

Kapitel 6

Ergebnisse - Analyse der Puls-Variabilität

6.1 Poincaré-Maps

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der Poincaré-Maps der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Nicht-trainierende Probanden weisen einen Anstieg der Pulsfrequenz bereits ab der zweiten Woche bei peripheren und zentralen Arterien auf.
2. Trainierende Probanden verzeichnen keinen oder nur geringen Anstieg der Pulsfrequenzen.
3. Nicht-trainierende Probanden weisen bei peripheren Arterien teilweise eine zunehmende Verdichtung der Puls-Variabilität auf.
4. Nicht-trainierende Probanden verfügen im Gegensatz zu den trainierenden Probanden über eine geringere Variabilität bereits ab der zweiten Woche. Dies nimmt ab je zentraler die Arterie lokalisiert ist.
5. Es sind signifikante Unterschiede zwischen peripheren und zentralen Arterien zu erkennen.

Die Poincaré-Maps zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen der trainierenden und der nicht-trainierenden Probandengruppe (vgl. dazu Abbildungen 6.1, 6.2 und 6.3). Dieser Unterschied nimmt zu, je peripherer die Messwerte erfasst wurden. Bei der A. radialis ähneln die Poincaré-Maps denen der RR-IBI's (vgl. dazu Kapitel 5.1, Seite 41 ff.). Dagegen ist zwischen A. carotis und RR-IBI's bereits keine direkte Korrelation mehr zu erkennen. Ebenfalls sind deutliche Unterschiede zwischen peripheren und zentralen Arterien zu erkennen.

Bei der A. radialis der trainierenden Probanden (A) und (F) ist keine konkrete Verschiebung der Punktwolken entlang der Hauptdiagonalen des dreidimensionalen Diagrammes im Laufe der Wochen zu erkennen (vgl. dazu Abbildung 6.1). Die Variabilität bleibt gleich konzentrisch. Das Diagramm zeigt Attraktoren mit erhöhten chaotischen Verläufen, die Punktwolken sind nur schwer voneinander zu trennen. Auffallend bei Proband (A) das erhöhte chaotische Verhalten und die geringere Dichte der Punktwolken¹. Die Variabilität bleibt im Laufe der Wochen nahezu konstant. Die nicht-trainierenden Probanden (C) und (D) zeigen eine klare Verschiebung der Punktwolken im Laufe der Wochen in Richtung höhere Frequenzen. Die Punktwolken lassen sich klar voneinander trennen. Bereits ab der zweiten Woche lässt sich eine starke Verdichtung der Punktwolken im Gegensatz zu den trainierenden Probanden feststellen. Die Dynamik der Attraktoren ist im Vergleich zu den trainierenden Probanden im Wochenvergleich reduziert. Die Variabilität der Pulsintervalle weist bei beiden Probandengruppen eine konstante Tendenz im Wochenverlauf auf.

Die Poincaré-Maps der A. brachialis der trainierenden Probanden weisen eine leichte Kugelbildung auf (vgl. dazu Abbildung 6.2). Wie bei der A. radialis überlagern sich die Punktwolken der einzelnen Wochen bei den trainierenden Probanden. Auch hier ist auffallend, dass Proband (A) über eine höhere Variabilität und erhöhte chaotische Attraktoren verfügt. Die trainierenden Probanden weisen keine Verschiebung entlang der Hauptdiagonalen auf. Dagegen verschiebt sich die Punktwolke bei den nicht-trainierenden Probanden entlang der Hauptdiagonalen in Richtung höhere Frequenzen. Die Punktwolken der nicht-trainierenden Probanden lassen sich noch voneinander trennen.

¹Bei Beginn der Studie verfügte dieser Proband über eine Pulsfrequenz von 35/min und war in der Lage die Atemluft bis zu 5 Minuten anzuhalten. Beruf: Tauchlehrer.

Im Vergleich zu den trainierenden Probanden ist die Variabilität der nicht-trainierenden Probanden reduziert. Die Punktwolken der nicht-trainierenden Probanden sind konzentrierter angeordnet als bei der *A. radialis*, die chaotischen Attraktoren im Vergleich zu den trainierenden Probanden reduziert.

Im Gegensatz zu den Poincaré-Maps der *A. radialis* und der *A. brachialis* zeigen die Poincaré-Maps der *A. carotis* eine stark zunehmende Kugelbildung der Punktwolken (vgl. dazu Abbildung 6.3). Dies ist bei den trainierenden Probanden besonders ausgeprägt. Ebenso sind die Punktwolken der einzelnen Wochen nicht voneinander zu unterscheiden. Die Punktwolken weisen keine Verschiebung entlang der Hauptdiagonalen auf. Die Variabilität bleibt im Laufe der Wochen gleich hoch. Es sind hohe chaotische Attraktoren festzustellen. Im Gegensatz zu der *A. radialis*, der *A. brachialis* und den RR-IBI's weisen die Poincaré-Maps der *A. carotis* der trainierenden und nicht-trainierenden Probanden ein ähnliches Verhalten auf. Bei den nicht-trainierenden Probanden lässt sich nicht immer eine Verschiebung entlang der Hauptdiagonalen feststellen.

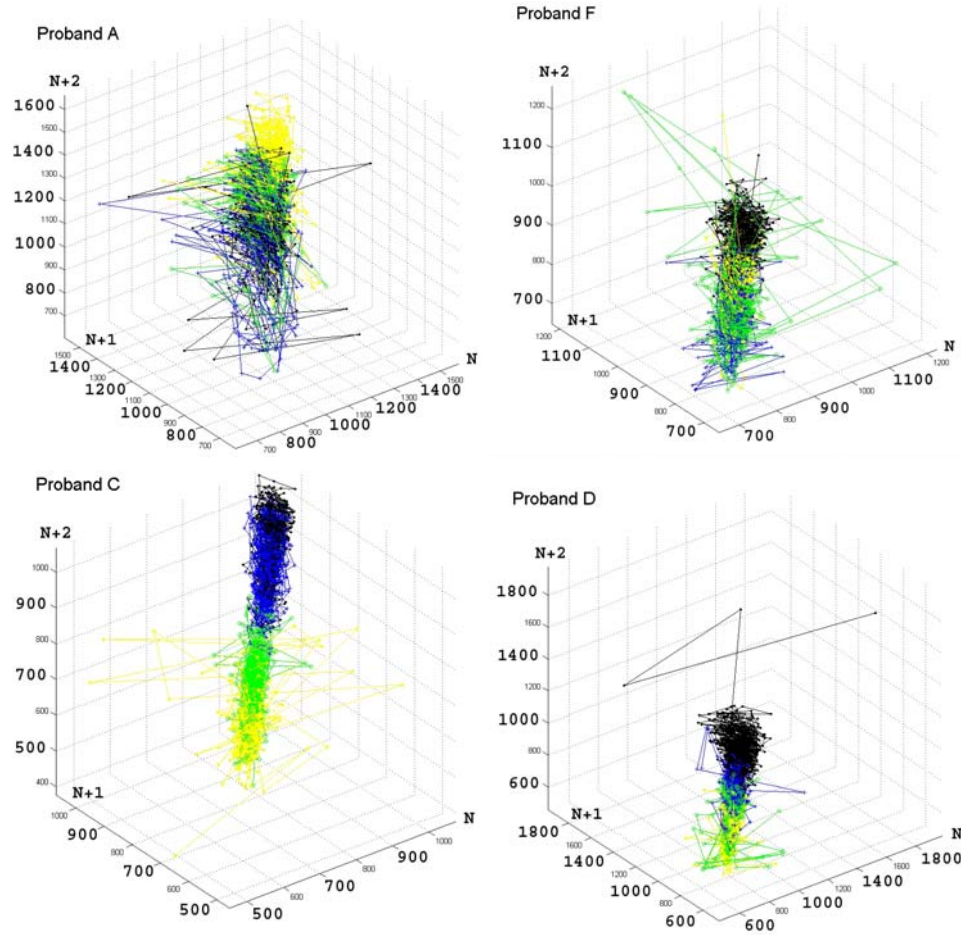


Abbildung 6.1: Poincaré-Maps der *A. radialis*. Oben links: trainierender Proband (A). Oben rechts: trainierender Proband (F). Unten links nicht-trainierender Proband (C). Unten rechts nicht-trainierender Proband (D). Linke Spalte: Poincaré-Maps der IBI's für die Wochen: 2 (schwarz), 4 (blau), 6 (grün) und 8 (gelb). Rechte Spalte: Poincaré-Maps der IBI's für die Wochen: 0 (schwarz), 2 (blau), 4 (grün) und 6 (gelb).

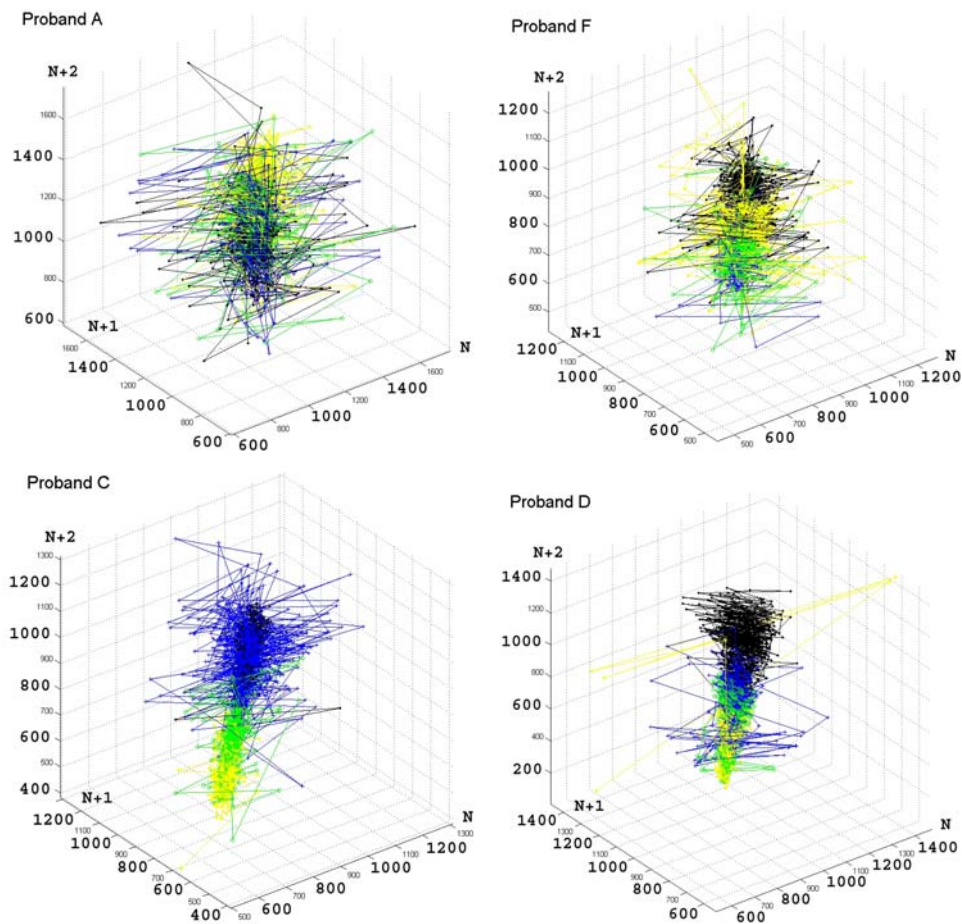


Abbildung 6.2: Poincaré-Maps der *A. brachialis*. Poincaré-Maps der IBI's für die Wochen: 2 (schwarz), 4 (blau), 6 (grün) und 8 (gelb). Oben links: trainierender Proband (A), oben rechts: trainierender Proband (F) [hier jedoch die Wochen 0, 2, 4 und 6.], unten links: nicht-trainierender Proband (C), unten rechts: nicht-trainierender Proband (D).

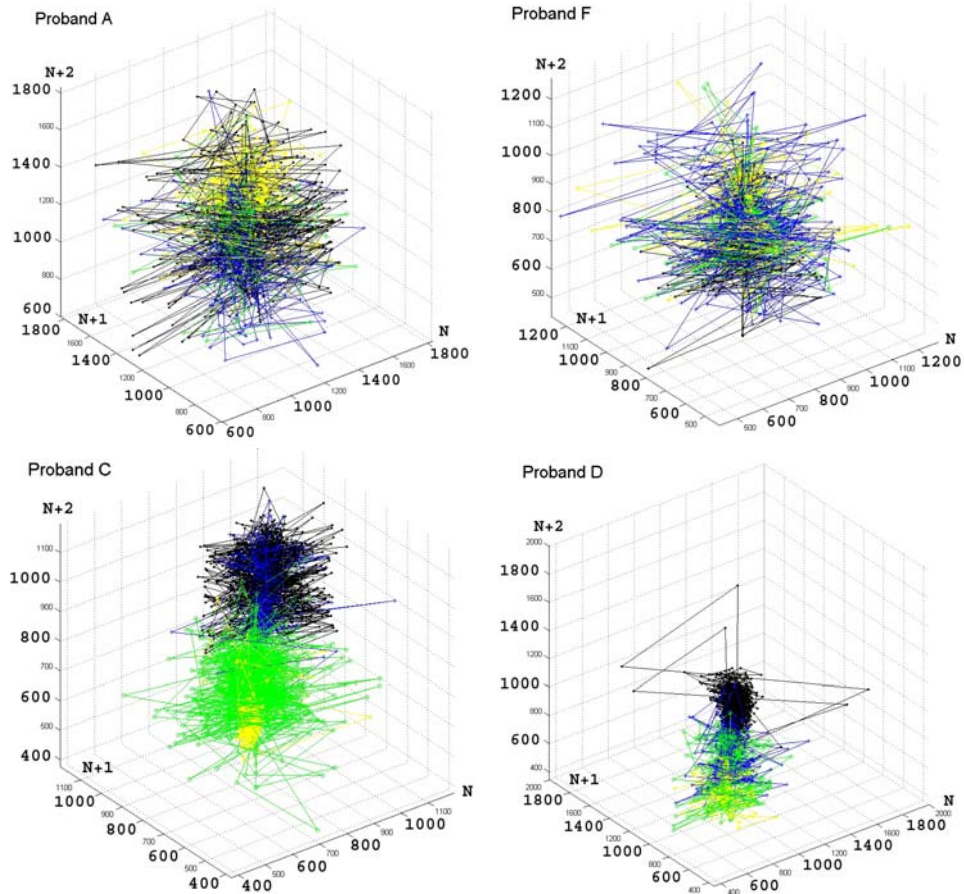


Abbildung 6.3: Poincaré-Maps der *A. carotis*. Linke Spalte: Poincaré-Maps der IBI's für die Wochen: 2 (schwarz), 4 (blau), 6 (grün) und 8 (gelb). Oben links: trainierender Proband (A). Unten links nicht-trainierender Proband (C). Rechte Spalte: Poincaré-Maps der IBI's für die Wochen: 0 (schwarz), 2 (blau), 4 (grün) und 6 (gelb). Oben rechts: trainierender Proband (F). Unten rechts nicht-trainierender Proband (D).

6.2 Approximative Entropie

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der ApEn-Diagramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Kein signifikanter Unterschied zwischen trainierenden und nicht-trainierenden Probanden.
2. Kein Hinweis auf Veränderung des Informationsgehaltes in den Puls-IBI im Laufe der Wochen.
3. Kein signifikanter Unterschied im Vergleich zu den ApEn der RR-IBI.
4. Kein signifikanter Unterschied zwischen peripheren und zentralen Arterien.

Die Berechnung der Approximativen Entropie zeigte sowohl bei den trainierenden als auch bei den nicht-trainierenden Probanden keine signifikante Änderung (vgl. Abbildung 6.4). Es konnten sowohl keine wesentlichen Veränderungen im Laufe der unterschiedlichen Wochen, als auch Gruppenunterschiede festgestellt werden. Ein Vergleich mit den ApEn-Diagrammen der RR-IBI´s weist keinen signifikanten Unterschied auf. Im Gegensatz zu den ApEn-Diagrammen der RR-IBI´s scheinen die ApEn-Diagramme der trainierenden Gruppe quantitativ über eine höhere Bandbreite zu verfügen (vgl dazu Kapitel 5.2, Seite 44 ff.).

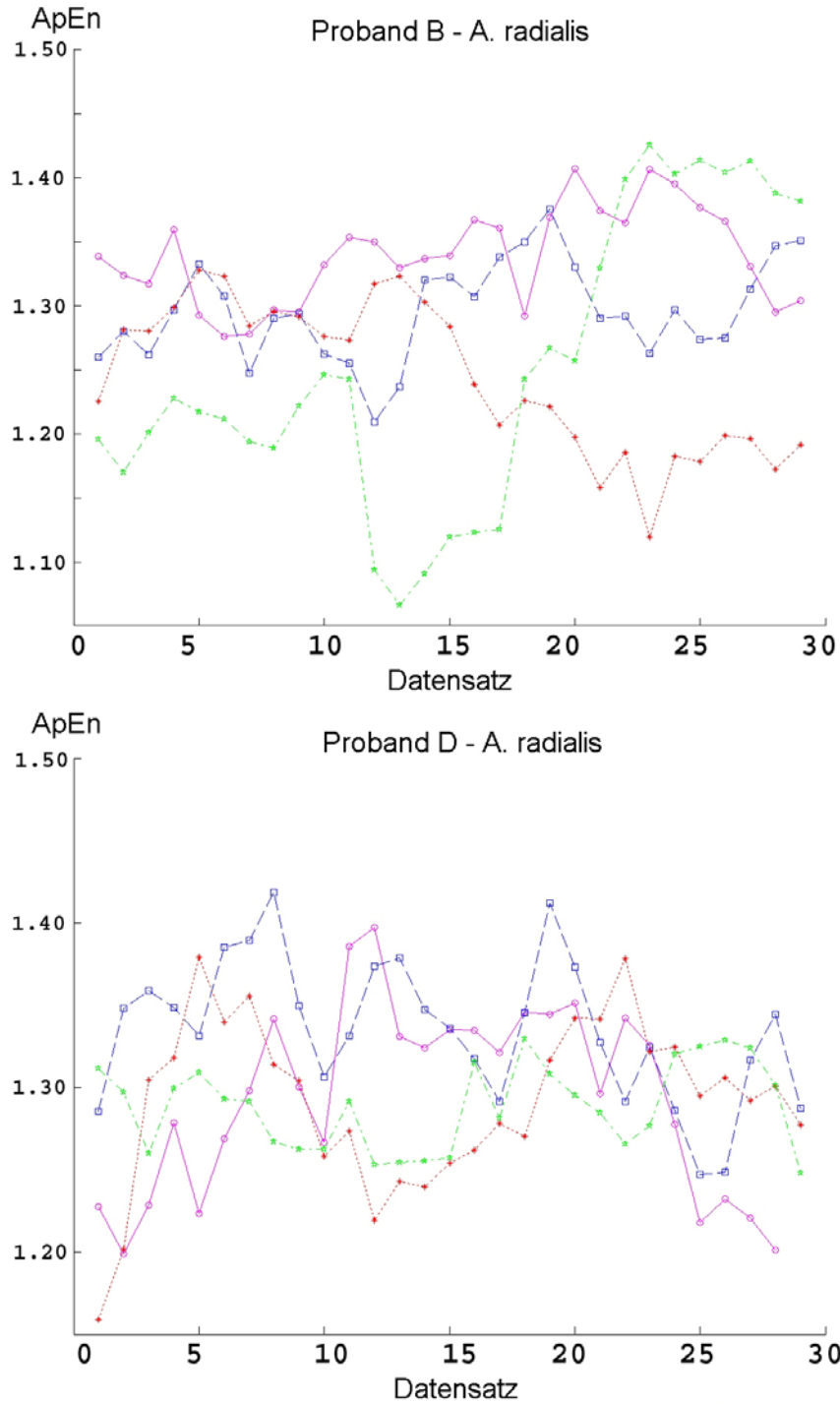


Abbildung 6.4: *ApEn*-Diagramme der *A. radialis* für den Arterien-IBI-Wochenverlauf der einzelnen Probanden. Darstellung der Wochen: 2 (magenta, Kreis), 4 (blau, Quadrat), 6 (rot, Stern) und 8 (grün, Pentagramm). Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband.

6.3 Shannon-Entropie

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der Shannon-Entropie-Werte der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Kein signifikanter Unterschied zwischen trainierenden und nicht-trainierenden Probanden.
2. Kein Hinweis auf Veränderung des Informationsgehaltes in den Puls-IBI im Laufe der Wochen.
3. Kein signifikanter Unterschied im Vergleich zu den ApEn der RR-IBI.
4. Kein signifikanter Unterschied zwischen peripheren und zentralen Arterien.

Die Berechnung der Entropien nach Shannon zeigt keine signifikante Veränderung im Wochenverlauf (vgl. dazu die Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3). Ebenso lässt sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen der trainierenden und nicht-trainierenden Probanden nachweisen. Im Vergleich zu den Entropien der RR-IBI´s lässt sich kein signifikanter Unterschied feststellen (vgl. dazu Kapitel 5.3, Seite 46 ff.).

Woche	Probanden-Gruppe 1				Probanden-Gruppe 2			
	Trainierend		Nicht-trainierend		Trainierend		Nicht-trainierend	
	A	B	C	D	E	F	G	H
2	5,2249	4,9078	4,8693	5,2363	4,7753	4,4430	-	4,3759
3	4,9457	5,0506	4,6100	4,6768	4,8988	4,8316	4,9600	4,6340
4	5,1457	5,2016	4,9229	5,0521	4,7556	4,7672	4,6536	4,3498
5	5,2992	4,9243	4,4987	4,7382	5,0472	4,7750	4,6215	4,6354
6	5,1489	5,1049	4,7284	4,8926	4,8963	4,5668	4,7326	4,4949
7	5,1462	4,8988	4,5280	4,5294	4,8362	4,8884	4,6560	-
8	5,1659	5,0602	4,5129	4,6486	4,8654	-	4,8920	-

Tabelle 6.1: *Einzelentropien nach Shannon der Radialis-IBI's für die Wochen 2 bis 8. Trainierende Probanden: A,B,E,F. Nicht-trainierende Probanden: C,D,G,H. Für (-) markierte Zellen war keine Berechnung möglich.*

Woche	Gruppe 1				Gruppe 2			
	Trainierend		Nicht-trainierend		Trainierend		Nicht-trainierend	
	A	B	C	D	E	F	G	H
2	5,1290	4,8838	4,9433	5,2420	4,7636	4,4083	-	4,3931
3	4,8861	5,0487	4,7625	4,6123	4,6812	4,8124	4,9343	4,6522
4	5,1493	5,1972	4,9784	5,0502	4,7510	4,8143	4,6186	4,2844
5	5,1113	4,9860	4,5151	4,7343	5,0649	4,7514	4,5811	4,5161
6	5,0536	5,0539	4,7276	4,8828	4,8473	4,5851	4,6826	4,4839
7	5,1060	4,8798	4,5835	4,4982	4,9748	4,8781	4,5436	-
8	5,0933	5,0445	4,5236	4,6466	4,8401	-	4,5311	-

Tabelle 6.2: *Einzelentropien nach Shannon der Brachialis-IBI's für die Wochen 2 bis 8. Trainierende Probanden: A,B,E,F. Nicht-trainierende Probanden: C,D,G,H. Für (-) markierte Zellen war keine Berechnung möglich.*

Woche	Gruppe 1				Gruppe 2			
	Trainierend		Nicht-trainierend		Trainierend		Nicht-trainierend	
	A	B	C	D	E	F	G	H
2	5,6132	4,8721	5,1668	5,2004	4,7623	4,5163	-	4,4134
3	4,9375	5,0030	5,0629	4,6482	5,0747	4,8471	4,9127	4,6307
4	5,0300	5,1374	4,9734	5,0454	4,7961	5,0336	4,6738	4,3403
5	4,9281	4,5810	3,8554	4,7020	5,0988	4,6823	4,2775	4,6153
6	5,0813	4,5395	4,5082	4,8944	4,8499	4,4831	4,7084	4,4846
7	5,1802	4,6668	4,5526	4,5513	4,9629	4,4671	4,6446	-
8	5,1240	4,9307	4,4922	4,6331	4,0457	-	4,6961	-

Tabelle 6.3: *Einzelentropien nach Shannon der Carotis-IBI's für die Wochen 2 bis 8. Trainierende Probanden: A,B,E,F. Nicht-trainierende Probanden: C,D,G,H. Für (-) markierte Zellen war keine Berechnung möglich.*

6.4 Spektrogramme

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der Spektrogramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Nicht-trainierende Probanden weisen eine Verschiebung des Frequenzbandes bei 0.3 Hz in Richtung 0.15 Hz auf.
2. Trainierende Probanden weisen *keine* Verschiebung des Frequenzbandes bei 0.3 Hz in Richtung 0.15 Hz auf.
3. Trainierende Probanden verfügen über ein höheres Spektrum bei allen Frequenzen als nicht-trainierende Probanden.
4. Nicht-trainierende Probanden weisen eine Reduktion des Frequenzspektrums auf.
5. Zwischen trainierenden und nicht-trainierenden Probanden lassen sich deutliche Unterschiede erkennen.
6. Signifikante Ähnlichkeit zwischen RR-IBI und Puls-IBI (peripher und zentral).
7. Signifikante Ähnlichkeiten zwischen peripheren und zentralen Arterien.
8. Zentrale Arterien verfügen über ein höheres Spektrum bei allen Frequenzen als periphere Arterien.

Bei den Spektrogrammen lassen sich deutliche Unterschiede zwischen dem extrem sportlichen und trainierenden, den normalen trainierenden und den nicht-trainierenden Probanden feststellen (vgl. dazu Abbildungen 6.6, 6.7 und 6.8). Der sportliche und trainierende Proband weist eine stark unregelmässige jedoch vielfältige Frequenz- und Amplitudenverteilung auf. Während des Wochenverlaufes ist eine Abnahme dieser Vielfältigkeit festzustellen. Normale trainierende und nicht-trainierende Probanden verfügen über eine wesentlich geringere Vielfältigkeit. Es ist bei den normalen trainierenden und nicht-trainierenden Probanden ein Band bei 0.3 Hz zu erkennen, welches sich im Laufe der Wochen leicht zu den niedrigen Frequenzen verschiebt.

Die nicht-trainierenden Probanden haben - im Vergleich zu dem sportlichen trainierenden Probanden - wie die normalen trainierenden Probanden eine geringere Vielfältigkeit der Frequenz- und Amplitudenverteilung. Im Gegensatz zu den trainierenden Probanden verschiebt sich jedoch das Frequenzband um 0.3 Hz wesentlich deutlicher zu den niedrigen Frequenzen. Sowohl bei den trainierenden als auch bei den nicht-trainierenden Probanden ist eine Abnahme der Frequenz- und Amplitudenverteilung im Wochenverlauf zu erkennen. Im Vergleich zu den Spektrogrammen der RR-IBI's lassen sich signifikante Ähnlichkeiten feststellen (vgl. dazu Kapitel 5.4, Seite 47 ff.). Das gesamte beschriebene Verhalten gilt sowohl für periphere als auch für zentrale Arterien. Dabei nimmt die Qualität, Lesbarkeit und Interpretierbarkeit der Spektrogramme von peripher nach zentral ab. Zwischen den peripheren und zentralen Arterien sind keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Die Achseneinteilungen der Spektrogramme lassen sich der Abbildung 6.5 entnehmen.

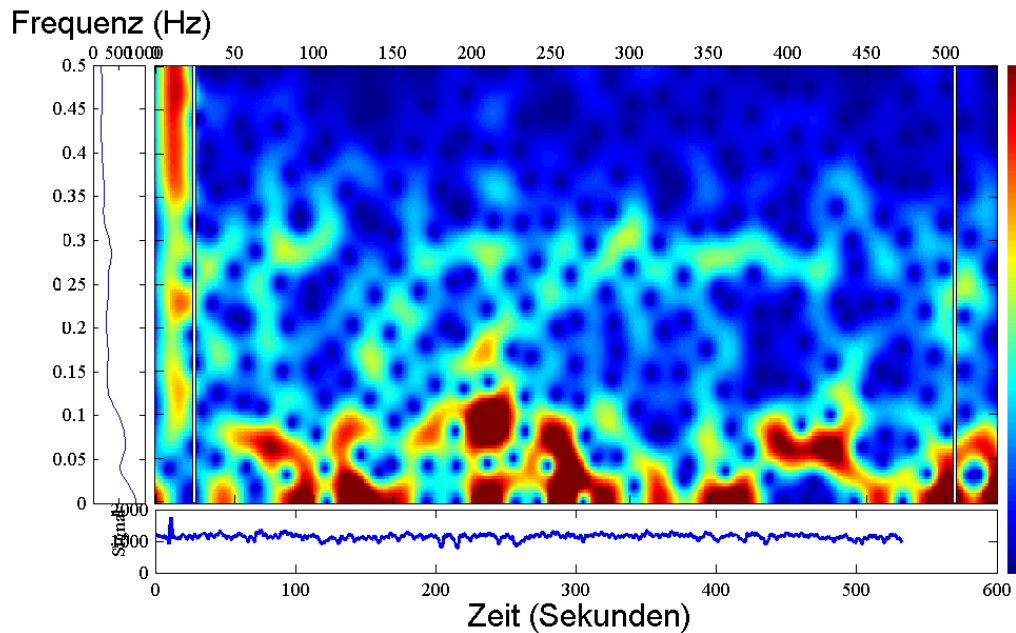


Abbildung 6.5: Achseneinteilungen der Spektrogramme. Ordinate: Frequenz (Hz), Abzisse: Zeit t (Sekunden).

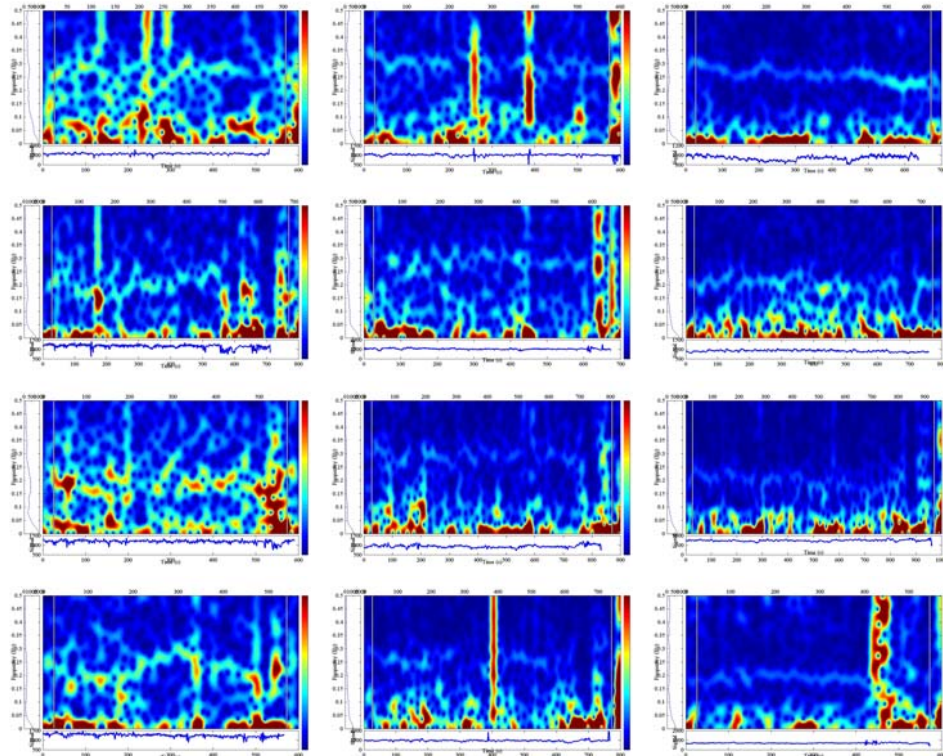


Abbildung 6.6: *Spektrogramme der A. radialis IBI's. Linke Spalte: trainierender Proband. Mittlere Spalte: trainierender Proband. Rechte Spalte: nicht-trainierender Proband. Von oben nach unten: Wochen 2,4,6 und 8.*

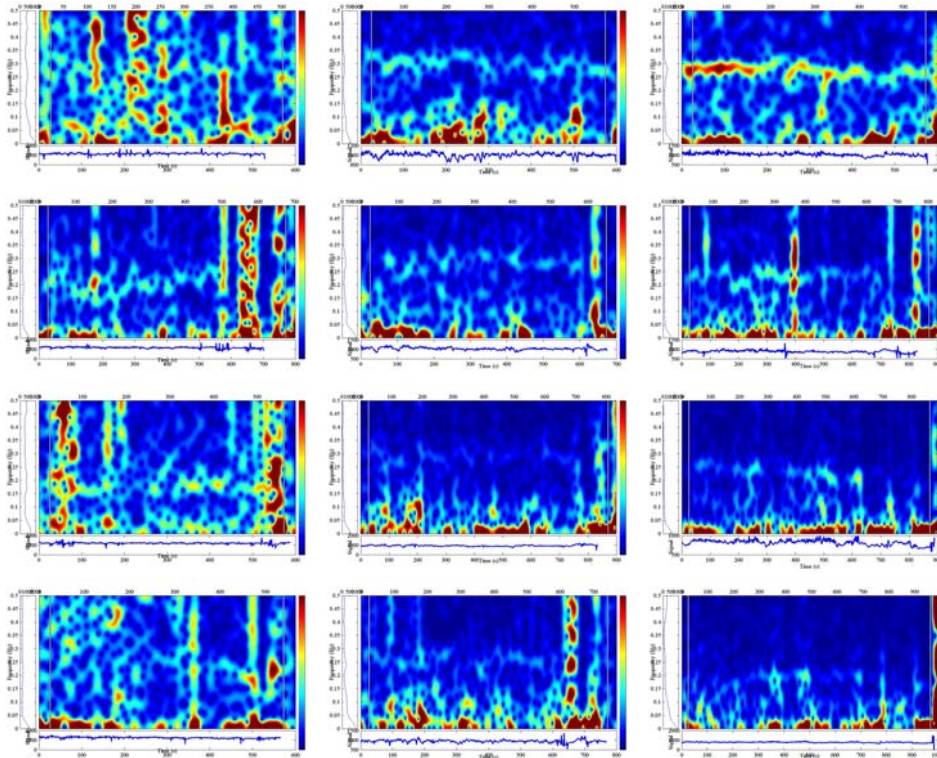


Abbildung 6.7: Spektrogramme der *A. brachialis* IBI's. Linke Spalte: trainierender Proband. Mittlere Spalte: trainierender Proband. Rechte Spalte: nicht-trainierender Proband. Von oben nach unten: Wochen 2,4,6 und 8.

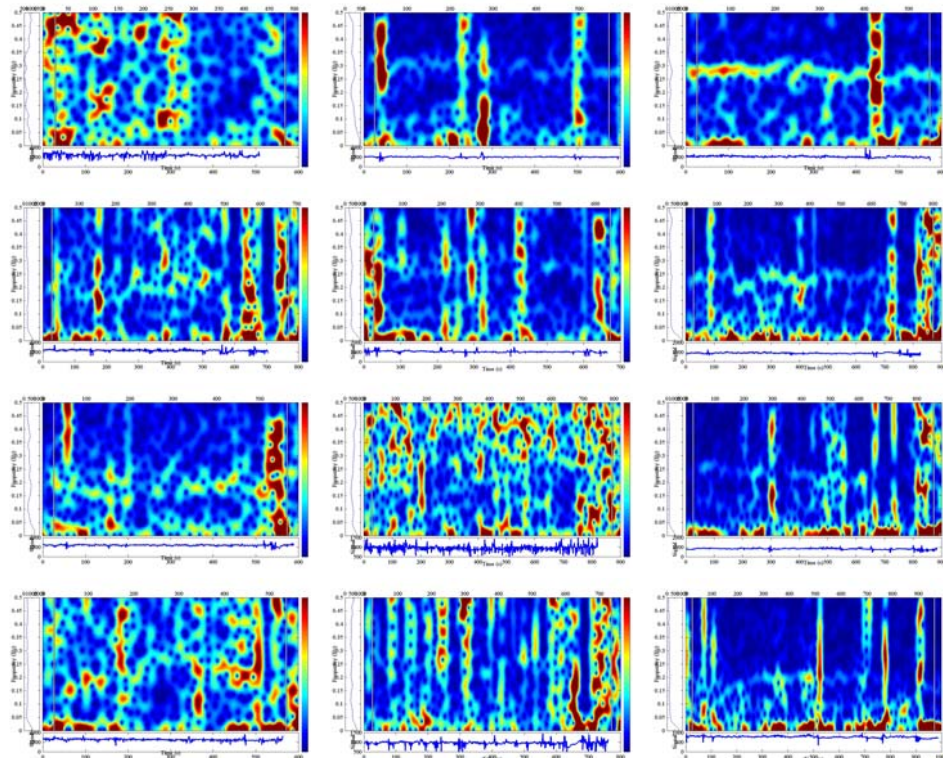


Abbildung 6.8: *Spektrogramme der A. carotis IBI's. Linke Spalte: trainierender Proband. Mittlere Spalte: trainierender Proband. Rechte Spalte: nicht-trainierender Proband. Von oben nach unten: Wochen 2,4,6 und 8.*

6.5 3D-Skaleogramme

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der 3D-Skaleogramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen (vgl. dazu Kapitel 5.5, Seite 50 ff.):

1. 3D-Skaleogramme sind für kurze IBI-Daten (< 1000 IBI) sehr schwer zu deuten, weshalb auf eine weitere Darstellung und Erörterung hier verzichtet wurde.

6.6 Spektralanalyse (param. AR Methode)

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der parametrischen AR Methoden der RR-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen (vgl. dazu Kapitel 5.6, Seite 53 ff.):

1. Kein signifikanter Unterschied zwischen trainierenden und nicht-trainierenden Probanden.
2. Kein signifikanter Unterschied im Wochenverlauf der jeweiligen Probanden.
3. Kein signifikanter Unterschied zwischen peripheren und zentralen Arterien.

Auf eine weitere Darstellung wird hier verzichtet.

6.7 HRV-Spektralanalyse

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der HRV-Spektralanalyse-Diagramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Abnehmende Tendenz der LF-, HF- und ULF-Power bei nicht-trainierenden Probanden.
2. Keine Aussage möglich über die VLF-Power bei trainierenden und nicht-trainierenden Probanden.
3. Konstantes Verhalten der LF-, HF- und ULF-Power bei trainierenden Probanden.
4. Signifikante Unterschiede bei der VLF-Power im Vergleich mit den RR-IBI.
5. Wesentlich deutlichere Steigung des Verhältnisses (Ratio) $\frac{LF}{HF}$ im Vergleich zu der Ratio der RR-IBI.
6. Ähnliches Verhalten bei peripheren und zentralen Arterien.

Bei der A. radialis weisen trainierende Probanden eine konstante LF-, HF- und ULF-Power auf (vgl. dazu Abbildung 6.9). Dagegen fallen bei nicht-trainierende Probanden LF-, HF- und ULF-Power im Laufe der Wochen ab. Dabei fallen LF-, HF- und ULF-Power zuerst stark ab um dann in einem langsameren Abfall überzugehen. Die VLF-Power lässt bei den nicht-trainierenden Probanden wie bei den nicht-trainierenden Probanden kaum eine Aussage zu. Die Verhältnisse (Ratio's) $\frac{LF}{TP-VLF}$ und $\frac{HF}{TP-VLF}$ zeigen bei den trainierenden und nicht trainierenden Probanden ein konstantes Verhalten (vgl. dazu Abbildung 6.10). $\frac{LF}{HF}$ verfügt über eine steigende Tendenz, dabei haben die nicht-trainierenden Probanden eine wesentlich deutlichere Steigung.

Die A. brachialis zeigt ein ähnliches Verhalten der einzelnen Power wie die A. radialis (vgl. dazu Abbildung 6.11). Im Gegensatz zu der A. radialis ist es jedoch schwer eine Tendenz der Ratio $\frac{LF}{HF}$ bei den trainierenden Probanden zu erkennen. Dagegen zeigen nicht-trainierende Probanden einen deutlichen Anstieg der Ratio $\frac{LF}{HF}$ (vgl. dazu Abbildung 6.12). $\frac{LF}{TP-VLF}$ und $\frac{HF}{TP-VLF}$ zeigen wie bei der A. radialis keine signifikante Veränderung.

Wie bei A. radialis und A. brachialis zeigt auch die A. carotis ein ähnliches Verhalten der einzelnen Power und Ratio's (vgl. dazu Abbildung 6.13). Auch bei der A. carotis der trainierenden Probanden kann kaum eine Aussage über die Ratio $\frac{LF}{HF}$ getroffen werden - $\frac{LF}{TP-VLF}$ und $\frac{HF}{TP-VLF}$ zeigen keine signifikante Veränderung (vgl. dazu Abbildung 6.14).

Im Vergleich mit den Diagrammen der RR-IBI's lassen sich Ähnlichkeiten feststellen. Während die peripheren Arterien im Vergleich zu den RR-IBI's eine grosse Ähnlichkeit haben, unterscheiden sich die zentralen Arterien von den RR-IBI's um so mehr (vgl. dazu Kapitel 5.7, Seite 56 ff.). Beim Verhältnis $\frac{LF}{HF}$ im Vergleich zu der Ratio der RR-IBI ist eine wesentlich deutlichere Steigung zu erkennen.

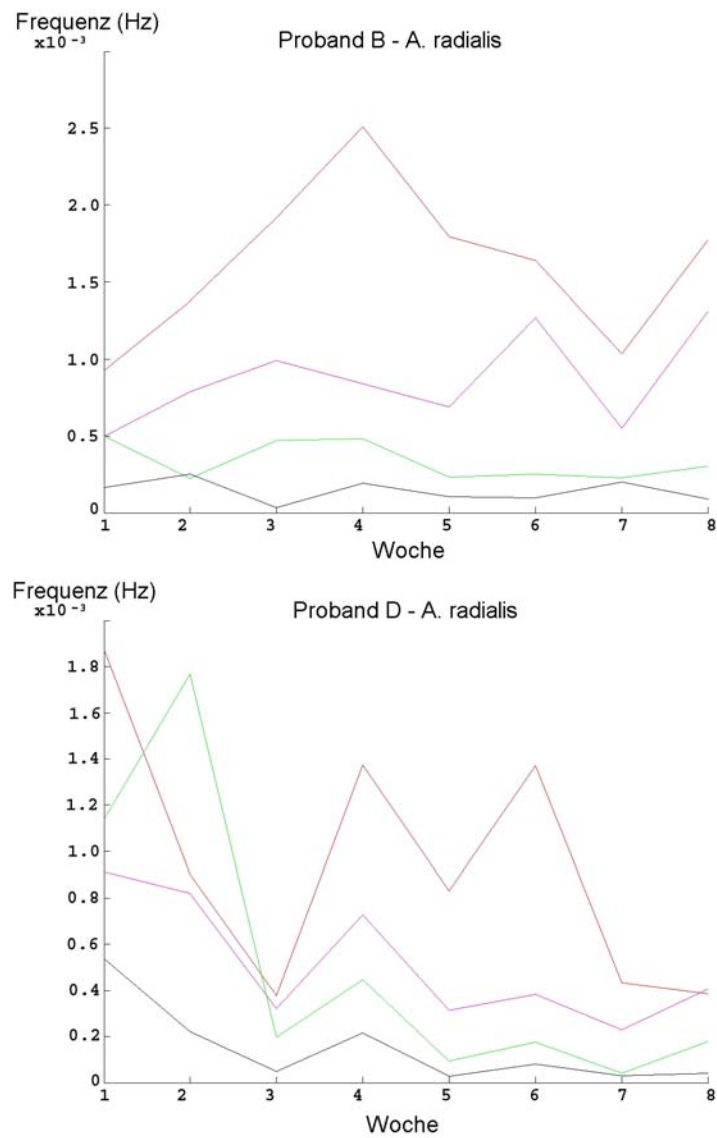


Abbildung 6.9: HRV-Spektral-Analyse der *A. radialis*. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der LF-Power (lila), HF-Power (grün), VLF-Power (rot) und ULF-Power (schwarz).

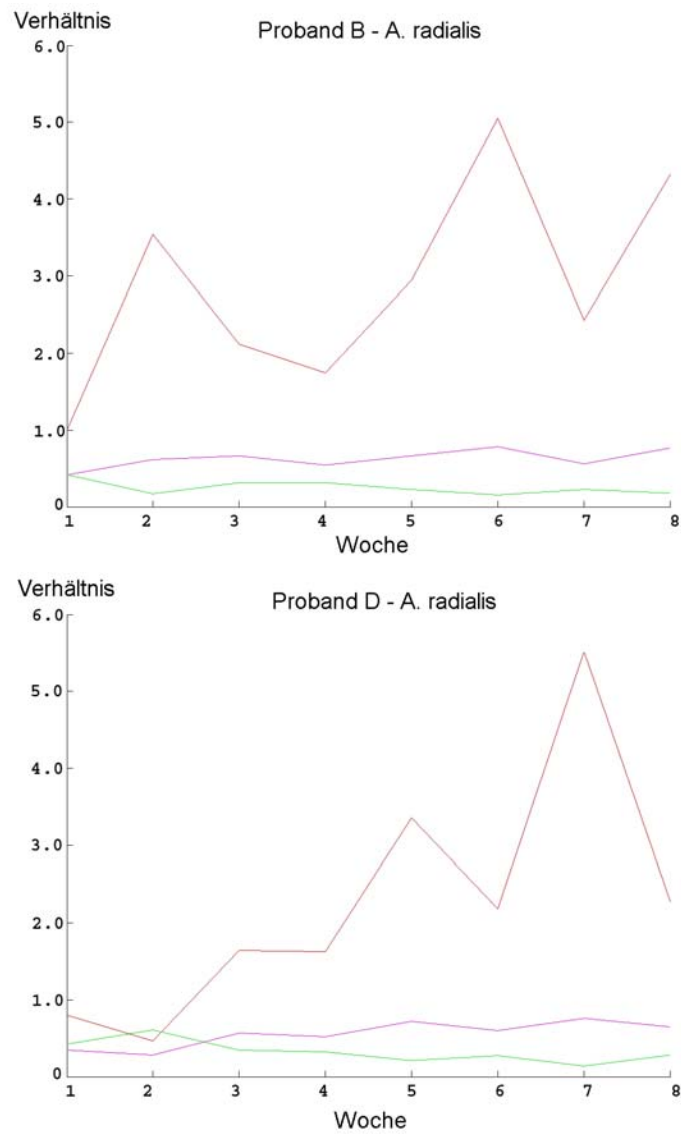


Abbildung 6.10: HRV-Spektral-Analyse der *A. radialis*. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der $\frac{LF}{TP-VLF}$ - Ratio (lila), der $\frac{HF}{TP-VLF}$ - Ratio (grün) und der $\frac{LF}{HF}$ - Ratio (rot).

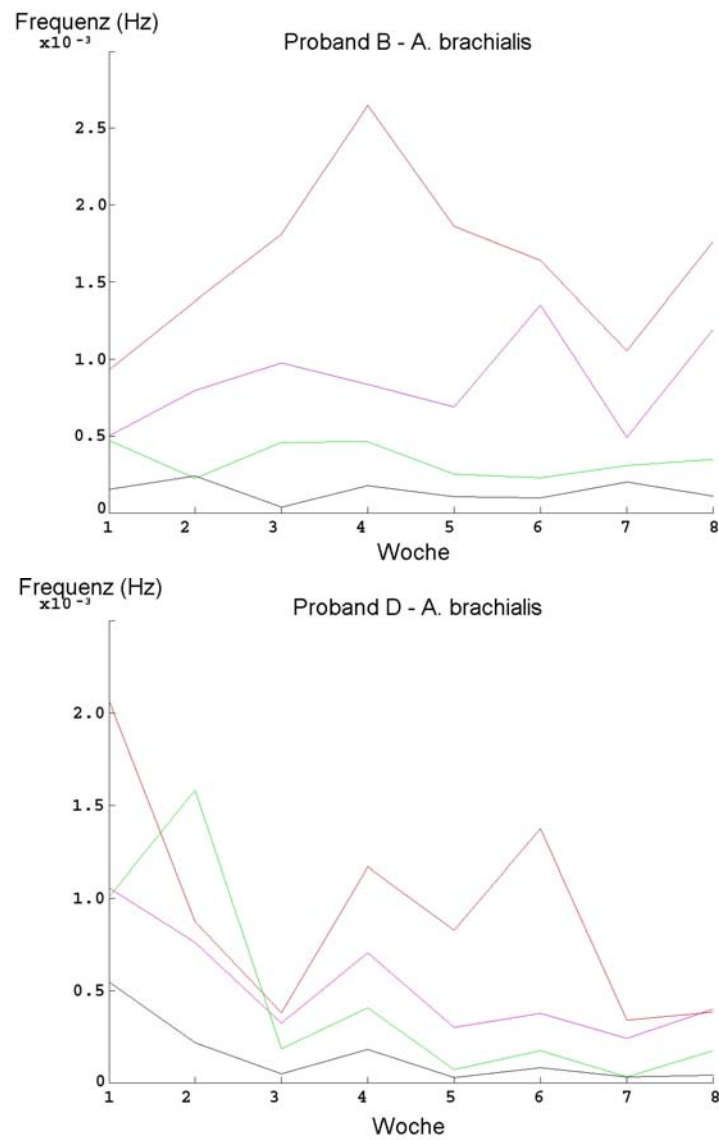


Abbildung 6.11: HRV-Spektral-Analyse der A. brachialis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der LF-Power (lila), HF-Power (grün), VLF-Power (rot) und ULF-Power (schwarz).

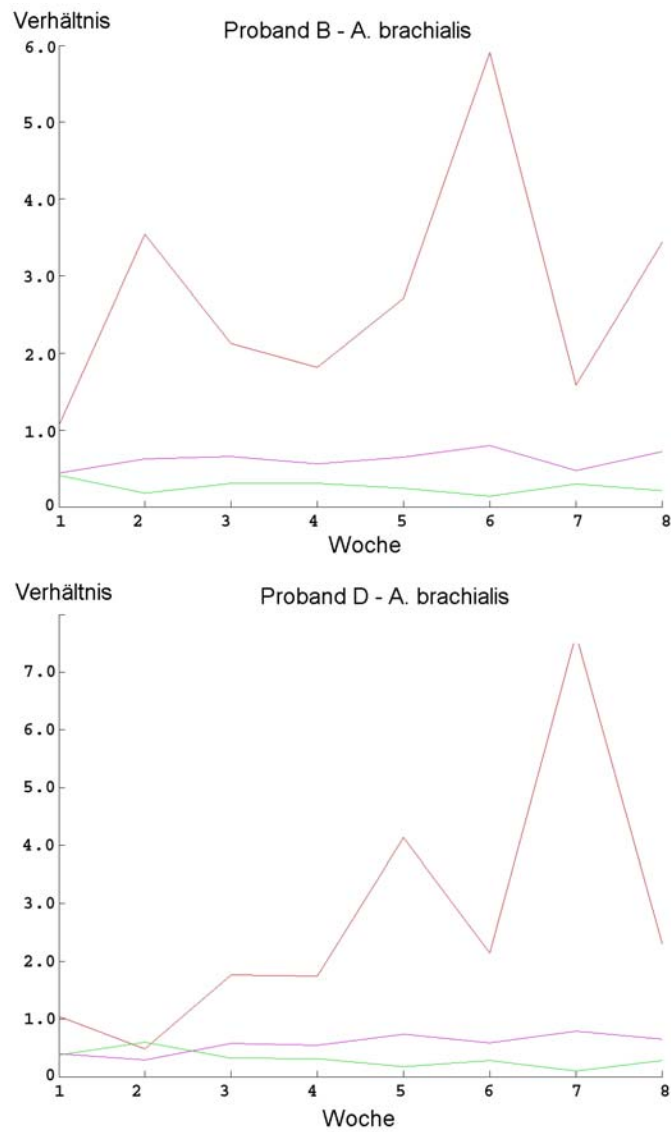


Abbildung 6.12: HRV-Spektral-Analyse der A. brachialis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der $\frac{LF}{TP-VLF}$ - Ratio (lila), der $\frac{HF}{TP-VLF}$ - Ratio (grün) und der $\frac{LF}{HF}$ - Ratio (rot).

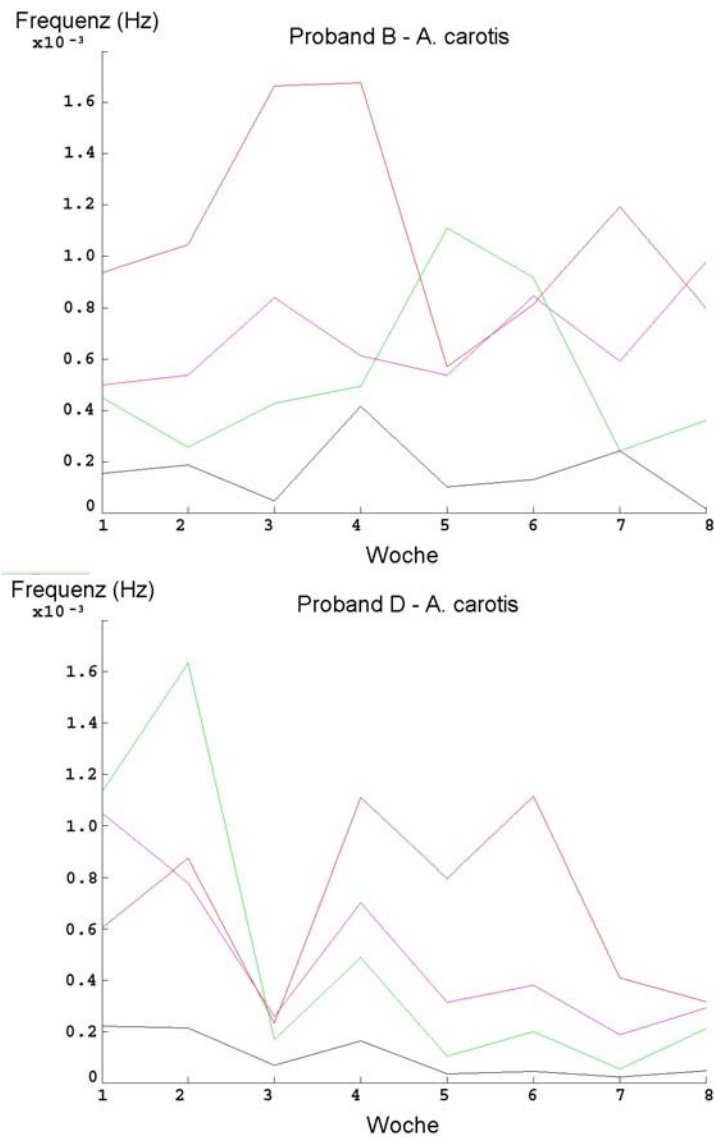


Abbildung 6.13: HRV-Spektral-Analyse der A. carotis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der LF-Power (lila), HF-Power (grün), VLF-Power (rot) und ULF-Power (schwarz).

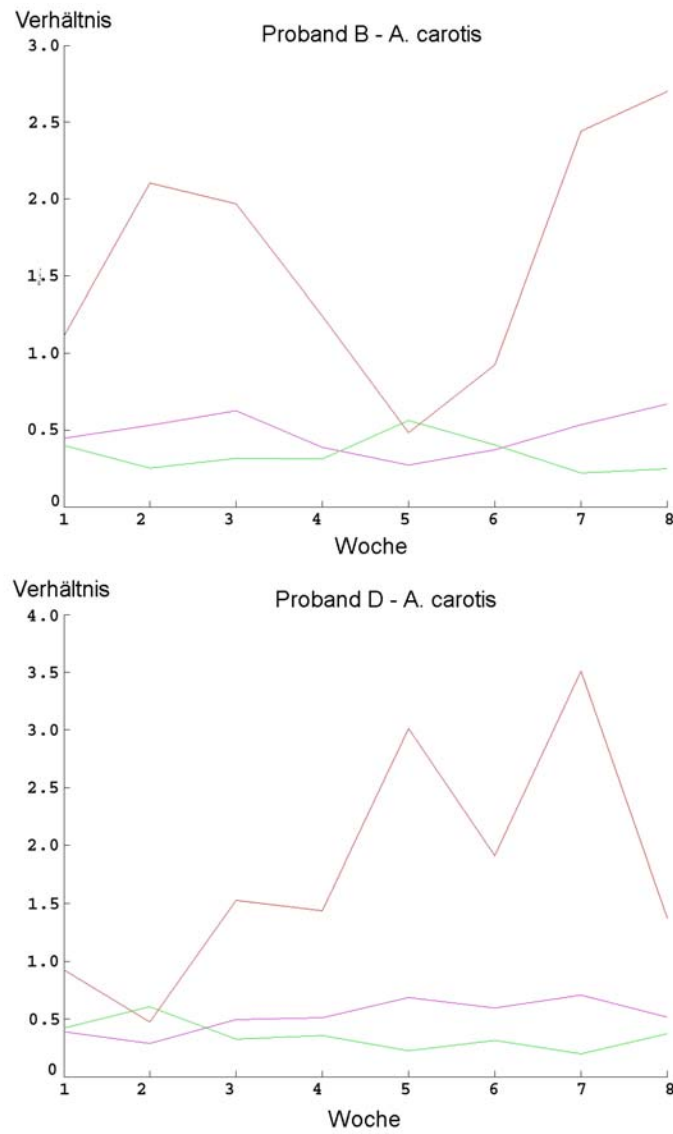


Abbildung 6.14: HRV-Spektral-Analyse der A. carotis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der $\frac{LF}{TP-VLF}$ - Ratio (lila), der $\frac{HF}{TP-VLF}$ - Ratio (grün) und der $\frac{LF}{HF}$ - Ratio (rot).

6.8 HRV-Time-Domain-Analyse

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der HRV-Time-Domain-Diagramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Abnehmende Tendenz der statistischen Werte SDNN und HR-TI bei nicht-trainierenden Probanden.
2. Tendenz des RMSDD von Proband zu Proband unterschiedlich.
3. Konstantes Verhalten der statistischen Werte SDNN und HR-TI bei trainierenden Probanden. Beim RMSDD nur schwer eine Aussage möglich.
4. Ähnliches Verhalten bei peripheren und zentralen Arterien. Je zentraler sich die Arterie befindet, desto schwerer ist es den RMSDD zu deuten.

Die Entwicklung der SDNN und des HRV-TI bei der A. radialis bleibt im Laufe der Liegezeit bei trainierenden Probanden nahezu konstant, scheint jedoch eine leichte absteigende Tendenz zu haben. Nicht-trainierende Probanden verfügen über eine deutlich abnehmende Tendenz der SDNN und des HRV-TI (vgl. dazu Abbildung 6.15). Der RMSDD zeigt bei sowohl bei trainierenden als auch bei nicht-trainierenden Probanden eine abnehmenden Tendenz auf (vgl. dazu Abbildung 6.18). Dabei ist festzustellen, dass der fallende RMSDD nicht bei allen trainierenden Probanden auftritt. Meist ist wie bei den RR-IBI's ein eher konstanter Verlauf zu sehen.

Wie bei der A. radialis ist die Entwicklung der SDNN und des HRV-TI bei der A. brachialis der trainierenden Probanden nahezu konstant (vgl. dazu Abbildung 6.16). Dagegen ist bei den nicht-trainierenden Probanden ein deutlicher Abfall von SDNN und HRV-TI zu erkennen. Über die Tendenz des RMSDD der trainierenden Probanden lässt sich keine Aussage treffen (vgl. dazu Abbildung 6.19). Dagegen zeigen im Vergleich die nicht-trainierenden Probanden bei der A. radialis einen deutlichen Abfall der RMSDD Werte auf.

Bei der A. carotis scheint der HRV-TI über eine abfallende Tendenz zu verfügen, während über die SDNN keine Aussage getroffen werden kann (vgl. dazu Abbildung 6.17). Dagegen zeigen sowohl SDNN als auch HRV-TI bei den nicht-trainierenden Probanden einen deutlichen Abfall im Wochenverlauf auf. Über den RMSDD der trainierenden Probanden kann wie bei der A. brachialis keine Aussage getroffen werden, dagegen ist ein deutlicher Abfall bei den nicht-trainierenden Probanden zu erkennen (vgl. dazu Abbildung 6.20).

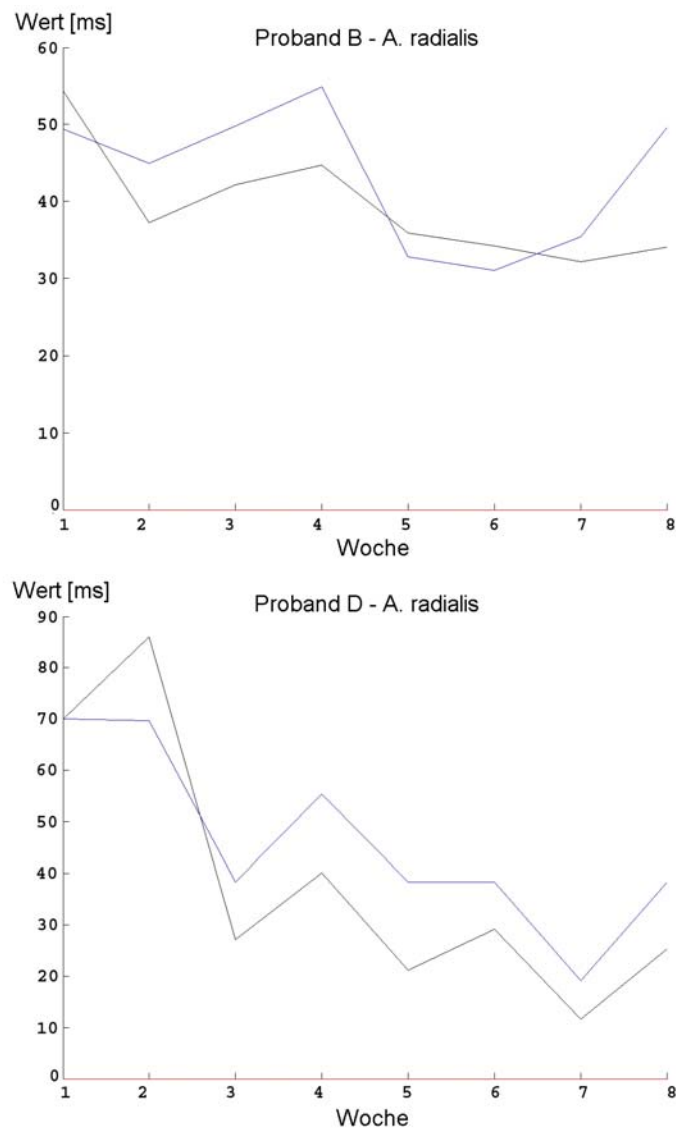


Abbildung 6.15: *HRV-Time-Domain-Analyse A. radialis*. Oben: *trainierender Proband*. Unten: *nicht-trainierender Proband*. Wochen 2 bis 8. Darstellung der SDNN (schwarz) und des HRV-TI (blau).

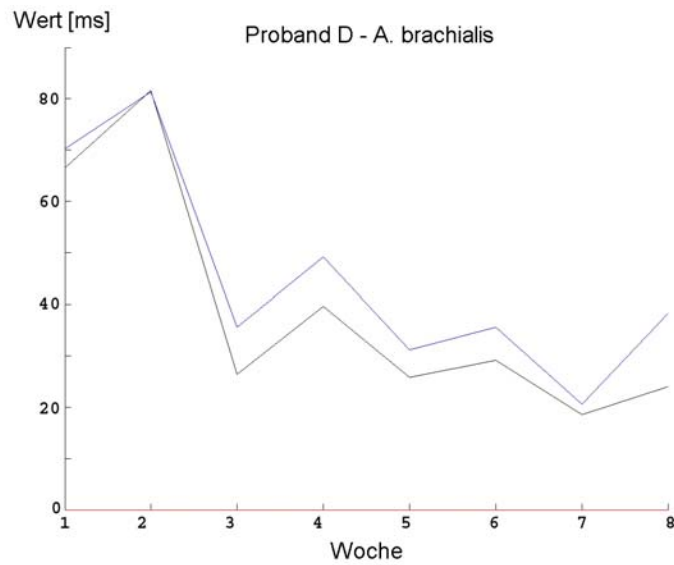
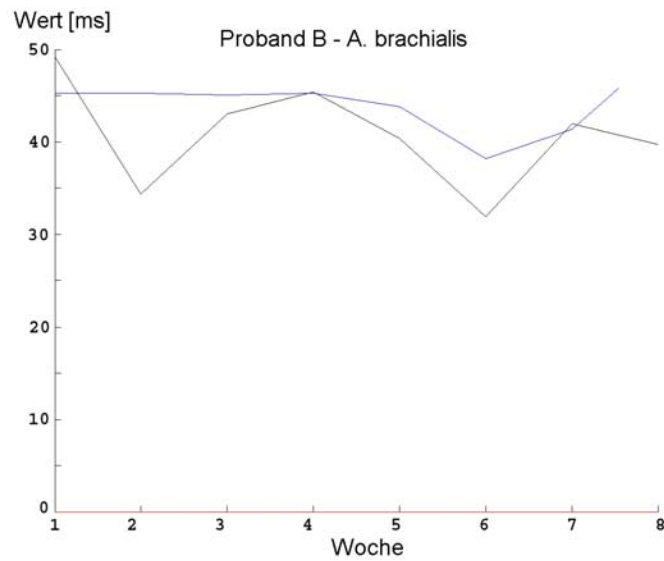


Abbildung 6.16: *HRV-Time-Domain-Analyse A. brachialis*. Oben: *trainierender Proband*. Unten: *nicht-trainierender Proband*. Wochen 2 bis 8. Darstellung der SDNN (schwarz) und des HRV-TI (blau).

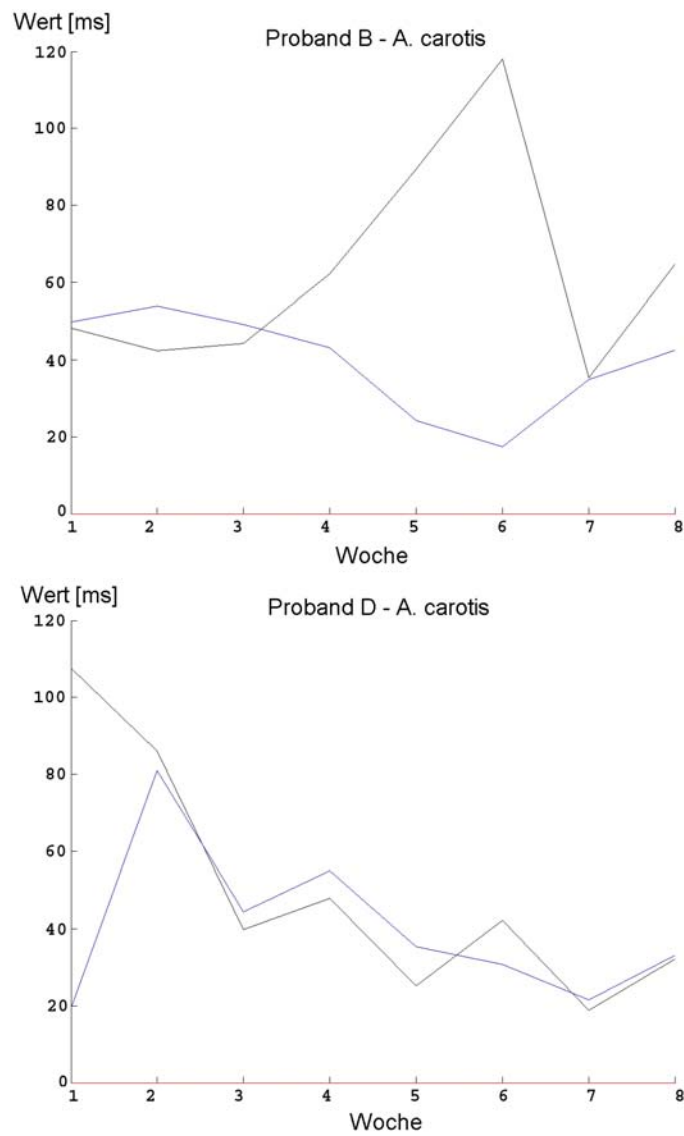


Abbildung 6.17: *HRV-Time-Domain-Analyse A. carotis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung der SDNN (schwarz) und des HRV-TI (blau).*

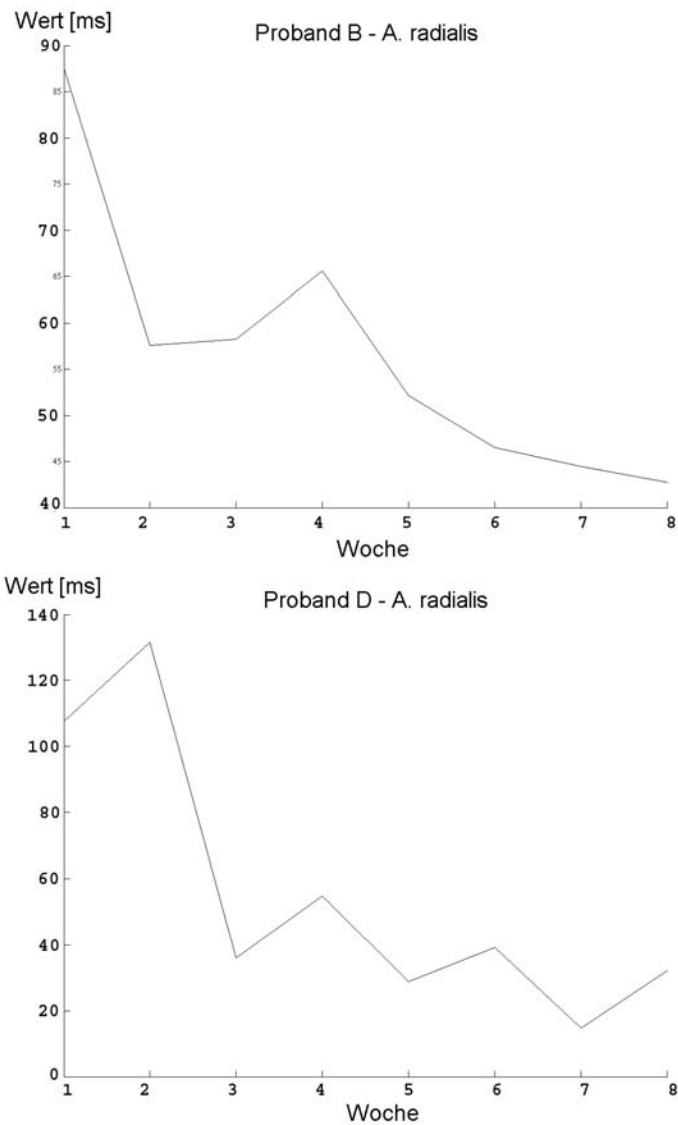


Abbildung 6.18: *HRV-Time-Domain-Analyse A. radialis*. Oben: *trainierender Proband*. Unten: *nicht-trainierender Proband*. Wochen 2 bis 8. Darstellung des *RMSDD* (schwarz).

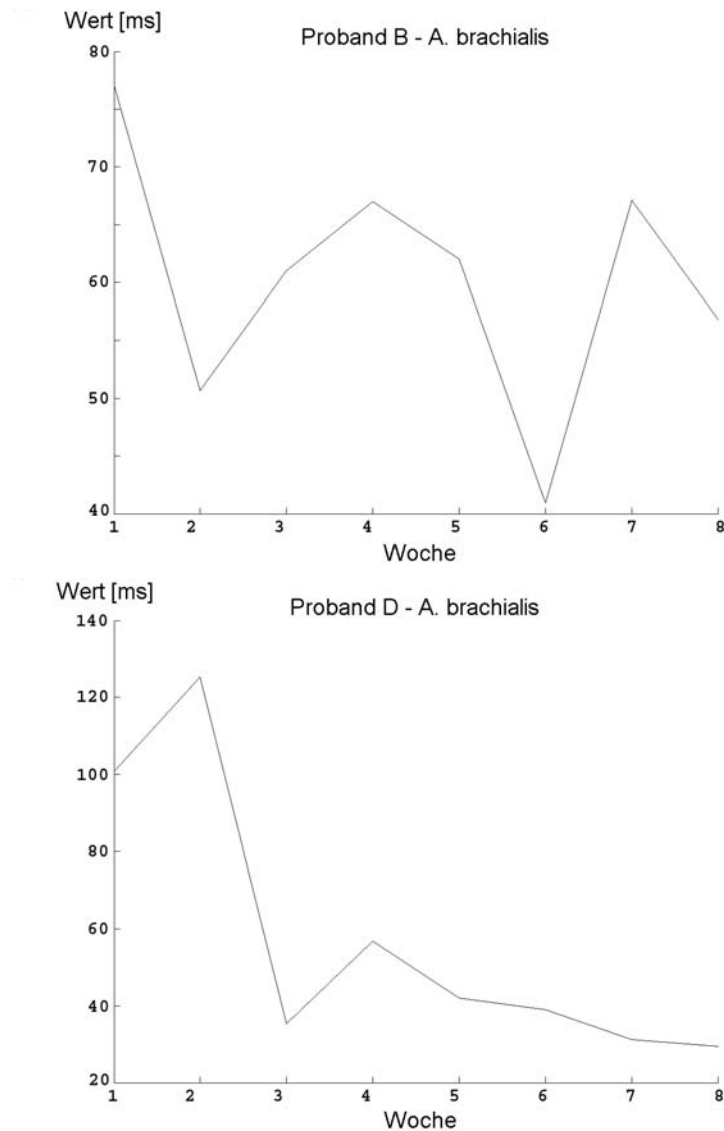


Abbildung 6.19: *HRV-Time-Domain-Analyse A. brachialis*. Oben: *trainierender Proband*. Unten: *nicht-trainierender Proband*. Wochen 2 bis 8. Darstellung des RMSDD(schwarz).

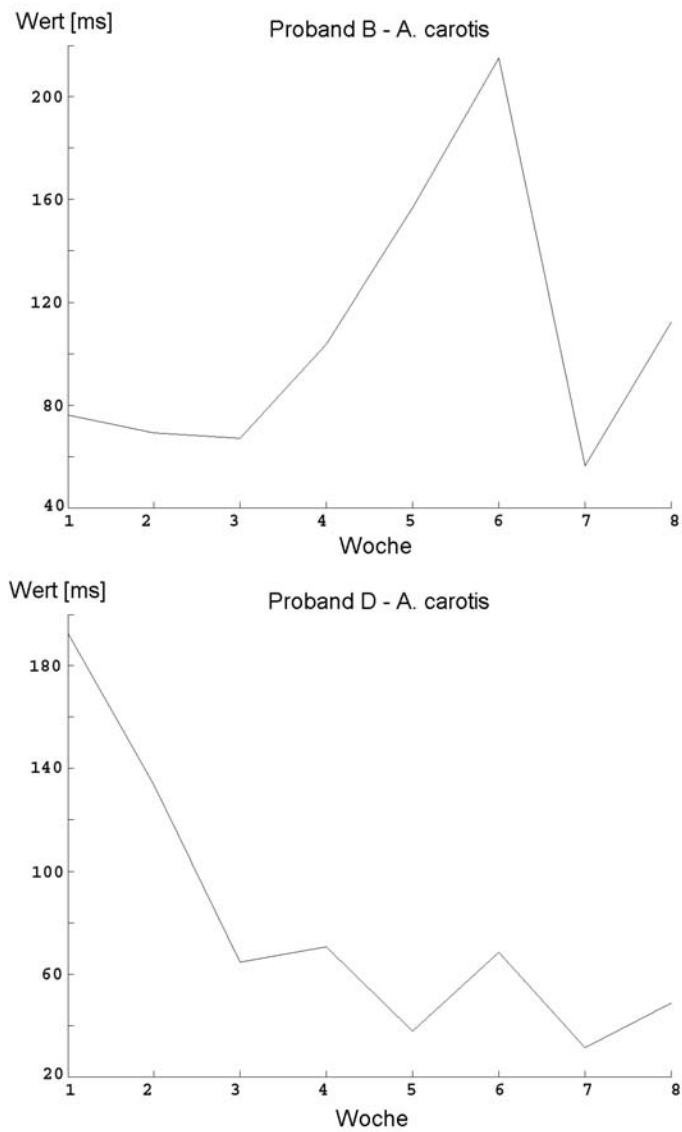


Abbildung 6.20: HRV-Time-Domain-Analyse A. carotis. Oben: trainierender Proband. Unten: nicht-trainierender Proband. Wochen 2 bis 8. Darstellung des RMSDD (schwarz).

6.9 Histogramme

Zusammenfassend führt bei Langzeit-Immobilität die Analyse der Histogramme der Puls-IBI Daten zu den folgenden Ergebnissen:

1. Konstante statistische Verteilung der IBI bei trainierenden Probanden.
2. Gleichbleibendes Glättungsverhalten bei trainierenden Probanden (Konstante Variabilität).
3. Verlangsamung der Pulsfrequenz bei trainierenden Probanden (Verschiebung nach rechts).
4. Verdichtung der Verteilung der IBI bei nicht-trainierenden Probanden (Abnehmende Variabilität).
5. Beschleunigung der Pulsfrequenz bei nicht-trainierenden Probanden (Verschiebung nach links).
6. Glättung der Verteilungsfunktion bei nicht-trainierenden Probanden nimmt zu.
7. Signifikante Ähnlichkeiten bei peripheren und zentralen Arterien.
8. Signifikant höhere statistische Zufälligkeit bei nicht-trainierenden Probanden in der zweiten Woche mit zunehmender Glättung.

Die Histogramme der nicht-trainierenden Probanden zeigen einen signifikanten Unterschied zu denen der trainierenden Probanden. Dies gilt für die A. radialis, für die A. brachialis und die A. carotis (vgl. dazu Abbildungen 6.21, 6.22 und 6.23).

Während die trainierenden Probanden keine grossen Veränderungen der Gauß-Ausgleichskurve (Fitkurve) aufweisen, zeigen die nicht-trainierenden Probanden im Laufe der Wochen eine Annäherung (Glättung) an eine Gauß'sche Glockenkurve. Signifikant dabei ist die wesentlich stärker statistisch verteilte Funktionskurve der nicht-trainierenden Probanden in der zweiten Woche.

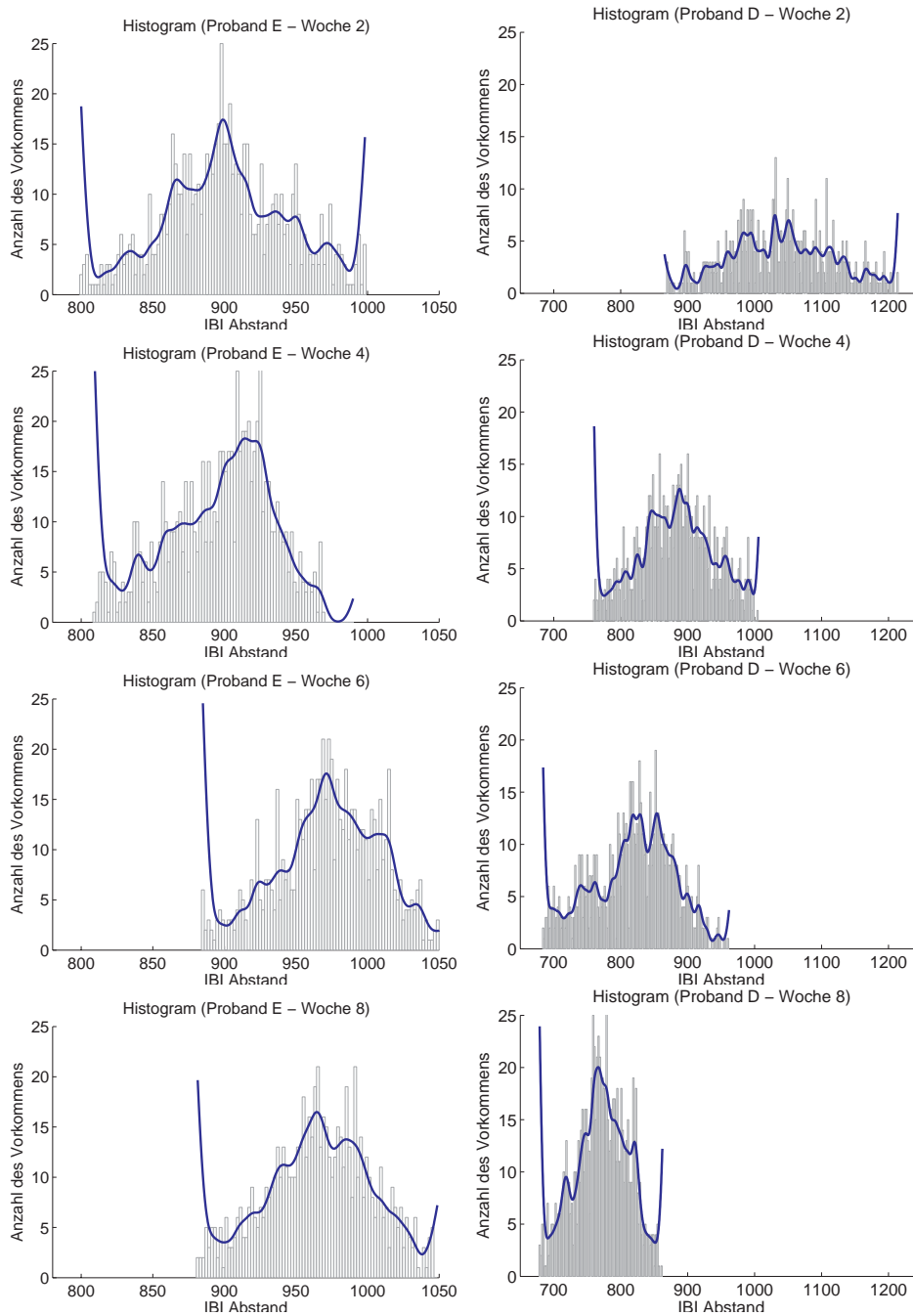


Abbildung 6.21: *Histogramme A. radialis*. Linke Spalte: *trainierender Proband*. Rechte Spalte: *nicht-trainierender Proband*. Von oben nach unten: *Wochen 2, 4, 6 und 8*.

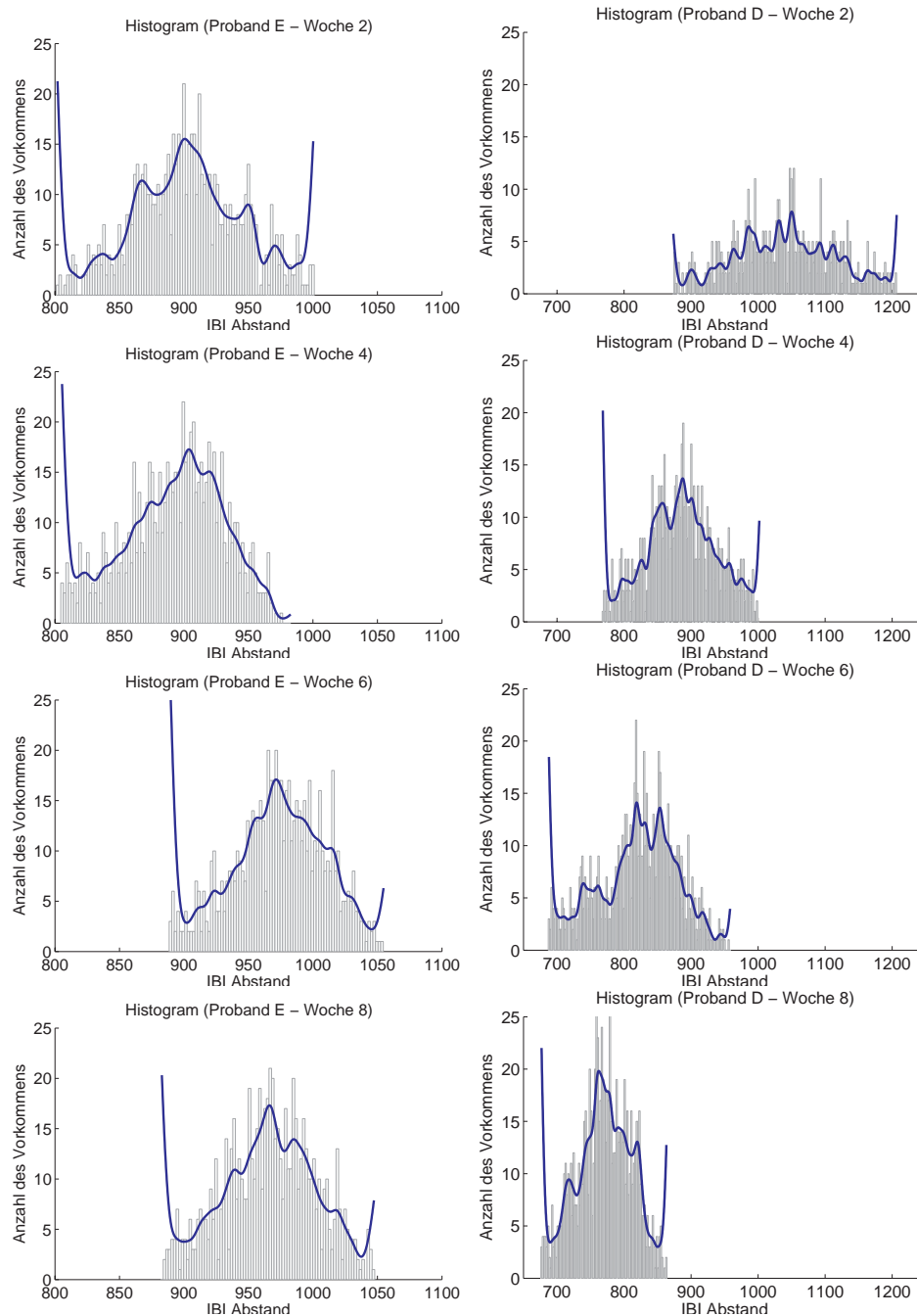


Abbildung 6.22: Histogramme *A. brachialis*. Linke Spalte: trainierender Proband. Rechte Spalte: nicht-trainierender Proband. Von oben nach unten: Wochen 2, 4, 6 und 8.

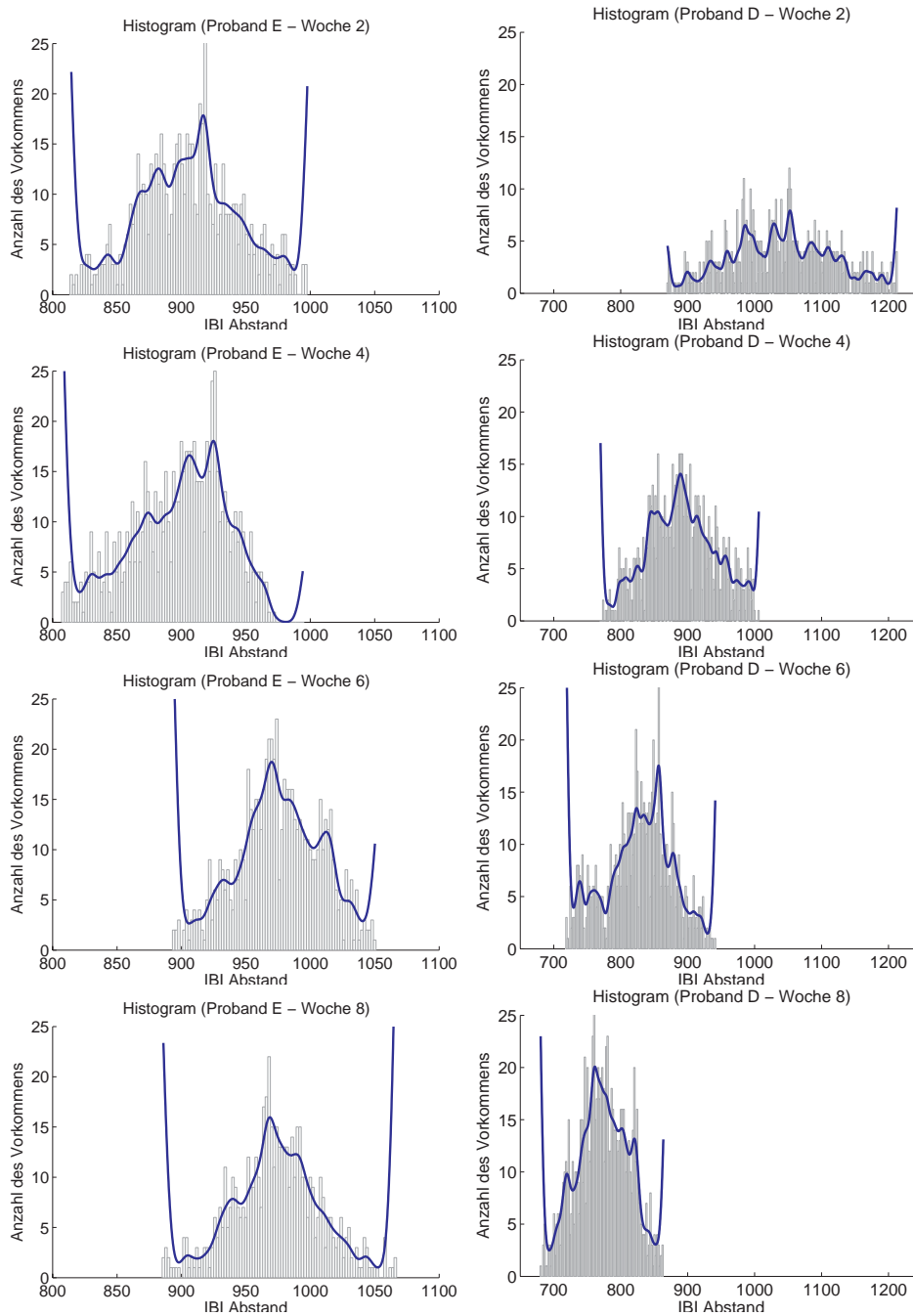


Abbildung 6.23: *Histogramme A. carotis*. Linke Spalte: *trainierender Proband*. Rechte Spalte: *nicht-trainierender Proband*. Von oben nach unten: *Wochen 2, 4, 6 und 8*.

