

3. Ergebnisse

3.1. Reproduzierbarkeit der Meßmethode

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit dieser Messmethode begannen wir zunächst mit Messungen an zwei aufeinander folgenden Tagen in der gesunden Kontrollgruppe, welche unter den gleichen Bedingungen wiederholt durchgeführt wurden. An den zwei aufeinander folgenden Tagen zeigten der a/d- Index (n=11, p=0,03, r²=0,43), der a/b-Index (n=14, p=0,04, r²=0,31) und der T-Index vor Stau (n=11, p=0,048, r²=0,37) eine gute Korrelation. Somit konnte anhand der Ergebnisse in der gesunden Probandengruppe eine Reproduzierbarkeit für die Messung bewiesen werden. In der **Abbildung 3a-c** sind die Regressionsgeraden für die Indices a/d, a/b und T dargestellt worden.

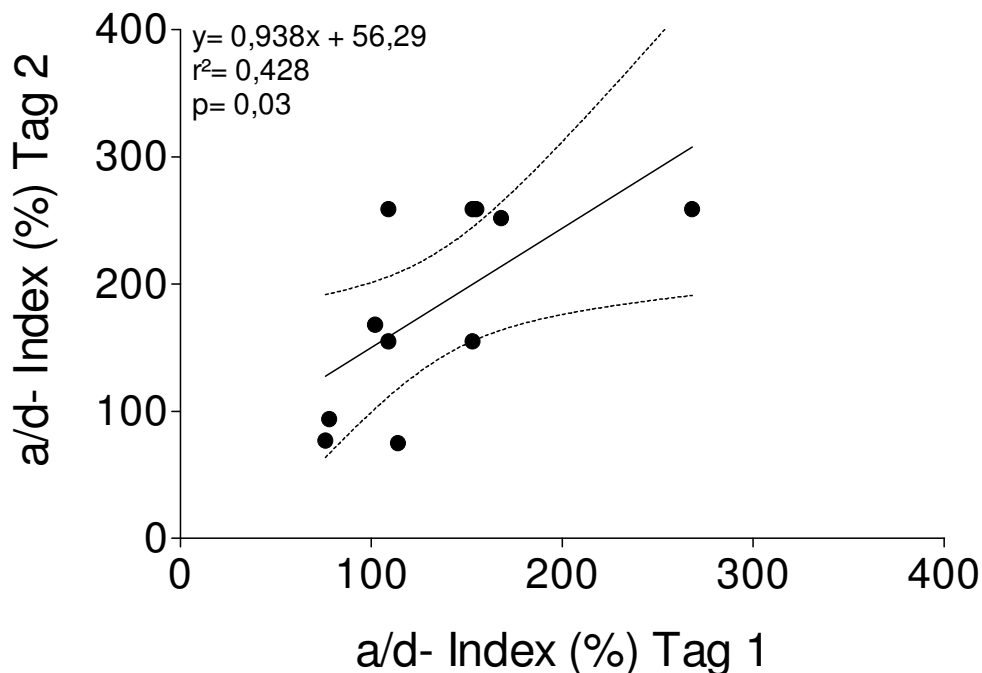


Abbildung 3a: Aufgetragen ist die Reproduzierbarkeit der Messung des a/d- Index, gemessen an zwei aufeinander folgenden Tagen.

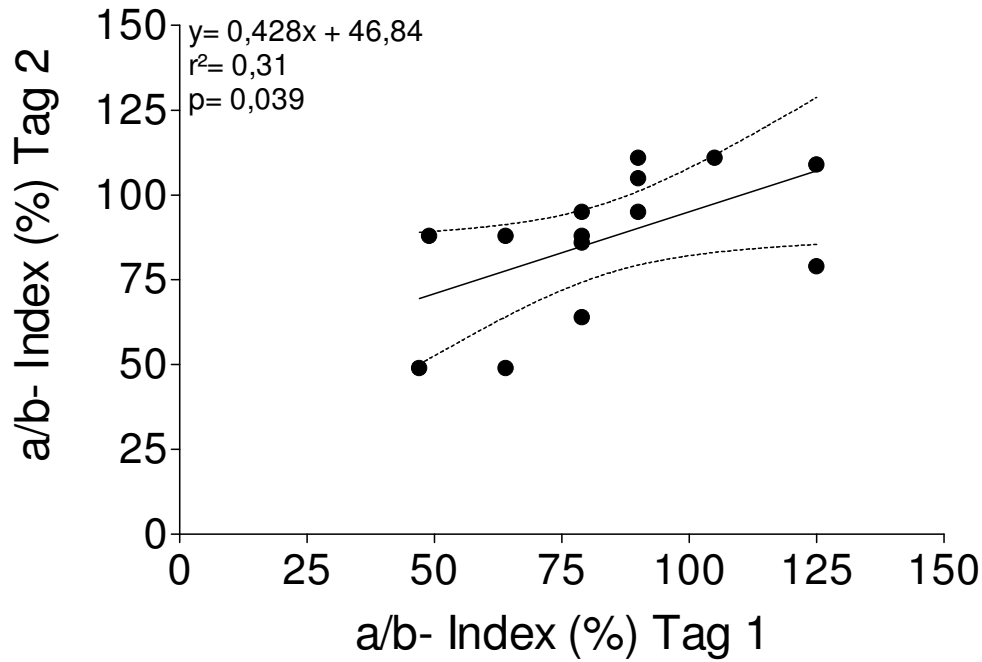


Abbildung 3b: Aufgetragen ist die Reproduzierbarkeit der Messung des a/b- Index, gemessen an zwei aufeinander folgenden Tagen.

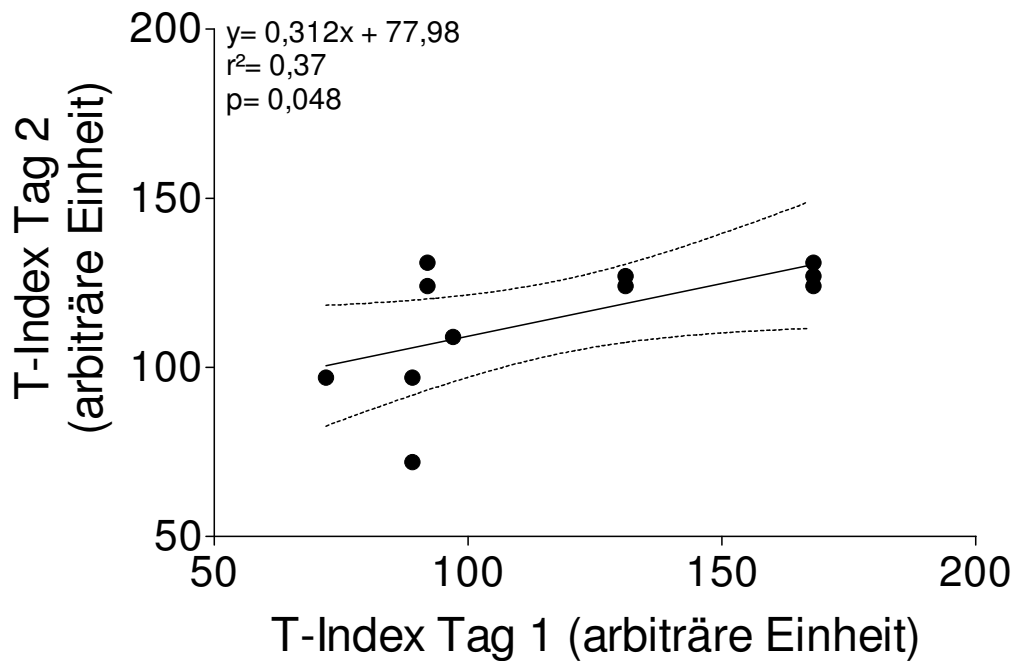


Abbildung 3c: Aufgetragen ist die Reproduzierbarkeit der Messung des T- Index, gemessen vor der suprasystolischen Stauung an zwei aufeinander folgenden Tagen.

3.2. Ergebnisse in der gesunden Kontrollgruppe

Ergebnisse nach Glyceroltrinitratgabe

Um die Gefäßreaktion besser quantifizieren zu können, wurden Untersuchungen nach Glyceroltrinitratgabe durchgeführt. Die endothelunabhängige Vasodilatation wurde bei 13 gesunden Probanden untersucht. Diese Probanden erhielten zur Festlegung der maximal erhältlichen Vasodilatationsantwort sublingual 0,4 mg Glyceroltrinitrat. Fünf Minuten nach Gabe von Glyceroltrinitrat erhöhten sich der a/d-Index ausgehend von $100 \pm 0 \%$ auf $1513 \pm 312 \%$ ($n=13$, $p<0,001$) und der T-Index von 55 ± 18 auf $186 \pm 84 \%$ ($n=9$, $p<0,01$). Der a/b-Index reduzierte sich von $100 \pm 0 \%$ auf $85 \pm 13 \%$ ($n=13$, $p=0,22$). Es zeigte sich, dass während der endothelunabhängigen Vasodilatation der a/d-Index signifikant anstieg und der a/b-Index sich reduzierte.

Ergebnisse während eines standardisierten Eiswassertests

Bei 6 gesunden Probanden führten wir einen standardisierten Eiswassertest durch. Dabei wurde die kontralaterale Hand für fünf Minuten in Eiswasser getaucht. Die photoplethysmographische Messung am ipsilateralen Arm zeigte eine Abnahme des a/d-Indexes von $100 \pm 0 \%$ auf $34 \pm 6 \%$ ($n=6$, $p<0,05$) und der a/b-Index stieg auf $163 \pm 32 \%$ ($n=6$, $p=0,09$). Dagegen blieb der T-Index im Vergleich zum Ausgangswert unverändert bei 33 ± 10 ($n=5$, $p=1,0$). Es zeigte sich, dass während der Vasokonstriktion der a/d-Index signifikant kleiner und der a/b-Index größer wurden.

In der **Abbildung 4** sind die Änderungen der Volumen-Puls-Kurven mit den daraus errechneten ersten und zweiten Ableitungen dargestellt. Die Messungen wurden durchgeführt bei gesunden Probanden in Ruhe, während der Vasokonstriktion mittels eines standardisierten Eiswassertestes und einer endothelunabhängigen Vasodilatation nach Glyceroltrinitratgabe.

Während die kontralaterale Hand in Eiswasser getaucht wurde, zeigte sich in der Volumen-Puls-Kurve ein langsamer Anstieg mit einem geringen Höhenverlust des ersten Gipfels. Daneben ist der zweite Gipfel im Vergleich zur Ruhekurve (=Basal) deutlich positiver. Nach sublingualer Gabe von 0,4 mg Glyceroltrinitrat ist der Anstieg der Volumen-Puls-Kurve deutlich steiler, spitzer und positiver. Gegenüber der Ruhekurve (=Basal) fällt eine deutliche Abflachung des zweiten Gipfels auf. Bildet man von den jeweiligen Volumen-Puls-Kurven die zweite Ableitung, so lässt sich feststellen, dass im Vergleich zur Ruhekurve (=Basal), während des standardisierten Eiswassertestes der a- Peak weniger positiv, der b- und d- Peak negativer und der c- Peak positiver werden. Gegenüber der Ruhekurve (=Basal) zeigt sich nach Glyceroltrinitratgabe in der zweiten Ableitung ein hoher, steil ansteigender positiver a- Peak (erstes Maximum) und ein deutlich negativer b- Peak Null.

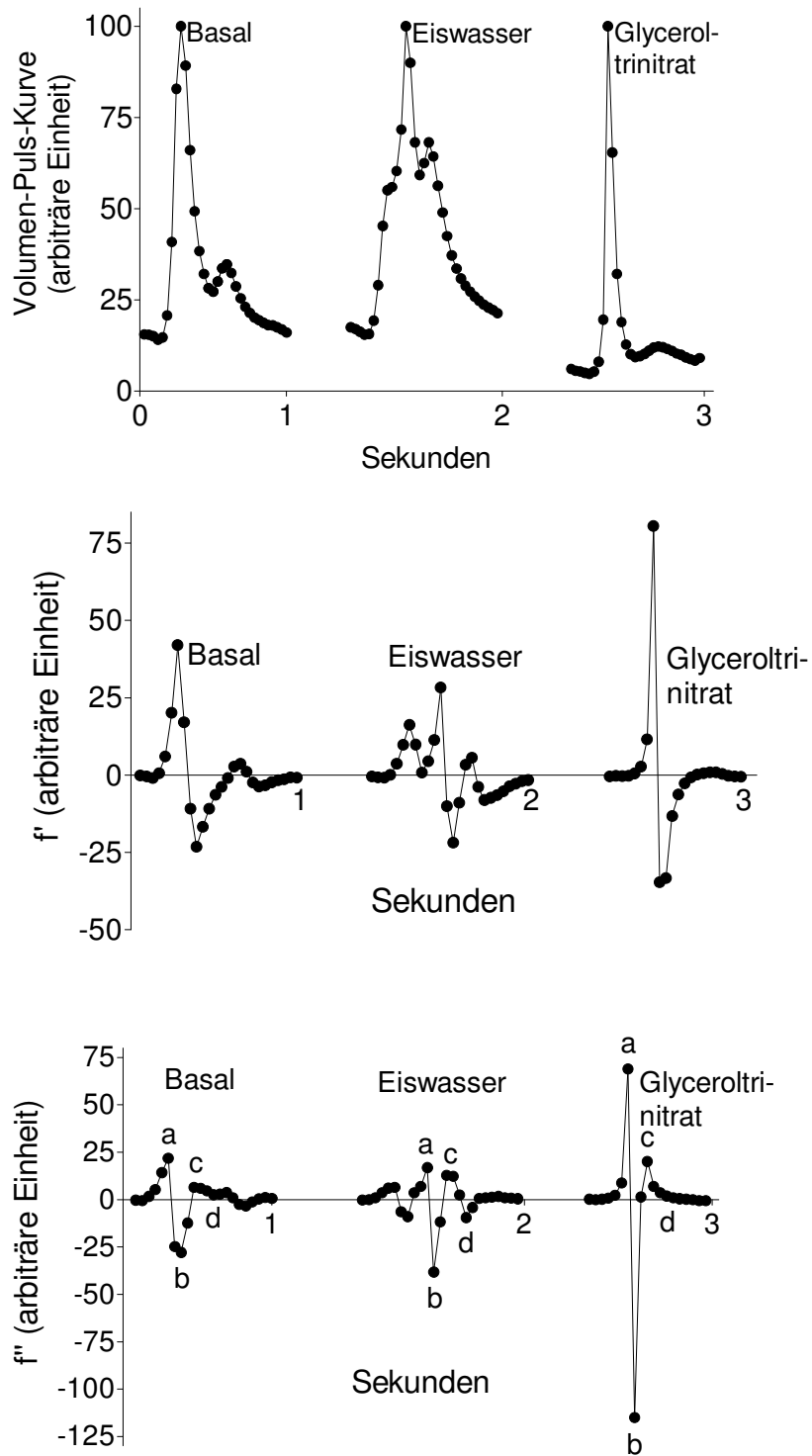


Abbildung 4: Die Abbildung stellt die Volumen-Puls-Kurve zusammen mit der entsprechenden ersten und zweiten Ableitung dar. Es wurde gemessen bei gesunden Probanden in Ruhe (Basal), während eines standardisierten Eiswassertests und nach Glyceroltrinitratgabe.

Ergebnisse in der Phase der reaktiven Hyperämie

Bei 17 gesunden Probanden wurden mittels der digitalen Photoplethysmographie in der Phase der reaktiven Hyperämie die Volumen-Puls-Kurven weiter analysiert. Dabei induzierte eine am Oberarm befindliche über den systolischen Blutdruck aufgepumpte Manschette eine Ischämie am Unterarm. Die Lösung der Blutsperre führte zu einer reaktiven Hyperämie mit der Erweiterung von peripher gelegenen kleinen Gefäßen. Der wechselnde hydrostatische Druck vermittelt eine lokale Stickstoffmonoxid- (NO) Freisetzung aus den intakten Gefäßendothelzellen. Es wurde in anderen Arbeiten beschrieben, dass die NO-Freisetzung mit der Endothelfunktion korreliert. In der Phase der reaktiven Hyperämie kam es zu einem signifikanten Anstieg des a/d-Index von $100 \pm 0 \%$ auf $266 \pm 69 \%$ ($n=17$, $p<0,01$) und des T-Index von 105 ± 6 auf 135 ± 15 ($n=15$, $p<0,01$). Dagegen verringerte sich der a/b-Index in der Phase der reaktiven Hyperämie von $100 \pm 0 \%$ auf $95 \pm 8 \%$ ($n=17$, $p=0,5$).

In den **Abbildungen 5a-c** sind die Veränderungen der Indices 5 Minuten nach Glyceroltrinitratgabe, während eines standardisierten Eiswassertests und in der Phase der reaktiven Hyperämie aufgezeigt.

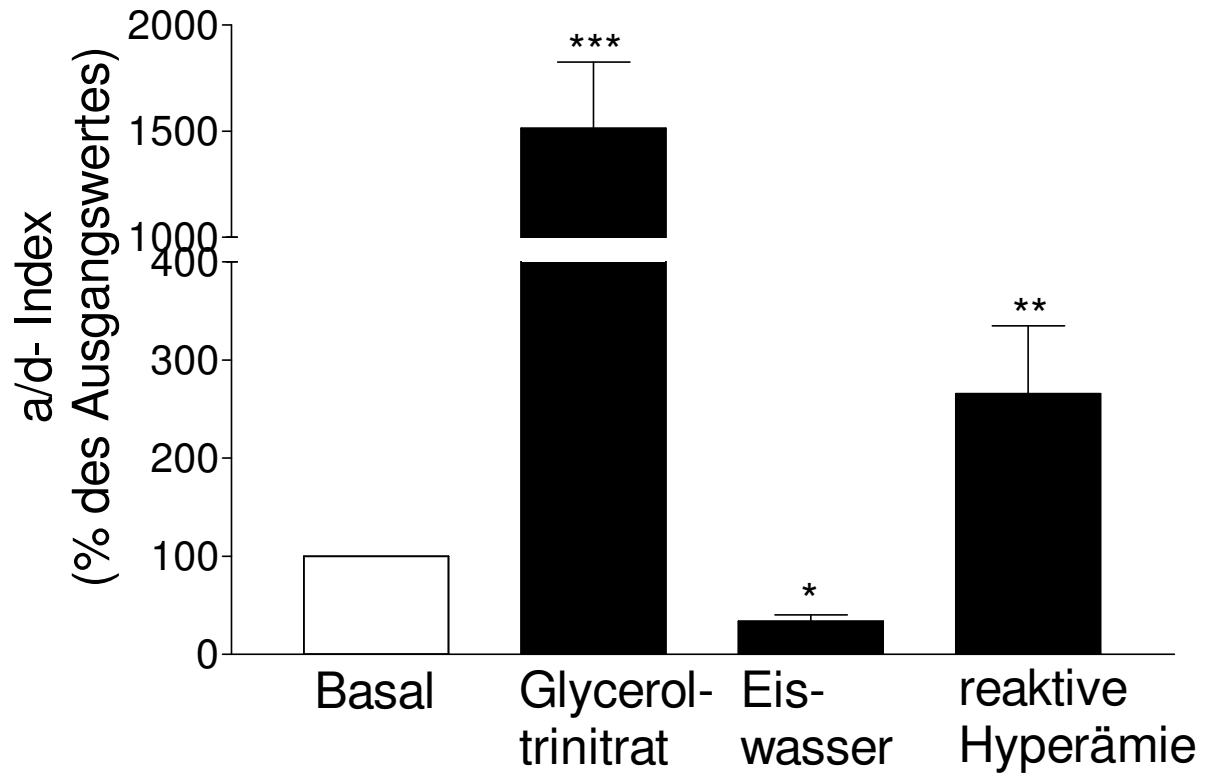


Abbildung 5a: Die Abbildung zeigt die Veränderung des a/d-Index in Ruhe (weißer Balken), fünf Minuten nach Glyceroltrinitratgabe, während eines standardisierten Eiswassertestes und in der Phase der reaktiven Hyperämie (schwarze Balken). *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

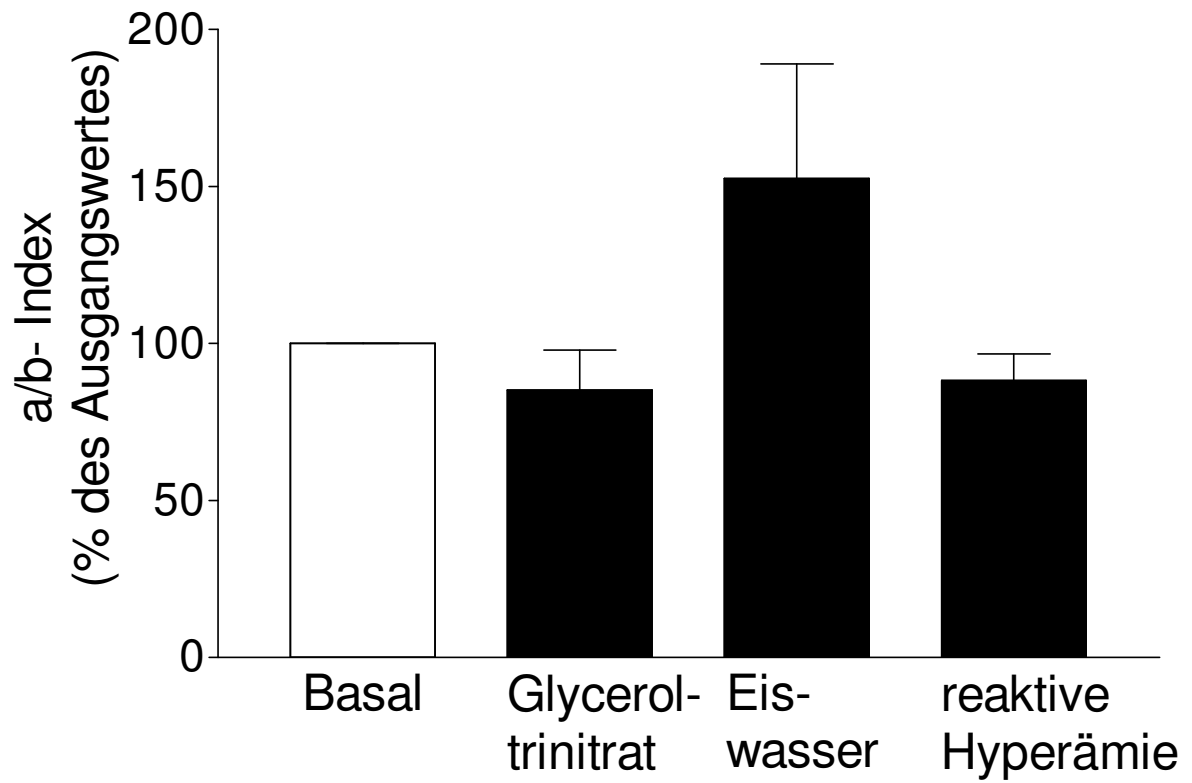


Abbildung 5b: Die Abbildung zeigt die Veränderung des a/b-Index in Ruhe (weiße Balken), nach Glyceroltrinitratgabe, während eines standardisierten Eiswassertests und in der Phase einer reaktiven Hyperämie (schwarze Balken).

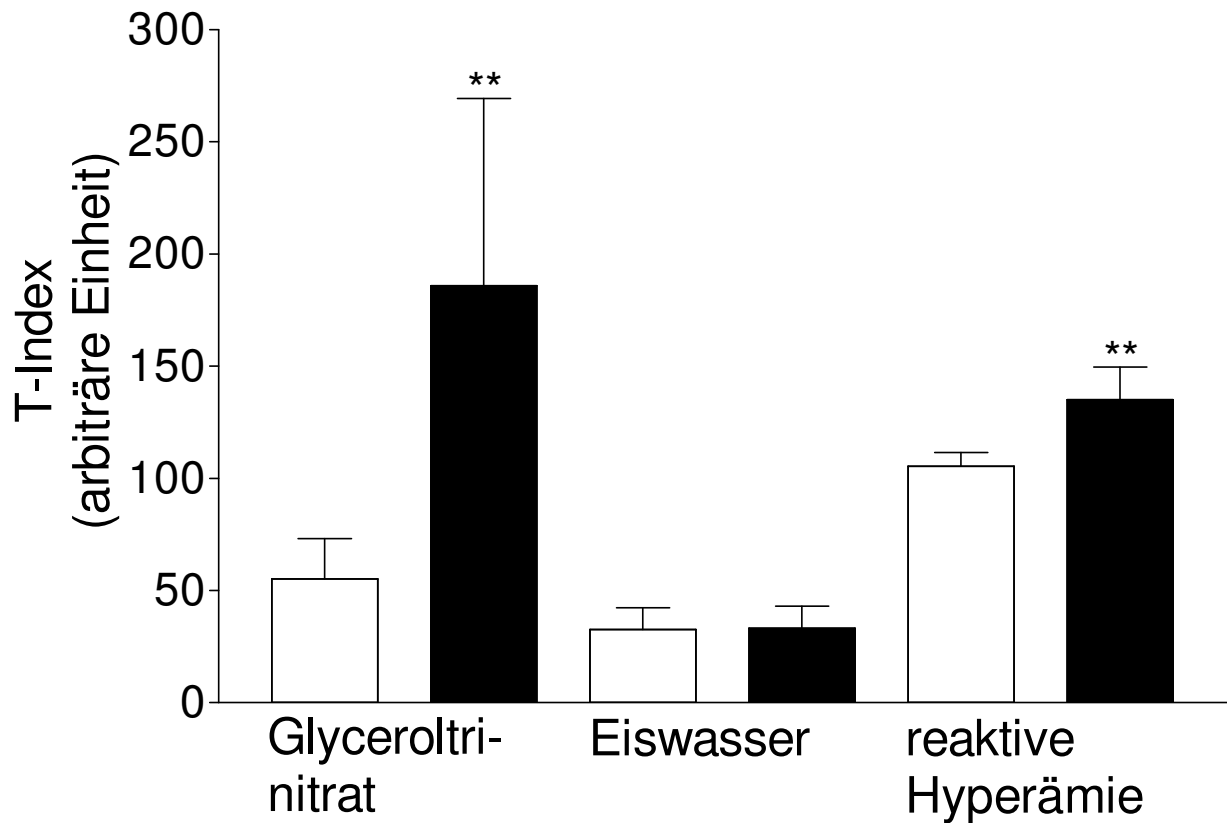


Abbildung 5c: Die Abbildung stellt die Veränderung des T-Index dar. Die weißen Balken zeigen den gemessenen T-Index in Ruhe bzw. den Ausgangswert. Die schwarzen Balken zeigen den T-Index fünf Minuten nach Glyceroltrinitratgabe, während eines standardisierten Eiswassertestes und in der Phase der reaktiven Hyperämie. *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

3.3. Ergebnisse in der Gruppe der Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz

3.3.1. Änderung der biochemischen und hämodynamischen Parameter

Die **Abbildung 6 a** und **b** zeigen uns, dass im Verlauf der Hämodialysebehandlung die biochemischen Parameter signifikant abnehmen. In einer Subgruppe veränderten sich Kreatinin von $722 \pm 71 \mu\text{mol/l}$ auf $495 \pm 59 \mu\text{mol/l}$, Harnstoff von $28 \pm 2,5 \text{ mmol/l}$ auf $16 \pm 1,9 \text{ mmol/l}$, Harnsäure von $404 \pm 39 \text{ mmol/l}$ auf $197 \pm 35 \text{ mmol/l}$, Kalium von

$4,9 \pm 0,2$ mmol/l auf $4,2 \pm 0,1$ mmol/l, Kalzium von $2,28 \pm 0,05$ mmol/l auf $2,5 \pm 0,04$ mmol/l und Phosphat von $1,78 \pm 0,2$ mmol/l auf $1,19 \pm 0,14$ mmol/l.

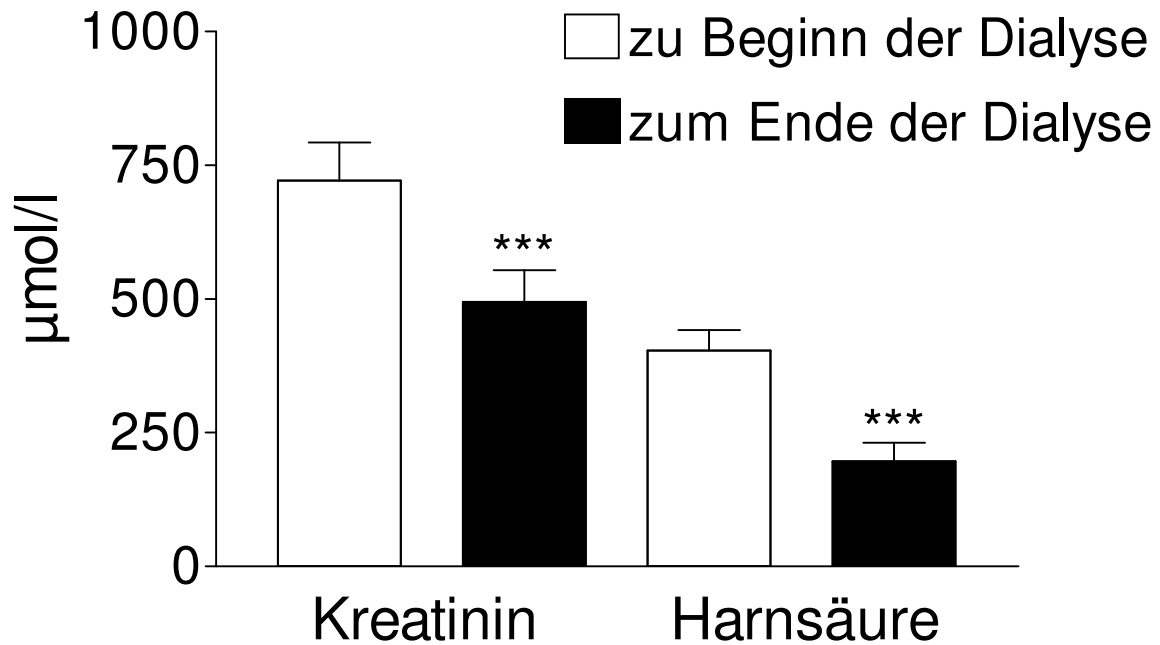


Abbildung 6a: Die Abbildung zeigt die signifikante Reduktion der biochemischen Parameter Kreatinin und Harnsäure, gemessen zu Beginn (weiße Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialysebehandlung. *** $p < 0,001$

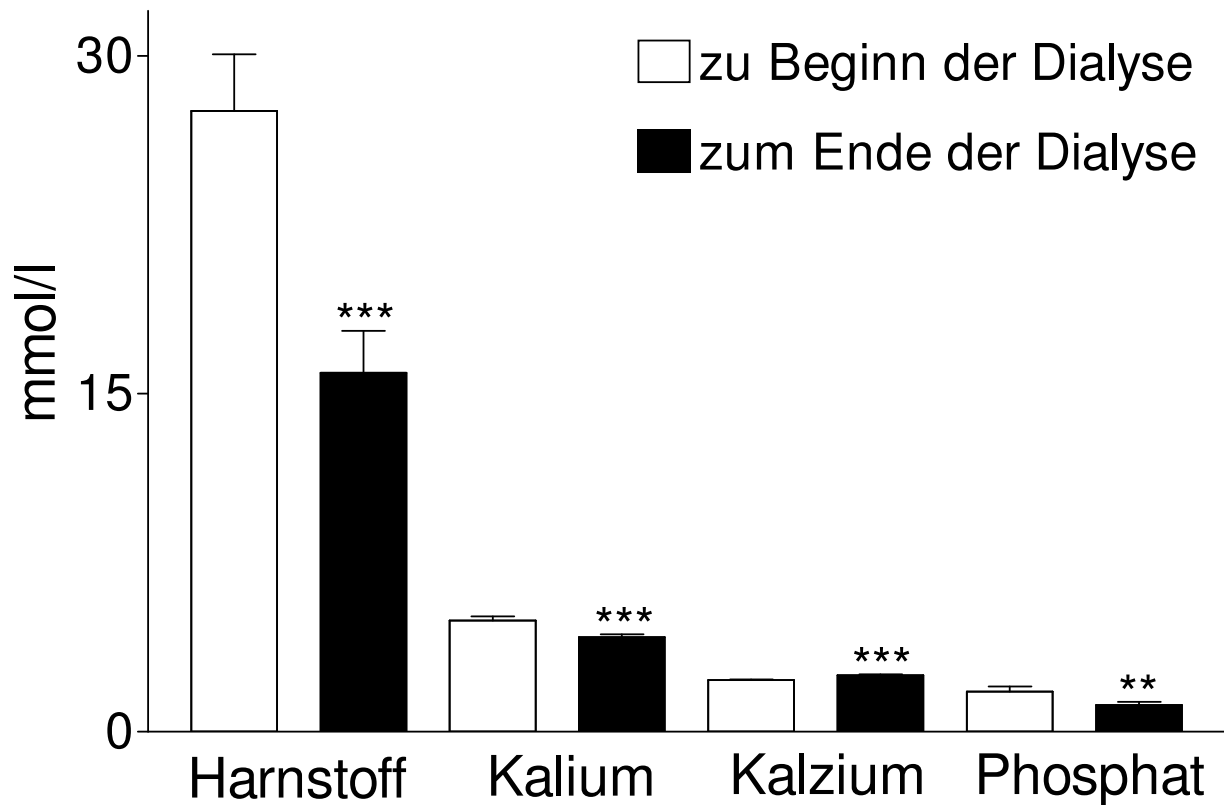


Abbildung 6b: Die Abbildung zeigt die signifikante Reduktion der biochemischen Parameter Harnstoff, Kalium, Kalzium und Phosphat, gemessen zu Beginn (weiße Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialysebehandlung. *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

In der folgenden **Tabelle 3** sind die Veränderungen des systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruckes und die Änderung der Pulsfrequenz dargestellt worden.

Tabelle 3: Die hämodynamischen Parameter in der Gruppe der 60 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz, gemessen zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung (HD). Die Werte sind angegeben als Mittelwert \pm SEM.

Parameter	Beginn der HD	Ende der HD	p-Wert
Herzfrequenz (/min)	78 \pm 2	83 \pm 2	0,048
Systolischer Blutdruck (mmHg)	140 \pm 4	144 \pm 4	0,03
Diastolischer Blutdruck (mmHg)	73 \pm 2	75 \pm 2	0,33
Mittlere Blutdruckamplitude (mmHg)	67 \pm 3	70 \pm 3	0,17
Mittlerer Blutdruck (mmHg)	95 \pm 3	98 \pm 2	0,05

In der folgenden **Abbildung 8** sind die Veränderungen von Puls, systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck im Verlauf der Hämodialysebehandlung graphisch dargestellt.

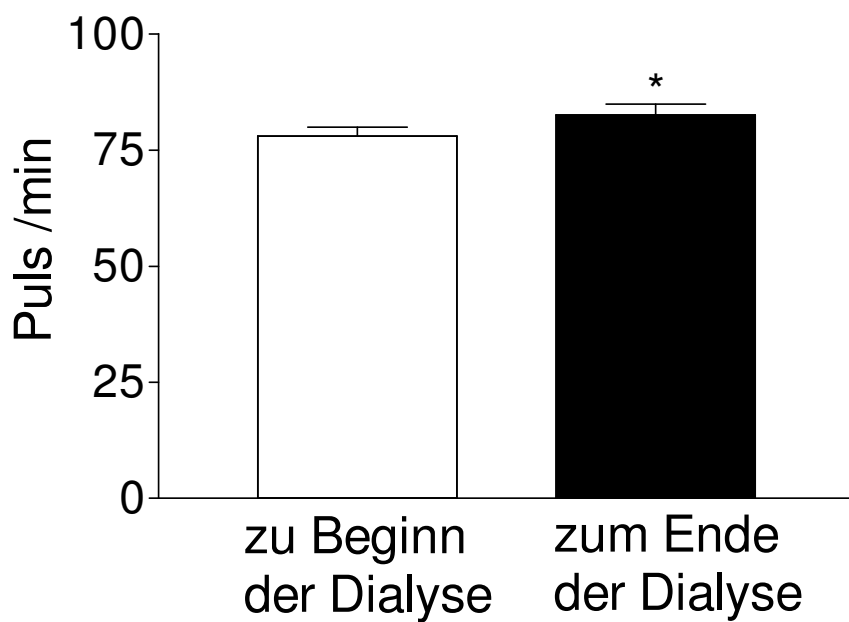
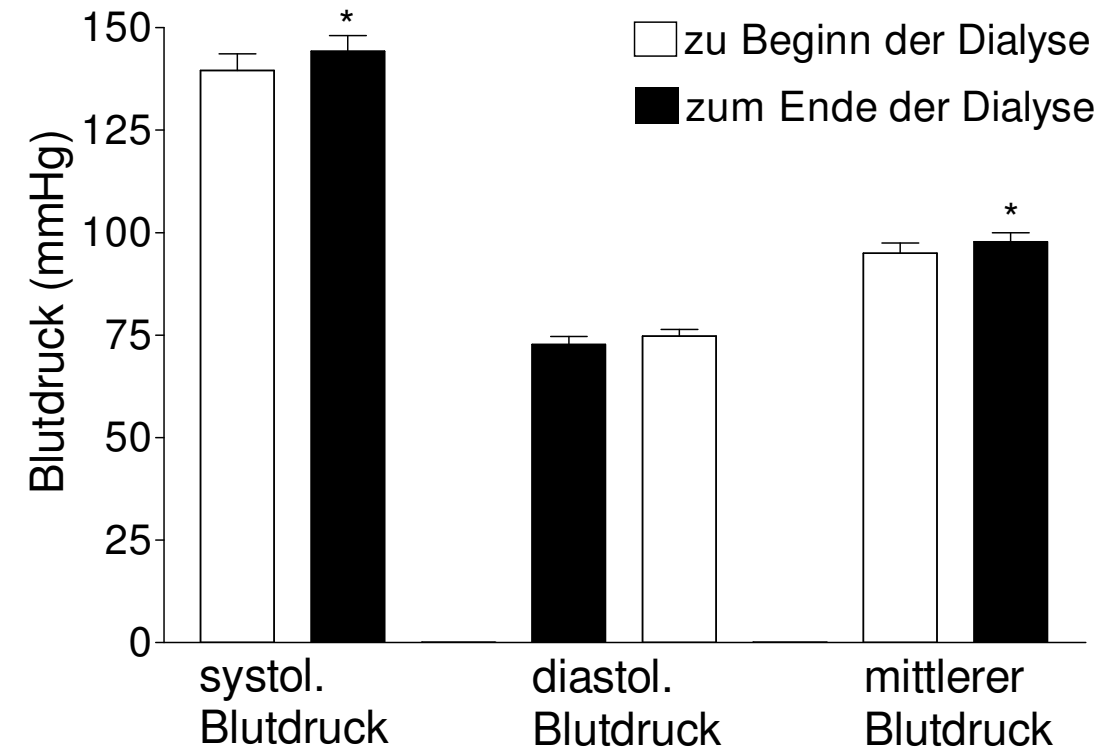


Abbildung 8: Die Abbildungen zeigen die Veränderungen von Puls, systolischen, diastolischen und mittleren Blutdruck über den Verlauf der Hämodialysebehandlung. *p < 0,05

3.3.2. Reproduzierbarkeit der Messmethode

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit dieser Messmethode wurden die Indices in der Gruppe der niereninsuffizienten Patienten an zwei aufeinander folgenden Tagen gemessen. Der Vergleich der Messungen an zwei aufeinander folgenden Tagen zeigte eine gute Korrelation der Indices a/d ($n=20$, $p=0,005$, $r^2=0,4$), a/b ($n=23$, $p<0,0001$, $r^2=0,61$) und T ($n=15$, $p=0,039$, $r^2=0,29$). Somit wurde die Reproduzierbarkeit der Messungen bewiesen. Die Regressionsgeraden sind in der **Abbildungen 7a-c** dargestellt.

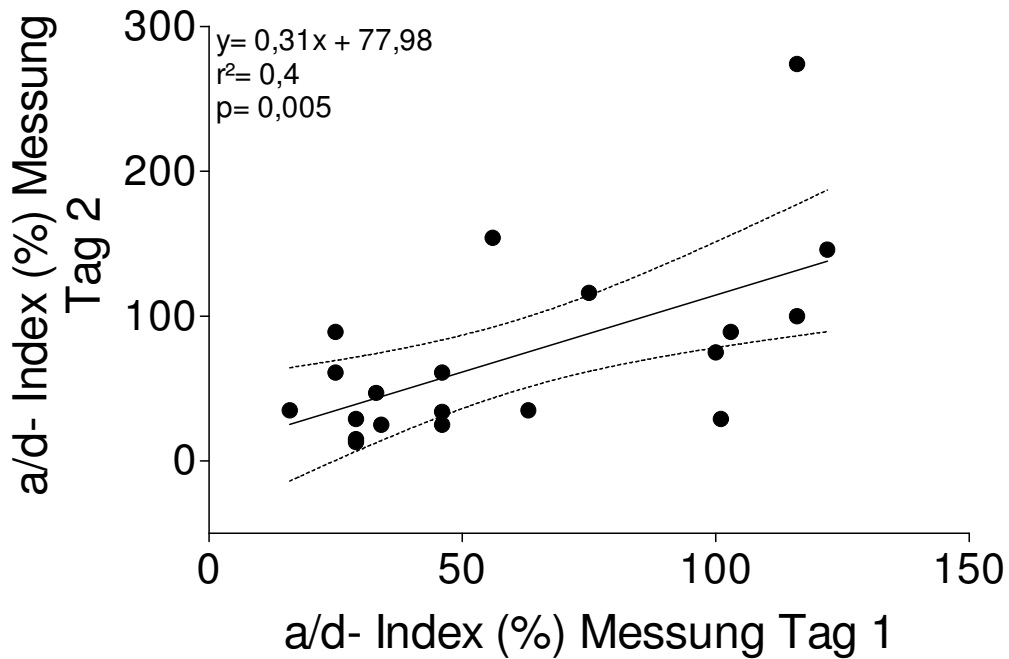


Abbildung 7a: Dargestellt ist die Reproduzierbarkeit der Messung vom a/d-Index, gemessen an zwei aufeinander folgenden Tagen.

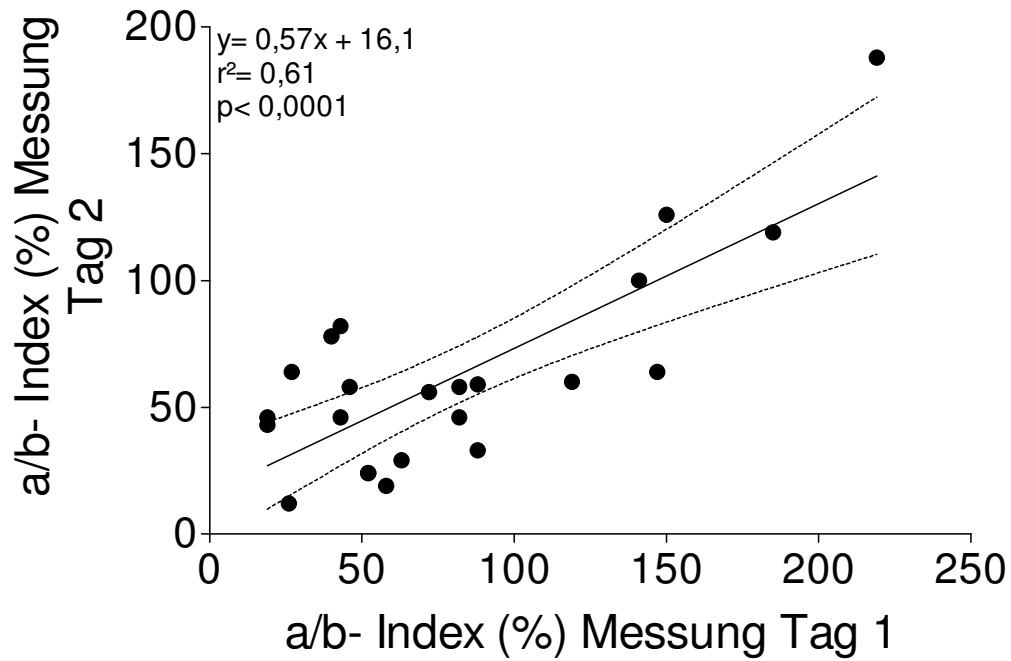


Abbildung 7b: Dargestellt ist die Reproduzierbarkeit der Messung vom a/b-Index, gemessen an zwei aufeinander folgenden Tagen.

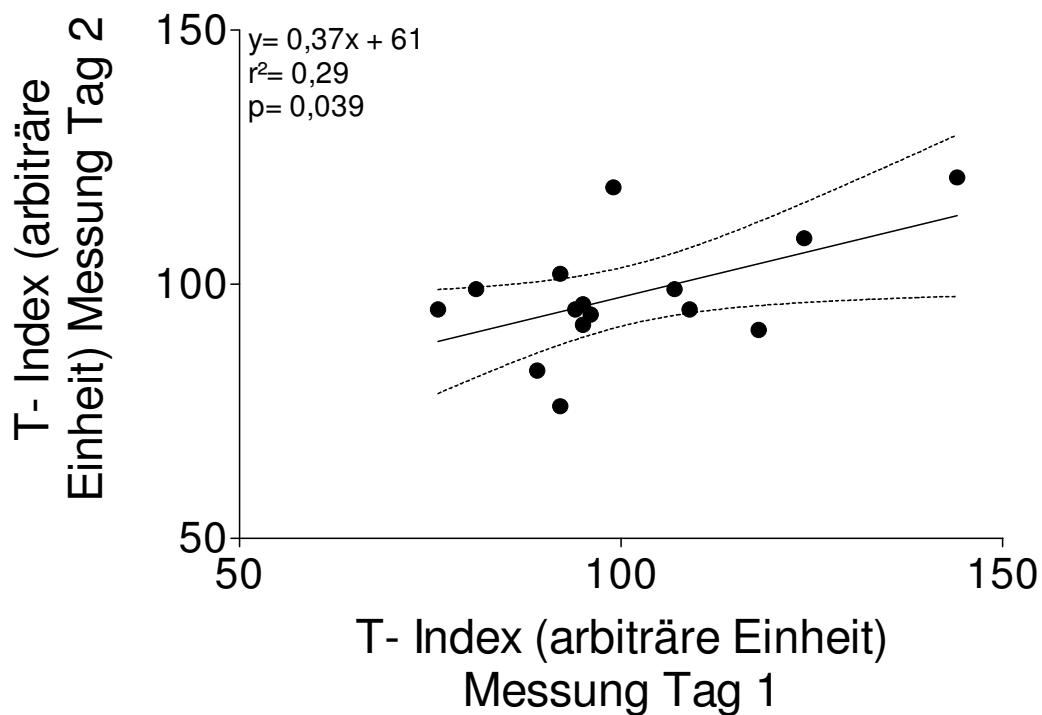


Abbildung 7c: Dargestellt ist die Reproduzierbarkeit der Messung vom T-Index, gemessen zu Beginn der Hämodialysebehandlung an zwei aufeinander folgenden Tagen.

3.3.3. Vergleich der kontinuierlichen Aufzeichnung

Um zu überprüfen, ob mittels der digitalen Photoplethysmographie die kontinuierliche Aufzeichnung über mehrere Stunden im Liegen möglich ist, haben wir bei niereninsuffizienten Patienten über den Verlauf der Nachtruhe die Volumen-Puls-Kurven kontinuierlich aufgezeichnet. In der **Abbildung 9** wurden zum Vergleich 3 Volumen-Puls-Kurven, gemessen zu Beginn, während und zum Ende der Nachtruhe, graphisch gegenüber gestellt. Betrachtet man die Abbildung genauer, lässt sich in der Volumen-Puls-Kurve eine Verringerung des zweiten Gipfels zum Ende der Nachtruhe erkennen. Am Beispiel eines niereninsuffizienten Patienten stieg der ermittelte a/d-Index ausgehend zu Beginn von 100 % um 2.30 Uhr auf 208 % und am Ende der Nachtruhe auf 299 % an. Der a/d-Index stieg deutlich an, was für eine Vasodilatation spricht. Die kontinuierliche Aufzeichnung über die Nachtruhe ist von den niereninsuffizienten Patienten gut toleriert worden.

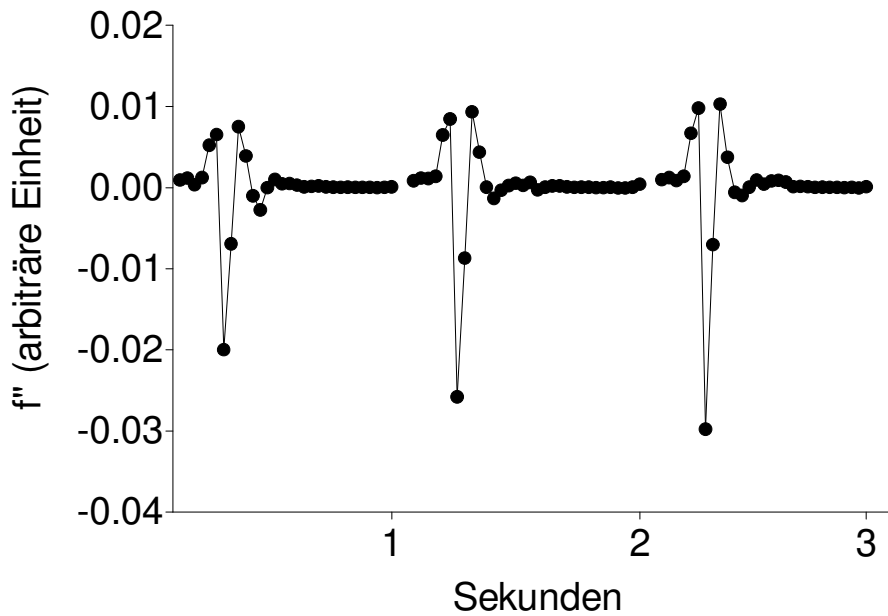
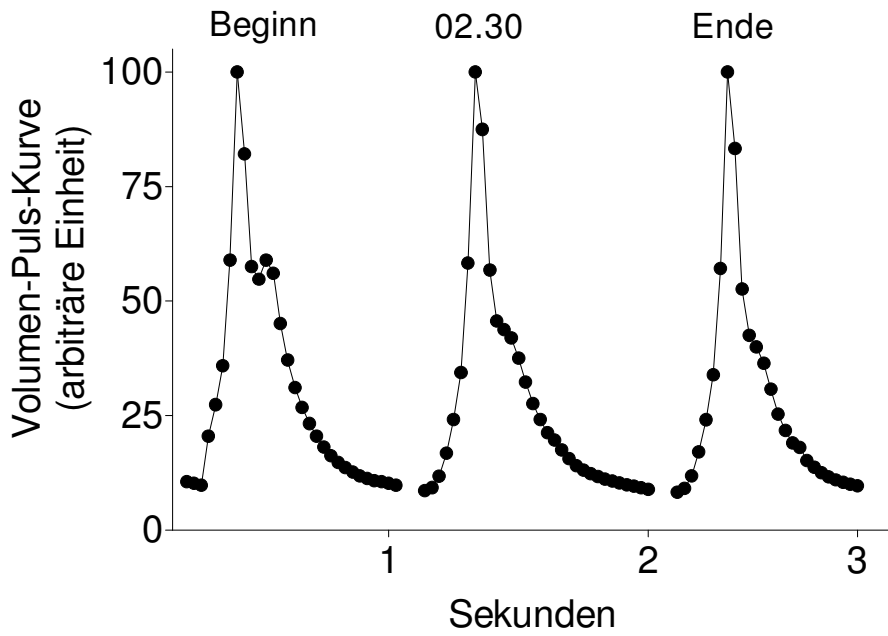


Abbildung 9: Am Beispiel eines niereninsuffizienten Patienten sind 3 Volumen-Puls-Kurven mit der entsprechenden Ableitung graphisch dargestellt worden. Gemessen wurde zu Beginn, während (02.30 Uhr) und am Ende der Nachtruhe.

Ob mittels der digitalen Photoplethysmographie eine kontinuierliche Aufzeichnung von Volumen-Puls-Kurven während der Hämodialysebehandlung am liegenden niereninsuffizienten Patienten möglich ist, war der nächste Schritt. In der **Abbildung 10** sind am Beispiel eines niereninsuffizienten Patienten die Volumen-Puls-Kurven, gemessen zu Beginn, nach 2 und 4 Stunden der Hämodialysebehandlung, dargestellt. Im Vergleich zum Ausgangswert ist der zweite Gipfel der Volumen-Puls-Kurve nach 4 Stunden Hämodialysebehandlung angestiegen. Der entsprechende a/d-Index reduzierte sich von ausgehend 100 % zu Beginn nach 2 Stunden auf 28 % und am Ende der Hämodialysebehandlung auf 20 %. Der a/d-Index sinkt unter den Ausgangswert von 100 % , dies stellt eine Vasokonstriktion dar. Die kontinuierliche Aufzeichnung über den Verlauf der Hämodialysebehandlung wurde von dem niereninsuffizienten Patienten gut toleriert.

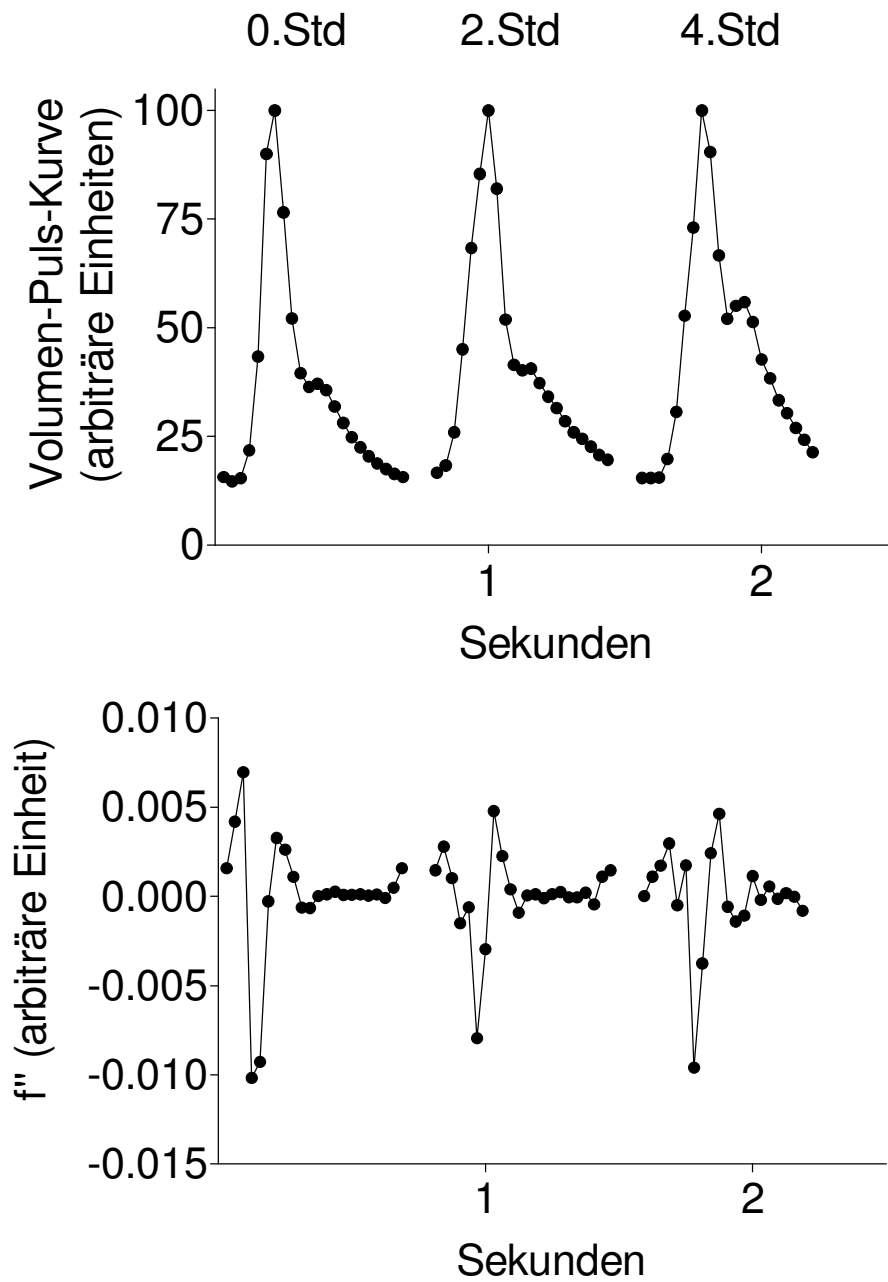


Abbildung 10: Die Abbildung zeigt 3 Volumen-Puls-Kurven mit der entsprechenden Ableitung am Beispiel eines niereninsuffizienten Patienten, gemessen zu Beginn (0.Std.), während (2.Std.) und am Ende (4.Std.) der Hämodialysebehandlung.

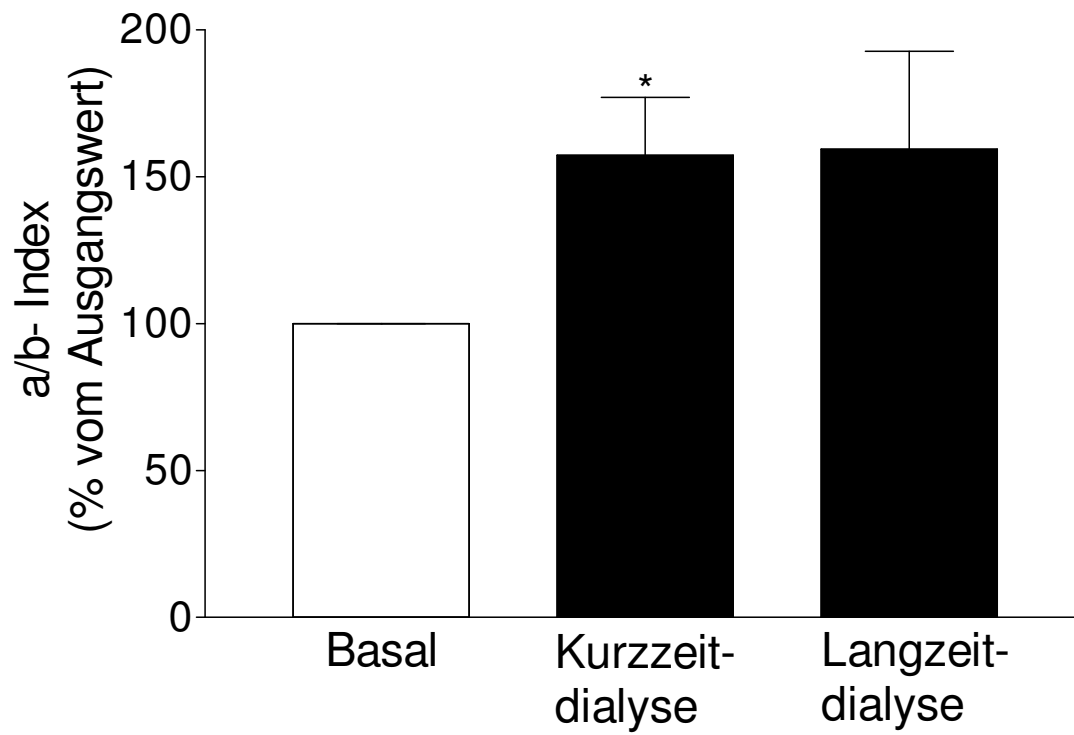
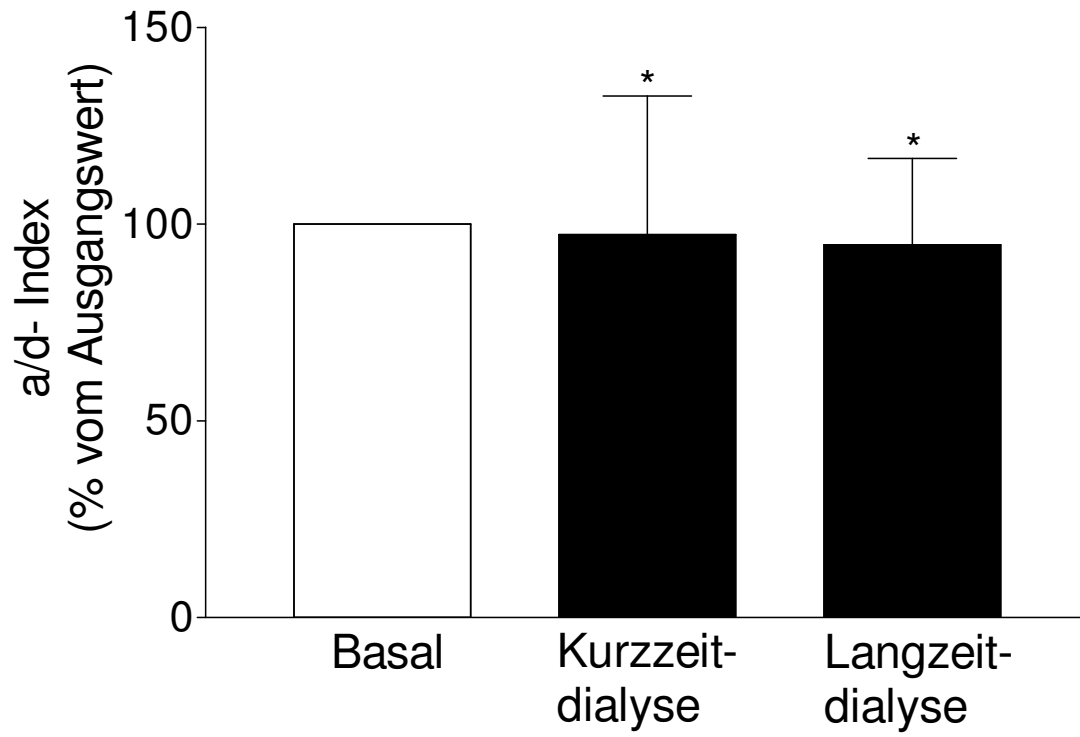
3.3.4. Veränderung der Indices unter der Hämodialysebehandlung

Zur Beschreibung der Volumen-Puls-Kurve dienen in dieser Arbeit verschiedene Indices, nämlich a/d, a/b und T. Bei den 60 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz kam es im Verlauf der Hämodialysebehandlung zu einem signifikanten Abfall des mittleren a/d-Index auf 92 ± 19 % (n=60, p<0,01). Dagegen zeigte sich beim mittleren a/b-Index ein signifikanter Anstieg auf 159 ± 22 % (n=60, p<0,05). Der mittlere T-Index war zu Beginn 103 ± 3 und am Ende der Hämodialysebehandlung 117 ± 8 (n=60, p<0,05).

Eine Vasokonstriktion wurde durch einen signifikanten Abfall des a/d-Index gekennzeichnet.

3.3.5. Vergleich zwischen den Dialysemonaten

Bei 22 Patienten von den insgesamt 60 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz war die Dialysedauer ≤ 1 Monat. Während der Hämodialysebehandlung kam es in der Subgruppe der Patienten mit einer Dialysedauer ≤ 1 Monat zu einem signifikanten Abfall des a/d-Index auf 97 ± 35 % (n=22, p<0,05). Der mittlere a/b-Index stieg signifikant auf 157 ± 20 (n=22, p<0,05). Der T-Index erhöhte sich im Verlauf der Hämodialysebehandlung von 109 ± 7 auf 116 ± 13 (n=22, p=0,43). In der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten (> 1 Monat) war der a/d-Index am Ende der Hämodialysebehandlung signifikant auf 95 ± 22 % (n=38, p<0,05) abgefallen. Dagegen stieg der mittlere a/b-Index auf 160 ± 33 % (n=38, p=0,56) und der T-Index von 99 ± 3 zu Beginn auf 118 ± 10 (n=38, p<0,05) am Ende der Hämodialysebehandlung an. In beiden Subgruppen zeigte sich während der Hämodialysebehandlung eine signifikante Abnahme des a/d-Index, was für eine Vasokonstriktion spricht. Die einzelnen Ergebnisse sind in der **Abbildung 11** dargestellt.



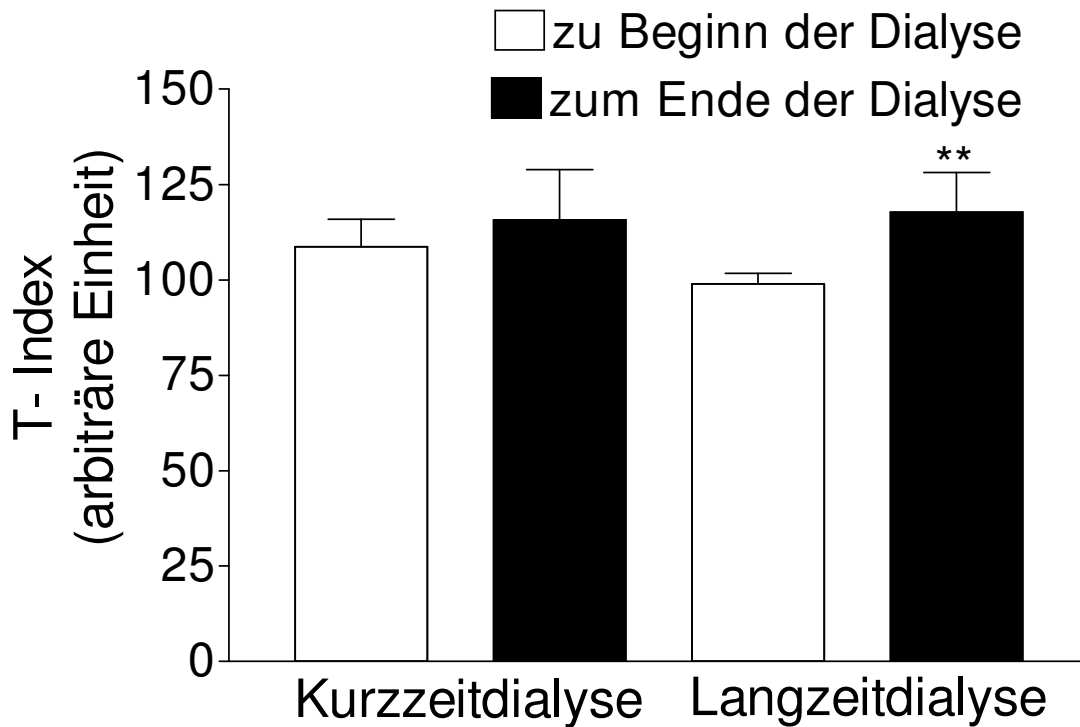


Abbildung 11: Die Abbildungen zeigen die verschiedenen Indices in den Subgruppe der Kurzzeit- (\leq 1 Monat) und Langzeitdialysepatienten ($>$ 1 Monat), gemessen zu Beginn (weißer Balken) und am Ende (schwarze Balken) der Hämodialysebehandlung. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Anschließend verglichen wir die Ergebnisse beider Subgruppen miteinander. In der Subgruppe der Kurzzeitdialysepatienten war der a/d-Index 97 ± 35 % ($n=22$) gegenüber 95 ± 22 % ($n=38$, $p=0,71$) in der anderen Subgruppe. Der a/b-Index stieg in der Subgruppe der Kurzzeitdialysepatienten auf 157 ± 20 ($n=22$) gegenüber 160 ± 33 % ($n=38$, $p=0,14$) in der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten. Vergleicht man den T-Index am Ende der Hämodialysebehandlung beider Subgruppen, 116 ± 13 ($n=22$) gegenüber 118 ± 10 ($n=38$, $p=0,65$), miteinander, so erhalten wir keinen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen der einzelnen Subgruppen miteinander.

3.3.6. Vergleich mit und ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen

Bei 30 von den insgesamt 60 niereninsuffizienten Patienten fanden sich in der Anamnese verschiedene arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen im Sinne eines Myokardinfarktes, koronarer Herzerkrankung, koronarer Bypassoperation oder einer koronaren Angioplastie, Insult, peripheren arteriellen Verschlusskrankheit mit Amputation oder einer Angioplastie.

Es hatten 30 der niereninsuffizienten Patienten keine arteriosklerotisch bedingten Vorerkrankungen. Im Vergleich zum Ausgangswert von 100 ± 0 % stiegen signifikant in der Subgruppe ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung der a/d-Index auf 101 ± 30 % ($n=30$, $p<0,05$) und der a/b-Index auf 210 ± 41 % ($n=30$, $p<0,01$) zum Ende der Hämodialysebehandlung an. Ebenso erhöhte sich der T-Index von 105 ± 6 zu Beginn auf 119 ± 14 ($n=30$, $p=0,19$) am Ende.

In der Subgruppe der niereninsuffizienten Patienten mit einer arteriosklerotisch bedingten Vorerkrankung reduzierte sich der a/d-Index signifikant auf 84 ± 25 % ($n=30$, $p<0,05$). Der a/b-Index stieg nur leicht auf 108 ± 11 % ($n=30$, $p=0,95$) an. Nicht signifikant unterschiedlich war der T-Index zu Beginn mit 103 ± 5 und am Ende von 116 ± 8 ($n=30$, $p=0,06$).

Eine Vasodilatation wurde durch einen signifikanten Anstieg des a/d-Index gekennzeichnet, so kommt es in der Subgruppe ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung zu einem signifikanten a/d-Index Anstieg.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der beiden Subgruppen miteinander verglichen. Es zeigte sich zwischen beiden Subgruppen kein signifikanter Unterschied der Indices. In der **Tabelle 4** sind die Ergebnisse der einzelnen Subgruppen und die Vergleichsergebnisse der Subgruppen miteinander dargestellt.

Tabelle 4: Vergleich der Indices (a/d, a/b, T) zwischen niereninsuffizienten Patienten mit und ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen. Die Daten sind als Mittelwert \pm SEM angegeben.

Parameter	Patienten ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen (n = 30)	Patienten mit arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung (n = 30)	P - Werte
a/d- Index (%)	101 \pm 30	84 \pm 25	0,37
a/b- Index (%)	210 \pm 41	108 \pm 11	0,046
T- Index zu Beginn	105 \pm 6	103 \pm 5	0,58
T- Index am Ende	119 \pm 14	116 \pm 8	0,44

Zur besseren Veranschaulichung wurde in der **Abbildung 12** die Veränderung des a/d-Index der einzelnen Subgruppen graphisch dargestellt. Gemessen wurde zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung.

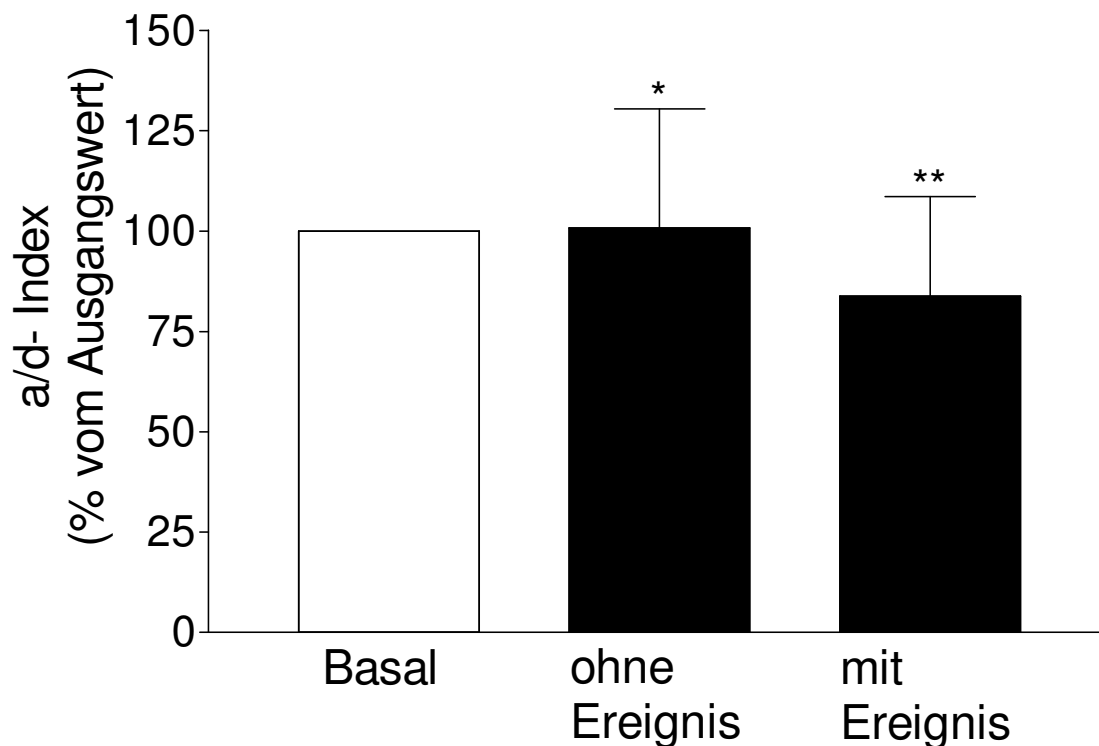


Abbildung 12: Die Abbildung zeigt die Veränderung des a/d-Index in den Subgruppen der niereninsuffizienten Patienten mit und ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen, gemessen zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

3.3.7. Ergebnisse in der Phase der reaktiven Hyperämie

Aus der Gruppe der 60 niereninsuffizienten Patienten bilden 24 niereninsuffiziente Patienten eine Subgruppe. In dieser Subgruppe wurde zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung ein reaktiver Hyperämietest durchgeführt. Eine am Oberarm befindliche aufgepumpte Manschette induzierte mit 240 mmHg eine Ischämie am Unterarm. Die Lösung der Blutsperrung erzeugt eine Phase der reaktiven Hyperämie. Die hämodynamischen Parameter der 24 niereninsuffizienten Patienten sind in der **Tabelle 5** aufgeführt.

Tabelle 5: Die hämodynamischen Parameter der 24 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz, gemessen zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung. Die Angabe der Werte erfolgte als Mittelwerte \pm SEM.

Parameter	vor Dialyse	nach Dialyse	P-Wert
Puls	77 \pm 3	80 \pm 3	0,2
systolischer Blutdruck (mmHg)	139 \pm 6	148 \pm 6	0,01
diastolischer Blutdruck (mmHg)	77 \pm 3	78 \pm 2	0,8
Mittlerer Blutdruck (mmHg)	96 \pm 4	101 \pm 3	0,05

Es wurden die Indices (a/d, a/b, T) in der Phase der reaktiven Hyperämie, gemessen zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung, miteinander verglichen. Zu Beginn der Hämodialysebehandlung in der Phase der reaktiven Hyperämie stieg der a/d-Index signifikant auf 269 ± 68 % (n=24, p<0,05) und der a/b-Index reduzierte sich signifikant auf 58 ± 10 % (n=24, p<0,01). Der T-Index erhöhte sich ausgehend von 110 ± 7 vor der suprasystolischen Stauung auf 122 ± 10 (n=24, p=0,57) in der Phase der reaktiven Hyperämie. Am Ende der Hämodialysebehandlung in der Phase der reaktiven Hyperämie stieg der a/d-Index auf 234 ± 63 % (n=24, p=0,19) und der a/b-Index reduzierte sich auf 51 ± 9 % (n=24, p<0,001). Der T-Index stieg von 127 ± 10 vor der suprasystolischen Stauung auf 134 ± 14 (n=24, p=0,85) in der Phase der reaktiven Hyperämie. In den **Abbildungen 13 a-b** sind die Indices a/d und a/b graphisch dargestellt. Gemessen wurde bei gesunden Probanden und bei niereninsuffizienten Patienten in der Phase der reaktiven Hyperämie.

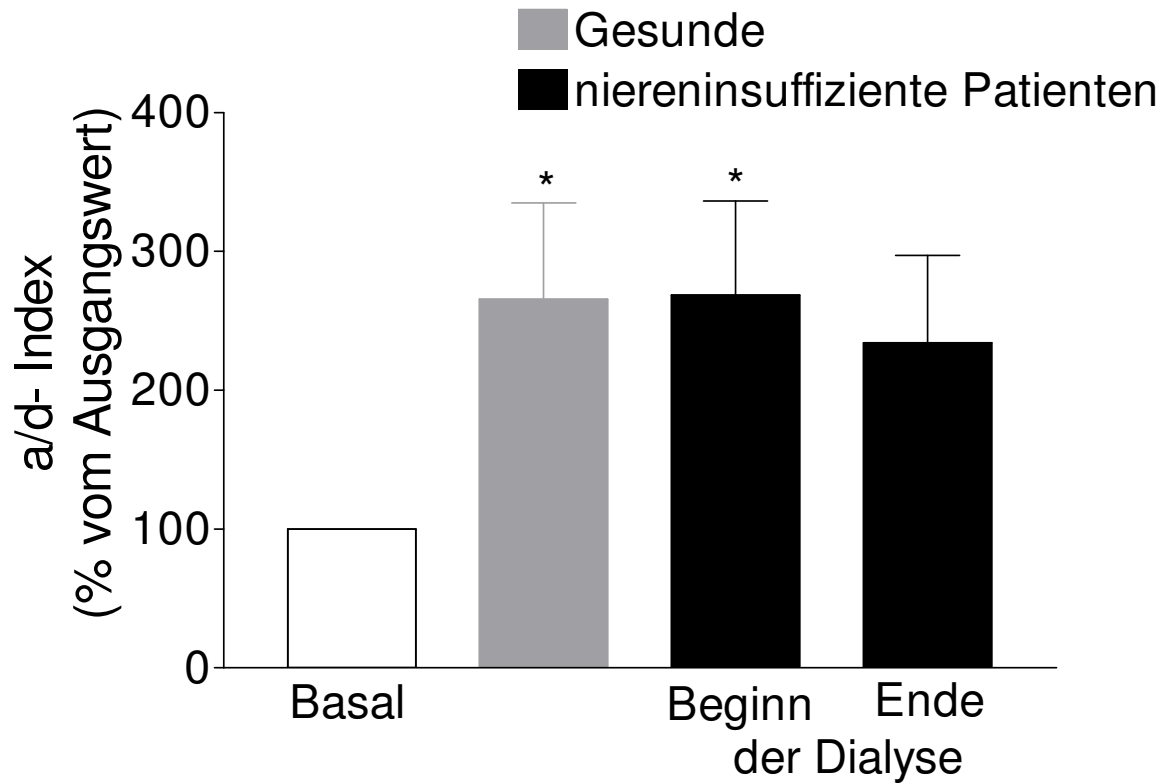


Abbildung 13a: Die Abbildung zeigt den a/d-Index in der Gruppe der gesunden Probanden (grauer Balken) und in der Gruppe der niereninsuffizienten Patienten (schwarzer Balken). Gemessen wurde in der Phase der reaktiven Hyperämie zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung, ausgehend von 100 % vor der suprasystolischen Stauung (weißer Balken). * $p < 0,05$

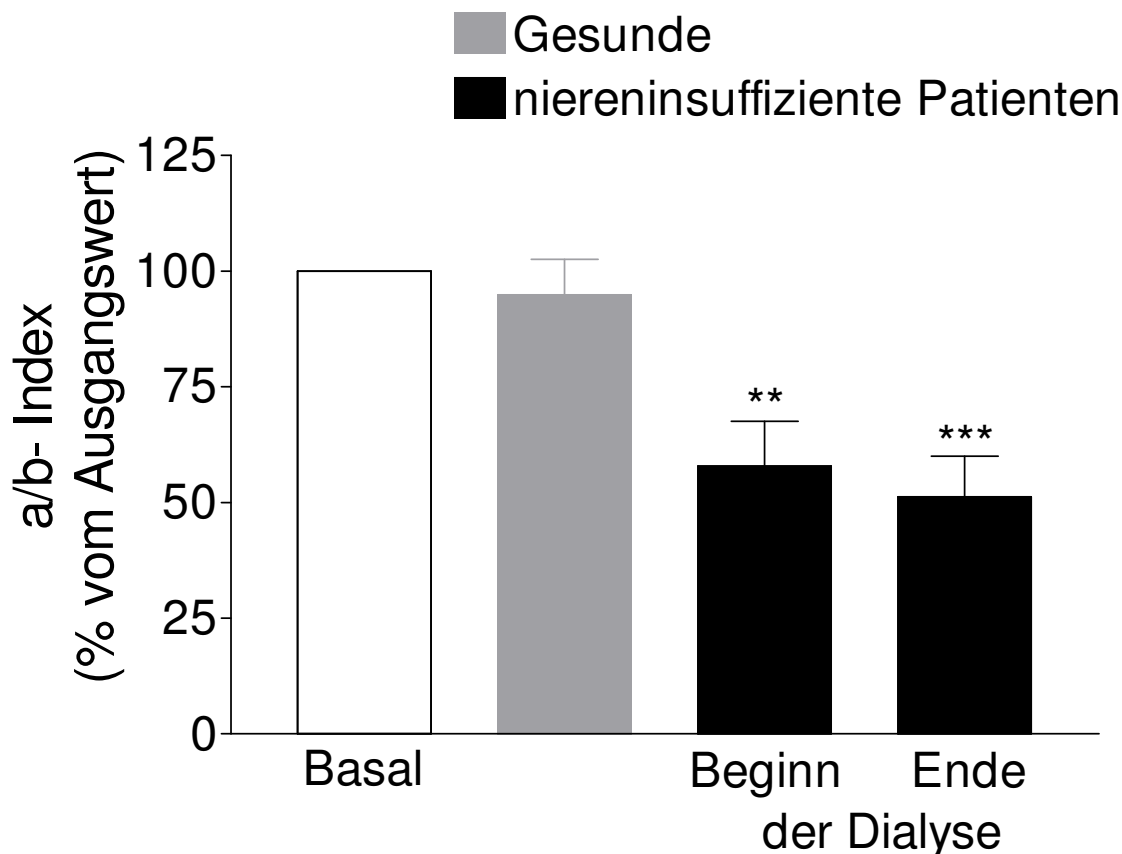


Abbildung 13b: Die Abbildung zeigt den a/b-Index in der Gruppe der gesunden Probanden (grauer Balken) und in der Gruppe der niereninsuffizienten Patienten (schwarzer Balken) in der Phase der reaktiven Hyperämie, gemessen zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung. Ausgehend von 100 % vor der suprasystolischen Stauung (weißer Balken). *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

In der Phase der reaktiven Hyperämie wurden die Indices a/d und a/b in der Gruppe der gesunden Probanden und in der Gruppe der niereninsuffizienten Patienten gemessen und ebenfalls miteinander verglichen. In der gesunden Gruppe war der a/d-Index 266 ± 69 % ($n=17$) gegenüber 269 ± 68 % ($n=24$, $p=0,53$) zu Beginn und 234 ± 63 % ($n=24$, $p=0,72$) am Ende der Hämodialysebehandlung. Der mittlere a/b-Index reduzierte sich in der Phase der reaktiven Hyperämie bei den Gesunden auf 88 ± 8 % ($n=17$) und in der Gruppe der niereninsuffizienten Patienten auf 58 ± 10 % ($n=24$, $p < 0,05$) zu Beginn bzw. 51 ± 8 % ($n=24$, $p < 0,01$) zum Ende der Hämodialysebehandlung. Der mittlere a/b-Index war zwischen den beiden Gruppen signifikant verschieden. In der Phase der reaktiven Hyperämie betrug der T-Index in

der gesunden Probandengruppe 135 ± 15 (n=15) gegenüber 122 ± 10 (n=24, p=0,25) zu Beginn und 134 ± 14 (n=24, p=0,85) am Ende der Hämodialysebehandlung in der niereninsuffizienten Patientengruppe.

Vergleich der Indices in der Phase der reaktiven Hyperämie aufgeteilt nach den Dialysemonaten

Wir teilten die 24 Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz entsprechend ihrer Dialysedauer in die Subgruppen der Kurzzeitdialysepatienten (≤ 1 Monat, n=11) und der Langzeitdialysepatienten (> 1 Monat, n=13) ein.

Bei den Kurzzeitdialysepatienten stieg der a/d-Index in der Phase der reaktiven Hyperämie auf 393 ± 128 % (n=11, p<0,01) zu Beginn und auf 283 ± 120 % (n=11, p=0,32) am Ende der Hämodialysebehandlung. Zu Beginn reduzierte sich der a/b-Index auf 82 ± 15 % (n=11, p=0,41) und am Ende auf 77 ± 16 % (n=11, p=0,17). Der mittlere T-Index erhöhte sich von 112 ± 13 vor der suprasystolischen Stauung auf 141 ± 19 (n=11, p=0,32) in der Phase der reaktiven Hyperämie. Am Ende der Hämodialysebehandlung war der T-Index ausgehend von 136 ± 15 auf 165 ± 33 (n=11, p=0,37) angestiegen.

In der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten stieg der mittlere a/d-Index in der Phase der reaktiven Hyperämie auf 176 ± 55 % (n=13, p=0,59) zu Beginn und 148 ± 55 % (n=13, p=1,0) am Ende der Hämodialysebehandlung an. Dem gegenüber reduzierte sich der a/b-Index auf 47 ± 6 % (n=13, p<0,001) zu Beginn und 50 ± 8 % (n=13, p<0,001) am Ende der Hämodialysebehandlung. Der mittlere T-Index änderte sich nur gering von 108 ± 7 vor der suprasystolischen Stauung auf 106 ± 5 (n=13, p=1,0) in der Phase der reaktiven Hyperämie. Am Ende der Hämodialysebehandlung verringerte sich der T-Index von 118 ± 9 auf 115 ± 8 (n=13, p=0,6).

Im Vergleich der Indices in der Phase der reaktiven Hyperämie zwischen den gesunden Probanden (n=17) und den Langzeitdialysepatienten (n=13, >1 Monat) zeigten sich signifikante Unterschiede. So stieg der a/d-Index in der gesunden Probandengruppe während der Phase der reaktiven Hyperämie signifikant auf 266 ± 69 % (n=17) an, gegenüber 148 ± 55 % (n=13, p<0,05) am Ende der Hämodialysebehandlung in der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten. So war der

a/d-Index in der Phase der reaktiven Hyperämie zwischen den gesunden Probanden ($266 \pm 69 \%$ (n=17)) und den Langzeitdialysepatienten zu Beginn der Hämodialysebehandlung ($176 \pm 55\%$ (n=13, p=0,15)) nicht signifikant verschieden. Der a/b-Index verringerte sich bei den gesunden Probanden auf $88 \pm 8 \%$ (n=17) gegenüber $47 \pm 6 \%$ (n=13, p<0,01) zu Beginn und $50 \pm 8 \%$ (n=13, p<0,05) zum Ende der Hämodialysebehandlung. In der Phase der reaktiven Hyperämie war der T-Index 135 ± 15 (n=15) in der gesunden Probandengruppe und in der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten 106 ± 5 (n=13, p=0,6) zu Beginn bzw. 115 ± 8 (n=13, p=0,5) am Ende.

In der **Abbildung 14** ist der ermittelte a/d-Index der einzelnen Subgruppen graphisch dargestellt. In der Phase der reaktiven Hyperämie nahm der a/d-Index in der gesunden Probandengruppe signifikanter zu als in der Subgruppe der Langzeitdialysepatienten zum Ende der Hämodialysebehandlung.

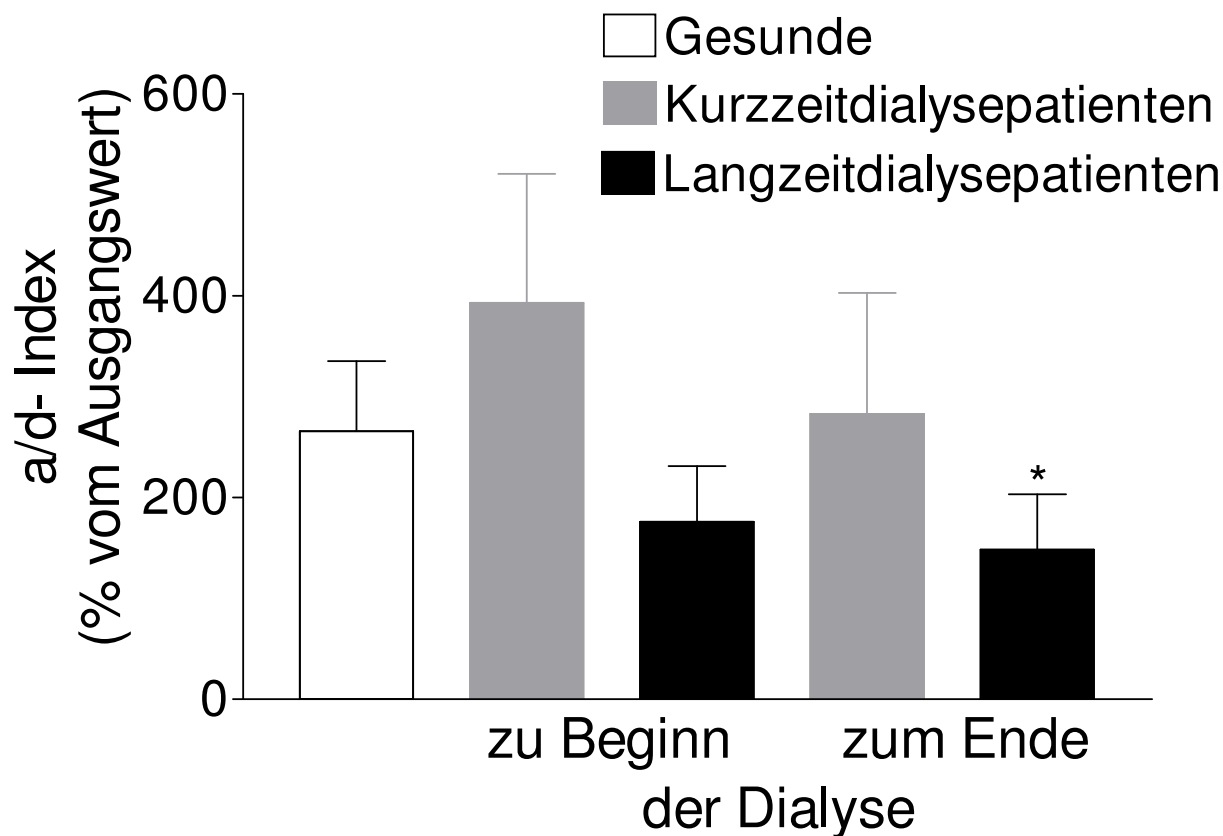


Abbildung 14: In der Abbildung ist der a/d-Index verglichen worden zwischen den gesunden Probanden (weißer Balken), den Kurzzeit- (grauer Balken) und Langzeitdialysepatienten (schwarzer Balken). In den Subgruppen der niereninsuffizienten Patienten wurde zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung in der Phase der reaktiven Hyperämie gemessen. * $p < 0,05$

Vergleich der Indices zwischen den Subgruppen mit und ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen

Anamnestisch war bei 13 niereninsuffizienten Patienten eine arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung bekannt. Dazu zählten arteriosklerotisch bedingte Erkrankungen im Sinne von einem Myokardinfarkt, koronarer Herzerkrankung, koronarer Bypassoperation oder einer koronaren Angioplastie, Insult, peripheren arteriellen Verschlusskrankheit mit Amputation oder einer Angioplastie. Bei den restlichen 11 niereninsuffizienten Patienten erbrachte die Anamnese keinen Hinweis auf eine arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung. In beiden Subgruppen wurde zu

Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung ein reaktiver Hyperämietest durchgeführt.

In der Subgruppe der niereninsuffizienten Patienten ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankungen stieg in der Phase der reaktiven Hyperämie der a/d-Index signifikant auf 491 ± 185 % (n=11, p<0,01) zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung auf 353 ± 82 % (n=11, p<0,05) an. Der a/b-Index reduzierte sich signifikant auf 54 ± 11 % (n=11, p<0,01) zu Beginn und 54 ± 13 % (n=11, p<0,01) am Ende der Hämodialysebehandlung. Zu Beginn der Dialyse stieg der T-Index von 117 ± 12 vor der suprasystolischen Stauung am Oberarm auf 141 ± 12 (n=11, p=0,7) in der Phase der reaktiven Hyperämie. Am Ende der Hämodialysebehandlung stieg der T-Index von 129 ± 18 auf 160 ± 34 (n=11, p=0,28) an.

In der Subgruppe der niereninsuffizienten Patienten mit arteriosklerotisch bedingter Vorerkrankung war der a/d-Index von ausgehend 100 ± 0 % in der Phase der reaktiven Hyperämie auf 239 ± 108 % (n=13, p=1,0) zu Beginn bzw. auf 218 ± 107 % (n=13, p=0,9) zum Ende der Hämodialysebehandlung angestiegen. Daneben reduzierte sich der a/b-Index auf 42 ± 8 % (n=13, p<0,001) zu Beginn bzw. auf 49 ± 14 % (n=13, p<0,05) zum Ende. Zu Beginn der Hämodialysebehandlung erhöhte sich der T-Index von 104 ± 7 vor der suprasystolischen Stauung auf 106 ± 5 (n=13, p=64) und am Ende von 125 ± 10 auf 120 ± 9 (n=13, p=0,24) in der Phase der reaktiven Hyperämie.

Eine Vasodilatation wurde durch den signifikanten Anstieg des a/d-Index gekennzeichnet, so kommt es in der Phase der reaktiven Hyperämie in der Subgruppe der niereninsuffizienten Patienten ohne arteriosklerotisch bedingte Vorerkrankung zu einer endothelabhängigen Vasodilatation.

In der **Abbildung 15** wurde der ermittelte a/d-Index der einzelnen Subgruppen zur besseren Veranschaulichung graphisch dargestellt.

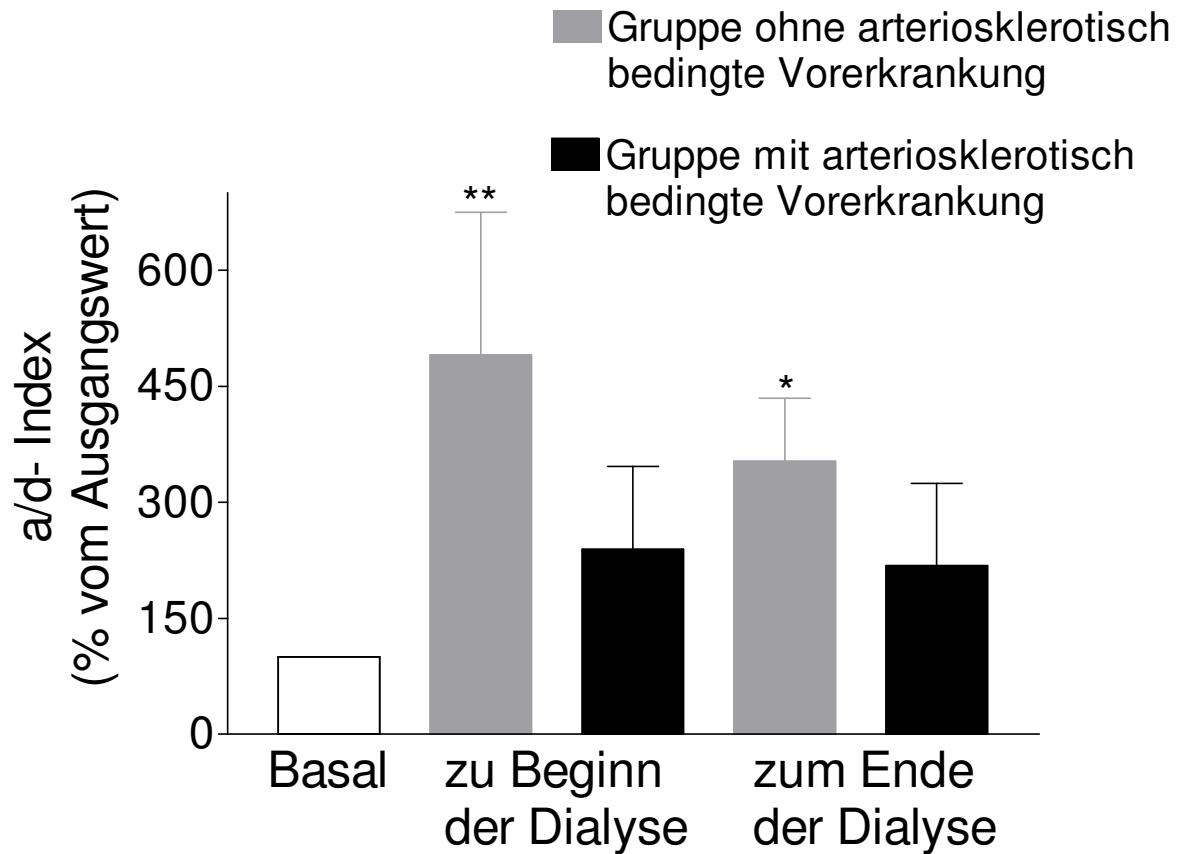


Abbildung 15: Die Abbildung zeigt den ermittelten a/d-Index in den jeweiligen Subgruppen niereninsuffizienter Patienten ohne (grauer Balken) und mit (schwarzer Balken) arteriosklerotisch bedingter Vorerkrankung. Gemessen wurde in der Phase der reaktiven Hyperämie zu Beginn und am Ende der Hämodialysebehandlung, ausgehend von 100 % vor der suprasystolischen Stauung (weißer Balken). ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$