodells der spätpubertären Probandinnen. In der Gruppe der präpubertären Mädchen erfolgt ein signifikanter Anstieg der SOS-Mittelwerte mit jedem zusätzlichen Lebensjahr um 35 m/s, in der Gruppe der pubertären Mädchen um 37,1 m/s.

Die Lowess-Funktion verdeutlicht, dass auch an der Tibia ein Anstieg der Knochenleitgeschwindigkeit ab einem Alter von 13 Jahren erfolgt.

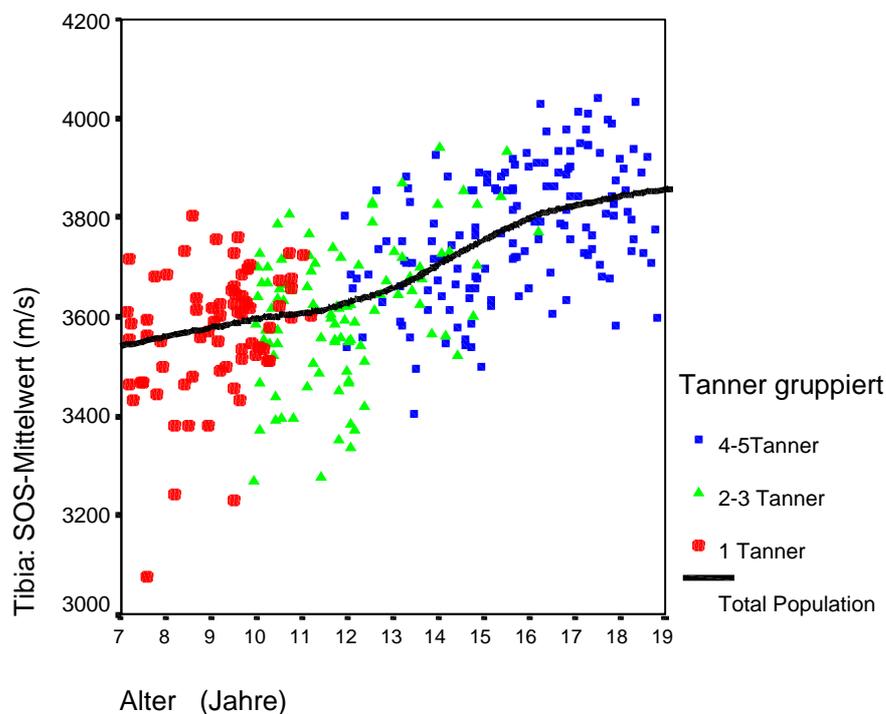


Abbildung 16: Streudiagramm: SOS-Werte der Tibia nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter mit Verwendung der Lowess-Funktion

3.9.3 Grundphalanx Digitus III

Abbildung 17 zeigt die SOS-Werte der Grundphalanx Digitus III nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter der Probandinnen.

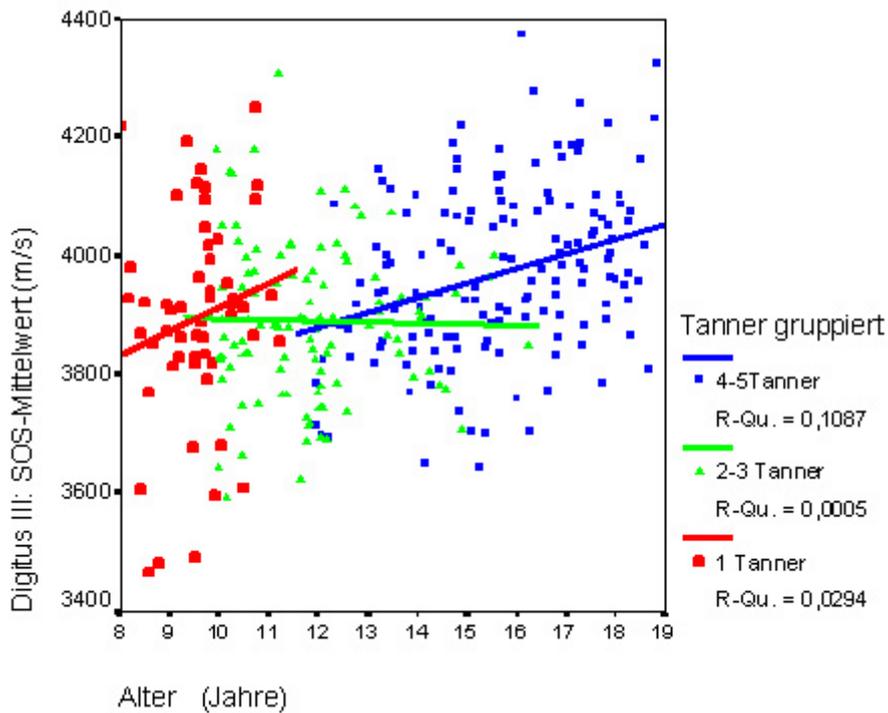


Abbildung 17: Streudiagramm: SOS-Werte der Grundphalanx Digitus III nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter; lineare Regressionsgeraden für die einzelnen Tanner-Gruppen

Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse für die SOS-Werte der Grundphalanx Digitus III.

Tabelle 23: Modellgüte R² in % und nicht-standardisierter Regressionskoeffizient B der Regressionsmodelle (**: p ≤ 0,01; n.s.: nicht signifikant)

	Tanner-Stadien		
	präpubertär	pubertär	spätpubertär
Modellgüte R in %	2,9	,00	10,9
B	n.s.	n.s.	24,7**

Im Regressionsmodell für die spätpubertären Probandinnen können 10,9 Prozent der Varianz der SOS-Werte der Phalanx durch die Variable Alter aufgeklärt werden. Der nicht-standardisierte Regressionskoeffizient B mit einer Größe von 24,7 besagt, dass für Probandinnen dieses Tanner-Stadiums mit jedem zusätzlichen Lebensjahr ein signifikanter Anstieg der SOS-Werte der Phalanx um 24,7 m/s einhergeht. Der erklärte Varianzanteil des Regressionsmodells der präpubertären Probandinnen (2,9 Prozent) fällt sehr gering aus. Das Regressionsmodell für die pubertierenden Probandinnen besagt, dass die Varianz der SOS-Werte der Phalanx nicht auf die Variable Alter zurückgeführt werden kann. Sowohl für die präpubertierenden als auch für die pubertierenden Probandinnen kann mit dem Regressionsmodell kein Zusammenhang zwischen der Knochenleitgeschwindigkeit und dem Alter festgestellt werden.

An der Grundphalanx Digitus III kann mit Hilfe der Lowess-Funktion gezeigt werden, dass ab einem Alter von 13 Jahren ein Anstieg der Knochenleitgeschwindigkeit erfolgt.

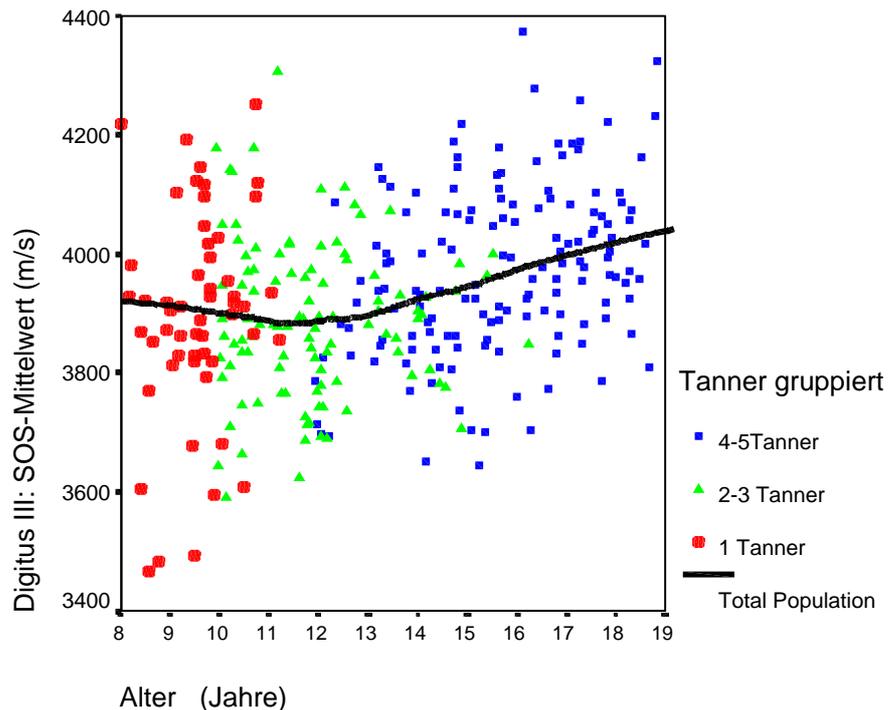


Abbildung 18: Streudiagramm: SOS-Werte der Grundphalanx Digitus III nach Tanner-Stadien gruppiert in Abhängigkeit vom Alter mit Verwendung der Lowess-Funktion

3.10 Stufenweise Regressionsanalyse

Eine stufenweise Regressionsanalyse, die den eigentlichen Einfluss von unterschiedlichen Parametern auf die SOS an den verschiedenen Messorten untersuchen soll, konnte wegen zu starker Abhängigkeit (so genannte Kollinearität) der Parameter (besonders stark ausgeprägt zwischen Alter und Tanner-Stadium) nicht durchgeführt werden. Es existiert kein für diese Umstände zutreffender statistischer Test.

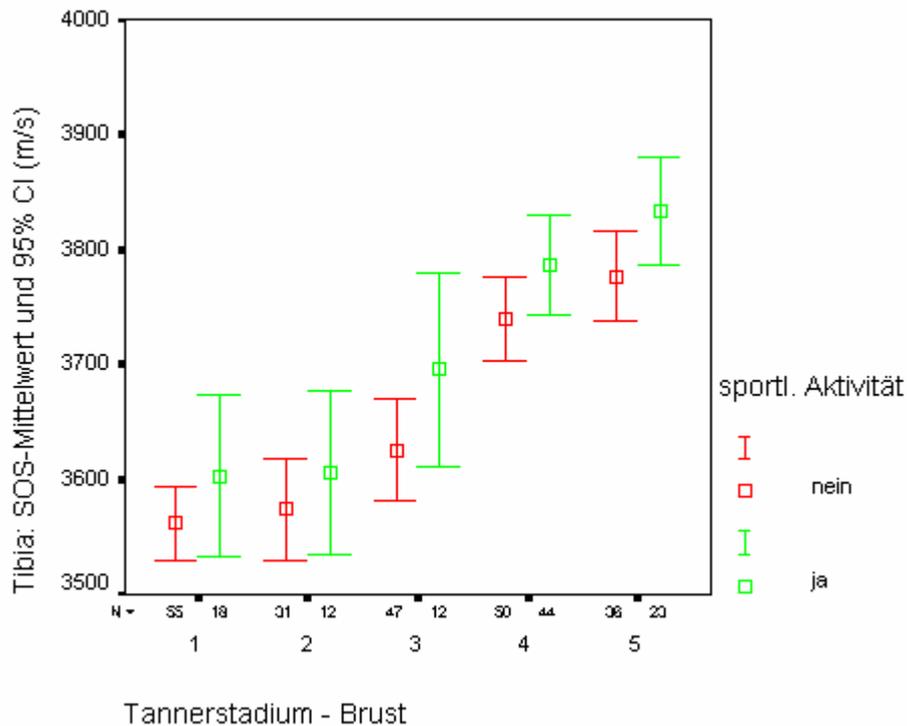
3.11 Andere Einflussgrößen

3.11.1 Kalziumaufnahme

Die Probandinnen wurden nach Tanner-Stadien der Brust gruppiert und in zwei Untergruppen unterteilt, einerseits bestehend aus Mädchen mit regelmäßigem Verzehr milchhaltiger Produkte und andererseits Probandinnen ohne regelmäßige Zufuhr kalziumhaltiger Nahrung. Diese wurden mittels Student t-Test für die Mittelwertgleichheit verglichen. Bezüglich der SOS-Ergebnisse konnte kein signifikanter Unterschied zwischen regelmäßig Milchprodukte verzehrenden Probandinnen und Mädchen ohne regelmäßige Kalziumzufuhr festgestellt werden.

3.11.2 Körperliche Aktivität

Innerhalb der einzelnen Tanner-Stadien der Brustentwicklung wurden die Probandinnen abhängig von ihrer sportlichen Aktivität in zwei Gruppen aufgeteilt (mit und ohne regelmäßigen Sport). Die SOS-Ergebnisse zwischen den sportlich aktiven und nicht-sportlichen Mädchen zeigen am Radius und der Grundphalanx Digitus III keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,01$), was mit dem Student t-test für die Mittelwertgleichheit gezeigt wurde. An der Tibia liegen die Mittelwerte der Sport treibenden Mädchen wie in Abbildung 19 ersichtlich in jedem Tanner-Stadium höher als bei den sportlich nicht aktiven Probandinnen. Bei sich deutlich überschneidenden Konfidenzintervallen in jeder Gruppe ist aber auch an der Tibia der Unterschied nicht signifikant ($p > 0,01$). Ein signifikanter Einfluss von sportlicher Betätigung auf die SOS kann bei den in dieser Studie untersuchten gesunden Probandinnen somit nicht nachgewiesen werden.



N = Anzahl der Probandinnen im jeweiligen Tanner-Stadium; CI = Konfidenzintervall

Abbildung 19: Darstellung der SOS-Werte an der Tibia der Sport treibenden (grün) und sportlich nicht aktiven (rot) Probandinnen als Fehlerbalken mit Mittelwert und 95% Konfidenzintervall.

3.11.3 Positive Familienanamnese für Osteoporose

Auch bei Vorliegen von an Osteoporose erkrankten Familienangehörigen 1. und 2. Grades unterscheiden sich die SOS-Werte an den verschiedenen Messorten nicht signifikant im Vergleich zu Probandinnen ohne positive Familienanamnese für Osteoporose. Getestet wurde dies ebenfalls mit dem Student t-test für die Mittelwertgleichheit.