

4. Diskussion

4.1. Methodische Aspekte

Bei der Versuchsplanung wurde besonders darauf geachtet, dass innerhalb der Versuchstiergruppen ein gut definierbares Tiermaterial mit einem einheitlichen Standard zur Verfügung stand. Damit sollte der Forderung nach differenzierbaren Angaben über das verwendete Untersuchungsmaterial in der Herz-Kreislauf-Forschung, für besser auswertbare und vergleichbare Ergebnisse, wie HINRICHS (1991) bei seinen Untersuchungen am Schwein es forderte, Rechnung getragen werden. In jeder Versuchstiergruppe stand mit jeweils 70 Tieren die gleiche Anzahl von Versuchsobjekten zur Verfügung. Bei allen drei Versuchstiergruppen konnten gleiche Haltungs- und Umweltbedingungen für die Versuchstiere über den gesamten Versuchszeitraum (1. - 52. Lebensstag) garantiert werden, um so eine Einflussnahme dieser Bedingungen auf vorkommende Schwankungen bei den Messdaten auszuschließen und so diese Faktoren, die als prädisponierend für das Entstehen bestimmter Herz-Kreislauf-Erkrankungen wirken könnten, einzugrenzen. Die Tiere der MTG 2 erhielten im Gegensatz zu denen der anderen beiden Versuchstiergruppen nur ein energiereicheres Futter.

Bedingt durch die Anwendung der Linienzucht innerhalb der Rassepopulationen können die Tiergruppen auch genetisch als relativ homogen beurteilt werden.

Zusätzlich erfolgte die Festlegung der Schlachtzeitpunkte nach einem einheitlichen Zeitplan und immer zu einer relativ festgesetzten Tageszeit. Die untersuchten Tiere waren so auch bei der Schlachtung gleichaltrig und dadurch war eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse möglich. Gleichzeitig wurde bei allen Tieren die gleiche Tötungsmethode angewendet, um artifiziell bedingte morphologische Veränderungen an den zu untersuchenden Organen zu verhindern.

Organentnahme, alle präparatorischen Arbeiten, Gewinnung von Gewebeproben sowie Wägungen und Messungen wurden ausschließlich vom Autor selbst durchgeführt, um den individuellen Fehler so gering wie möglich zu halten. Hiermit war die von einigen anderen Autoren geforderte Reproduzierbarkeit und einheitliche Bewertung der Untersuchungen erfüllt (PEHLEMANN 1986, HAUSMANN 1989, MAUCH 1992). Alle Wägungen und Messungen an Herz und Lunge wurden immer zum gleichen Zeitpunkt nach der Schlachtung in unfixiertem Zustand vorgenommen. Eine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch autolytische Prozesse konnte somit auf ein Minimum reduziert werden. Der etwa gleiche zeitliche Abstand war von Bedeutung, um beide Organe in der gleichen Phase nach der Totenstarre zu untersuchen, denn sie verändert die Größendimension des Herzens und kann nicht vorzeitig gelöst werden (ECKNER et al. 1969, WULF 1995).

Bei der Besprechung der Messergebnisse muss davon ausgegangen werden, dass auf Grund der Vielzahl der Einzelmerkmale, die bei einem Versuchstier gemessen wurden, und dem Fehlen eines Hauptmerkmals, auf das sich eine verallgemeinernde statistische Aussage bezieht, eine Sicherung der Ergebnisse im Sinne eines statistischen Tests nicht

gewährleistet war. Die Auswertung der Messergebnisse hatte mehr einen beschreibenden und explorativen Charakter mit dem Ziel, die Struktur des vorliegenden Datenmaterials so zu beschreiben und zu beurteilen, dass morphologisch relevante Differenzen zwischen den drei Versuchstiergruppen sichtbar werden und so ihren möglichen Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System sowie sich daraus ergebende Beziehungen zu bestimmten Krankheiten und pathologischen Veränderungen zu bestimmen. Um graphisch erkennbare Strukturen im Datenmaterial besser charakterisieren zu können, wurden Kovarianzanalysen mit besonderer Berücksichtigung der einzelnen Versuchstiergruppen, ihrem Altersverlauf und der Wechselwirkung zwischen diesen beiden Einflussgrößen durchgeführt. Damit erfolgt eine Charakterisierung der Variabilität eines Parameters unter der Einflussnahme der drei genannten Effekte. Im Rahmen der beschreibenden und explorativen Auswertung konnten dann erkennbare, auffällige oder signifikante Effekte (im Sinne der explorativen Statistik) mit Hilfe einer Überschreitungswahrscheinlichkeit ($p < 0,05$) ermittelt werden.

Zusätzlich zur quantitativen Beschreibung der Strukturen wurden für jedes Merkmal die Regressionsgeraden in Abhängigkeit vom Alter für jede Versuchstiergruppe berechnet, um den Niveauunterschied und das Ausmaß der Wertänderung mit dem Alter im Gruppenvergleich darzustellen. Die in dieser Arbeit benutzte einfache lineare Regression beschreibt nach Meinung von ROGERS et al. (1987) oftmals aber nicht adäquat alle Veränderungen, die während einer Wachstumsperiode auftreten können. Auf Grund des geringen Stichprobenumfanges pro Schlachttag und Versuchstiergruppe wurde dennoch die lineare Regression genutzt und auf Zugrundelegung eines komplizierteren Modells verzichtet. Hinweise auf Nicht-Linearität des Verlaufes konnten die durchgängig angefertigten graphischen Darstellungen der Regressionsgeraden und Einzelwerte geben.

Da bei den untersuchten Wachstumsprozessen in den drei Versuchstiergruppen keine linearen Beziehungen zwischen den einzelnen untersuchten metrischen Merkmalen sowie dieser zu ermittelten Quotienten und Verhältnissen vorausgesetzt werden konnten, wurde als quantifizierender Index zur Beschreibung der Stärke des Zusammenhangs der Rangkorrelationskoeffizient r_s von SPEARMAN (zitiert nach LORENZ 1996) genutzt, denn er setzt keine linearen Beziehungen zwischen den Merkmalen voraus und misst so nur die Stärke des monotonen Zusammenhanges. Mit den von SCHLITTGEN (1996) vorgeschlagenen Grenzen für die Korrelationen (schwach, mittel, stark) waren die Zusammenhänge besser erkenn- und feststellbar und im Nachhinein zu interpretieren.

4.2. Makroskopische Ergebnisse

4.2.1. Körpermasseentwicklung

Der Vergleich der Körpermasseentwicklung ergab über den gesamten Versuchszeitraum (1. - 52. Lebenstag) einen tendenziell unterschiedlichen Verlauf zwischen den drei Versuchstiergruppen. Bei den eigenen Untersuchungen erwies es sich dabei von Vorteil,

dass die Versuchstiere mit einem durchschnittlichem Anfangsgewicht von etwa 38 g sowohl bei der Legetiergruppe als auch bei den beiden Masttiergruppen starteten. Im Untersuchungszeitraum konnte bei allen drei Versuchstiergruppen ein steter Anstieg der Körpermasse gemessen werden. Dabei ergaben sich für die MTG 2 die größten Körpermassезunahmen im Vergleich zur MTG 1 und LTG. Ab dem 10. Lebenstag war dieser deutlichere Massezuwachs bei der MTG 2 zu erkennen, während ein Unterschied im Massezuwachs zwischen der MTG 1 und der LTG erst ab ungefähr dem 31. - 35. Lebenstag ersichtlich war. Am Ende des Versuchszeitraumes erreichten die Tiere der MTG 1 ein Endgewicht, das ungefähr doppelt so hoch war wie das der LTG. Die Endgewichte der MTG 2 dagegen lagen noch einmal um fast das Zweieinhalbfache über dem der MTG 1. Die MTG 2 wies somit die größte Wachstumsgeschwindigkeit auf (siehe Kap. 3.2.1.1., Seite 67).

Durch die **Selektion auf Massezunahme** besteht neben unerwünschten Zuchteffekten auch immer die Wahrscheinlichkeit des Auftretens leistungsabhängiger Gesundheitsstörungen (BERGMANN 1992c u. 1994). Eine jede Spezialisierung auf spezielle Nutzleistungen kann zu einer Verschiebung komplex abgestimmter Lebensprozesse des Organismus führen. In der Intensivproduktion mit schnellwachsenden Linien treten so am Skelett und an der Skelettmuskulatur vermehrt Krankheitsbilder auf, wobei gleichzeitig die Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems eine immer größere Rolle spielen. Schnelles Muskelwachstum muss durch entsprechende Entwicklung des Skeletts und ein leistungsfähigeres Herz-Kreislauf-System unterstützt werden. Die Leistungssteigerungen bedeuten in diesem Sinne aber immer auch höhere Anforderungen an die StoffwechsellLeistungen der Tiere, wodurch es zu Disproportionen, Entgleisungen und erhöhten Verlustraten kommen kann (FLOCK 2000).

Die Arbeiten verschiedener Autoren berücksichtigten bei ihren systematisch morphologischen Untersuchungen am Herz-Kreislauf-System des Schweins daher regelmäßig das Merkmal Körpermasse (UNSHELM 1971, HAUSMANN 1989, MAUCH 1992, HINRICHS 1992, MÖLLER 1994). BERG et al. (1991) meinen, dass der Körpermasse in der Herz-Kreislauf-Forschung mehr Beachtung geschenkt werden müsste.

Bei Untersuchungen zum Herz-Kreislauf-Versagen des Huhnes stellte GRASHORN (1994) in der Regel keine Unterschiede zwischen den Gewichten der Herztoten und den Durchschnittsgewichten aller Tiere fest, während die Tiere, die an SDS verendeten, im Versuch von ONONIWU et al. (1979b) durchschnittlich schwerer waren als der Herdendurchschnitt. Bei Aszitestieren stellten JULIAN et al. (1987a) zu Beginn ein höheres Körpergewicht als bei gleichaltrigen gesunden Kontrolltieren fest. Mit dem Fortschreiten der Erkrankung kam es bei den betroffenen Tieren zum Sistieren des Wachstums und somit hatten die erkrankten Tiere am Schluss ein geringeres Gewicht als ihre Herdenmitglieder (LOHR 1975, MAXWELL et al. 1986a, WILSON et al. 1988, VAN HOFE 1992, JULIAN 1987a, 1990, 1993 u. 2001a).

Bei weiteren Untersuchungen sollte bei der Auswahl des Tiermaterials immer die Linie, das Alter und die Aufzuchtbedingungen der Tiere Berücksichtigung finden. Von Interesse wäre dabei ebenfalls, ob sich in der Phase des vermehrten Auftretens von Sudden Death Syndrome und Aszites Syndrom auch die Wachstumsgeschwindigkeit erhöht hatte. Auf Grund der begrenzten Tierzahl pro Schlachttag wurde auf eine geschlechtsspezifische Trennung des Datenmaterials verzichtet. Ein häufigeres Vorkommen von SDS (NEWBERRY et al. 1985, MERK 1986, GÜNTHER et al. 1988, BOWES et al. 1988, BOWES u. JULIAN 1988, BERGMANN et al. 1988, GARDINER et al. 1988a u. b, CAMPBELL u. CLASSEN 1989, SQUIRES u. SUMMERS 1993, REINER et al. 1995, OLKOWSKI u. CLASSEN 1998a, CRESPO u. SHIVAPRASAD 2003) und Aszites (JACKSON et al. 1972, SILLAU et al. 1980, LOPEZ-COELLO et al. 1982 u. 1985, MAXWELL et al. 1986b, FRITZ-COY u. HARTE-DENNIS 1988, PEACOCK et al. 1990, VAN HOFE 1992, DECUYPERE et al. 2000, SATO et al. 2002) bei männlichen Broilern kann aber anhand der Literatur nachgewiesen werden. Als möglicher Grund wird die höhere Wachstumsrate bei männlichen Tieren angesehen, die demzufolge für diese Krankheiten eine Prädisposition darstellen kann. PANNWITZ (1997) wies dies mit seinen Untersuchungen auch für Puten nach.

4.2.2. Herzentwicklung

4.2.2.1. Herzwachstum sowie absolute und relative Masse des Herzens als auch seiner einzelnen Bestandteile

Über die verwertbare Beurteilung von Organmassen nach Aufbewahrung unter der Berücksichtigung postmortaler Veränderungen gaben ZSCHUCH u. WUNDERLICH (1969) einige **methodische Hinweise**. Im Zeitraum von der Sektion bis zum 5. Tag danach stellten sie einen Masseverlust an den untersuchten Herzen von 6,2 % fest, wobei dieser Verlust bis zum 1. Tag nach der Sektion mit 2,6 % am höchsten war. Die Autoren waren der Meinung, dass es durchaus zulässig wäre, die Organmassen auch Stunden oder mehrere Tage nach der Obduktion zu bestimmen und sich daraus ergebende Schlussfolgerungen zu ziehen.

Eine enge Abhängigkeit beschrieb ZAK (1964) zwischen absoluter Herzmasse und Körpermasse, da das vom Herzen gepumpte Blut den gesamten Körper versorgt. Auf Grund der Tatsache, dass die **Wachstumsrate** α eines Organs nicht immer mit der des gesamten Organismus korrespondiert, empfiehlt der Autor die Analyse durch die hallometrische Formel $y = b \cdot x^\alpha$. Beim Vergleich der Wachstumsrate α anhand dieser Formel in der vorliegenden Untersuchung ergaben sich für alle drei Versuchstiergruppen positive Steigungen und zwischen ihnen nur ein tendenzieller Größenunterschied. Hierbei erreicht die MTG 2 den höchsten und die LTG den kleinsten α -Wert. Die Erläuterung des Exponenten α der allometrischen Formel nahm RAKUSAN (1984) in folgender Form vor: Bewegt sich der α -Wert nahe 1, so entspricht das Wachstum des

Herzens weitgehend dem des gesamten Körpers, während ein α -Wert kleiner als 1 eine Wachstumsrate des Organs widerspiegelt, die kleiner ist als die der Körpermasse. In der frühen Wachstumsphase war die lineare Beziehung zwischen dem Logarithmus der Herzmasse und der Körpermasse von besonderer Bedeutung, da sie einen relativ großen Abschnitt auf der logarithmierten Skala einnahm. BRUSH (1966) betrachtete den Logarithmus der Herzmasse gegen den der Körpermasse für mehrere Spezies. Dabei stellte er für Vögel, die mehr als 100 g wogen, eine Neigung der Regressionslinie von über 1 und für solche, die weniger als 100 g wogen, eine Neigung von über 0,6 fest. Anhand dieser Gegenüberstellung des Herzwachstums bei unterschiedlichen Gewichten der Vögel wäre ein Unterschied bei der Herzwachstumsrate der drei Versuchstiergruppen anzunehmen. Der tendenziell ähnliche α -Wert in der MTG 2, der MTG 1 und der LTG sprach aber für ein vergleichbares Herzwachstum bei einer zunehmenden Körpermasseentwicklung (siehe Kap. 3.2.1.2.1.3., Seite 77/78).

Eine genaue Untersuchung der Herzwachstumsrate α bei den verschiedenen Broilermastlinien gäbe bei der Erforschung der Herz-Kreislauf-Erkrankungen des Mastgeflügels bis hin zu den Zeiträumen des gehäuften Auftretens der speziellen Erkrankungen weitere wichtige Informationen über die Leistungsfähigkeit und die Anpassungsfähigkeit des Herzens.

Die Tiere der MTG 2 wiesen im Verlauf des Herzwachstums gegenüber denen der MTG 1 und der LTG höhere **absolute Herzmassen** auf. Während des gesamten Versuchsablaufes nahmen bei allen drei Versuchstiergruppen die absoluten Massen stetig zu. Erkennbare Unterschiede bei der absoluten Herzmasse zwischen der MTG 2 und der MTG 1 sowie der LTG waren wie bei der Körpermassenentwicklung ab dem 10. Lebenstag festzustellen. Das gleiche galt für einen erkennbaren Herzmasseunterschied zwischen der MTG 1 und der LTG, der ab dem 31. - 35. Lebenstag (wie bei der Körpermassenentwicklung) zu ermitteln war (siehe Kap. 3.2.1.2.1.1., Seite 68 - 71).

Ähnliche Tendenzen wie bei der absoluten Herzmasse waren in den drei Versuchstiergruppen auch bei den **absoluten Massen der einzelnen Herzbestandteile** zu finden. Um steigenden Anforderungen eines wachsenden Organismus gerecht zu werden, wächst auch das Herz bei zunehmender Körpermasse mit. Große Herzen besitzen dabei ein höheres Schlagvolumen, sind damit leistungsfähiger und können den Anforderungen des Herz-Kreislauf-Systems besser gerecht werden (UNSHLM 1971). Bei den Untersuchungen von Schweineherzen stellten MAUCH (1992) und HINRICHS (1992) bei stall- und transporttoten Tieren gegenüber Tieren der Normalschlachtung schwerere Herzen fest, das sie mit einer möglichen Rechtsherzhypertrophie bei diesen verendeten Tieren erklärten. Die Zucht auf große, leistungsfähigere Herzen in der Schweineproduktion muss nach Meinung von BERG u. HAUSMANN (1991) gewissen Einschränkungen unterworfen sein, welche auch in diesem Sinne nach Meinung des Verfassers im Mastgeflügelbereich für weitere Zuchtfortschritte gelten muss. Beide Autoren verweisen darauf, dass die Erhöhung der Herzmasse nicht uneingeschränkt zur Stabilitätssteigerung des Herz-Kreislauf-Systems der Schweine führen müsse, insofern

können also auch Parallelen beim Geflügel auftreten. Bei der Selektion der Tiere handelt es sich in erster Linie um größere, aber physiologisch proportionierte Herzen. Eine Rassen- und Linienunterscheidung sollte deshalb bei der Erfassung der absoluten Herzmasse immer mit einbezogen werden. Bei der Ermittlung und Darstellung morphologischer Herzdaten verschiedener Schweinerassen wurden rassebedingte Differenzen deutlich, die vielfach auch einen Bezug zur Fleischleistung und Kreislaufstabilität der jeweiligen Rasse erkennen ließen. SEIFERT et al. (1986) ermittelten z. B. bei ihren Untersuchungen zur absoluten Herzmasse bei Schweinen aus verschiedenen Rassepopulationen bei fleischwüchsigen Rassen signifikant kleinere Herzen. Bei hohen Anforderungen führen diese kleineren Herzen schnell zu einer Insuffizienz des Herz-Kreislauf-Systems (GRÄFE et al. 1990). HAUSMANN (1989) und MAUCH (1992) sehen einen engen Zusammenhang von absoluter Herzmasse und funktioneller Leistungsfähigkeit (Schlagvolumen) dieses Organs.

Neben der absoluten Herzmasse dient auch die **relative Herzmasse** als Kriterium für die Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Herzens. Bezüglich der disproportionalen Entwicklung von Körpermasse und Herzmasse eignet sich die relative Herzmasse besser zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit eines Herz-Kreislauf-Systems (MAUCH 1992) als die absolute. Bei den durchgeführten Untersuchungen lag die relative Herzmasse der MTG 2 signifikant über der der MTG 1 und der der LTG.

In einer hohen relativen Herzmasse sahen SCHEELE et al. (2003b) einen Indikator für die Aszitesanfälligkeit. Bei allen drei Versuchstiergruppen verminderte sich die relative Herzmasse mit steigendem Alter und wies dazu noch eine annähernd gleiche negative Steigungstendenz auf. Eine Annahme gleicher Streuverhältnisse im Altersgang und in den drei Versuchstiergruppen konnte nicht nachgewiesen werden. Auch ein linearer Verlauf der relativen Herzmasse im Versuchszeitraum war auszuschließen. Tendenziell war bei der MTG 2 in der Diagrammdarstellung ein zuerst leicht ansteigender und dann abfallender Verlauf der Messwerte hauptsächlich in der 2. - 5. Lebenswoche ersichtlich, während sich bei der LTG in dieser Zeit ein umgekehrtes Verlaufsmuster andeutete (siehe Kap. 3.2.1.2.1.2. a, Seite 72). In der Untersuchung von STEPHAN (1993) an Mast- und Legehybriden war übereinstimmend auch stets eine Abnahme des Herzanteils mit steigendem Alter nachzuweisen. Im Gegensatz dazu stellte er aber ab der 2./3.

Lebenswoche einen offenkundig signifikant verringerten Herzanteil im Verhältnis zur Körpermasse bei den Mast- gegenüber den Legehybriden fest. Dies interpretierte STEPHAN (1993) als eine nicht ausreichende Kreislaufleistung in Verbindung mit einer mangelhaften Sauerstoffversorgung des gesamten Organismus. BOWES und JULIAN (1988) stellten anhand ihrer Ergebnisse keinen signifikanten Unterschied im prozentualen Herzanteil zwischen SDS-Broilern und Kontrolltieren fest und widersprechen so der Interpretation von STEPHAN (1993). Es muss aber davon ausgegangen werden, dass bei der Untersuchung von STEPHAN (1993) ausschließlich die Herzanteile zweier divergierender Genotypen verglichen wurden und deshalb die getroffene Annahme einer Sauerstoffunterversorgung als Folge eines geringeren relativen Herzgewichtes nicht

vollkommen von der Hand zu weisen ist. Werden die Nutzungsrichtungen von Gallus domesticus verglichen, so ergeben sich nicht durchgängig kleinere relative Herzmassen bei den Masthähnchen gegenüber den Leghornküken (PANNWITZ 1997). Auffällig ist im Versuch von STEPHAN (1993) und in den der Arbeit zugrunde liegenden Versuchen, dass die einzelnen relativen Herzmassen der Mastküken (im durchgeführten Versuch = MTG 2) bis zum Ende der 3. Lebenswoche etwas über den Werten der Legetiergruppe lagen und sich zusätzlich in dieser Zeit dabei ein tendenzieller Anstieg offenbarte, um danach abzufallen.

Zum genannten Zeitpunkt könnte sich die relative Wachstumsgeschwindigkeit des Herzens ändern, während sich die Wachstumsgeschwindigkeit der Muskulatur noch weiter erhöht. Dadurch kommt es zum Sinken der relativen Herzmasse (SALOMON 1993b). Diese Tendenz könnte aufzeigen, dass in den ersten 2 - 3 Lebenswochen bei den Masttieren ein höherer Herzanteil vorhanden ist, der sich dann durch einen stetig wachsenden Skelettmuskelanteil stark verringert. Der Unterschied in der Entwicklung der relativen Herzmasse zwischen STEPHAN (1993) und dem durchgeführten Versuch in der 2./3. Lebenswoche könnte durch die Verwendung genetisch unterschiedlicher Mastlinien sowie anderer Haltungs- und Fütterungsbedingungen erklärt werden. Auf Grund der Ergebnisse wird offenkundig, dass sich Unterschiede beim Herzwachstum innerhalb der verschiedenen Mastlinien ergeben können, die durch weitere Untersuchungen unter vergleichbaren Bedingungen bestätigt werden müssten.

Geringere relative Herzmassen zeigen an, dass das Herz für die erwarteten Leistungen ungünstigere Voraussetzungen mitbringt. Ein unterschiedliches Herzwachstum und sich damit auch ergebende Herzgrößenunterschiede zwischen den einzelnen Mastlinien könnten zu Unterschieden in der Leistungsfähigkeit und der Adaptationsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems führen.

Besonders fleischbetonte Schweinerassen haben gegenüber kreislaufstabileren und stressresistenteren Rassen die relativ kleineren Herzen (MEWES 1996). Bestätigt wurde dies auch durch DRAPER et al. (1990), die beim Vergleich zwischen stresspositiven und stressnegativen Schweinen bei den erstgenannten die signifikant kleineren Herzen feststellten.

Eine Ausschöpfung der Wachstumskapazität bei Broilern und sich unterschiedlich entwickelnde Verhältnisse von Herz- zu Körpermasse könnten somit Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System haben. STEPHAN (1993) stellte in seinem Versuch an den Masthybriden mit den kleineren Herzen gegenüber den Legehybriden vermehrt Myokardveränderungen fest, die bei den Legehybriden nicht auftraten.

Dies lässt eine gewisse Parallelität zu den Untersuchungen von GRÄFE (1986) und GRÄFE et al. (1990) erkennen, die an kleineren Schweineherzen (mit geringerer absoluter Herzmasse) und an Herzen von fleischbetonten sowie stressempfindlichen Schweinepopulationen eine signifikant höhere Frequenz von Myokardschäden beobachteten als an weniger empfindlicheren Tieren. Masthühnerküken neigen auf Grund ihrer Nutzungsrichtung unter Belastungszuständen schnell zu pulmonalem Hochdruck mit

Rechtshypertrophie, wobei ihr kleineres relatives Lungenvolumen und ihre eingeschränkte Lungenkapazität von Bedeutung sind, während Leghornküken vergleichbare Belastungen gut kompensieren (JULIAN 1989, MIRSALIMI et al. 1993a, SCHEELE et al. 2003b, HASSANZADEH et al. 2005). Somit ergibt sich bei Mastküken eine angedeutete Herzinsuffizienz unter Kreislaufbelastungen.

Ein weiterer Nachteil ergibt sich für das Herz-Kreislauf-System der Tiere der Mastrichtung gegenüber denen der Legerichtung daraus, dass bei den Legetieren ein mittleres Blutvolumen von ca. 7% (SALOMON 1993b) und bei den Masttieren von ca. 3% (RAJ u. GREGORY 1991) angegeben wird. Damit haben die Masttiere im Gegensatz zu den Legetieren einen **relativ verkleinerten Blutgehalt**. Mit diesem verkleinerten Blutgehalt muss der Broiler die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung der Organe und des ganzen Körpers gewährleisten, was bei erhöhten Stoffwechselraten, größeren zu versorgenden Muskelmassen und zusätzlichem Stress eine schnellere Ausschöpfung von Reservekapazitäten des Herz-Kreislauf-Systems bedeutet. Somit ist die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Zustände verringert.

BICKHARDT (1992) sieht dagegen die beim Schwein häufig vorkommende akute Herzinsuffizienz weniger auf der kleinen relativen Herzmasse als vielmehr auf der übergroßen relativen Masse von schlecht durchbluteter Skelettmuskulatur beruhend. Bei genetisch disponierten Rassen verursacht diese in Belastungssituationen eine generalisierte Laktazidose. Insgesamt gesehen kann jedoch nicht simplifiziert festgestellt werden, dass die Herz-Kreislauf-Anfälligkeit der Masttiere auf ein „zu kleines Herz“ bzw. eine Verminderung der relativen Herzmasse zurückzuführen ist, wie dies etwa beim Schwein vorzuliegen scheint.

Neben der allgemeinen Betrachtung der relativen Herzmasse spielt auch eine **Ausgewogenheit der einzelnen Herzbestandteile** zueinander im Verlauf des Herzwachstums und somit bei der allgemeinen Anpassung des Herzens an den Gesamtorganismus, das Leistungsniveau und die allgemeine Belastung durch die Umwelt eine Rolle. Für alle einzelnen Herzbestandteile war im Altersgang des Versuches eine Verringerung des prozentualen Anteils an der Körpermasse zu beobachten. Nur für die rel. MRHV und die rel. MSi ergibt sich in allen drei Versuchstiergruppen eine Linearität im Verlauf über die gesamte Zeitspanne des Versuches. Bei allen anderen einzelnen Herzbestandteilen konnte diese Linearität im Altersgang ausgeschlossen werden. Tendenziell fanden sich bei den relativen Massen der Herzbasis, des linken Herzventrikel und der linken Herzventrikelwand ähnlich vorhandene Größenunterschiede zwischen den drei Versuchstiergruppen. Die MTG 2 hatte signifikant die größeren relativen Massen bei den genannten einzelnen Herzbestandteilen gegenüber der MTG 1 und der LTG aufzuweisen.

Für die **rel. MHB** bei Broilern ermittelten WILSON et al. (1988) einen Wert von 0,1%. Dieser Wert verdreifachte sich etwa bei Rechtshypertrophie. Im Mittel lagen alle drei Gruppen des Versuches am Versuchsanfang über 0,1%, während sich zum Ende hin die beiden Masttiergruppen diesem Wert näherten und die LTG einen sogar noch kleineren

prozentualen Wert einnahm. Die rel. MHB war bei der MTG 2 signifikant am größten, gefolgt von der MTG 1 und der LTG (siehe Kap. 3.2.1.2.1.2. b, Seite 73). Dieser erfasste Unterschied bei der Herzbasis zeigte, dass es bezüglich der Masse zwischen den drei Versuchstiergruppen tendenzielle Differenzen gab, die möglicherweise als morphologische Reaktion auf veränderte Leistungsanforderungen aufgefasst werden konnten. Die Bedeutung der hauptsächlich passiven Rolle der Vorkammern als kurzzeitig agierende, dehnbare Blutbehälter steigt dabei mit der Kraft, die nötig ist, um dem stetigen venösen Zufluss kurz vor der Kammerkontraktion einen zusätzlichen Impuls zu verleihen, um so eine aktivere Rolle bei der Füllung der Herzkammern vor der Kammer systole zu übernehmen (WULF 1995). Der größte Teil der Füllung der Herzkammern erfolgt im Ruhezustand vor allem durch die passiven Mechanismen. Bei erhöhter, verstärkter Arbeitsleistung des Herzens, die in Verbindung mit einer Steigerung der Herzfrequenz steht, erhält die aktive Füllung durch die Vorkammersystole eine zunehmende Bedeutung (KOLB 1989). Somit wiesen Herzen mit einer absolut und relativ schweren Herzbasis bei den durchgeführten Betrachtungen durch ihre großen funktionellen Massen auf Belastungssteigerungen hin und waren sowohl für ihre passive Hauptfunktion, als auch für den aktiven Teil besser eingerichtet. Bei einem nach dem Schlupf stattgefundenen Wachstumsprozess, der bei der anzunehmenden Herzmuskelfaserkonstanz stattfindet, wäre eine erhöhte Masse auf Grund von steigender Belastung durch eine Hypertrophie der Kardiomyozyten sowie eine aus mitotischer Teilung der Bindegewebszellen resultierende zahlenmäßige Zunahme der kollagenen Fasern zu begründen (WULF 1995). Bei weiteren Untersuchungen wäre dabei ein Augenmerk auf mögliche Gefügeveränderungen in der Vorkammermuskulatur und sich daraus ergebende Einschränkungen in der Leistungsfähigkeit zu beachten.

DRAPER et al. (1990) ermittelten für stresspositive Schweine gegenüber stressnegativen Tieren signifikant leichtere Vorkammerstrukturen. Auch bei Schweinen, die an akutem Herz-Kreislauf-Versagen verendeten, ergaben sich gegenüber normalgeschlachteten Tieren ähnliche Massedifferenzen (MÖLLER 1994). Eine Mehrzahl anderer Untersuchungen stellten eine geringgradig höhere Herzbasismasse für stall- und transporttote Schweine im Vergleich zu normalgeschlachteten Tieren fest (PEHLEMANN 1986, HAUSMANN 1989, WULF 1995).

Für weitere Untersuchungen ist eine Vereinheitlichung der Präparationstechnik der Vorkammerstrukturen, speziell bei der Abtrennung der großen Gefäße besonders an ihren Abgangs- und Einmündungsstellen nötig, um einen direkten Vergleich der Ergebnisse und so genauere Messungen zur Bestimmung der Masse der Herzbasis zu ermöglichen. Neben der Masse der Vorkammerstrukturen sollten weiterhin das Volumen der Vorkammern und die strukturellen Eigenschaften der Vorkammerwände bei der Beurteilung und Wertung der Kreislaufrelevanz berücksichtigt werden. Bei den Vögeln ist die rechte Vorkammer gewöhnlich etwas größer und hat eine dünnere Wandmuskulatur als die linke (SALOMON 1993b). Infolge einer Steigerung der Herzfrequenz in den ersten Lebenswochen und einer gleichzeitig zunehmenden Druckbelastung im Lungenkreislauf

ist eine morphologische Anpassung des rechten Vorhofes an erhöhte Leistungsanforderungen möglich. Unter diesen Bedingungen wird eine verstärkte Vorhofkontraktion benötigt, um zur Füllung des rechten Ventrikels beitragen zu können. Die höhere Masse der Herzbasis kann somit zum größten Teil auf eine Verstärkung der rechten Herzvorkammer zurückzuführen sein. Veränderungen der makroskopisch-anatomischen Strukturen entstehen so nach akuten und chronischen Druck- sowie Volumenbelastungen. Das Herz kompensiert hohe Belastungen durch Hypertrophie oder Dilatation (LINZBACH 1976). Hypertrophie ist als ein Adaptationsprozess anzusehen, der zur Größen- und Massezunahme des Herzens führt, wobei entweder das ganze Herz gleichmäßig betroffen ist oder nur einzelne Teile eine Veränderung erfahren (DAHME u. WEISS 1988).

Für die **rel. MRHV** existierten zwischen den drei Versuchstiergruppen im Mittel signifikante Unterschiede, wobei der Mittelwert der MTG 2 am größten war und für die MTG 1 sowie die LTG ein annähernd gleichgroßer kleinerer Wert ermittelt worden war. Auffällig war aber, dass die MTG 1 und die LTG auch eine nahezu identische negative Steigung im Altersgang hatten, während die **rel. MRHV** der MTG 2 einen stärkeren und damit einen steileren Abfall im Versuchszeitraum aufwies. Alle drei Versuchstiergruppen zeigten dabei einen nahezu linearen Verlauf im Altersgang (siehe Kap. 3.2.1.2.1.2. c, Seite 74). Dies könnte ein Hinweis auf verstärkte Belastung des rechten Ventrikels bei der MTG 2 sein, der zuerst durch Massezuwachs (Hypertrophie) kompensiert wird und dann die Grenzen der Kompensationsfähigkeit aufzeigt. Anhand der Werteentwicklung der MTG 2 war so eine sich abzeichnende Insuffizienz des rechten Ventrikels durch die sich zeigende schnellere relative Masseabnahme anzunehmen.

Bei der **rel. MLHVW** waren zu Anfang auch signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den drei Versuchstiergruppen erkennbar. Hierbei lagen die Mittelwerte der MTG 1 und 2 (beide waren nahezu gleich groß) höher als die der LTG. Die Masttiere hatten so anfänglich im Vergleich zu den Legetieren eine stärkere Masseentwicklung bei der **rel. MLHVW** durch eine höhere Belastung im großen Kreislauf. Alle drei Versuchstiergruppen wiesen fast identische Abnahmen im Altersgang auf, die aber tendenziell nicht linear verliefen. Bei den Masttieren führte die Belastungssituation im großen Kreislauf so anfangs zu einem begrenzten Anstieg mit anschließendem Abfall der **rel. MLHVW**, was auf eine begrenzte Kompensationsreaktion hindeutet (siehe Kap. 3.2.1.2.1.2. e, Seite 76).

Die größten Mittelwerte für die **rel. MSi** fanden sich bei der MTG 2 und die kleinsten bei der LTG. Alle drei Versuchstiergruppen zeigten mit dem Alter eine fast übereinstimmende negative Steigung, die nahezu linear verlief (siehe Kap. 3.2.1.2.1.2. f, Seite 77). Damit ergab sich bei der Entwicklung der relativen Massen ein vermeintlich engerer Zusammenhang zwischen dem rechten Herzventrikel und dem Septum interventriculare als zwischen linker Herzventrikelwand und Septum interventriculare bei der MTG 2, der auf die erhöhte Belastungssituation (Druckarbeit) im Lungenkreislauf zurückzuführen sein könnte. Für die Zuordnung des Septum interventriculare zu einer der beiden Herzventrikel

gibt es unterschiedliche Argumente. Einmal zählt das Septum aus praktisch-anatomischer (Präparierbarkeit und künstliche Trennung) und theoretischer (Abhängigkeit) Sicht zum linken Herzventrikel dazu (RUDELDT 1992), während korrelative Untersuchungen aber auch ein anderes Bild ergeben. Dort zeigen die beiden Bestandteile des linken Herzventrikels meist einen engeren Zusammenhang mit anderen Herz- und Organdaten als der gesamte linke Herzventrikel (HAMANN 1990). Vor allem korreliert dort das Septum deutlich stärker mit dem rechten als mit dem linken Herzventrikel. Das Masseverhältnis zwischen rechter Herzventrikelwand und Septum interventriculare lässt sich mit der Funktion des Septums während der systolischen Ventrikelkontraktion zur Überwindung des Gefäßwiderstandes und Aufrechterhaltung des Druckgradienten zwischen beiden Herzventrikeln erklären (PAUL 1991).

Die Trennung der organisch miteinander verbundenen Herzventrikel wird immer eine künstliche sein. Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse sollte aber das Septum interventriculare nicht kritiklos dem linken Herzventrikel zugeordnet werden, sondern seine Stellung als Bestandteil beider Herzventrikel gesehen werden. Letztendlich erscheint eine Zuordnung des Septum interventriculare zu einem der beiden Ventrikelwände in einem bestimmten Rahmen nicht sinnvoll, denn die enge morphologische Beziehung und das funktionelle Zusammenspiel aller drei Herzabschnitte sollten stets im komplexen Zusammenhang betrachtet werden.

Eine starke Belastung des rechten Herzventrikels unter den konstitutionellen Gegebenheiten der Lunge der Hühner vom Fleischtyp kann sich somit bei der Herausbildung einer Insuffizienz des rechten Herzventrikels auch auf den großen Kreislauf und somit auch auf den linken Herzventrikel infolge der sich entwickelnden Stauungserscheinungen ergeben und als Konsequenz daraus Einfluss auf die Masseentwicklung des linken Herzventrikels nehmen.

4.2.2.2. Größenverhältnisse am Herzen während des Wachstums (Herzquotienten sowie Herzaußen- und Herzinnenmaße)

Neben den absoluten und relativen Massewerten des Herzens stellt die Bildung von **Quotienten aus den Massen der Ventrikelwandbestandteile** eine andere Möglichkeit dar, die Größenverhältnisse am Herzen zu beschreiben und Aussagen über die Proportionalität der einzelnen Herzbestandteile zueinander zu treffen. Dabei musste aber festgestellt werden, dass das Wachstum des rechten und linken Ventrikels im engen Zusammenhang mit der Änderung der funktionellen Belastung des Herzens zu betrachten war. Das Anwachsen der Muskelmasse des linken und rechten Ventrikels im Vergleich bei annähernd gleicher Ausgangsposition wird durch Faktoren, die unmittelbar nach dem Schlupf auf das Tier einwirken, beeinflusst - wie z. B. Veränderungen des Blutdruckes im Lungen- und Körperkreislauf. Obwohl für vorkommende Verschiebungen der Ventrikelmasse, sowohl zur linken als auch zur rechten Seite, die Herzquotienten als gute Indikatoren dienen (PEHLEMANN 1986), machte RUDELDT (1992) darauf aufmerksam,

dass eine Beeinflussung der Masserelationen nicht durch alle Schädigungen und Veränderungen am Herz hervorgerufen werde. Beim vorliegenden Vergleich zwischen den drei Versuchstiergruppen dienten die Werte der LTG als Orientierung und als Basiswert für die MTG 1 und 2. Analog zur Interpretation der Abweichungen vom physiologischen Bereich bei Schweinen erfolgte eine Einordnung der Werte der MTG 1 und 2 zu den Werten der LTG. Damit sind Hinweise auf pathologische Veränderungen möglich. Für den ADI, den VQ und den Quotienten aus abs. MLHV u. TVM konnte dabei eine annähernde Linearität im Altersverlauf wahrgenommen werden.

Der **arterielle Druckindex** (ADI), der den pulmonalen Blutdruck als Einflussgröße auf die Masse des rechten Ventrikels reflektiert und damit die anteilige Masse der rechten freien Ventrikelwand an der Gesamtventrikelmasse widerspiegelt, stellt nach BOOTH et al. (1966) einen sensiblen Indikator für die Verhältnisse im Lungenkreislauf dar. JULIAN et al. (1989b) ermittelten für gesunde Tiere der Mastrichtung einen arteriellen Druckindex von 0,22 - 0,26. Die Werte der White Leghorns unterschieden sich davon nicht. Beim Auftreten des Pulmonalen Hochdruck-Syndroms (Aszites-Syndrom) erhöht sich der ADI-Wert infolge der Hypoxie bei den Masttieren auf größer als 0,30 (CAWTHON et al. 2004) bis etwa 0,41 (JULIAN 1990). Für SCHEELE et al. (2003a u. b) sind erhöhte ADI-Werte ein Indikator der Aszitesanfälligkeit.

In eigenen Versuchen bei der MTG 2 befand sich ein Großteil der Werte im genannten Bereich von 0,22 – 0,26, während die meisten Werte der MTG 1 und der LTG unterhalb von 0,22 zu finden waren. Bei allen drei Versuchstiergruppen war im Mittel die Größe der ADI-Werte signifikant verschieden. Zu Anfang erreichte hierbei die MTG 2 einen größeren und die MTG 1 einen kleineren Wert als die LTG. Alle drei Versuchstiergruppen zeigten im Altersgang ein unterschiedliches Steigungsverhalten (siehe Kap. 3.2.1.2.3.2., Seite 83/84). Für die LTG ergab sich über die gesamte Zeitspanne des Versuches ein weitgehend neutraler Verlauf. Tendenziell war dagegen im Altersgang bei der MTG 1 ein ansteigender und bei der MTG 2 ein abfallender Verlauf zu erkennen, der am Ende dazu führte, dass der ADI von beiden Masttiergruppen unterhalb der LTG lag (dies konnte aber nicht statistisch abgesichert werden). So ergab sich im Vergleich zur LTG für die MTG 2 infolge der dort herrschenden Lungenverhältnisse eine besondere Belastung des rechten Herzventrikels, die dort nur zu Beginn zu einer stärkeren Masseentwicklung und zu einem erhöhten ADI-Wert führte. Mit zunehmender Belastungsdauer kam es dann zu einem Masseverlust der rechten Herzventrikelwand. Die Werte der MTG 1 in Verbindung mit der geringeren Körpermasse deuteten hier auf andere Belastungsverhältnisse im Lungenkreislauf hin. Der tendenzielle Werteabfall der MTG 2 könnte im Altersverlauf auf eine begrenzte Massezubildung und Kompensationsfähigkeit hindeuten und somit ein Zeichen für eine eingeschränkte Adaptation an veränderte Bedingungen sein. Im Gegensatz dazu war ein möglicher ansteigender Verlauf in der MTG 1 ein Hinweis auf noch vorhandene Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Zustände. Zusammenfassend liegt somit bei Mastküken mit hoher Massenzunahme (MTG 2) eine erhöhte Rechtherzbelastung vor.

Bei hochgezüchteten und damit anfälligeren Schweinerassen sind rechtsbetontere Herzen mit erhöhten ADI-Werten zu finden (PEHLEMANN 1986, BERG u. HAUSMANN 1991, HAMANN 1990, Möller 1994). DRAPER et al. (1990) bekräftigten diese Tendenz mit höheren ADI-Werten bei stresspositiven im Vergleich zu stressnegativen Schweinen. In diesem Zusammenhang war es interessant, dass bei Herzen von Schweinen, die an akutem Herz-Kreislauf-Versagen verendeten, ebenfalls eine Rechtsbetonung nachgewiesen wurde (BERG u. PEHLEMANN 1987, HAUSMANN 1990).

Der **Ventrikelquotient** (VQ), das Masseverhältnis zwischen linkem und rechtem Herzventrikel (verkörpert die anteilige Masse der rechten freien Herzventrikelwand an der Masse des linken Herzventrikels unter Einbeziehung der Masse des Septum interventriculare) unterschied sich im Mittel signifikant bei den drei Versuchstiergruppen. Zu Anfang lag der VQ-Wert für die MTG 1 höher und für die MTG 2 niedriger als bei der LTG. Im Versuchszeitraum wies die LTG dann einen neutralen Verlauf auf. Bei der MTG 2 wurde gleichzeitig ein Ansteigen im Altersgang nachgewiesen, während in der MTG 1 nur ein abfallender Trend auffiel (siehe Kap. 3.2.1.2.3.3., Seite 84/85). Durch diese Entwicklungstendenz war der VQ bei beiden Masttiergruppen am Ende größer als bei der LTG. Bei den Tieren der MTG 2 war der kleinere VQ-Wert (im Einklang mit dem erhöhten ADI-Wert) als Ausdruck einer zu Beginn vorhandenen Rechtsbetontheit der Herzen zu sehen. Die Rechtsbetontheit der MTG 2-Hezen hing wahrscheinlich zum größten Teil mit den ungünstigen Lungenmerkmalen (JULIAN et al. 1986, JULIAN 1989, VIDYADARAN et al. 1990, WIDEMAN 2001, LUGER et al. 2001) und ihren Auswirkungen auf den kleinen Kreislauf zusammen. Das Abfallen der ADI-Werte und gleichzeitige Ansteigen der VQ-Werte bei der MTG 2 ließ darauf schließen, dass sich die entstehende Hypertonie im Lungenkreislauf auch auf den großen Kreislauf auswirken konnte und infolgedessen den linken Herzventrikel belastete. Aus dem erhöhten Wert für VQ mit einem tendenziell leicht verlaufenden Abfall im Altersgang und dem Wertverlauf für ADI ergab sich dementsprechend in der MTG 1 eher eine weitgehend bestehende Linksbetontheit des Herzens mit einer hier leicht zunehmenden Bedeutung des rechten Herzventrikels im Gegensatz zur MTG 2. Auf Grund der ADI- und VQ-Werte und ihres Verlaufes bei der MTG 1 kann für diese Tiere eine gewisse noch vorhandene Adaptationsfähigkeit auf veränderte Bedingungen angenommen werden.

Von BOOTH et al. (1966) war auch die **Masse der linken Herzkammer zur totalen Ventrikelmasse** ins Verhältnis gesetzt worden. Rechtsherzbelastungen führten dabei zur Verringerung des Quotienten, während Linksherzbelastungen dagegen eine Vergrößerung des Verhältnisses ergaben. Am Versuchsanfang fand sich bei der MTG 1 ein größerer und bei der MTG 2 ein kleinerer Quotientenwert als bei der LTG. Die LTG zeigte bei diesem Quotienten wieder einen neutralen Verlauf im Zeitrahmen, während der Tendenz nach die Werte bei der MTG 2 anstiegen und bei der MTG 1 abfielen, so dass am Versuchsende die Quotienten von beiden Masttiergruppen oberhalb derer der LTG

lagen (siehe Kap. 3.2.1.2.3.4., Seite 85/86). So entwickelte sich im Vergleich zur LTG im Altersverlauf bei der MTG 2 aus einer anfänglichen Rechtsherzbelastung eine Linksherzbelastung, während diese bei der MTG 1 weitgehend erhalten blieb. Damit untermauert dieser Quotient die ADI- und VQ-Werte für die beiden Masttiergruppen. Mit dem **Verhältnis aus Septumlänge und -breite** lassen sich quantitative Veränderungen am Herzen, besonders der der Ventrikel objektivieren. Dabei kann eine ein- oder auch beidseitige Belastung vorliegen, da das Septum interventriculare ein integrierter Bestandteil des Myokards ist (RUDEL 1992). Erhöhte Werte lassen auf einen dilatativen und erniedrigte Werte auf einen hypertrophen Zustand schließen, wobei eine Schlussfolgerung nur unter Einbeziehung der anderen Herzquotienten erfolgen kann. Die eigenen Untersuchungen ergaben für dieses Verhältnis zu Beginn in der MTG 1 einen höheren und in der MTG 2 einen niedrigeren Wert im Vergleich zur LTG. Im abgelaufenen Versuchszeitrahmen war der Verhältniswert der LTG annähernd konstant. Die Werte der MTG 1 und 2 dagegen stiegen aber an. Infolgedessen kam es dazu, dass ab dem Zeitraum der 3./4. Lebenswoche der Verhältniswert der MTG 2 größer war als der der LTG (siehe Kap. 3.2.1.2.3.5., Seite 87/88). Somit fand sich unter Berücksichtigung der anderen Herzquotienten im Verhältnis zur LTG in der MTG 2 zuerst eine gewisse Hypertrophieeigung (in Bezug auf den rechten Herzventrikel), die sich dann mit der Zeit in einen dilatationsähnlichen Zustand wandelte. Die MTG 1 wies dagegen von vornherein ein dilatatives Erscheinungsbild des Herzens auf, welches sich noch ausweiten konnte. Durch das Verhältnis der **Masse der Herzbasis zur totalen Ventrikelmasse** wird zusätzlich ein relatives Maß für die Größe der Herzbasis gegenüber den beiden Herzventrikeln gebildet (MEWES 1996). Bei dieser Untersuchung ergab sich am Anfang bei beiden Masttiergruppen ein höherer Wert für diesen gebildeten Quotienten als bei der LTG, wobei er bei der MTG 2 am größten war. In der MTG 2 nahm mit dem Alter dieser Quotient tendenziell von der Größe her leicht ab, während er in der MTG 1 annähernd konstanter verlief. Der Quotientengrößenunterschied zwischen beiden Masttiergruppen blieb dabei aber weitgehend erhalten. Die LTG zeigte dagegen bis zum Versuchsende im Altersgang einen starken Quotientenwertabfall (siehe Kap. 3.2.1.2.3.1., Seite 82/83). Das wies darauf hin, dass die Herzbasis bei den beiden Masttiergruppen eine größere funktionelle Bedeutung erlangte und einer größeren Belastung ausgesetzt war als bei der LTG. Dadurch kam der aktiven Rolle der Herzbasis beim Herzzyklus unter erhöhten Belastungen (Anstieg der Herzfrequenz) eine immer weiter wachsende Bedeutung bei der Füllung der Herzkammern zu. Gleichzeitig deutete eine Vergrößerung der Herzbasis gegenüber den Herzventrikeln auf einen erhöhten Arbeitswiderstand hin, den die Vorkammern durch Massezuwachs zu kompensieren versuchten. Der erhöhte Quotientenwert der MTG 2 im Vergleich zur MTG 1 deutete dabei auf eine weiter angestiegene Arbeitsbelastung der Herzvorkammern bei der MTG 2 hin. Der **prozentuale Anteil der einzelnen Herzteile am Gesamtherz** im Wachstum- und Entwicklungsprozess gab ebenfalls einen Hinweis auf die Bedeutung sowie die

Beanspruchung dieser Herzteile in der Gesamtherzfunktion. Außer für den prozentualen Anteil des linken Herzventrikels am Gesamtherz war für alle anderen prozentualen Herzanteile ein linearer Verlauf über den Versuchszeitraum ersichtlich. Bei den einzelnen Herzanteilen ergaben sich zwischen den drei Versuchstiergruppen für die jeweiligen prozentualen Anteile am Gesamtherz signifikante Mittelwertsunterschiede. Bei der LTG nahm die Bedeutung und somit der prozentuale Anteil der Vorkammern im Versuchszeitraum ab. Für die beiden Masttiergruppen dagegen ergab sich ein annähernd konstanter Verlauf des prozentualen Anteils der Vorkammern am Gesamtherz. Auffällig war dabei aber, dass die prozentualen Anteile der Vorkammern der MTG 1 und der LTG jeweils am Anfang von einem vergleichbaren Mittelwertsniveau ausgingen (siehe Kap. 3.2.1.2.2.1., Seite 79). Daraus ließ sich schließen, dass sich bei der LTG sowie der MTG 1 die Bedeutung und damit die Beanspruchung der Herzvorkammern mit der Zeit unterschiedlich entwickelten. Die Verstärkung der Beteiligung der Vorkammern an der Herzfunktion ergaben sich für die MTG 2 aus den größeren Werten gegenüber der MTG 1. Höhere Herzvorkammermassen verdeutlichten die vorhandenen veränderten Belastungszustände im Masttierherzen.

Die Betrachtungen der **prozentualen Anteile des rechten und linken Herzventrikels am Gesamtherz** dienen der weiteren Kennzeichnung der Unterschiede zwischen der LTG und den beiden Masttiergruppen. Der prozentuale Anteil des rechten Herzventrikels war zu Beginn bei der MTG 2 am größten und bei der MTG 1 am kleinsten. Er zeigte im Altersgang in der MTG 2 einen Abfall und einen Anstieg in der MTG 1 sowie einen tendenziellen Anstieg in der LTG. Die Kompensation der Lungenkreislaufverhältnisse durch Massezuwachs war also bei der MTG 2 ab einem bestimmten Zeitpunkt beim rechten Herzventrikel eingeschränkt und könnte somit ein Hinweis auf einen Leistungsabfall in der Arbeitsfähigkeit und Disposition zur Dekompensation sein. Bei der MTG 1 und der LTG kam dagegen eine noch vorhandene Gegenreaktion bei der Herzfunktion auf sich verändernde Situationen (Lungenkreislauf) vor.

Der prozentuale Anteil des linken Herzventrikels war zu Beginn bei der MTG 1 am größten und veränderte sich mit der Zeit nur unwesentlich. Das ließ auf annähernd gleich bleibende Druckverhältnisse im großen Körperkreislauf schließen. Bei der MTG 2 und der LTG beobachtete man einen vergleichbaren Anstieg während des Versuches, wobei sich die MTG 2 dabei stets auf einem etwas höheren Niveau bewegte als die LTG. Am Versuchsende war ihr prozentualer Anteil des linken Herzventrikels größer als bei der MTG 1 (siehe Kap. 3.2.1.2.2.3., Seite 81). Der Anstieg bei der MTG 2 könnte als eine Reaktion auf sich verändernde Verhältnisse beim Wachstum in Verbindung mit entstehenden Stauungserscheinungen im großen Körperkreislauf infolge einer Rechtherzinsuffizienz und somit als Kompensation einer stärker wachsenden Belastung angesehen werden. Der Anstieg bei der LTG wäre auf die sich ändernden Verhältnisse im großen Kreislauf während des Wachstumsprozesses zurückzuführen.

Mit zunehmender Körpermasse und gleichzeitiger Herzmasseentwicklung ging auch eine Vergrößerung aller **äußeren** (Breite und Höhe des Herzens, Höhe der Vorkammern und beider Ventrikel) **und inneren Herzmaße** (Volumen und Höhe beider Herzventrikel, Breite der rechten und linken Herzventrikelwand sowie des Septum interventriculare) einher. Die sich ergebenden Relationen am Herzen dienen zur Beurteilung und Einschätzung eventuell vorkommender Hypertrophie- und Dilatationszustände.

Das **Verhältnis aus der HVKH und HVH** zeigt, ob beide Teile des Herzens mit unterschiedlicher oder gemeinschaftlicher Bedeutung Einfluss auf die Herzgestalt nehmen. Die Verhältniszahlen besagten, dass die HVKH in der Reihenfolge LTG - MTG 1 - MTG 2 immer mehr zunahm und dass dies während des Versuches am deutlichsten bei der MTG 2 und am geringsten bei der LTG wahrzunehmen war (siehe Kap. 3.2.1.2.4.1.a, Seite 88/89). Daraus schlussfolgernd bestimmten die Vorkammern bei den beiden Masttiergruppen im größeren Maße die Herzgestalt mit als bei der LTG.

Der **Herzindex** (Verhältnis aus Herzbreite und -länge) spiegelte die Veränderungen in der Formgestalt des Herzens wieder (STEPHAN 1993). Zu Versuchsbeginn war der höchsten Herzindexwert bei der LTG zu finden, welcher sich mit fortschreitendem Alter verkleinerte (negative Steigung). Die vom Niveau her kleineren Herzindexwerte der beiden

Masttiergruppen lagen eng beieinander und zeigten im Altersgang ein gleich bleibendes Niveau (siehe Kap. 3.2.1.2.4.1.c, Seite 90/91). Damit widersprachen die

Untersuchungsergebnisse dieser Arbeit denen von STEPHAN (1993), der bei seinen Masthybriden größere Herzindexwerte beobachtete als bei seinen Legehybriden und ebenfalls keine altersabhängigen Veränderungen bei beiden Hybridarten feststellte.

Zur genaueren Untersuchung der Herzgestalt war aber noch ein zusätzlicher **Indexwert der Herzventrikel** gebildet worden, um Formveränderungen im Herzventrikelbereich nachzuweisen, die durch die erhöhte Bedeutung der Vorkammern bei den Masttiergruppen in Form auftretender Dilatationen verschleiert werden konnten. Dieser Herzventrikelindex zeigte, dass das Herz der beiden Masttiergruppen mit zunehmendem Alter stärker in der Breite als in der Länge wuchs und damit mit der Zeit einen erhöhten Indexwert erreichte, der letztendlich eine dilatative Veränderung im Herzventrikelbereich aufdeckte. Dies kann gleichzeitig ein Indiz für die Insuffizienz des sich entwickelnden Herzens sein. Dabei sind beide Herzventrikel bei der MTG 2 zu Beginn im Verhältnis zur ihrer Länge breiter als im Vergleich dazu bei der MTG 1. Der Grund dafür könnte in der unterschiedlichen Körpermasseentwicklung und sich daraus ergebender differenzierterer Stoffwechselbelastungen zu suchen sein. Die LTG, die anfangs einen vergleichbaren Herzventrikelindexwert mit der MTG 2 aufwies, zeigte ein umgekehrtes Verhalten zu den Masttiergruppen (siehe Kap. 3.2.1.2.4.1.b, Seite 89/90). Bei ihr nahm die Länge mehr zu als die Breite (negative Steigung). Damit ergab sich für beide Masttiergruppen eine altersabhängige Erweiterung (Dilatation) der beiden Herzventrikel im Gegensatz zur LTG. Die Messung der **Wandbreiten der einzelnen Ventrikelbestandteile** ergab, dass bei allen drei Versuchstiergruppen mit steigendem Alter ein zunehmender Trend auftrat. Offensichtlich war dabei, dass die Breite der jeweiligen Wände bei der MTG 1 und der

LTG fast identische Ausmaße und dazu noch im Altersgang eine vergleichbare Entwicklung aufwiesen. Die Breite der einzelnen Ventrikelwände (BrRHVV, BrLHVW, BrSi) bei der MTG 2 war signifikant größer als bei der MTG 1 und der LTG. Der Verlauf der Wandbreitenzunahme der einzelnen Ventrikelbestandteile bei der MTG 2 unterschied sich aber von den beiden anderen Versuchstiergruppen. Bis zum Ende der 3./Anfang der 4. Lebenswoche stieg die BrRHVV und die BrSi tendenziell an, um danach das erreichte Niveau beizubehalten. Die BrLHVW bei der MTG 2 verdickte sich bis zum Ende der 4./Anfang der 5. Lebenswoche, um dann auch bei der erreichten Wandbreite stehenzubleiben (siehe Kap. 3.2.1.2.5.1., Seite 91 - 93). Dies könnte ein weiterer Hinweis sein für eine engere Beziehung bei der MTG 2 zwischen Septum interventriculare und rechter Herzventrikelwand als zwischen Septum interventriculare und linker Herzventrikelwand.

Bei der Gegenüberstellung der Entwicklung der **Breite der linken und rechten Herzventrikelwand** ergab sich zu Anfang der größte Verhältniswert für die MTG 1 und der kleinste für die MTG 2, während der LTG-Wert mit ca. 2,8 zwischen den beiden anderen Gruppen lag. Die Verhältniswerte der LTG zeigten im Versuchszeitrahmen einen neutralen Verlauf, während die MTG 1 eine absteigende Tendenz aufwies, die in ihrer Neigung kleiner war als der aufsteigende Trend bei der MTG 2 (siehe Kap. 3.2.1.2.5.2.a, Seite 94/95). Anhand der Werte der Wandbreiten ergab sich für die LTG und die MTG 1 ein annähernd vergleichbarer Wert wie bei SALOMON (1993b), der eine drei- bis viermal dickere linke Herzventrikelwand gegenüber der rechten Herzventrikelwand beschreibt. Zu Beginn war bei der MTG 2 ein Verhältnis von rechter zu linker Herzventrikelwandbreite von ungefähr 1 : 2 ermittelt worden, was auf eine starke rechte Herzventrikelwand schließen ließ und damit eine Reaktion auf die höheren Arbeitsbelastungen (Druckarbeit als Volumenpumpe) sein könnte. Im Altersgang vergrößerte sich der genannte Verhältniswert für die MTG 2, der auf eine begrenzte Kompensationsfähigkeit der rechten Herzventrikelwand in Bezug auf die Druckarbeit hindeuten könnte. Dies wäre ein weiteres Indiz für eine sich entwickelnde eingeschränkte Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter.

Der Vergleich der Entwicklung zwischen der **Breite der linken Herzventrikelwand und der Breite des Septum interventriculare** zeigte zu Beginn bei den beiden Masttiergruppen einen größeren Verhältniswert als bei der LTG. Im Altersgang nahm das Verhältnis beider Wandbreiten dann bei der MTG 2 stärker ab als bei der MTG 1 und verlief gleichzeitig bei der LTG annähernd neutral. Die MTG 2 erreichte so am Versuchsende den kleinsten Verhältniswert (siehe Kap.3.2.1.2.5.2.b, Seite 95/96). Für die MTG 2 ergab sich dementsprechend also eine größere Breitenentwicklung des Septum interventriculare gegenüber der linken Herzkammerwand und somit gleichzeitig ein etwas unabhängiger Verlauf im Vergleich zu dieser.

Um dilatative Entwicklungstendenzen beim Herzwachstum in Bezug zur steigenden Körpermasse genauer differenzieren zu können, war die **Vergrößerung der Herzkammervolumina und -höhen** beobachtet worden. Bei der Gegenüberstellung der

Volumina- und Höhenentwicklung in den beiden Herzkammern ergab sich somit für die rechte Herzkammer bei der MTG 1 und der LTG eine vergleichbare ansteigende Tendenz. Dem gegenüber war bei der MTG 2 eine größere Volumenentwicklung in der rechten Herzkammer im Vergleich zur Höhenzunahme beim Herzwachstum zu erkennen (siehe Kap. 3.2.1.2.5.3.a, Seite 96/97). Die linke Herzkammer zeigte bei der Beziehung zwischen Höhe und Volumen für die MTG 1 und die LTG einen annähernd gleich großen Ausgangspunkt. Mit zunehmendem Alter wies das Verhältnis aus Höhe und Volumen bei der MTG 1 aber einen größeren Anstieg auf als bei der LTG. Für die MTG 2 ergab sich beim ermittelten Verhältnis ein ähnlicher Anstieg wie bei der MTG 1, aber das Verhältniswertniveau der MTG 2 bewegte sich auf einer höheren Ebene (siehe Kap. 3.2.1.2.5.3.b, Seite 97/98)

Die große Volumenzunahme der rechten Herzkammer im Vergleich zur Höhe bei der MTG 2 war das Ergebnis der erhöhten Druckerbeit der physiologisch gesehenen Volumenpumpe und damit gleichzeitig ein Zeichen für die Rechtsherzbelastung und Rechtsherzbetonung bei dieser Versuchstiergruppe gegenüber der LTG. In der MTG 1 fand sich eher eine Linksherzbetonung im Verhältnis zur LTG, da dort in der linken Herzkammer das Volumen mehr zunahm als die Höhe. Bei Schweinen ermittelte HAUSMANN (1989) unter anderem einige Herzparameter und fand dabei an Herzen von verendeten Tieren signifikant größere rechte Herzkammervolumina und höhere rechte Ventrikelwände bei Zunahme der rechten Ventrikelmasse. Gleichzeitig sanken dagegen die Septumbreite und die Wanddicken, so dass er von einer sekundären Dilatation ausging. Ebenfalls konnte bei notgeschlachteten Schweinen trotz Massezunahme des rechten Ventrikels eine Abnahme der Wanddicke festgestellt werden.

4.2.3. Lungenentwicklung

4.2.3.1. Absolute und relative Lungenmasse

Die **absoluten Lungenmassen** stiegen in allen drei Versuchstiergruppen bis zum 52. Lebenstag stetig an, wobei die MTG 2 die größten absoluten Massen erreichte und die LTG die kleinsten (siehe Kap. 3.2.1.3.1.1., Seite 99/100).

Bei den **relativen Lungenmassen** dagegen, welche die Entwicklung der absoluten Lungenmassen im Verhältnis zur Masseentwicklung des Körpers darstellte, zeigte sich zwischen den drei Versuchstiergruppen im Mittel ein Unterschied in umgekehrter Reihenfolge. Hierbei fanden sich zu Anfang in der LTG die größten relativen Lungenmassen und in der MTG 2 die kleinsten. Bei allen drei Versuchstiergruppen nahmen die relativen Massen der Lungen nahezu übereinstimmend ab (siehe Kap. 3.2.1.3.1.2., Seite 100/101). Tendenziell entwickelten sich somit bei der MTG 2 die kleinsten Lungen im Verhältnis zur Körpermasse im Wachstumsprozess.

JULIAN (1989) stellte bei seinen Untersuchungen zum Lungenwachstum bei Hühnerküken vom Fleischtyp fest, dass die Bestimmung des Lungengewichtes einfacher war als die des Lungenvolumens, aber die Lungengewichtsbestimmung dann immer auch

das Gewicht des verbliebenen Blutes in den Lungengefäßen mit umfasste. So war er der Ansicht, dass die Lungenvolumenbestimmung genauer für die Messung der altersbezogenen Veränderungen des Lungenwachstums sei. Bei seinen Messungen stellte JULIAN (1989) für Hühner vom Fleischtyp eine Abnahme des Lungenvolumens in Beziehung zum Körpergewicht vom 1. - 144. Tag um 32% fest, während sich bei Hühner vom Legetyp und dem wilden Vorfahren des Haushuhns, dem Roten Dschungelhuhn, im gleichen Zeitraum die Lungenvolumina nur um 20% verringerten. Damit bestätigt er die in den Versuchen tendenziell ermittelten leichteren Lungen bei der MTG 2. Geringere relative Lungenmassen sind für SCHEELE et al. (2003a) ein Indikator für die Aszitesanfälligkeit.

Das schnelle Wachstum der Masttierküken (MTG 2 - größter Muskelmassenzuwachs) erfordert einen hohen Sauerstoffbedarf für den Stoffwechsel, womit ein erhöhter Blutvolumenfluss durch die Lunge erforderlich ist. Da die Lunge der Vögel aber sehr starr und fest im Thoraxraum fixiert ist und die kleinen Kapillargefäße (kleiner Durchmesser) sich gleichzeitig in der Lunge nur sehr gering erweitern können, ist das Gefäßsystem der Lunge nur sehr bedingt an einen erhöhten Blutfluss angepasst (JULIAN 1993, ODOM 1993, SHLOSBERG et al. 1996, LUGER et al. 2001, JULIAN 2001a u. b). Daraus entwickelt sich ein erhöhter Widerstand gegen den verstärkten Blutfluss, der wiederum eine erhöhte Leistung des rechten Herzens erfordert. Gleichzeitig ergibt sich aber dadurch bei größerer Belastung eine Insuffizienz der Lungengefäßkapazität oder des Sauerstoffaustauschgebietes (BERGMANN 1992b u. 1995, DECUYPERE et al. 2000, SCHEELE et al. 2003a u. b, HASSANZADEH et al. 2005). JULIAN (1993) ist der Meinung, dass deshalb die heutigen Hühnerküken vom Fleischtyp die Grenzen des Blutflusses durch ihre Lungen erreicht haben und höhere Wachstumsraten nur durch eine Vergrößerung der Kapazität der Lunge und der Leibeshöhle erreichbar sind.

JULIAN (1989) beobachtete weiterhin auch, dass der schnellste relative Rückgang des Lungenvolumens im Vergleich zum Körperwachstum in den ersten 3 - 4 Wochen nach dem Schlupf bei den Masttierküken stattfand (ca. 14% weniger Lungenvolumen am Tag 24 als am Tag 1). Ein ähnliches Verlaufsmuster fand sich auch beim vorliegenden Versuch. Hier zeigte im Versuchsablauf die rel. MbLF bei allen drei Versuchstiergruppen zuerst einen schnelleren und dann langsameren Abfall. JULIAN (1989) sah in der begrenzten Lungenvolumenentwicklung bei schnellwachsenden Hühnern vom Fleischtyp einen möglichen Grund für pulmonalen Hochdruck und damit für die Entstehung von Rechtherzversagen und Aszites. Der sich mit der geringeren Lungenkapazität ergebende Sauerstoffmangel bei den Masttieren kann nach Meinung des Autors auch eine gewisse Rolle bei der Entstehung von SDS spielen, da die Masseentwicklung (ab dem 10. Tag nach dem Schlupf erkennbarer höherer Zuwachs bei MTG 2) und das sich verringernde Lungenvolumen in den ersten 3 - 4 Lebenswochen auch auf diese Herz-Kreislauf-Erkrankung Einfluss nehmen können. Neben dem kleinen Lungenvolumen sieht JULIAN (1993) auch in der kleinen Statur der modernen Hühnerküken vom Fleischtyp, der großen, schweren Brustmasse und dem Druck des Inhalts der Leibeshöhle (intraabdominaler

Druck von Fett und inneren Organen) auf die Luftsäcke (JULIAN u. MIRSAIMI 1992) eine weitere Behinderung der Atmung.

Neben diesen Beobachtungen stellten VIDYADARAN et al. (1990) bei Masttieren eine dickere respiratorische Membran als bei den White Leghorns fest (Behinderung für Sauerstoffdiffusion) und ermittelten beim modernen Haushuhn gegenüber den wilden Vorfahren (Rotes Dschungelhuhn) eine verminderte Sauerstoffdiffusionskapazität. Untermauert wurde diese Leistungsbeschränkung der Lunge der Masttiere durch weitere Untersuchungen von PEACOCK et al. (1988), JULIAN u. MIRSAIMI (1992), WIDEMANN u. KIRBY (1995a), WIDEMANN et al. (1998) und SCHEELE et al. (2003a), die bei den schwereren Masttieren einen niedrigeren Prozentsatz an sauerstoffgesättigtem Hämoglobin vorfanden. Zusätzlich dazu bewiesen WIDEMANN u. KIRBY (1995b) sowie WIDEMANN et al. (1996) bei Hühnern vom Fleischtyp mit einer erhöhten Blutflussrate durch die Lunge ein Übersteigen der Lungendiffusionskapazität bei diesen Tieren, das sie empfänglich für Hypoxämie machte. Dieses Missverhältnis zwischen Lungenkapazität und Körpermasse bei Hühnern vom Fleischtyp ist somit ein bedeutsamer konstitutioneller Faktor bei der Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (BERGMANN 1995, SCHEELE et al 2003a u. b).

4.2.4. Korrelative Betrachtungen

Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Daten und Messergebnisse dienten auch zur Durchführung einer Korrelationsanalyse, um eventuelle wechselseitige Beziehungen der makroskopischen Parameter zueinander zu bekräftigen bzw. nicht vermutete Beziehungen aufzudecken.

Zwischen **Körpermasse und absoluter Masse des Herzens sowie seiner einzelnen Herzbestandteile als auch der abs. MbLF** bestanden starke positive Korrelationen.

Die Herzen und ihre Bestandteile sowie die Lungen waren somit bei wachsender Körpermasse ebenfalls schwerer und könnten deshalb Ausdruck von gestiegenen Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System bei zunehmender Körpermasse sein. Es fiel aber auf, dass bei der Beziehung zwischen Körpermasse und absoluter Masse des Herzens sowie seiner Bestandteile die Rangkorrelationskoeffizienten eine bestimmte Reihenfolge hatten: $LTG > MTG 1 > MTG 2$ (siehe Tab. 5, Seite 104). Dies wäre möglicherweise ein Hinweis für eine tendenzielle Veränderung dieser Korrelationsbeziehung, die darauf hindeutet, dass mit stärkerem Wachstum (höhere Wachstumsgeschwindigkeiten) die Beziehung der Masse des Herzens und seiner einzelnen Teile zur Körpermasse abnimmt. Bei der Korrelation zwischen abs. MbLF und Körpermasse dagegen verhielt sich die Reihenfolge der Rangkorrelationskoeffizienten der drei Versuchstiergruppen genau umgekehrt als beim Herzen (siehe Tab. 5, Seite 104). Bei der MTG 2 fiel aber die größere Streuungsneigung im Vergleich zu den anderen beiden Versuchstiergruppen auf, die auf die zunehmende

Körpermassestreueung und auf eine gewisse Subjektivität bei der Entwicklung der Tiere zurückgeführt werden könnte. Die positiven Korrelationen der beiden Organmassen sind als Indiz für das Wachstum innerhalb eines genetisch determinierten „Wachstumskanals“ anzusehen (SALOMON 1993b). SALOMON (1993b) sowie GILLE u. SALOMON (1994) stellten bei Enten ebenfalls starke Korrelationen zwischen Körper- und Herzmasse fest. Für dieselbe Beziehung (Körper-/Herzmasse) ermittelte MÖLLER (1994) bei Schweinen eine signifikante Korrelation. Mit wachsender Körpermasse werden Herzen relativ leichter. Die **relative Masse des Herzens** korrelierte mit der **Körpermasse** in der LTG dabei stark negativ. Abweichend davon lässt sich bei den beiden Masttiergruppen bei der Beziehung der Körpermasse zu der relativen Herzmasse nur eine mittelgradige negative Abhängigkeit erkennen (siehe Tab. 5, Seite 104). Die negativen Wechselbeziehungen der relativen Herzmasse zur Körpermasse bei den drei Versuchstiergruppen deuteten so auf ein Entwicklungsdefizit (geringere Wachstumsgeschwindigkeit) der Herzmasse gegenüber der Körpermasse bzw. auf eine schnellere Entwicklung der Skelettmuskulatur im Verhältnis zur Herzmuskulatur hin.

Bei der Abhängigkeit der **relativen Masse beider Lungenflügel** und der **Körpermasse** ergab sich in der LTG eine schwach negative und in den beiden Masttiergruppen eine mittelgradig negative Korrelation, wobei bei der MTG 2 mit den größeren Körpermassезunahmen auch die höhere negative Korrelation vorkam (siehe Tab. 5, Seite 104). Daraus könnte sich die Schlussfolgerung ergeben, dass das relative Zurückbleiben des Lungenwachstums im Vergleich zum Körperwachstum bei der MTG 2 stärker auftrat als bei der MTG 1. Für die Tiere ergab sich damit der Zusammenhang, dass mit steigender Körpermasse die relativen Herz- und Lungenmassen abnahmen. Zwischen der **Körpermasse und den einzelnen Herzquotienten** konnte bei allen drei Versuchstiergruppen nur in einem Fall mittelgradige Korrelation (LTG – Quotient aus MHB u. TVM) ermittelt werden (siehe Tab. 7, Seite 108). Einheitliche Tendenzen sind dabei aber nicht zu erkennen, wodurch keine Aussagen über relevante Abhängigkeiten möglich sind.

Bei der Beziehung der **Körpermasse zu den Herzinnenmaßen**, insbesondere zu den Höhen und Volumina der beiden Herzkammern, bestand in allen Versuchstiergruppen eine starke positive Korrelation. Währenddessen fanden sich nur in der LTG und der MTG 1 starke positive Abhängigkeiten zwischen der Körpermasse und den gemessenen Wanddicken der einzelnen Herzventrikelwandbestandteile. In starker Abhängigkeit bei der MTG 2 stand nur die BrSi zur Körpermasse. Für die Breite der rechten (schwach) und linken (mittelgradig) Herzventrikelwand lag dagegen nur eine schwächere Korrelationsstufe vor (siehe Tab. 6, Seite 106). Einerseits könnte dies als ein Hinweis dafür gewertet werden, dass die Harmonie in der Herzentwicklung bei steigenden Körpermassезunahmen (wie bei MTG 2) verloren gehen kann und somit Teile des Herzens eine größere Betonung finden als andere, andererseits wiederum auch als ein Ausdruck für veränderte Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System bei zunehmender Körpermasse.

Die Korrelation der **absoluten Massen des Herzens sowie seiner einzelnen Bestandteile und der Lunge** untereinander ist bei allen drei Versuchstiergruppen stark (siehe Tab. 5, Seite 104). Daraus ergaben sich eine enge morphologische Beziehung und ein enges funktionelles Zusammenspiel der einzelnen Herzbestandteile beim Herzzyklus. Gleichzeitig wird dadurch die gegenseitige Beeinflussung von Herz und Lunge im Herz-Kreislauf-System verdeutlicht.

In der durchgeführten Untersuchung wurde auch versucht, Masseveränderungen am Herzen sowie seiner einzelnen Bestandteile im Rahmen der Hypertrophie- und Dilatationsprozesse mit anderen Parametern in Beziehung zu setzen und daraus gewisse Korrelationen abzuleiten.

Für die drei Versuchstiergruppen lagen nur vereinzelt mittelgradige Abhängigkeiten zwischen den ermittelten **Herzquotienten und der absoluten Masse des Herzens sowie seiner einzelnen Bestandteile** als auch zur **relativen Masse des Herzens** vor. (siehe Tab. 7, Seite 108). Es war dabei aber keine Tendenz zu finden, die eine Feststellung zu diesen Beziehungen erlaubte.

Die **absolute Masse des Herzens und seiner Bestandteile** steht **zum Volumen sowie zu den Höhen beider Herzkammern** bei allen drei Versuchstiergruppen in starker Abhängigkeit. Mit dem Wachstum des Herzens vergrößerten sich also die rechte und linke Herzkammer (Höhe und Volumen).

Nicht nur die inhaltlichen Maße wachsen mit dem Herz, auch die Breite der einzelnen Herzventrikelwandbestandteile stand in Beziehung zum Herzwachstum. Für die Breite der rechten und linken Herzventrikelwand sowie des Septum interventriculare fanden sich bei der LTG und der MTG 1 starke positive Wechselbeziehung zur absoluten Herzmasse, als auch zur absoluten Masse der einzelnen Herzbestandteile. In der MTG 2 zeigte nur die BrSi eine positiv starke Abhängigkeit zu den genannten Herzmassen, während die Breite der rechten und linken Herzventrikelwand zu diesen nur eine positiv mittelgradige Beziehung aufwies (siehe Tab. 6, Seite 106). Diese schwächeren Abhängigkeiten wären ein mögliches Indiz für die sich vollziehenden Veränderungen im Herz-Kreislauf-System bei den Tieren mit der höchsten Wachstumsgeschwindigkeit, die sich auf die Entwicklung der Wandbreite auswirken. HINRICHS (1992) maß beim Schwein dagegen der Wanddickenmessung der Ventrikel auf Grund niedriger Korrelationen zu anderen Herzmerkmalen eine geringe praktische Bedeutung zu. Weiterführende Untersuchungen sind deshalb im Hinblick auf diese Tatsache hin auch beim Geflügel erforderlich.

Die **Herzinnenmaße** (BrRHVW, BrLHVW, BrSi, HRHK, HLHK, Vol.RHK, Vol.LHK) korrelieren **mit der relativen Herzmassen** nur vorrangig mittelgradig negativ (siehe Tab. 6, Seite 106). Eine Feststellung konkreter Abhängigkeiten war aber auf Grund fehlender einheitlicher Tendenzen nicht möglich.

Dabei ist aber immer zu beachten, dass die Ermittlung einer Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen immer nur die Möglichkeit eines kausalen Zusammenhanges impliziert. Sie lässt keinen sicheren Schluss auf das Vorhandensein einer Kausalbeziehung zu

(LORENZ 1996). Mit Hilfe der Korrelationsanalyse wurden also Beziehungen aufgedeckt, deren Kausalität eindeutig durch nachfolgende Untersuchungen weiter geklärt werden müssten.

4.3. Mikroskopische Ergebnisse

Die begleitenden histologischen Untersuchungen am Herz- und Lungengewebe der Küken im Verlauf des Wachstumsprozesses waren durchgeführt worden, um das Auftreten und die Häufigkeit von rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen im Herzgewebe sowie rund- und polymorphkernigen, herdförmigen Zellinfiltrationen als auch ekto- und knorpeligen und knöchernen Knötchen im Lungengewebe nachzuweisen. Gleichzeitig war damit versucht worden, eine Verbindung zwischen der Herz- und Lungenentwicklung und dem Auftreten der Zellinfiltrationen als auch der Lungenknötchen zu erkennen.

Bei den **rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen im Herzen** ergab sich im Hinblick auf die Häufigkeit ihres Auftretens eine stetige Zunahme von der LTG über die MTG 1 bis hin zur MTG 2. Während erst am Ende des Versuchszeitraumes (49. Lebenstag) bei der LTG ein Vorkommen der rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen beobachtet worden war, fanden sich diese in den beiden Masttiergruppen schon ab dem 7. - 10. Tag. Dabei ergab sich in der MTG 2 ein vermehrtes Auftreten dieser rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen besonders zwischen dem 21. - 31. Lebenstag (siehe Anhang Tab. 45, Seite 219). In diesen Zeitraum fallen auch das Ansteigen der Herzfrequenz, die Verringerung der Lungenmasse im Verhältnis zur Körpermasse und eine Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit. Diese erhöhten Belastungen für die Tiere und die gleichzeitige Gefahr einer sich verstärkenden Hypoxie, besonders bei der MTG 2 auf Grund eines gestiegenen Sauerstoffbedarfes im Wachstumsprozess gegenüber der LTG, könnten sich in einer Ansammlung von rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen im Myokard widerspiegeln. Ursächlich kommen entzündliche oder immunogene Herdreaktionen in Frage, seltener sind diese Veränderungen Ausdruck einer extramedullären Hämopoese (BERGMANN 1992a). BERGMANN et al. (1988) beobachteten zusätzlich, dass bei Tieren, die an Herz-Kreislauf-Versagen verendeten, im Vergleich zu gleichaltrigen gesunden Tieren keine Unterschiede bei der Anzahl der zellulären Infiltrate auftraten.

Im **Lungengewebe** fanden sich bei allen drei Versuchstiergruppen schon ab dem 7. Lebenstag **rund- und polymorphkernige, herdförmige Zellinfiltrationen** mit einem Häufigkeitsgrad von (+). Der Unterschied bestand darin, dass der Häufigkeitsgrad von (+ +) bei der LTG erst mit dem 35. Lebenstag auftrat, während er bei den beiden Masttiergruppen schon ab dem 24. Lebenstag vorkam (siehe Anhang Tab. 51, Seite 222). Dieses frühere stärkere Auftreten der Zellinfiltrate kann als ein Zeichen einer sich schneller abzeichnenden Entzündungsentwicklung im Lungengewebe aufgefasst werden. Der Grund dafür könnte eine erhöhte Staubbelastung durch die verwendete Einstreu

(feine Sägespäne mit Sägemehlanteil) sein. JULIAN (1987b) sah in einem erhöhten Staubgehalt auch eine indirekte Wirkung auf die Sauerstoffversorgung. Gleichfalls beschrieben LOPEZ-COELLO et al. (1985) trotz guter Lüftung in den oberen Bereichen des Stalles einen erhöhten Staub und Ammoniakgehalt in Höhe der Tiere, der nach ihrer Meinung zur Schleimhautreizung und zur Störung der Respiration (Verbreiterung der Blut-Gas-Barriere) führe. Im Zusammenhang damit kann das verzögerte Auftreten der Zellinfiltrationen bei der LTG durch die bessere Abwehrlage und Anpassung dieser Tiere an Belastungen, wie z. B. bei der Behinderung der Sauerstoffaufnahme, erklärt werden. Im vorliegenden Versuch würden sie lediglich als unspezifischer Indikator für pathologische Reaktionen im Herz- und Lungengewebe angesehen, die Gewebeinsuffizienz anzeigen und bei Tieren der MTG 2 signifikant erhöht auftreten.

Im Auftreten von **ektopen, knorpeligen und knöchernen Lungenknötchen** ergaben sich zwischen den drei Versuchstiergruppen große Unterschiede. In der LTG fanden sich die Lungenknötchen nur vereinzelt ab Ende der 3. Lebenswoche. Die MTG 1 und 2 dagegen zeigten diese Veränderungen im Lungengewebe schon ab dem 7. Lebenstag. Dabei trat ein gehäuftes Vorkommen in der MTG 2 ab dem 10. - 14. Lebenstag auf, während bei der MTG 1 dies erst in der 4. Lebenswoche begann (siehe Anhang Tab. 52, Seite 223). SARANGO und RIDDELL (1985) fanden ein gehäuftes Auftreten dieser Lungenknötchen um die 3. Lebenswoche. Stattdessen beobachteten WIGHT und DUFF (1985) diese Knötchen in der Lunge bei Hühnern vom Fleischtyp von 1. Tag bis zur 52. Woche. In eigenen Untersuchungen war beim Auftreten der Lungenknötchen eine Verbindung mit der Körpermasseentwicklung festzustellen. Die MTG 2 ließ ab dem 10. - 14. Lebenstag und die MTG 1 ab dem 28. - 31. Lebenstag eine verstärkte Masseentwicklung gegenüber der LTG erkennen. Mit der erhöhten Masseentwicklung ergibt sich ein erhöhter Sauerstoffbedarf, der bei gleichzeitig vorkommender Störung der Respiration zu einer verstärkten Hypoxie führen könnte. Dieser Mangel an Sauerstoff (Hypoxie) kann in der Lunge zur Entstehung einer Fibrose beitragen, die wiederum zur Vermehrung der in der Lunge vorhandenen Knorpelherde (ektopen, knorpelige und knöchernen Knötchen) führt. MAXWELL (1988) und MAXWELL et al. (1988 u. 1989a) sahen zwischen Aszites und den Knorpelherden einen engen Zusammenhang. Nach CURRIE (1999) sowie CRESPO u. SHIVAPRASAD (2003) sind sie aber nicht Ursache sondern eine Folgeerscheinung des Aszites. Auf Grund der eigenen Untersuchungen kann sich der Autor der vorher genannten These nicht anschließen, da die Lungenknötchen auch ohne das Vorkommen von Aszites zu finden waren. Nach FICKEN (1996) werden die Knoten auf Grund von knorpeligen und/oder knöchernen Metaplasien vom Lungenbindegewebe gebildet. Wahrscheinlich ist auch, dass die Knoten auf Chondrocyten zurückzuführen sind, die während der frühen Entwicklung von den Bronchien aus gestreut sind (JULIAN 1983, SARANGO und RIDDELL 1985, WIGHT u. DUFF 1985).

Zusammenfassend weisen jedoch die bei den Masttiergruppen signifikant häufigeren pathologischen Veränderungen im Myokard und in der Lunge auf Insuffizienzen des Kreislauf- und Atmungssystems gegenüber den Legetieren hin.

Dies wird auch durch die makroskopischen Untersuchungen an Herz und Lunge bekräftigt. Die absoluten Massen beider Organe bei den Masttieren sind zwar größer, aber im Verhältnis zur Körpermasse wächst die Lunge bei den Masttiergruppen im Vergleich zum Herzen langsamer als bei den Legetieren. So ergibt sich zwar eine vergleichbare Herzwachstumsrate bei den Mast- und Legetieren, jedoch die sich unterscheidende Lungenentwicklung führt zu Verschiebungen in der Herzsymmetrie der Masttiere. Anhand der relativen Massen und der prozentualen Anteile der einzelnen Herzteile sowie der Herzquotienten als auch der inneren und äußeren Herzmaße konnte für die MTG 2 eine tendenziell anfängliche Hypertrophie mit einer sich anschließenden Dilatation des rechten Herzventrikels und für die MTG 1 eine allgemeine Dilatation des Herzens, besonders aber in der linken Herzkammer, im Vergleich zu den Legetieren festgestellt werden. Die beobachteten Erweiterungen in den Herzventrikeln sowie die festgestellte zunehmende Bedeutung der Vorkammern bei den beiden Masttiergruppen gegenüber der LTG könnte als Folge zu Gefügeveränderungen in der Herzmuskulatur führen, die weiter untersucht werden müsste. Veränderungen in der Herzsymmetrie und im Herzmuskelgefüge bei Hühnern vom Fleischtyp wären mögliche Ursachen für Versorgungsstörungen (Aszites) und für Störungen bei der Erregungsleitung im Myokard (SDS). Die relativ ungünstige Blutversorgung des Körpers bei den Mastlinien der Hühner auf Grund der geringeren relativen Blutmenge in Kombination mit der geringeren Sauerstoffsättigung des Hämoglobins prädisponieren die Tiere für arterielle Versorgungsstörungen. Stoffwechsellibancen und Entwicklungsstörungen in den Herzmuskelzellen, die sich daraus ergeben könnten, führen somit zur Einschränkung der myokardialen kontraktile Funktion. Hypoxischer Stress wäre vom Herzen dann nur im begrenzten Maße tolerierbar. Bei der Ausbildung und Entstehung der Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind infolgedessen strukturelle Veränderungen am Herzen, die ihren Ursprung in besonderen konstitutionellen Gegebenheiten haben, in Verbindung mit Störungen des Stoffwechsels sowie sich herausbildender Hypoxie in engem Zusammenhang zu sehen.

4.4. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

- Bei der **Körpermasseentwicklung** zeigen sich mit zunehmendem Alter in den drei Versuchstiergruppen deutliche Unterschiede, die in Bezug zur Genetik und Fütterung stehen. Die Tiere der Masttiergruppe 2 erreichten durchschnittlich eine etwas mehr als doppelt so hohe Körperendmasse wie die Tiere der Masttiergruppe 1, während diese wiederum eine etwas mehr als doppelt so hohe durchschnittliche Körperendmasse aufwiesen wie die Tiere der Legetiergruppe.
- Die **absolute Masse des Gesamtherzens sowie jedes einzelnen Herzteilstückes** entwickeln sich innerhalb jeder einzelnen Versuchstiergruppe ähnlich. Zwischen den jeweiligen Gruppen sind aber Unterschiede charakteristisch, die in Verbindung mit dem Wachstum in der Legetiergruppe, der Masttiergruppe 1 und der Masttiergruppe 2 zu sehen sind.
- In Bezug auf die **Entwicklung der relativen Massen des Gesamtherzens und der einzelnen Herzteilstücke** sind bei den drei Versuchstiergruppen keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen, die auf eine Disposition für Herz-Kreislauf-Insuffizienzen bei den Masttieren hindeuten. Die höchsten ermittelten relativen Herzmassen finden sich dabei immer in der Masttiergruppe 2, die in dieser Gruppe auf eine gestiegene Leistungsanforderung an das Herz hinweist. Im Altersgang der drei Versuchstiergruppen nehmen die relativen Herzmassen in einer vergleichbar negativen Weise ab. Bei der Masttiergruppe 2 verringert sich aber die relative Masse des rechten Herzventrikels mit steigendem Alter deutlicher als bei den beiden anderen Versuchstiergruppen und zeigt so möglicherweise, dass erhöhte Druckverhältnisse im Lungenkreislauf hier schon im frühesten Alter kardial nicht entsprechend kompensiert werden können.
- Im Hinblick auf die **Herzwachstumsrate** sind zwischen den drei Versuchstiergruppen keine Unterschiede herauszufinden. Es ergibt sich damit in den beiden Masttiergruppen ein ähnliches Herzwachstum in Beziehung zur Körpermassezunahme wie in der Legetiergruppe.
- Die **prozentualen Anteile der einzelnen Herzteile am Gesamtherz** zeigen in den drei Versuchstiergruppen erkennbare Unterschiede im Altersgang. Ein zunehmend gegenüber der Legetiergruppe größer werdender Herzvorkammeranteil in den beiden Masttiergruppen, besonders aber in der Masttiergruppe 2, weist auf eine wachsende Bedeutung sowie aktivere Rolle der Herzvorkammern im Herzzyklus hin. Der Anstieg des prozentualen Anteils des rechten Herzventrikels sowie des linken Herzventrikels bei beiden Masttiergruppen zeigt auch erhöhte Anforderungen an, die sich mit ihrer Wachstumsintensität und ihrem Gesamtmassezuwachs erklären lassen.

- Die **Herzquotienten**, die die Masseverhältnisse der einzelnen Herzabschnitte zueinander darstellen und so eine Beurteilung der proportionalen Verhältnisse dieser untereinander am Herzen erlauben, lassen zwischen den drei Versuchstiergruppen Unterschiede erkennen, die ein Hinweis für sich abzeichnende ungünstige Herz-Kreislauf-Verhältnisse bei den Masttiergruppen sein können. So spricht eine bei den beiden Masttiergruppen konstant größere Herzbasis (umfasst zusammen rechte und linke Herzvorkammer) im Verhältnis zu den beiden Herzventrikeln für ihre hier funktionell aktivere Bedeutung im Herzzyklus, während sie bei der Legetiergruppe nur eine passivere Funktionsorientierung erkennen lässt. Weiterhin zeigen einige andere Herzquotienten (ADI, VQ u.a.) an, dass sich im Vergleich zur Legetiergruppe bei der Masttiergruppe 2 eine stärkere Rechtsbetontheit des Herzens entwickelt, die auf einen erhöhten pulmonalen Druck hindeuten kann. Dagegen zeigt die Masttiergruppe 1 neben einer ventrikulären Dilatation eine stärkere Linksbetontheit des Herzens, die auf einen gestiegenen systemischen Druck im Körperkreislauf hinweist.
- Durch die Erhebung der einzelnen **Herzaußenmaße** sind bei den drei Versuchstiergruppen sich unterscheidende Herzformen wahrzunehmen. Auffallend ist, dass der Anteil der Herzvorkammerhöhe an der Gesamtherzhöhe von der Legetiergruppe über die Masttiergruppe 1 bis hin zur Masttiergruppe 2 zunimmt, wodurch sich in der genannten Reihenfolge ändernde Belastungsanforderungen an die Herzvorkammern mit wachsendem Einfluss auf die Formgestalt des Herzens ergeben. Gleichzeitig zeigen sich aber auch unterschiedliche Belastungsanforderungen an das Herz, weil bei den Masttieren die Herzventrikel stärker in ihrer Gesamtbreite als in ihrer Gesamthöhe wachsen, während bei den Legetieren genau die entgegengesetzten Verhältnisse vorherrschen.
- Mit Hilfe der **Herzinnenmaße** lassen sich unterschiedliche Herzkammerverhältnisse bei den drei Versuchstiergruppen nachweisen. So ist bei der Masttiergruppe 2 im Vergleich zu den beiden anderen Versuchstiergruppen eine weitaus stärkere Ausdehnung der rechten Herzkammer auffällig, wodurch sich eine erhöhte rechte Herzleistungsanforderung in dieser Gruppe als Folge sich verändernder Gegebenheiten im Lungenkreislauf ergibt.
- In Bezug auf die **Entwicklung der relativen Lungenmasse** fällt ein entscheidender Unterschied zwischen den drei Versuchstiergruppen auf, der bei den Masttieren die Entstehung von Herz-Kreislauf-Insuffizienzen begünstigen kann. In den ersten 3 - 4 Lebenswochen verläuft die Entwicklung der Lungenmasse im Verhältnis zur Körpermasse bei den Masttieren und hier besonders in der Masttiergruppe 2 im Gegensatz zur Legetiergruppe deutlich langsamer, so dass bei den Masttieren die Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Lunge relativ vermindert sein könnte.

- Die **eingeschränkte Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Lunge** bei den Masttieren, besonders in der Masttiergruppe 2, führt in Verbindung mit dem steigenden Sauerstoffbedarf auf Grund des erhöhten Körpermassezuwachses im Vergleich zur Legetiergruppe zu Druckveränderungen im Lungenkreislauf. Die sich nach Literaturangaben entwickelnde Hypertonie im Lungenkreislauf hat einen erhöhten Arbeitswiderstand für den rechten Herzventrikel zur Folge, der sich wiederum auch auf den großen Körperkreislauf und den linken Herzventrikel auswirken kann. Diese erhöhte Belastung macht das Herz der Masttiere anfälliger für die Entstehung von Herz-Kreislauf-Insuffizienzen, insbesondere von Sudden Death Syndrome und Aszites-Syndrom.
- **Histologisch** ist im Vergleich zu den Legetieren bei den Masttieren ein erhöhtes Vorkommen von ekto-ten, knorpeligen und knöchernen Knötchen in der Lunge sowie ein erhöhtes Auftreten von rund- und polymorphkernigen Zellinfiltrationen in der Herzmuskulatur nachweisbar, die in diesem Kontext als Anzeichen für eine hier erhöhte Neigung zu kardiopulmonären Insuffizienzen zu werten sind.