

4. Diskussion

Das Wachstum von Organen ist abhängig von der Rasse, dem Alter, dem Geschlecht, der Haltung und der Fütterung der Tiere (RÜHL, 1971).

Die reinrassigen Piétrain- und Hampshire-Jungtiere stammen aus Basiszuchtbetrieben und Mastprüfungsanstalten eines Zuchtverbandes mit annähernd gleichen Umweltbedingungen (MEWES, 1996), so daß Haltung und Fütterung bei diesen vergleichenden Untersuchungen am Herzen nicht berücksichtigt werden mußten.

Bei der Analyse des Einflusses von Geschlecht, Alter und Rasse hielt ich mich an die Gruppeneinteilung, die MEWES (1996) in seiner Dissertation vornahm, um möglichst gut auswertbare und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Die Besonderheit meiner Arbeit besteht gerade darin, daß erstmals Probenmaterial bearbeitet wurde, von dem bereits zahlreiche makroskopisch und mikroskopisch-anatomische Daten vorliegen. Mit einem modernen computergestützten halbautomatischen Bildanalyzesystem wurden weitere morphologische Merkmale wie Herzmuskelzellen, Kapillaren und Nichtherzmuskelzellstrukturen untersucht.

WULF (1995) führte in seinen Untersuchungen anfängliche Probemessungen mit einem Computer-Mikroskop durch. Verschiedene Gründe, insbesondere die unbefriedigende Wiedergabe des mikroskopischen Bildes in unterschiedlichen Graustufen, veranlaßten ihn zum Mikroprojektions-Meßtisch zurückzukehren.

GENSICKE (1996) benutzte zur Auswertung seiner histologischen Präparate das auch von mir verwandte Bildanalyzesystem, das auf der Grundlage der automatischen Kontrastgrenzenerfassung auf farbiger Basis arbeitet.

Nach Ansicht von BEMM (1998) stellt dieses Verfahren eine moderne und sehr genaue Meßmethode für morphometrische Untersuchungen dar.

Die statistische Auswertung erfolgte auf der Grundlage eines paarweisen Mittelwertvergleiches. Unterschiede zwischen den Tiergruppen wurden mit dem Independent-t-Test und beim Meßortvergleich mit dem Paired-Samples-t-Test durchgeführt.

Mit diesen statistischen Verfahren werden morphologisch besonders große Differenzen im Sinne der Überzufälligkeit in dem konkret vorliegenden Untersuchungsmaterial ermittelt und dargestellt.

Das Hauptanliegen meiner Arbeit ist, den Einfluß des Geschlechts auf die Kapillarisation des Schweinemyokards zu untersuchen.

MEWES` (1996) Feststellung eines erhöhten intramyokardialen Bindegewebsgehaltes im weiblichen porcinen Myokard ergab einen konkreten Anhaltspunkt nach weiteren mikroskopisch-anatomischen Merkmalsdifferenzen zwischen den Geschlechtern zu suchen, um mögliche morphologische Ursachen für das unterschiedliche Herz-Kreislauf-Erkrankungsgeschehen bei Mann und Frau zu ermitteln.

Die Kapillaren im Herzen sind für die Versorgung der ständig aktiven Herzmuskelzellen von besonderer Bedeutung. Nach HOLLE (1989) werden die Kapillaren im Myokard als sog. Tunnelkapillaren bezeichnet, da sie permanent, auch während der Systole, ähnlich einem Tunnel durch ein Gebirge, offenbleiben. Höchstwahrscheinlich verhindern spezielle kollagene Kapillar-Myozyten-Verbindungen im Myokard ein Kollabieren der Kapillaren, so daß man auch im histologischen Bild alle kapillären Strukturen erfassen kann.

Die manuelle Kennzeichnung der Kapillarwände bei der Vermessung mit gleichbleibender Mikroskopvergrößerung machte allerdings, auf Grund der wesentlich kleineren Objektgröße, eine eigene Schärfjustierung des mikroskopischen Bildes und den Einsatz von Filtern zur Kontrastverbesserung notwendig.

Die Morphologie der Kapillaren selbst wird von einer Reihe anatomischer und physiologischer Gegebenheiten beeinflusst. So wird die Kapillarisation ganz wesentlich von dem reaktiven Verhalten der Herzmuskelzellen im Myokard bestimmt. Nach Abschluß einer neonatalen Proliferationsphase für Kapillaren stellt sich ein relativ stabiles Verhältnis von einer Kapillare pro Myozyt ein, das sog. Kapillarraster (HORT, 1955).

Ein normales Wachstum des Herzens erfolgt bis zu einem „kritischen Herzgewicht“ durch Größenwachstum der Myozyten (physiologische Hypertrophie). Eine Hyperplasie der Myozyten wird erst jenseits eines „kritischen Herzgewichtes“ beobachtet (LINZBACH, 1948). Für Schweine vermutete HINRICHS (1992) dieses „kritische Herzgewicht“ erst über 1000 g. Die mittlere absolute Herzmasse der von mir untersuchten gesunden Alteber beträgt 812 g und die der Altsauen 586 g.

In meinen Untersuchungen besitzen die Alttiere in beiden Ventrikelwänden eindeutig die größeren Myozyten. Die Myozyten besitzen in der LV der Jungtiere eine Größe von $354 \mu\text{m}^2$ und in der LV der Alttiere eine Größe $546 \mu\text{m}^2$. In der RV beträgt die Myozytengröße bei Jungtieren $290 \mu\text{m}^2$ und bei Alttieren $472 \mu\text{m}^2$.

Entsprechend dieser Myozytengröße sinkt die Myozytenanzahl je Flächeneinheit in der LV von 3098 Myozyten/ mm^2 bei Jungtieren auf bei 2217 Myozyten/ mm^2 bei Alttieren signifikant ab. In der RV findet man mit 3499 Myozyten/ mm^2 bei Jungtieren und 2355 Myozyten/ mm^2 bei Alttieren ebenfalls signifikante Unterschiede. Die von mir ermittelte Myozytenanzahl pro Flächeneinheit entspricht in ihrer Größenordnung der von BEMM (1998). Er ermittelte eine Myozytenanzahl je mm^2 von 2914 bis 4325 in der LV und von 3020 bis 4638 in der RV als jeweilige Mittelwerte. Bei den von ihm untersuchten Schweinen handelte es sich um bis maximal 460 Tage alte Tiere.

Mit dem Altersverlauf und der damit verbundenen Hypertrophie der Myozyten sinkt die Kapillardichte durch das Auseinanderdrängen der Kapillaren.

Jungtiere weisen mit 3029 Kapillaren/ mm^2 in der LV und 3041 Kapillaren/ mm^2 in der RV signifikant mehr Kapillaren pro Flächeneinheit auf als Alttiere (LV = 2451 Kapillaren/ mm^2 , RV = 2485 Kapillaren/ mm^2).

Zwischen beiden Herzseiten besteht praktisch kein Unterschied.

Das Ergebnis vom altersabhängigen Verhalten der Myozyten findet sich auch bei den kapillären Strukturen wieder, d.h., in dem Maß, wie die Kapillaranzahl pro Flächeneinheit sinkt, und in dem Maß, wie die Myozyten wachsen, nehmen auch die Kapillargrößen zu.

Bei Alttieren ist der durchschnittliche Kapillardurchmesser in der LV mit 5,09 μm und in der RV mit 5,0 μm signifikant größer als bei Jungtieren (LV = 4,69 μm , RV = 4,73 μm). Zwischen rechter und linker Ventrikelwand sind keine Unterschiede nachweisbar.

Der Kapillar-Myozyt-Quotient nimmt mit dem Alter signifikant zu.

Da eine Atrophie bzw. Hypoplasie von Herzmuskelfasern bei diesen als gesund geltenden Herzen weitgehend ausgeschlossen werden kann, ist die Erhöhung dieses Quotienten nur auf eine Zunahme der Kapillaranzahl gegenüber der Myozytenanzahl, also einer Kapillarproliferation, im Altersgang zurückzuführen.

Die ICD steigt signifikant im Altersgang in beiden Ventrikelwänden an, wobei sie in der LV noch größere Werte erreicht, weil hier die Myozytenhypertrophie deutlich größer ist.

Der kapilläre Flächenanteil sinkt im Altersgang leicht ab, ohne eine statistische Signifikanz zu erreichen. Jungtiere haben in der LV einen kapillären Flächenanteil von 6,37 % und in der RV von 6,75 % (Alttiere LV = 5,77 %, RV = 5,99 %).

Somit findet sich in beiden Altersgruppen in der RV wiederum ein leicht höherer kapillärer Flächenanteil als in der LV. Offensichtlich kann die lumenseitige Kapillarvergrößerung der altersbedingten Myozytenhypertrophie nicht in vollem Umfang folgen. Eine Kompensation durch Kapillarneubildung ist nicht ausreichend groß. Meine Meßdaten bekräftigen die vorsichtige Schlußfolgerung von BEMM (1998) von einem Abfall des kapillären Flächenanteils im Altersgang. Der Autor fand bei der Gruppe seiner jungen Mini-LEWE einen deutlich höheren prozentualen Flächenanteil der Kapillaren gegenüber den schwereren und älteren Tieren. Eine Veränderung des Kapillar-Myozyt-Quotienten registriert er jedoch nicht.

Die altersabhängigen Veränderungen und das Adaptationsvermögen des Myokards unter verschiedenen Belastungen waren Gegenstand vieler morphologischer Untersuchungen. So wurde das Kapillarbettverhalten bei experimentell erzeugter Herzvergrößerung durch z.B. Aortenkonstriktion, Denervation des Sinus caroticus, unter Höhenanpassung und bei pathologischen Kardiomegalien von vielen Wissenschaftlern untersucht.

Die von mir ermittelten Meßwerte stehen im Einklang mit den Aussagen von ROBERTS und WEARN (1941), RAKUŠAN (1971), TOMANEK et al. (1982) und ANVERSA et al. (1990). Danach ist das physiologische Wachstum des Myokards verbunden mit einer Umfangsvermehrung der Myozyten, mit einem Abfall der kapillären Dichte, mit einem Anstieg des Kapillar-Myozyt-Verhältnisses und somit einem Anstieg der absoluten Kapillaranzahl im Herzmuskelgewebe.

TOMANEK (1992) untersuchte die altersabhängige Modulation der kapillären Angiogenese. Er berichtete, daß die Kapazität der koronaren Angiogenese vor der Pupertät am besten ist, mit dem erwachsenen Alter nicht verloren geht und im hohen Alter persistiert. Obwohl der Mechanismus der Angiogenese offenbar von ganz konkret vorherrschenden Bedingungen beeinflußt wird, scheint die Ventrikelmasse eher als beispielsweise der koronare Blutdruck die kapilläre Dichte zu bestimmen. Darüber hinaus findet bei der altersbedingten Umgestaltung des Myokards ein Ansteigen des mittleren kapillären Lumendurchmessers statt, der die mit der zunehmenden Herzmasse verbundene Abnahme der Kapillardichte kompensiert.

Im Rassevergleich zwischen Piétrain und Hampshire stellt sich folgendes mikroskopisch-anatomisches Bild dar:

Piétrain-Tiere weisen gegenüber Hampshire-Tiere im Herzmuskel annähernd gleich große Herzmuskelzellen, bei einer etwas höheren, nicht signifikanten Myozytenanzahl/mm² auf. Die Kapillaranzahl beider Rassen ist ebenfalls annähernd gleich

(LV: P (ges.)=2983 Kap./ mm²; H (ges.)=3075 Kap./ mm²;
RV: P (ges.)=3037 Kap./ mm²; H (ges.)=3044 Kap./ mm²).

Entscheidende Unterschiede bestehen jedoch in der längeren ICD der Piétrain- (14,35 µm) im Vergleich mit den Hampshireschweinen (14,04 µm).

In der Jungsauengruppe ist dieser Unterschied signifikant

(JS (P) =13,43 µm; JS(H)=13,09 µm).

Darüber hinaus besitzen die Piétrain einen deutlich kleineren Kapillar-Myozyt-Quotienten, also weniger Kapillaren pro Myozyt. Bei Piétrain-Tieren ist der kapilläre Flächenanteil für beide untersuchten Ventrikelwände signifikant kleiner

(LV: P (ges.) = 6,05 %; H (ges.) = 6,69 %;
RV: P (ges.) = 6,44 %; H (ges.) = 7,05 %).

Obwohl sich die morphologischen Unterschiede in geringen Grenzen bewegen, scheinen die kreislauffähigeren Piétrain-Tiere ungünstigere Parameter hinsichtlich der Kapillarisation aufzuweisen. Diese Annahme wird gestützt durch Untersuchungen von BERG (1997). Sie fand in den Herzen von Schweinen mit einem RYR-1-Defekt, die mit den Schweinen der Rasse Piétrain vergleichbar sind, signifikant geringere Kapillanzahlen pro mm². Diese verringerte Vaskularisierung kann eine relative Ischämie bedingen und bei Schweinen mit dem Malignen-Hyperthermie-Syndrom zu belastungsbedingtem Herz-Kreislauf-Versagen führen.

Die Nichtmyozytenfraktion besteht aus Endothelzellen, Perizyten und anderen glatten Muskelzellen des koronaren Gefäßsystems, Myofibroblasten und interstitiellen Fibroblasten sowie Makrophagen, Mastzellen, Granulozyten, Plasmazellen und Monozyten (BRILLA et al., 1995).

Meine Korrelationen zeigen, daß die im computergestützten Bildanalyseverfahren gemessenen Nichtmyozytenkerne im wesentlichen von den Endothelzellen und Zellen in unmittelbarer Umgebung der im Mikroskopausschnitt befindlichen Kapillaren bestehen (perivaskuläres Bindegewebe).

Dies ergibt sich aus den ermittelten, hochsignifikanten Rangkorrelationskoeffizienten r_s zwischen Kapillanzahl und Nichtmyozytenkernen, die eine enge Korrelation der beiden Merkmale beschreibt. BERG (1997) fand ebenfalls einen festen Zusammenhang zwischen der von ihr gemessenen Anzahl der Nichtherzmuskelzellen und der Anzahl der Kapillaren. Sie schlußfolgerte, daß auch das Bildungsprodukt der Fibroblasten, die kollagenen Fasern als faseriger Hauptbestandteil des lockeren Bindegewebes, von dieser Entwicklung betroffen sein muß.

Damit bedeutet ihrer Meinung nach viel intramyokardiales Bindegewebe auch eine größere Anzahl von Kapillaren.

Dieser Schlußfolgerung widersprechen meine Ergebnisse in wesentlichen Teilen.

Zwischen dem diffus verteiltem intramyokardialen Bindegewebsgehalt, der mit dem Punktzählverfahren nach OBERHOLZER (1983) und OBERHOLZER et al. (1987) gemessen wurde, und den Nichtmyozytenkernen aus der automatischen Bildanalyse ergibt sich keine hinreichende Beziehung.

Dieses wird von der Korrelationsanalyse zwischen diffus verteiltem, intramyokardialem Bindegewebe und der Kapillaranzahl im Myokard ($r_s = 0,093$) bestätigt. Beispielsweise ist in der LV der Alteber mit 6,07 % mehr als doppelt soviel Bindegewebe als bei Altsauen mit 2,8 % in der gleichen Ventrikelwand enthalten. Die Kapillaranzahl/ mm² ist jedoch mit 2448 Kapillaren/ mm² für Alteber annähernd gleich groß wie für Altsauen mit 2454 Kapillaren/ mm². Zwar fällt in diesem Beispiel der Kapillar-Myozyt-Quotient und der kapilläre Flächenanteil zu den Altsauen hin ab, was die Hypothese von BERG (1997) unterstützen würde, die Korrelationsanalyse dieser Merkmale ergibt jedoch keine Zusammenhänge zum Bindegewebe.

BEMM (1998) fand in seinen Untersuchungen an Schweinen keine Abhängigkeiten zwischen der Anzahl der Nichtmyozytenkerne und der Kapillaranzahl je konstanter Flächeneinheit. Er schlußfolgerte deshalb für seine Ergebnisse, daß von einer signifikant höheren Nichtmyozytenkernanzahl der Deutschen Edelschweine gegenüber den Mini-LEWE nicht einfach auf eine signifikant höhere Kapillaranzahl geschlossen werden kann.

Die Ergebnisse zeigen ferner, daß die Messung der Nichtmyozytenkerne zur indirekten Bestimmung des diffus verteilten, intramyokardialen Bindegewebes, wegen der fehlenden Abhängigkeit der Merkmale zueinander, keine geeignete Methode zu sein scheint. SPIELER (1995) kehrte auf Grund der Nachteile der monochromatischen Bildanalyse hinsichtlich der Unterscheidung von perivaskulärem und diffus verteiltem, intramyokardialem Bindegewebe (Endo- und Perimysiumstrukturen), zum Punktzählverfahren zurück. HERMANN (1992) wählte deshalb nicht den Begriff „interstitielles Bindegewebe“, sondern bezeichnete die Nichtmyozytenfraktionen als „Nicht-Herzmuskelzellstruktur“. BEMM (1998) vertrat die Ansicht, daß zwar mit Hilfe hochauflösender farbiger Bildschirme und neuer Analyseprogramme eine genaue Erfassung der Nichtmyozytenkerne möglich ist. Jedoch sei unbestritten, daß perivaskuläres Bindegewebe in Form verschiedenen Nichtmyozytenfraktionen in diese Erfassung mit einfließt. Dennoch wertete der Autor die Zählung der Nichtmyozytenkerne und der Myozytenkerne als Möglichkeit, auch kurzzeitige Änderungen im interstitiellen Zellgehalt bestimmen zu können.

Nach LINZBACH (1972) hat die Ermittlung des relativen Bindegewebes größere Bedeutung als die des absoluten. Daher ist die Bildung eines Quotienten aus Nichtmyozyten- und Myozytenkernen nach der indirekten Bestimmungsmethode notwendig.

BEMM (1998) fand danach den höchsten relativen Bindegewebsanteil bei älteren Tieren und bei den streßlabileren Mini-LEWE.

In meinen Berechnungen folgen die Werte für den Quotienten aus Nichtmyozyten- und Myozytenkernen bei Alter und Rasse den Werten aus der direkten Bindegewebsbestimmung, so daß sich auch eine leichte Korrelation von $r_s = 0,3^{**}$, allerdings nur für die LV, ermitteln läßt. Bei der Bewertung des Bindegewebsgehaltes in der Geschlechtsauswertung werden nur bei den Alttieren, mit ihren erheblichen Unterschieden im Bindegewebsgehalt, gleichgelagerte Ergebnisse erzielt. Die richtige Beurteilung der Unterschiede im Bindegewebsgehalt bei Börgen, Jungebern und Jungsauen wäre mit diesem Quotienten, auf Grund des fehlenden Zusammenhanges von Nichtmyozytenkernanzahl und direkt bestimmten diffus verteiltem, intramyokardialen Bindegewebsgehalt, nicht möglich gewesen (geringere Gruppengröße mit geringeren Unterschieden). Auch in dem Vergleich der rechten und linken Ventrikelwand ergeben sich verschiedene Ergebnisse zwischen direkter und indirekter Bestimmungsmethode für das intramyokardiale Bindegewebe. MEWES (1996) wies einen stets höheren, bei Jungebern, -sauen und Altsauen sogar signifikanten, Bindegewebswert in der rechten Ventrikelwand nach. Die Berechnung des Nichtmyozytenkern-Myozytenkern-Quotienten ergab jedoch lediglich für die Böрге und für die Altsauen ein ähnliches, wenn auch nicht signifikantes Ergebnis.

Die Korrelationsanalyse belegt, daß wesentliche Merkmale der Kapillarisation ganz entscheidend von dem Verhalten der Myozyten im Myokard beeinflußt werden. So besteht ein gesicherter proportionaler Zusammenhang zwischen der Kapillar- und Myozytenanzahl pro Flächeneinheit im Myokard.

Umgekehrt proportional verhalten sich dagegen Myozytenanzahl/ mm^2 zu Myozytengröße, Kapillargröße, ICD und Kapillar-Myozyt-Quotient sowie Kapillaranzahl/ mm^2 zu Myozytengröße, Kapillargröße und ICD,

d.h., je größer die Myozyten im Myokard sind, desto weniger Myozyten und Kapillaren sind pro Flächeneinheit zu messen. Gleichzeitig nimmt die ICD, der Kapillar-Myozyt-Quotient sowie die Kapillargröße zu.

Eber weisen in beiden Altersstufen und in beiden Meßorten die größeren Myozyten und die geringere Myozytenanzahl/ mm² auf. Bei den meisten Vergleichen sind diese Unterschiede signifikant.

Jungeber haben mit 368 µm² in der LV und 303 µm² in der RV gegenüber den gleichaltrigen Sauen mit 310 µm² und 259 µm² für die jeweilige Myokardwand die eindeutig größeren Herzmuskelzellen. Damit folgen diese Werte denen der Körper- und der absoluten Herzmasse. MEWES (1996) stellte einen signifikanten Unterschied zwischen der Körpermasse der Jungeber (122,90 kg) und der Körpermasse der Jungsauen (110,06 kg) fest. Die durchschnittliche absolute Herzmasse der Jungeber waren mit 384,65 g signifikant größer als die der Jungsauen mit 320,20 g. Bei den Jungtieren ermittelte der Autor einen mittleren positiven Korrelationskoeffizienten von $r = 0,534$ für die Abhängigkeit dieser Merkmale voneinander.

Meine Ergebnisse zeigen ebenfalls eine signifikante mittlere positive Korrelation zwischen der Myozytengröße und der Körpermasse. Der Korrelationskoeffizient beträgt bei allen untersuchten Tieren für die RV 0,453** und für die LV 0,572**.

Börge besitzen im Vergleich zu den anderen Jungtieren in der LV die dicksten Herzmuskelzellen und somit auch die geringste Myozytenanzahl/ mm².

Im Myokard von Ebern findet sich stets die kleinere Kapillaranzahl pro Flächeneinheit, verbunden mit den kleineren Kapillargrößen gegenüber den Sauen.

Diese Unterschiede erreichen jedoch keine Signifikanz.

Dagegen ist die ICD bei Jungebern in der LV signifikant größer.

Börge fallen auf Grund ihrer sehr großen Myozyten in der LV mit einer signifikant kleineren Kapillardichte und größeren Kapillaren gegenüber Ebern und Sauen auf.

In der RV bewegen sich die Kapillardichte und das Kapillarkaliber zwischen den beiden Geschlechtern. Analog ist die ICD in der LV signifikant größer und verhält sich in der RV genauso wie die beiden vorherigen Merkmale.

Der Kapillar-Myozyt-Quotient ist bei Ebern jeweils am größten und erreicht zwischen den Alttieren signifikantes Niveau, d.h., daß männliche Tiere eine absolut höhere Kapillaranzahl in ihrem Herzmuskel aufweisen.

Die Verhältniszahlen für Börgen gleichen denen der Jungsauen:

	RV	LV
Börge	0,88	0,95
Jungsau	0,85	0,96

Der kapilläre Flächenanteil ist bei den Ebern geringgradig niedriger als bei Sauen.

Für Börgen bewegt sich der kapilläre Flächenanteil in der LV zwischen denen von Ebern und Sauen. In der RV hat er einen ähnlichen Wert wie der der Jungsauen.

Es ergibt sich folgende Einschätzung der Kapillarisation der Geschlechter:

Eber weisen auf Grund der signifikant höchsten Kapillar-Myozyt-Quotienten die meisten Kapillaren im Myokard auf.

Da die Kapillargröße bei Ebern etwas kleiner als bei den weiblichen Tieren ist, ergibt sich in Verbindung mit der geringfügig kleineren Kapillardichte insgesamt ein geringgradig kleinerer kapillärer Flächenanteil.

Aus der signifikant größeren, absoluten Herzmasse der Jungeber gegenüber den gleichaltrigen Börgen und Sauen ergeben sich größere Myozyten im Ebermyokard. Dies bedingt wiederum ein stärkeres Auseinanderdrängen der Kapillaren, so daß sich eine beachtenswert größere ICD (zwischen Jungeber und Jungsauen in der LV signifikant) trotz höherer absoluter Kapillaranzahl für Eber ergibt.

Die Börgen zeigen folgendes Bild: Auf Grund der in mehreren Merkmalen bestätigten sehr großen Myozyten in der LV (Myozytenanzahl / mm², Myozytengröße direkt und indirekt bestimmt, separate manuelle ICD-Messung) ergibt sich hier ein Kapillarisationsgrad der genau zwischen Eber und Sauen einzustufen ist.

In der RV ist dies mit denen der gleichaltrigen Sauen vergleichbar. Geht man davon aus, daß die Myozytenhypertrophie unklarer Genese in jedem Fall aber eine Abweichung von der Norm darstellt (sie wird weder durch eine erhöhte MLV+ Si-Herzmasse und durch ein erhöhten Ventrikelquotient für Börgen als Ausdruck einer Linksbetontheit des Herzens bestätigt), ergibt sich für Börgen ein annähernd gleicher Kapillarisationsgrad wie bei den weiblichen Altersgenossen.

Meine Ergebnisse zeigen, daß mikroskopisch-anatomische Unterschiede in der Kapillarisation des Myokards vorhanden sind, welche möglicherweise eine günstigere Durchblutung und damit eine bessere Sauerstoff- und Nährstoffversorgung des weiblichen Herzens ermöglichen.

Die Versorgung der Kardiomyozyten mit Sauerstoff und Nährstoffen erfolgt vorwiegend durch Diffusion. Basierend auf diesem Prinzip wird der Sauerstoff- und Nährstofftransport über die Kapillaren in erster Linie durch die ICD bestimmt (SPINALE et al., 1992).

HENQUELL et al. (1977) unterscheiden zwischen einer Minimum ICD (wenn alle vorhandenen Kapillaren mit Blut durchströmt wären) und einer funktionellen ICD (die tatsächlich gerade perfundiert sind), die am schlagenden Herzen zu messen ist. Die Hälfte der Kapillaren in der RV und ein Viertel der Kapillaren in der LV sind im Rattenherzen in Ruhe nicht durchströmt. Diese „funktionelle Reserve“ dient der Adaptation bei Stress und Krankheit. So bleibt die Diffusionsdistanz bei einer Zunahme der Ventrikelmasse bis um 30-40 % annähernd normal. In einem normalen Herzen kann darüber hinaus die ICD um 27 % größer werden bis eine Anoxie im Gewebe auftritt. Bei einer 36 %igen Vergrößerung der ICD ist die Hälfte des umliegenden Gewebes anoxisch. Ist einmal diese kapilläre Reserve erschöpft, kann die Anoxie fokal erreicht werden und trägt schließlich während einer Hypertrophie, über fokale Nekrosen und Fibrosen, zur Entwicklung einer Herzschränkung bei.

Da die männlichen Schweine eine größere ICD aufweisen als Sauen, scheinen sie eher gezwungen zu sein, auf die funktionelle Reserve zurückzugreifen, so daß diese früher erschöpft ist und ein früheres Auftreten von Herzerkrankungen bei männlichen Tieren zu vermuten ist.

HENQUELL et al. (1977) stellten darüber hinaus fest, daß je größer der jeweilige Kapillardurchmesser ist, desto größer der partielle Sauerstoffdruck in dem umliegenden Herzmuskelgewebe ist. Sie schlußfolgerten, daß ein höherer kapillärer Flächenanteil im Myokard eine bessere Adaptationskapazität zur Aufrechterhaltung der Sauerstoff- und Nährstoffversorgung darstellt.

Neben der längeren Diffusionsstrecke für den Sauerstoff und die Nährstoffe aus den Kapillaren zu den Myozyten (größere ICD) ist auch die kapilläre Austauschfläche bei Ebern kleiner als bei weiblichen Schweinen (kleinere Kapillargröße, kleinerer kapillärer Flächenanteil). Diese Meßergebnisse lassen vermuten, daß bei Ebern nicht nur der Weg der lebenserhaltenden Stoffe aus den Kapillaren an die Kardiomyozyten länger ist, sondern auch die Stoffmenge selbst, die im Eberherzen aus den Kapillaren an das umgebende Gewebe diffundiert, geringer ist als bei den weiblichen Tieren.

Die Hypothese, daß eine größere und längere ICD und ein kleinerer kapillärer Flächenanteil ein Nachteil für das betroffene Individuum darstellt, wird gestützt durch Beobachtungen von BERG (1997). Die Autorin untersuchte unter anderem die Kapillarisation des Myokards von Schweinen mit einem normalen Ryanodin-1-Rezeptor (RYR-1), von Schweinen mit einem Rezeptordefekt und Kreuzungstieren. Zwar erfolgte keine Messung der ICD, jedoch wurde die Kapillaranzahl je Flächeneinheit durch sie ermittelt, was Rückschlüsse auf die vermutliche ICD zuläßt. Die Autorin wies nach, daß Schweine mit einem RYR-1-Defekt und die im Bezug auf den RYR-1-Defekt mischerbigen Schweine eine signifikant geringere Kapillaranzahl und damit eine vermutlich höhere ICD aufweisen, als Schweine mit einem intakten Rezeptor, d.h. bei Schweinen, die am Malignen-Hyperthermie-Syndrom erkranken können, ist die kapilläre Austauschfläche verringert. Damit gelangen schon im Zustand der Ruhe weniger Sauerstoff und weniger Nährstoffe an die Kardiomyozyten. Bei Belastung kommt es zu einem starken Mißverhältnis zwischen Sauerstoffangebot und -nachfrage, bedingt durch die geringere Kapillarisation. Der geringere Kapillarisationsgrad stellt somit sowohl im Zustand der Ruhe als auch im Belastungszustand einen erheblichen Nachteil für die Versorgung des Herzens der betroffenen Schweine dar.

Ein wichtiger Parameter für die Menge an Sauerstoff und Nährstoffen, die aus den Kapillaren an die Kardiomyozyten gelangen, ist der Diffusionskoeffizient.

Unter Diffusionskoeffizient versteht man die beim Konzentrationsunterschied 1 je cm in der Sekunde den Querschnitt eines cm^2 passierende Stoffmenge (STEINHARDT, 1983). Der Diffusionskoeffizient ist abhängig von der Feinstruktur und damit der Durchlässigkeit der Kapillarwände. GRIESHABER und LEU (1970) untersuchten den Mechanismus der Hormonwirkung an den kleinen subkutanen Gefäßen, speziell den Venolen und den Kapillaren. Sie prüften die Effekte von Östrogenen sowie einer Kombination von Östrogen und Progesteron im Tierversuch, an genetisch haarlosen, juvenilen, jungfräulichen Mäusen. Sie fanden nach Hormonapplikation eine vermehrte Oberflächengliederung im Bereich der „echten“ Kapillaren. Diese vermehrte Oberflächengliederung des Endothels war besonders durch feine Zellfortsätze gekennzeichnet und dürfte nach Ansicht von PETERSON und GOOD (1962), MOVAT und FERNANDO (1964) und GELKE et al. (1966) mit einer gesteigerten Transporttätigkeit der Endothelzellen zusammenhängen.

Nach Untersuchungen von RONA (1963) fördern Östrogene die Bildung und Polymerisation von Mukopolysacchariden. GRIESHABER und LEU (1970) bestätigen diese Untersuchungsergebnisse. Ihrer Ansicht nach entspricht die durch sie nach der Hormonbehandlung festgestellte Verbreiterung der Basalmembran keiner Schädigung. Vielmehr kommt sie durch vermehrte Einlagerung von Mukopolysacchariden in ihrer Matrix zustande. Vermutlich führt die dadurch hervorgerufene Disproportionierung der Lipoid-Mukopolysaccharid-Anteile, zugunsten letzterer, zu einer Steigerung der hydrophilen Eigenschaften der Basalmembran. Dadurch dürfte es zu einem erhöhten Durchtrittsvermögen von Wasser und wasserlöslichen Substanzen kommen. Als Ausdruck einer Reaktion auf den vermehrten Durchtritt von Substanzen durch die Kapillaren werteten die Autoren die vermehrte Ansammlung von Mastzellen in der Umgebung der Austauschgefäße nach Applikation von Östrogenen und Progesteron. Offensichtlich ermöglichen die weiblichen Sexualhormone, über charakteristische Veränderungen in den Kapillarwänden, eine vermehrte Diffusion von Sauerstoff und Nährstoffen in das umliegende Gewebe. Zusätzlich zu der festgestellten geringeren ICD und dem größeren Kapillardurchmesser, könnte dieser Mechanismus eine bessere Versorgung weiblicher Herzen mit Sauerstoff und Nährstoffen, verglichen mit männlichen Herzen, bewirken.

Jedoch ist nach TUREK und RAKUŠAN (1981) die Diffusion des Sauerstoffs und der Nährstoffe aus den Kapillaren an das umliegende Gewebe neben der ICD, dem Kapillardurchmesser und dem Diffusionskoeffizienten, von einer Reihe anderer Faktoren abhängig. Dazu zählen insbesondere die Sauerstoffkonsumtion, aber auch der arterielle Sauerstoffdruck und –inhalt sowie der Blutfluß zu den Kapillaren.

Die Diskussion hämodynamischer Vorgänge am Herzen ist, neben der Betrachtung morphologischer Parameter, für die Beurteilung der Durchblutung und damit der Versorgung des Herzens von großer Bedeutung.

Nach LINZBACH (1958) wird die Größe des gesunden Herzens vor allem durch das Ausmaß seiner Hohlräume bestimmt. Dennoch sind die großen Herzen auch schwerer als die kleinen.

ISRAEL (1968) untersuchte den Einfluß des absoluten und relativen Herzvolumens auf die Herz-Kreislauf-Dynamik bei untrainierten und trainierten Menschen. Das kardiale Leistungsvermögen und die Herzgröße waren bereits bei untrainierten Personen positiv korreliert. Unter Vita-maxima-Bedingungen zeigte sich, daß das große Herz dem kleinen Herzen klar überlegen ist. Es konnte ein deutlich höheres Schlag- und Minutenvolumen erreicht werden. Dementsprechend waren auch das Sauerstoffaufnahmevermögen und der Sauerstoffpuls höher. ISRAEL (1968) stellte eindeutig fest, daß ein gesundes großes Herz leistungsfähiger ist, als ein gesundes kleines Herz.

Für die gesamte Säugetierreihe gilt das Grundfrequenzgesetz, wonach Herzfrequenz und Herzmasse sich umgekehrt proportional verhalten (ISRAEL, 1968), d.h., mit der proportional zur zunehmenden Herzgröße zunehmenden Herzmasse sinkt die Herzfrequenz. Es kommt zu einer Verlangsamung der Zirkulation und zu einer stärkeren Sauerstoffausschöpfung des Blutes. Die Verlängerung der Herzperiode durch Herzfrequenzsenkung geschieht überwiegend durch die Verlängerung der Diastolendauer. Da die Koronarzirkulation überwiegend diastolisch erfolgt, ist der Blutzufuß zu den Kapillaren verlängert und damit die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung des Myokards verbessert. Gleichzeitig sinken der Sauerstoff- und Energieverbrauch des Herzens selbst durch die Schlagfrequenzsenkung.

Es läßt sich vermuten, daß neben der beschriebenen verbesserten Sauerstoff- und Nährstoffversorgung durch die vermehrte Blutzufuhr zu den Kapillaren, auch einfach mehr Zeit für den Diffusionsvorgang von der Kapillare in das umliegende Gewebe vorhanden ist. So können auch längere Diffusionsdistanzen, auf Grund der größeren Myozyten, unbeschadet überbrückt werden.

Körperoberfläche und Herzgröße korrelieren positiv miteinander.

Männer besitzen in der Regel die größeren Herzen (ISRAEL, 1968).

HOSHINO et al. (1983) fanden eine positive Korrelation zwischen der absoluten Herzmasse und dem Kardiomyozytendurchmesser.

SCHOLZ et al. (1988) und KITZMAN et al. (1988) stellten bei Menschen unterschiedlicher Körperlänge und Körpermasse fest, daß Männer in der Regel größere absolute und relative Herzmassen aufweisen als Frauen. Diese Tatsache sahen sie im unterschiedlichen hormonellen Status und in der unterschiedlichen körperlichen Beanspruchung der Frauen und Männer begründet.

Betrachtet man den Einfluß der Herzgröße auf die Reduktion der Herzfrequenz, ist die relative Herzmasse frequenzbestimmender als die absolute (ISRAEL, 1968).

In meinen Untersuchungen weisen Jungeber, Alteber und Böрге einen relativen Herzmassewert von 0,31 % auf, gegenüber den Jungsauen mit einer relativen Herzmasse von 0,29 % und Altsauen mit einem Wert von 0,28 %.

Lehnt man sich an die Erkenntnisse über die hämodynamischen Prozesse im menschlichen Herzen an und überträgt sie auf das Schweineherz, so müßte man annehmen, daß auch die männlichen Schweineherzen leistungsfähiger sind, als die weiblichen.

Die vorab diskutierten scheinbaren Versorgungsvorteile des weiblichen Herzens auf Grund der festgestellten geringeren ICD, dem größeren kapillären Flächenanteil und der offenbar größeren Durchlässigkeit der Kapillarwände infolge des Östrogeneinflusses, werden unter physiologischen Bedingungen offensichtlich durch hämodynamische Prozesse am Herzen kompensiert.

In der Medizin ist seit langem bekannt, daß ein krankheitsbedingtes unzureichendes Herzminutenvolumen zu einer Tachykardie führen kann, wenn es keine ausreichende Kompensation durch Dilatation oder Hypertrophie erfährt. Eine Tachykardie tritt in der Regel bei einer plötzlichen Steigerung der Anforderungen an das Herz und nur vorübergehend auf. Wenn das Herzminutenvolumen trotz Herzdilatation, -hypertrophie oder andere Mechanismen nicht ausgeglichen wird, entsteht eine Tachykardie häufig schon bei minimaler körperlicher Aktivität. Die Folge dieser Tachykardie ist eine Verkürzung der Diastole mit einer sekundären Verminderung der Kammerfüllung, wenn die Herzfrequenz ansteigt (FRIEDBERG, 1959).

Das bedeutet unter anderem, daß sowohl die Blutzufuhr zu den Kapillaren, als auch die Zeit für den Diffusionsvorgang von Sauerstoff und Nährstoffen aus den Kapillaren in das umliegende Gewebe verkürzt sind.

Es wäre demnach denkbar, daß unter den beschriebenen pathologischen Bedingungen die weiblichen Schweine, mit den von mir festgestellten mikroskopisch-anatomischen Unterschieden in der Kapillarisation des Myokards, gegenüber den männlichen Tieren im Vorteil sind.

Daß das Geschlecht einen Einfluß auf die Kapillarisation des Schweinemyokards hat, konnte durch meine Ergebnisse bestätigt werden. Jedoch scheinen diese Unterschiede hinsichtlich ihres Einflusses auf die Herzversorgung unter physiologischen Bedingungen von geringer Bedeutung zu sein, unter pathologischen Bedingungen jedoch an Bedeutung zu gewinnen.

Rückschlüsse auf das Herz-Kreislauf-Erkrankungsgeschehen bei Mann und Frau können nur sehr vorsichtig gezogen werden. Geht man von der Annahme aus, daß sich im menschlichen Herzen vergleichbare morphologische Verhältnisse finden lassen, so scheinen die festgestellten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Kapillarisation des Myokards jedoch eher nachgeordneter Bedeutung zu sein. Vermutlich werden die Unterschiede im Krankheitsgeschehen der Herz-Kreislauf-Erkrankungen von Männern und Frauen primär durch Östrogen-induzierte Schutzwirkungen an den Koronararterien bestimmt.

Dafür spricht, daß insbesondere die koronare (atherosklerotische) Herzkrankheit bei Männern früher zu finden ist als bei Frauen (FRIEDBERG, 1959). So steigt bei Männern die Infarkthäufigkeit bereits in einem Alter von 40 bis 45 Jahren an, während sie bei Frauen erst im Alter von 55 bis 59 Jahren, also mit Eintritt der Menopause, auffällig wird. Mit höherem Alter nähert sich das Herzinfarkttrisiko der Frauen dem der Männer an (LÖWEL, 1996).

Die Atherosklerose ist gekennzeichnet durch eine Verhärtung und einen Elastizitätsverlust der Arterien sowie durch eine Lumeneinengung. Man geht davon aus, daß als primäre Ursachen sowohl Plasmaveränderungen als auch Wandstörungen gleichwertig am Atheroskleroseprozeß beteiligt sind. Es ist heute wissenschaftlich anerkannt, daß Störungen des Lipid- und Lipoproteinstoffwechsels bei der Atheroskleroseentstehung eine dominierende Rolle spielen (DIEHM und WEISS, 1996).

Der kardioprotektive Nutzen der Östrogene wird in der Medizin seit Jahrzehnten diskutiert. FRIEDBERG (1959) vermutete, daß die östrogenen Hormone die Entwicklung der Atherosklerose durch ihre Wirkung auf die Verteilung oder Natur der Plasmaproteine beeinflussen. Es ließ sich nachweisen, daß gesunde junge Frauen, bei denen ein Koronarverschluß selten ist, eine relativ kleine Menge Beta-Lipoproteid und eine höhere Konzentration von Alpha-Lipoproteid besitzen als junge gesunde Männer. Dieser Geschlechtsunterschied liegt nach der Menopause nicht mehr vor. Ferner ließ sich beobachten, daß die Häufigkeit und Schwere der Koronarsklerose bei Frauen mit beidseitiger Oophorektomie größer war als bei den Kontrollpatientinnen und sich den Gegebenheiten bei Männern gleicher Altersklasse näherte. Umgekehrt war die Häufigkeit und Schwere der Atherosklerose bei Männern, die wegen eines Karzinoms der Prostata mit Östrogen behandelt wurden, viel geringer als bei den Kontrolluntersuchten.

Gegenwärtig wird in der Humanmedizin die Schutzwirkung der Östrogene vor allem bezüglich ihrer Wirkung auf den Lipidhaushalt und das Gefäßendothel zurückgeführt.

Die Östrogene senken das LDL-Cholesterin (WEIZEL, 1998), welches im Rahmen der Hypercholesterinämie eine ursächliche Rolle im Atherosklerosegeschehen spielt. Nach DELIUS (1998) gehört zu den erwünschten Wirkungen einer Östrogensatztherapie bei Frauen nach der Menopause ein verbessertes Lipidprofil. Dennoch schrieb er nur 25-50 % der Reduktion an kardiovaskulären Ereignissen der Lipidsenkung zugute. Die weiteren Untersuchungen zeigten auch eine Verbesserung der endothelabhängigen Vasodilatation.

Das Endothel gilt als „Schaltstelle“ für die kardiovaskulären Erkrankungen (THURO, 1998). Es ist ein endo-, auto- und parakrines Organ, das vasoaktive, wachstums- und matrixmodulierende Substanzen produziert (MENICONI und LÜSCHER, 1998). Unter den antiatherosklerotischen Eigenschaften des Endothels nimmt das von ihm produzierte freie Radikal Stickstoffmonoxid (NO) die führende Rolle ein (DELIUS, 1998). Stickstoffmonoxid bewirkt in der glatten Muskulatur der Gefäße eine Relaxation und entspricht somit der Wirkung einer Nitratgabe. Außer den gefäßrelaxierenden Wirkungen besitzt Stickstoffmonoxid auch antithrombotische, antiinflammatorische, antiproliferative und antiimmigratorische sowie antioxidative Effekte (BURNETT, 1997). Die Wirkung der Östrogene besteht in der Aktivierung der NO-Synthase und damit der Bildung des antiatherosklerotisch wirkenden Stickstoffmonoxids.

Die kardioprotektive Wirkung des weiblichen Sexualhormons Östrogen ist in der Humanmedizin unstrittig. Jedoch wurde bisher vorwiegend seine Schutzwirkung in den Koronargefäßen untersucht und diskutiert. Vergleichbare Studien über die Östrogenwirkung auf die Kapillarisation des menschlichen Herzens sind mir aus dem internationalen Schrifttum nicht bekannt. Dennoch lassen die bereits bekannten Wirkungen der Östrogene auf die Koronargefäße und die von mir ermittelten Ergebnisse folgende Annahme zu:

Auf Grund der kardioprotektiven Wirkung der Östrogene in den Herzkranzgefäßen sind weibliche Individuen, so lange die Östrogenwirkung besteht, besser vor Herz-Kreislauf-Erkrankungen geschützt.

Männlichen Individuen hingegen fehlt dieser Schutz. Sie sind anfälliger für koronare Gefäßkrankheiten, die für sich einen pathologischen Zustand darstellen. Unter pathologischen Bedingungen wirken sich die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Kapillarisation des Myokards, insbesondere die längere ICD, zusätzlich negativ auf die Versorgung des männlichen Herzens aus. Infolge dessen könnte bei männlichen Individuen eine schnellere und vermehrte myokardiale Ischämie auftreten, mit einer initialen Wirkung auf eine Kapillarbildung.

MOHRI und SCHAPER (1993) untersuchten die wenig bekannten Mechanismen der Angiogenese im porcinen ischämischen Herzmuskel. Bereits 72 Stunden nach künstlicher Mikroembolisation eines Teiles der linken Myokardwand konnten sie in den mikronekrotischen Herden selbst, und um diese herum, neue Gefäßformationen beobachten. Das Kapillarendothel zeigte die im normalen Herzmuskel sehr selten vorkommende Mitoseaktivität. Ferner konnte mit immunhistochemischen Verfahren eine proliferative Aktivität (DNA-Synthese) in den Koronararterien, den Arteriolen und den Kapillaren nachgewiesen werden. Die Autoren schlußfolgerten daraus, daß eine zeitliche Beziehung zwischen ischämischem Insult und dem Auftreten einer angiogenen Antwort besteht. Sie stellten die Hypothese auf, daß ein initiales Signal für die Auslösung einer ganzen Kaskade von vaskulären Wachstumsfaktoren wie dem fibroblast growth factor (FGF) von den ischämischen Myozyten ausgehen könnte. Die myokardiale Ischämie selbst ist von vielen Faktoren wie dem Verengungsgrad der Gefäße und der myokardialen Sauerstoffkonsumtion abhängig.

Folgt man dieser These, könnte der von mir bei Ebern ermittelte höhere Kapillar-Myozyt-Quotient, der ein Indiz für eine Kapillarbildung ist, zu der Annahme führen, daß bei männlichen Tieren vermehrte Muskelschädigungen durch eine schlechtere Sauerstoffversorgung als bei weiblichen Tieren vorkommen.

Das unterschiedliche Krankheitsgeschehen bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen des Menschen scheint vor allem in der protektiven Östrogenwirkung an den Koronargefäßen zu bestehen. Jedoch ist auch ein positiver Effekt der Östrogene auf die Kapillarisation des Herzens zu vermuten, der unter pathologischen Bedingungen sichtbar wird.

Zwei Studien, die sog. HERSE-Studie (Heart and Estrogen Progestin Replacement Study) und die Womens Health Initiative, sollen in einigen Jahren mehr Klarheit über das tatsächliche Ausmaß der Schutzwirkung der Östrogene bringen.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden morphometrische Untersuchungen an 80 Herzen von Schweinen der Rassen Piétrain und Hampshire, unterschiedlichen Alters und Geschlechts, in der rechten und linken Ventrikelwand durchgeführt.

Die beiden Rassen unterscheiden sich insbesondere durch einen kleineren Kapillardurchmesser bei den Piétrain-Schweinen, der, verbunden mit einem signifikant kleineren Kapillar-Myozyt-Quotienten, einen kleineren kapillären Flächenanteil für diese Schweinerasse ergibt. Das Myokard der kreislaufstabileren Rasse Piétrain ist demnach schlechter kapillarisiert, und somit schlechter versorgt, als das der kreislaufstabileren Rasse Hampshire.

Der Altersvergleich zeigt deutliche Unterschiede im morphologischen Myokardbau. Alttiere weisen größere Myozytenquerschnittsflächen auf. Das dadurch bedingte Auseinanderdrängen der Kapillaren führt zu einem Abfall der Kapillardichte und zu einem Anstieg der interkapillären Distanz. Mit zunehmenden Alter vergrößert sich der Kapillardurchmesser. Zudem ist bei Alttieren ein größerer Kapillar-Myozyt-Quotient zu finden. Daraus resultiert der tendenzielle Abfall des im Myokard meßbaren kapillären Flächenanteils im Altersgang.

Schwerpunkt der Untersuchungen war die Ermittlung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Kapillarisation des Myokards.

Die signifikant schwereren Jung- und Alteber, die eine höhere absolute und relative Herzmasse besitzen, weisen in beiden Myokardwänden, verglichen mit den Sauen, die größeren Kardiomyozyten auf. Dies bedingt bei den Ebern eine Zunahme der ICD und damit eine Verlängerung des Diffusionsweges für Sauerstoff und Nährstoffe im männlichen Myokard.

Gleichzeitig ist der Kapillar-Myozyt-Quotient bei Ebern signifikant höher als bei den weiblichen Schweinen, was ein Indiz für eine Kapillarzubildung sein könnte.

Meine Ergebnisse bestätigen den Einfluß des Geschlechts auf die Kapillarisation des Schweinemyokards. Hinsichtlich ihres Einflusses auf die Herzversorgung sind die festgestellten Unterschiede unter physiologischen Bedingungen, auf Grund von Kompensationsmechanismen, von wahrscheinlich geringerer Bedeutung. Unter pathologischen Bedingungen scheinen sie jedoch an Bedeutung zu gewinnen und für die weiblichen Tiere gegenüber den männlichen von Vorteil zu sein.

6. Summary

Capillarization of the Porcine Ventricular Myocardium with Special Regard to Sex

In the present thesis, morphometrical examinations have been conducted at 80 porcine hearts in the right and left ventricular myocardium, the animals belonging to the breeds Piétrain and Hampshire and being of different ages and sexes.

The two breeds, in particular, differ by a smaller capillary diameter of the Piétrain swines, which, in connection with a significantly smaller capillary-to-myocyte-ratio, results in a smaller capillary luminal area for this breed of swine. Therefore, the myocardium of the Piétrain, being less resisting concerning the cardiovascular failure, is not as well capillarized, and thus more badly supplied, as the one of the Hampshire, that is more resisting concerning the cardiovascular failure.

The comparison in age shows distinct differences in the morphological structure of the myocardium. Old animals have greater myocyte cross-sectional areas. By this the pushing-apart of the capillaries results in the decline of the capillary density and in an increase of the intercapillary distance.

With increasing age, the capillary diameter extends. In addition, with old animals the capillary-to-myocyte-ratios are greater. From this follows, the tendency towards an incline of the capillary luminal area with increasing age, which is measurable in the myocardium.

The examinations focused on the discovery of sexual-specific differences in the capillarization of the myocardium.

Compared to sows, the significantly heavier young and old boars, having a greater absolute and relative heart volume, show larger cardiomyocytes in both walls of the myocardium. With boars, this results in an increase of the intercapillary distance and, therefore, in lengthening the diffusion path for oxygen and nutrients in the male myocardium.

At the same time, the capillary-to-myocyte-ratio of boars is significantly higher than the one in female swines, this possibly being an indication for a capillary proliferation.

My results confirm the influence of the sex on the capillarization of the porcine myocardium. By reason of compensating mechanisms, the established differences probably are not very important regarding their influences on the supply of the heart under physiological conditions. However, under pathological conditions, they seem to gain in importance and to have a favourable effect on female animals over male ones.