

Phänotypisierung von Schlachtkörpermerkmalen bei Spiegelkarpfen
(*Cyprinus carpio*) mittels Ultraschall und linearen Maßen *in vivo* und
Computertomographie *post mortem*

von Paula Marie Christine Maas

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

Phänotypisierung von Schlachtkörpermerkmalen bei Spiegelkarpfen
(*Cyprinus carpio*) mittels Ultraschall und linearen Maßen *in vivo* und
Computertomographie *post mortem*

von Paula Marie Christine Maas

aus Bonn

München 2020

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Lebensmittelsicherheit
Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis

Angefertigt an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fakultät Landwirtschaft, Lebensmittel und Ernährung

Mentorin:

Prof. Dr. med. vet. habil. Prisca V. Kremer-Rücker

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Dušan Palic

Tag der Promotion: 8. Februar 2020

Für Rudolf, Clemens & Mathilde

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
2	KENNTNISSTAND.....	3
2.1	Anatomie und Physiologie des Karpfens	3
2.2	Die Bedeutung, Haltung und Zucht des Speisekarpfens in Deutschland	4
2.3	Der Fettgehalt des Speisekarpfens	8
2.4	Phänotypisierung der Schlachtkörperqualität <i>in vivo</i> mittels Ultraschall	9
2.5	Bisherige Untersuchungen zur Rückenfettdicke bei Karpfen.....	10
2.6	Einsatz von Computertomographie für die Phänotypisierung	11
2.7	Einfluss von linearen Maßen auf die Körperzusammensetzung.....	12
2.8	Beschreibung der Publikationen	13
3	PUBLIKATION EINS	15
4	PUBLIKATION ZWEI.....	39
5	DISKUSSION	65
5.1	Evaluation der Fish-Fatmeter Messung	65
5.2	Ultraschallbasierte Bestimmung der Rückenfettdicke <i>in vivo</i>	66
5.3	Evaluation der linearen Maße bezüglich des Fettgehaltes.....	67
5.4	Evaluation der spezifischen Rückenfettdicke vermessen mittels Ultraschall	68
5.5	CT Analyse des Rückenfettes	68
5.6	Evaluation der Filetausbeute mittels CT und linearen Maßen	70
5.7	Einfluss des Geschlechts auf Filet-Fettgehalt und Filetausbeute	71
5.8	Schlussfolgerung	71
6	AUSBLICK	73
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	75
8	SUMMARY.....	77
9	LITERATURVERZEICHNIS	79
10	ANHANG	89
11	TABELLENVERZEICHNIS	91
12	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	93
13	DANKSAGUNG	95

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CA	chemische Analyse
CT	Computertomographie
FFM	Fish-Fatmeter
g.g.A.	geschützte geographische Angabe
ha	Hektar
HU	Hounsfield Units
kHz	kilo-Hertz
h^2	Heritabilität
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
LM	lineare Messungen
MAS	Marker gestützte Selektion
t	Tonnen
US	Ultraschall

Statistische Parameter

Adj. R^2	korrigiertes R^2
mean	Mittelwert
n	Anzahl der Beobachtungen
p	Irrtumswahrscheinlichkeit, Signifikanzniveau
r	Pearson'scher Korrelationskoeffizient
R^2	Bestimmtheitsmaß
RMSE	Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme
SD ($\pm$)	Standardabweichung

VERÖFFENTLICHUNGEN

Zum Thema der Dissertationsarbeit wurden folgende Veröffentlichungen publiziert:

- Maas, P.,** Grzegrzółka, B., Oberle, M., Judas, M., Gareis, M., Kremer, P., 2015. Phänotypisierung des Schlachtkörpermerkmals Rückenfettdicke bei Spiegelkarpfen (*Cyprinus carpio*) mittels Ultraschall *in vivo* und Computertomographie *post mortem*. *Nova Acta Leopoldina*. 121, 153-162. ISBN 978-3-8047-3608-4.
- Maas, P.,** Grzegrzółka, B., Kreß, P., Oberle, M., Gareis, M., Kremer, P.V., 2015. *In vivo* phenotyping of carcass traits in mirror carp (*Cyprinus carpio*) using ultrasound, microwave and linear measurements. *Farm Animal Imaging*. Scotland's Rural College, Edinburgh. 36-39. ISBN 978-0-9931063-1-6.
- Grzegrzółka, B., **Maas, P.,** Judas, M., Kreß, P., Oberle, M., Gareis, M., Kremer, P.V., 2015. CT phenotyping of carcass traits in mirror carps (*Cyprinus carpio*). *Farm Animal Imaging*. Scotland's Rural College, Edinburgh. 135. ISBN 978-0-9931063-1-6.
- Grzegrzółka, B., Judas, M., Hellebuyck, S., **Maas, P.,** Kreß, P., Oberle, M., Gareis, M., Kremer, P.V., 2015. Image analysis of CT scans to predict fat content in mirror carps (*Cyprinus carpio*). *Farm Animal Imaging*. Scotland's Rural College, Edinburgh. 136. ISBN 978-0-9931063-1-6.
- Maas, P.,** Grzegrzółka, B., Kreß, P., Oberle, M., Kremer-Rücker, P.V., 2016. *In vivo* phenotyping of the carcass-trait "backfat thickness" in mirror carps (*Cyprinus carpio*) by using ultrasound. *2nd HEZagrar PhD Symposium*. Hans Eisenmann - Zentrum für Agrarwissenschaften, Freising. 55-56. <https://doi.org/10.14459/2016md1311692>.
- Maas, P.,** Grzegrzółka, B., Kreß, P., Oberle, M., Kremer-Rücker, P.V., 2019. *In vivo* – determination of the fat content in mirror carps (*Cyprinus carpio*) using ultrasound, microwave and linear measurements. *Aquaculture*. 512. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734359>.
- Maas P.,** Grzegrzółka B., Kreß P., Oberle M., Judas M., Kremer-Rücker P.V., 2020. Prediction of body composition in mirror carp (*Cyprinus carpio*) by using linear measurements in vivo and computed tomography post mortem. *Arch. Anim. Breed.* 63, 69-80. <https://doi.org/10.5194/aab-63-69-2020>.

TIERSCHUTZ

Die Regierung von Mittelfranken wurde 2014 vor Beginn der Arbeiten über das Versuchsvorhaben in Kenntnis gesetzt. Eine Tierversuchsanzeige oder –genehmigung hatte nicht zu erfolgen.

Der Umgang mit den Fischen unterschied sich nicht von dem routinemäßigen Umgang der Teichwirte. Trotzdem wurde mit großer Sorgfalt gearbeitet und die Tiere nicht länger als notwendig der Außenluft ausgesetzt. Grundsätzlich wurden die Karpfen auf feuchte Unterlagen gelegt und nur mit nassen Händen berührt um die Haut nicht zu beschädigen. Bei Untersuchungen unter Wasser wurde durchgehend Sauerstoff zugeführt. Die Schlachtung erfolgte durch geschultes Personal nach guter fachlicher Praxis.

1 EINLEITUNG

Der Karpfen (*Cyprinus carpio*) gehört zur Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*), die weltweit die bedeutendste Gruppe in der Aquakultur darstellen. 2016 belief sich die weltweite Erzeugung von Karpfen auf 4.5 Millionen Tonnen. Global gesehen macht der Karpfen die dritthäufigste Art hinter dem Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idellus*) und dem Silberkarpfen (*Hypophthalmichthys molitrix*) aus (FAO, 2018). Im Zuge der stetig wachsenden Weltbevölkerung steigt die Nachfrage nach Fisch als tierische Proteinquelle. Die Fischmengen aus der Seefischerei sind jedoch limitiert und zum Teil schon rückläufig. Die Aquakultur zeigt hingegen ein stetiges Wachstum und hat das Potential, dem entstehenden Proteindefizit nachhaltig entgegenzuwirken (Evans, 2009).

Der Karpfen ist ein relativ anspruchsloser Fisch, der extensiv lediglich auf der Grundlage von Naturnahrung aus dem Teich ernährt werden kann. In Europa wird der Karpfen traditionell in Teichen unter extensiven oder semi-intensiven Bedingungen, d.h. mit Zufütterung von Getreide, gehalten (Woynarovich *et al.*, 2010). Er wird hauptsächlich in Monokultur aufgezogen. Gegebenenfalls werden zur Ausnutzung von ökologischen Nischen und des bestmöglichen Fischerzeugungspotentials sogenannte ‚Nebenfische‘ zugesetzt. Zu den häufig eingesetzten Nebenfischen zählen Schleie, Stör, Wels, Hecht, Zander und verschiedene weitere Karpfenarten wie Graskarpfen und Silberkarpfen (Füllner *et al.*, 2007). Die Polykultur, also die gezielte Aufzucht mehrerer Fischarten in einem Teich, ist die traditionelle Methode in Asien (Kestemont, 1995). In Japan und Israel werden Karpfen in intensiven Systemen unter Verwendung von pelletiertem Futter und fließendem oder stark belüftetem Wasser gehalten (Kestemont, 1995).

In Deutschland wurde in 2017 insgesamt 20.596 t Speisefisch in der Aquakultur produziert. Neben der Forelle (8.397 t) ist der Karpfen (4.957 t) die zweitwichtigste Fischart (Brämick, 2017). Gegenwärtig rückt der Karpfen als Speisefisch im Zuge eines gesteigerten Bewusstseins hinsichtlich Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit in den Fokus der Verbraucher. Der Nachhaltigkeits-Einkaufsratgeber für Fisch und Meeresfrüchte des WWF zeichnet nur den Karpfen und den Wels mit einer uneingeschränkten Kaufempfehlung aus (WWF Deutschland, 2018).

In Deutschland verfügen mehrere Karpfenerzeugerregionen über einen Eintrag ihres Produktes in das EU-Qualitätsregister als ‚g.g.A.‘ – geschützte geographische Angabe (Verordnung (EU) Nr. 1151/2012). Neben dem ‚Oberpfälzer Karpfen‘ und dem ‚Fränkischen Karpfen‘ ist auch der ‚Aischgründer Karpfen‘ eine solche geschützte Angabe. In der jeweiligen Spezifikation werden Vorgaben zur Fütterung, Besatzdichte und auch zum Fettgehalt gemacht. Beim Aischgründer Karpfen wird ein Fettgehalt im Filet mit Haut von

unter 10% gefordert (Spezifikation Aischgründer Karpfen, 2007). Zur Sicherung der Produktqualität und einer hohen Verbraucherakzeptanz ist es daher unerlässlich, den Filet-Fettgehalt der Speisekarpfen zu bestimmen. Traditionell wird der Karpfen lebend vermarktet. Es wird demzufolge eine Methode benötigt, die die Fettgehaltsbestimmung am lebenden Fisch ermöglicht.

Neben dem Fettgehalt spielt auch die Filetausbeute eine immer größere Rolle. Der zeitgenössische Trend zur schnellen Küche und vorgefertigten Convenience-Lebensmitteln führt zu neuen Vermarktungswegen beim Karpfen. Ein Nachteil des Karpfenfilets sind die unerwünschten Y- oder Zwischenmuskelgräten (von Sengbusch und Meske, 1967, Moav *et al.*, 1975). Züchterische Versuche, die Anzahl der Zwischenmuskelgräten zu reduzieren, waren nicht erfolgreich (Hulata, 1995). Inzwischen können die Karpfenfilets mit sogenannten Grätenschneidern bearbeitet werden: die Zwischenmuskelgräten werden zerkleinert und sind beim Verzehr nicht mehr störend, die Form der Filets bleibt erhalten (LfL, 2018). Die Vermarktung der Filets gewinnt daher zunehmend an Bedeutung (Váradi, 1995).

Die Evaluierung von lebenden Tieren hinsichtlich ihrer Körperzusammensetzung hat in der Zucht einen hohen Stellenwert (Müller und Polten, 2003). Die Phänotypisierung, d.h. die Erfassung phänotypisch relevanter Parameter, zum Zweck der Leistungsprüfung ist ein Grundbestandteil moderner Zuchtprogramme (Oesau, 2012). Im Vergleich zur Pflanzenzucht und zur landwirtschaftlichen Tierzucht liegt die Aquakultur in Bezug auf die selektive Züchtung weit zurück. Groß angelegte Zuchtprogramme wurden in größerer Anzahl für Nil-Tilapia (*Oreochromis niloticus*), Atlantischen Lachs (*Salmo salar*) und die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) durchgeführt. Für Karpfen, der im Vergleich größten Gruppe in der Aquakultur, gibt es bisher kaum Zuchtprogramme (Gjedrem *et al.*, 2012).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Phänotypisierung von Schlachtkörpermerkmalen bei Spiegelkarpfen mittels Ultraschall und linearen Maßen *in vivo* und Computertomographie *post mortem*. Der Schwerpunkt liegt auf der Ermittlung des Fettgehaltes, da dieser Parameter großen Einfluss auf den Geschmack und die Qualität des Karpfenfleisches hat.

2 KENNTNISSTAND

2.1 Anatomie und Physiologie des Karpfens

Der Karpfen (*Cyprinus carpio*) ist ein Knochenfisch (Osteichthyes) und gehört zoologisch der Ordnung der Karpfenartigen (*Cypriniformes*), der Unterordnung der Karpfenfischähnlichen (*Cyprinoidei*) und der Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*) an (Ahne *et al.*, 2000). Ursprünglich stammt der Karpfen aus dem Gebiet um das Kaspische und Schwarze Meer und den Aralsee (Balon, 1995). Erste Hinweise auf die Erzeugung von Karpfen gibt es bereits zu Zeiten der Römer. Im Mittelalter war die traditionelle Karpfenteichwirtschaft zudem weit verbreitet und wurde hauptsächlich von Klöstern betrieben (Balon, 1995).

Der Karpfen ernährt sich physiologisch von Bodenorganismen und Zooplankton wie Insektenlarven und Kleinkrebse. Er gehört zu den poikilothermen Tieren, d.h. seine Körpertemperatur ist abhängig von der Umgebungstemperatur. Der Karpfen ist ein Warmwasserfisch, der seine maximale Stoffwechselleistung bei Wassertemperaturen von über 20°C erreicht. Zudem ist er in der Lage mit geringen Sauerstoffgehalten im Wasser auszukommen. Grundsätzlich sind Karpfen Süßwasserfische, können jedoch Salzgehalte von bis zu 10% tolerieren (Füllner, 2007)

Bei der Betrachtung der Körperform muss zwischen Wild- und Zuchtkarpfen unterschieden werden. Wildkarpfen zeichnen sich durch einen seitlich abgeflachten, spindelförmigen Körperbau von geringer Höhe aus. Zucht- und Speisekarpfen weisen dagegen einen hochrückigen Körperbau zugunsten eines höheren Filetanteils auf. Dies äußert sich überdies in dem Verhältnis von Körperlänge zu Körperhöhe, dass bei Wildkarpfen Werte um 3,5, bei Zuchtkarpfen Werte von 2,5 und weniger aufweist (Füllner, 2007).

Der Karpfen besitzt ein endständiges Maul mit zwei Paar Bartfäden. Das Zerkleinern von Nahrung wird von im Schlund liegenden Schlundzähnen und einer gegenüberliegenden verhornten Kauplatte übernommen. Einen Magen besitzt der Karpfen nicht, die kurze Speiseröhre geht direkt in den Darm über. Dieser liegt in Schlingen und ohne anatomische Konstanz im Bauchraum. Das Pankreasgewebe liegt in der Leber verteilt vor. Die Niere besteht aus einem Kopfnieren- und einem Rumpfnierenanteil. Da ein Großteil des anfallenden Ammoniaks und Ammoniums über die Kiemen ausgeschieden wird, dient die Niere hauptsächlich der Blutbildung und Blutspeicherung. Die Schwimmblase, in erster Linie ein hydrostatisches Organ, ist zweigeteilt. Sie ist bei Karpfenartigen zeitlebens über den Ductus pneumaticus mit dem Darm verbunden. Die hintere Schwimmblase ist bei Zuchtkarpfen deutlich verkleinert. Neben der Auftriebsregulierung dient die Schwimmblase als Organ der Schall- und Druckrezeption. Das Atmungssystem besteht aus vier Kiemenbogenpaaren.

Diese dienen in erster Linie dem Gasaustausch, übernehmen jedoch wie erwähnt auch exkretorische Funktion. Die Kiemen werden vom Kiemendeckel (Operculum) äußerlich bedeckt. Zusammen mit dem Kieferapparat erfüllt er die Funktion einer Saugpumpe, die das Atemwasser an den Kiemen vorbeileitet (Ahne *et al.*, 2000, Füllner, 2007, Krause, 2003).

Karpfen sind getrenntgeschlechtlich. Die Geschlechtsorgane, Hoden und Ovarien, sind jeweils paarig angelegt und befinden sich intraabdominal. Männliche Karpfen werden aufgrund der milchig-weißen Farbe der Hoden als ‚Milchner‘ bezeichnet und erreichen die Geschlechtsreife nach 3-4 Jahren. Weibliche Karpfen tragen die Bezeichnung ‚Rogner‘ und sind nach 4-5 Jahren geschlechtsreif (Füllner, 2007).

Die Muskulatur von Karpfen setzt sich aus der quergestreiften Rumpf- und Flossenmuskulatur, der glatten Muskulatur der Eingeweide und der Herzmuskulatur zusammen (Ahne *et al.*, 2000). Das Karpfenfilet besteht aus Rumpfmuskulatur, die sich wiederum aus vielen tütenförmig ineinander liegenden Muskelsegmenten (Myomeren) zusammensetzt. Die einzelnen Myomere werden durch dünnhäutige Myosepten voneinander getrennt. Die in der Rumpfmuskulatur liegenden Gräten entstehen durch Verknöcherung des Bindegewebes der Myosepten. Diese sind bei Karpfen zum Teil mit den Wirbeln verbunden, zum Teil liegen sie ohne Verbindung zum knöchernen Skelett im Fleisch (Schreckenbach, 2012). Die Muskulatur ist neben der Leber ein Speicherort für Fett (Ahne *et al.*, 2000, Morawa, 1962).

Der Karpfen besitzt überdies eine Rückenfettauflage, ausgehend von Beginn des Rückens bis zum Beginn der Rückenflosse (Abbildung 3). Hancz *et al.* (2003) konnten anhand von CT-Aufnahmen die Region um den Beginn der Rückenflosse als größtes Fettdepot bei Karpfen darstellen.

2.2 Die Bedeutung, Haltung und Zucht des Speisekarpfens in Deutschland

Die Aquakultur in Deutschland wird von der Forellen- und der Karpfenerzeugung dominiert. Die traditionelle Karpfenteichwirtschaft ist aufgrund von topografischen, hydrologischen und klimatischen Bedingungen stark an bestimmte Regionen gebunden. In Deutschland findet die Erzeugung von Speisekarpfen hauptsächlich in den Bundesländern Bayern und Sachsen statt (Brämick, 2017). Während in Bayern viele kleine, im Nebenerwerb geführte Teichwirtschaften bestehen, dominieren in Sachsen Haupterwerbsbetriebe mit hoher Flächenausstattung und vergleichsweise höherem Intensitätsniveau. Die Anzahl der in Bayern aktiven Karpfenteichwirtschaften wird mit 1.499 Betrieben und einer Flächenausstattung von insgesamt 7.249 ha angegeben. In Sachsen sind 158 Betriebe gelistet - mit annähernd gleicher Nutzfläche (Tabelle 1).

Tabelle 1. Erträge und Nutzflächen der deutschen Karpfenteichwirtschaft in 2017^a (nach Brämick, 2017)

Bundesland	Teichwirtschaftliche Nutzfläche (ha)	Speisekarpfen Erzeugung (t)
Baden-Württemberg	270	29
Bayern	7.249	1.962
Berlin	-	-
Brandenburg	3.750	640
Bremen	-	-
Hamburg	-	-
Hessen	71	20
Mecklenburg-Vorpommern	*	181
Niedersachsen	*	94
Nordrhein-Westfalen	173	11
Rheinland-Pfalz	12	17
Saarland	-	-
Sachsen	8.175	1.674
Sachsen-Anhalt	119	62
Schleswig-Holstein	*	62
Thüringen	1.176	205
Deutschland gesamt	23.231	4.957

^a Angaben aus Aquakulturstatistikerhebung, * Wert unbekannt oder geheim zu halten

Der in Deutschland mit Abstand häufigste und wirtschaftlich bedeutendste Speisekarpfen ist der Spiegelkarpfen. Diese Zuchtform zeichnet sich durch vereinzelte, größere Schuppen unterhalb der Rückenlinie und an den Flossenansätzen aus (Abbildung 1). Neben dem Spiegelkarpfen werden in der Karpfenteichwirtschaft zudem die Zuchtformen Schuppenkarpfen, Zeilkarpfen und Nacktkarpfen unterschieden. Der Schuppenkarpfen zeichnet sich durch eine vollständige Beschuppung aus. Der Zeilkarpfen besitzt lediglich eine dominante Schuppenreihe entlang der Seitenlinie. Der Nackt- oder auch Lederkarpfen weist keinerlei Beschuppung auf. Die Leistungsfähigkeit von Zuchtkarpfen nimmt mit zunehmender Schuppenlosigkeit ab. Die geringsten Unterschiede in der Leistungsfähigkeit bestehen zwischen Schuppen- und Spiegelkarpfen. Die Erzeugung der Zuchtform Spiegelkarpfen hat sich daher den Verbrauchergewohnheiten folgend in den Teichwirtschaften zumeist vollständig durchgesetzt (Füllner *et al.*, 2007).



Abbildung 1. Darstellung eines Spiegelkarpfens (Quelle: Maas, P.)

Der Karpfen wächst in der Regel innerhalb von drei Jahren zur Speisefischgröße mit einem Lebendgewicht von 1500-2000g heran. Da die Hauptwachstumszeit von Karpfen in den warmen Sommermonaten liegt, wird das Alter in Anzahl der erlebten Sommer angegeben; dreisömmrige Speisekarpfen werden mit der Abkürzung ‚K3‘ bezeichnet. Die Aufzucht findet traditionell als dreisömmriger Umtrieb statt, d.h. im Frühjahr werden die Karpfenteiche mit Karpfen besetzt und im Herbst abgefischt. Im Zuge der Abfischung wird das Teichwasser abgelassen und der Teich trockengelegt. So können in den Wintermonaten notwendige Teichpflegemaßnahmen wie Düngung, Kalkung und Bodenbearbeitung durchgeführt werden. Über die Wintermonate befinden sich die Fische in sogenannten Winterungsteichen (Füllner *et al.*, 2007). Die Ernte bzw. Abfischung der dreisömmrigen Speisekarpfen ist witterungsabhängig und findet weitgehend in den Monaten September bis Dezember statt.

Die Vermarktung erfolgt größtenteils lebend ab Teich an den Einzel- oder Großhandel. In der lokalen Gastronomie ist es üblich, dass die Karpfen noch längere Zeit gehältert, d.h. lebend gehalten, werden (Raudner *et al.*, 2005). Zum einen können die Karpfen somit stets frisch zubereitet werden, zum anderen verlieren sie in dem klaren Wasser ihren moderartigen Geschmack. Zu dieser Qualitätsbeeinträchtigung, auch ‚mooseln‘ genannt, kommt es aufgrund einer Kontamination mit Blaualgen (Kantoci, 2008). Zur Hälterung befinden sich die Fische in Durchflussbecken mit Frischwasser ohne Zugabe von Futter. Aus Tierschutzgründen sollte die Hälterungsdauer von Karpfen maximal 3-4 Wochen betragen (TVT, 1993).

Um die wirtschaftlichen Leistungen von Speisekarpfen zu verbessern, ist gezielte Zuchtarbeit notwendig. Ausgangspunkt für ein gezieltes Zuchtprogramm ist die Definition eines Zuchtziels. Für den Karpfen sind nachfolgend aufgeführte Zuchtziele relevant:

- Hohe Wachstumsleistung
- Günstige Futtermittelverwertung
- Hohe Vitalität und Resistenz gegen Umwelteinflüsse und Krankheiten
- Hohe Qualität als Lebensmittel (modifiziert nach Füllner *et al.*, 2007)

Für die Umsetzung eines auf Zuchtwertschätzung basierenden Zuchtprogramms sind einige grundlegende Arbeitsschritte erforderlich (Abbildung 2).

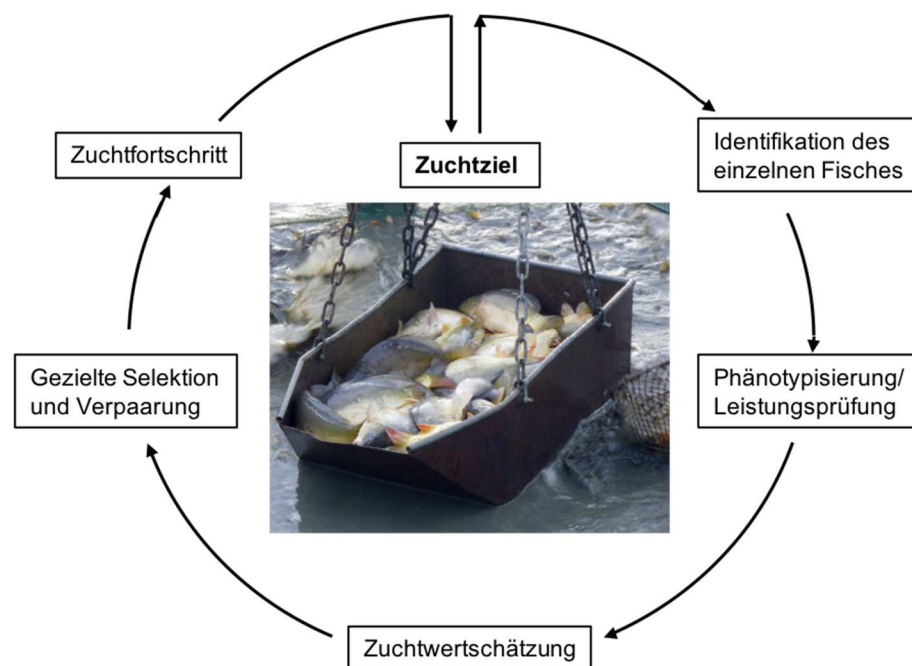


Abbildung 2. Überblick über die Arbeitsschritte in einem Zuchtprogramm (nach Oesau, 2012)

Nach der Festlegung des Zuchtziels muss eine eindeutige Identifikation bzw. Markierung der einzelnen Fische stattfinden. Die nachfolgende Leistungsprüfung umfasst die tierindividuelle Erfassung von relevanten Leistungsdaten für das im Zuchtziel definierte Merkmal. Je präziser diese Phänotypisierung erfolgen kann, desto Erfolg versprechender sind die darauffolgenden Arbeitsschritte. Die anschließende Zuchtwertschätzung basiert auf den Daten der Leistungsprüfung. Das Ergebnis führt zur gezielten Auswahl und Verpaarung der besten männlichen und weiblichen Tiere und somit zu einem Zuchtfortschritt (Oesau, 2012).

Die genetische Verbesserung von Karpfen erfolgte bisher hauptsächlich über die Kreuzungszüchtung (Bakos und Gorda, 1995, Kocour *et al.*, 2005). Allerdings zeigten nicht alle Kreuzungen eine bessere Leistung als die für die Kreuzung ausgewählten Elterntiere

(Wohlfarth, 1993). Der auftretende Kreuzungseffekt, d.h. der Effekt, dass Kreuzungsnachkommen in ihren Leistungen vom Mittel der Elternpopulation abweichen, wird als Heterosiseffekt bezeichnet. Heterosis kann positiv oder negativ sein, abhängig von dem gewählten Merkmal und der Heritabilität. Die Heterosis verhält sich in der Regel gegensätzlich zur Heritabilität, d.h. bei Merkmalen mit niedriger Heritabilität lassen sich höhere Heterosiseffekte erzielen (Baumung, 2005, Fürst-Waltl, 2005). Bevor eine neue Kreuzung zur Erzeugung von Speisekarpfen etabliert werden kann, sollte daher eine eingehende Leistungsprüfung erfolgen. Auch hier ist eine präzise Phänotypisierung erforderlich.

Das entscheidende Merkmal für die Genusstauglichkeit von Speisekarpfen ist der Fettgehalt. Oberle und Aas (2015) untersuchten die Verbraucherakzeptanz von Speisekarpfen mit unterschiedlichen Fettgehalten. Bevorzugt wurden magere Fische mit einem Fettgehalt im Filet bis 5%. Signifikant schlechter wurden Fische mit einem Fettgehalt von 15% und höher bewertet. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Pfeiffer *et al.* (2003); Karpfen mit einem Fettgehalt unter 5% erhielten in der organoleptischen Beurteilung gute bis sehr gute Benotungen, während Karpfen mit höheren Fettgehalten von 6-11% schlechter bewertet wurden. Für eine hohe Verbraucherzufriedenheit und eine Akzeptanzsteigerung von Speisekarpfen muss der Fettgehalt im Fokus von Erzeugung und Vermarktung stehen.

2.3 Der Fettgehalt des Speisekarpfens

Der Karpfen weist eine hohe Variation im Fettgehalt auf: 6,7-17,6% (Zeitler *et al.*, 1984), 2,2-26,2% (Oberle, 2005), 0,7-12,3% (Bauer *et al.*, 2007), 6,3-15% (Ljubojević *et al.*, 2013).

Der Fettgehalt von Karpfen wird maßgeblich von der Fütterung und der Besatzdichte beeinflusst (Zeitler *et al.*, 1984, Schwarz *et al.*, 2006). Grundsätzlich werden die magersten Karpfen auf Basis von Naturnahrung ohne jegliche Zufütterung produziert. Um einen höheren Flächenertrag zu erzielen ist die Zufütterung, meist in Form von Getreide, gängige Praxis. Der Fettgehalt der Fische nimmt mit der Fütterung zu (Fauconneau *et al.*, 1995, Pfeiffer *et al.*, 2003, Klobukowski *et al.*, 2008). Bei Zufütterung von Mais wurden höhere Fettgehalte bei Karpfen ermittelt als bei Zufütterung von Triticale oder Roggen (Urbánek *et al.*, 2010). Die Zufütterung findet weitgehend in den Sommermonaten von Mai bis September statt. Aufgrund der wärmeren Temperaturen ist der Stoffwechsel der Fische gesteigert und das Haupt-Wachstumspotential vorhanden. Traditionell findet das Abfischen bzw. die ‚Ernte‘ der dreijährigen, schlachtreifen Karpfen im Herbst statt. Okos *et al.* (2006) konnten nachweisen, dass sich ein früher Beginn der Zufütterung mit Beendigung im Juli positiv auf Gewicht und Fettgehalt auswirkt. Durch das verhältnismäßig frühe Absetzen der Zufütterung wird der durch die Fütterung erreichte höhere Fettgehalt bis zur Abfischung im Spätherbst wieder reduziert. Es ist somit nicht nur von Bedeutung den Fettgehalt

der Karpfen kurz vor dem Abfischen zu bestimmen; sinnvoll wäre ebenfalls eine simple und schnelle Fettgehaltsbestimmung im Jahresverlauf, insbesondere während der Fütterungsmonate, um den Fettgehalt zu kontrollieren und die Fütterung bei Bedarf anpassen zu können.

Derzeit wird der Fettgehalt von Karpfen mittels eines Distell Fish-Fatmeter (**FFM**) bestimmt (Bauer *et al.*, 2011, Klefoth *et al.*, 2013, Oberle, 2008). Die Messmethodik basiert auf elektromagnetischen Wellen und dem starken, inversen Zusammenhang von Wasser und Fett im Fisch (Kent *et al.*, 1992). Bei dem FFM handelt es sich um ein portables, handliches Gerät mit einem inkludierten Mikrowellen-Sensor. Dieser Sensor wird im Bereich des Filets auf die Haut des Fisches aufgelegt und der Wassergehalt an dieser Position erfasst. Anhand spezifischer Kalibrierungsdaten für Karpfen erfolgt eine Übersetzung des Wassergehaltes in den Fettgehalt des Fisches (Kent, 1990). Der Anschaffungspreis für ein Distell Fish-Fatmeter liegt bei ca. 8000,- EUR. In Bayern sind FFM an vier Anlaufstellen verteilt, unter anderem an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei – Außenstelle für Karpfenteichwirtschaft in Höchstadt. Zur Überprüfung des Fettgehaltes seiner Fische muss der Teichwirt sechs Karpfen eines Teiches zu einer Messstelle transportieren. Die Messung mittels FFM erfolgt am lebenden Fisch. Anschließend erhält der Teichwirt ein Qualitätsprüfzeugnis über die Qualität seiner Fische (LfL, 2007).

2.4 Phänotypisierung der Schlachtkörperqualität *in vivo* mittels Ultraschall

Die Ultraschall-Technologie ist eine häufig genutzte Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung bzw. der Schlachtkörperqualität landwirtschaftlicher Nutztiere *in vivo*. Schall mit einer Frequenz von über 16 kHz wird als Ultraschall bezeichnet. Die Ultraschall-Technologie basiert auf der Umwandlung von elektrischer Energie in Ultraschallenergie mithilfe sogenannter piezoelektrischer Kristalle. Die in das Untersuchungsobjekt eindringenden Ultraschallwellen werden durch die unterschiedlichen Gewebearten verschieden stark reflektiert und von dem Empfänger, dem Ultraschallsensor, in ein elektrisches Signal umgewandelt. Die elektrischen Signale werden im Falle eines B-Mode-Gerätes in ein zweidimensionales Graustufen-Bild umgewandelt (Scholz, 2002). Bei Rindern, Schafen und Schweinen ist die *in vivo* Messung der Rückenfettauflage mittels Ultraschall (US) eine gängige Methode zur Bestimmung der Schlachtkörperqualität (Brethour, 1992, Delfa *et al.*, 1995, Müller und Polten, 2003, Newcom *et al.*, 2002).

Bei Fischen wurde die Ultraschalltechnologie bisher hauptsächlich zur Bestimmung des Reproduktionsstatus eingesetzt (Mattson, 1991, Blythe *et al.*, 1994, Karlsen und Holm, 1994, Martin-Robichaud und Rommes, 2001, Moghim *et al.*, 2002, Novelo und Tiersch, 2012). Bei einer Studie an Welsen zeigte die Ultraschall-Messung von Muskelflächen eine

signifikante Aussagekraft in Bezug auf die Körperzusammensetzung (Bosworth *et al.*, 2001). Einzelne transversale Ultraschallmessungen der Rumpfmuskulatur erklärten bis zu 50% der Varianz an Fleischertragsmerkmalen.

2.5 Bisherige Untersuchungen zur Rückenfettdicke bei Karpfen

Oberle *et al.* (2015) untersuchten den Zusammenhang von Filet-Fettgehalt, gemessen mittels FFM, und der Rückenfettdicke von Spiegelkarpfen, ermittelt am halbierten Schlachtkörper mittels Schieblehre. Im Rahmen des Versuchs wurden 88 Fische analysiert und ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0.85$ ermittelt. Aufgrund dieser Ergebnisse darf bei einem laut Spezifikation geforderten Fettgehalt von unter 10% die Rückenfettdicke einen Wert von 7 mm nicht überschreiten. Auf Basis dieser Studie wurde eine Empfehlung für Gastwirte veröffentlicht, die Dicke der Rückenfettlage der frisch geschlachteten Karpfen zur Qualitätskontrolle heranzuziehen (Oberle *et al.*, 2012). Diese Vorgehensweise birgt jedoch einerseits für die Gastwirte das Risiko, Fische zu erwerben, die nicht den Qualitätsvorgaben entsprechen und zum anderen sind die Teichwirte gezwungen, ihre Karpfen – ohne Qualitätsprüfung – zu einem niedrigeren Preis zu vermarkten.

Die Rückenfettauflage eines Spiegelkarpfens ist in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt. Nach umfassender Literaturrecherche wurde bisher keine Veröffentlichung gefunden, die die Rückenfettdicke von Fischen mittels Ultraschall untersucht.

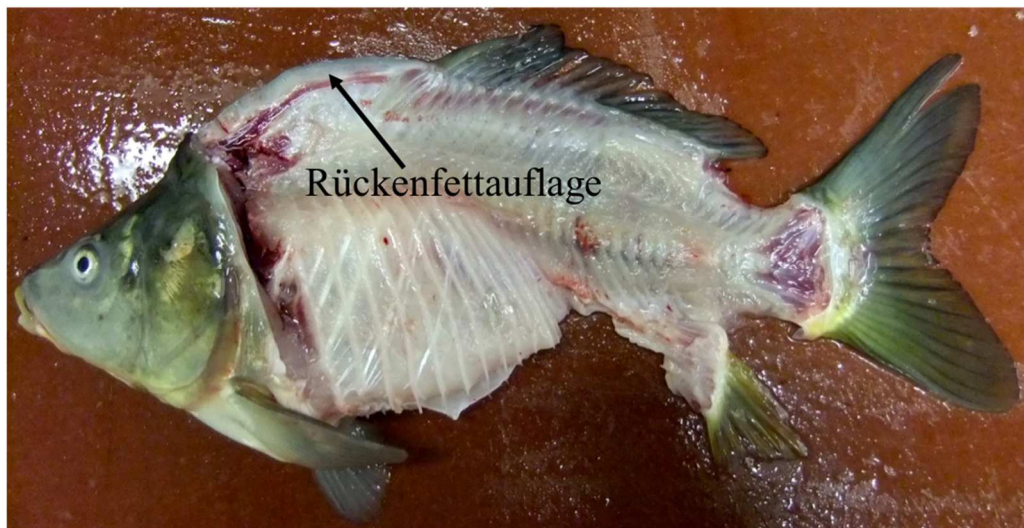


Abbildung 3. Darstellung der Rückenfettauflage am filetierten Spiegelkarpfen (Quelle: Maas, P.)

2.6 Einsatz von Computertomographie für die Phänotypisierung

Eine präzise Phänotypisierung ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Implementierung von Zuchtprogrammen. Die Computertomographie (CT) ist eine geeignete Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung *in vivo* (Scholz und Baulain, 2009). Sie wurde im Nutztierbereich bei verschiedenen Tierarten vielfach erforscht (Tabelle 2).

Tabelle 2. Einsatz von Computertomographie bei verschiedenen Tierarten

Tierart	Einsatzgebiet	Studie
Rind	Beurteilung der Schlachtkörperzusammensetzung	Navajas <i>et al.</i> (2010)
Schwein	Vorhersage des Magerfleischanteils	i Furnols <i>et al.</i> (2009)
Schwein	Vorhersage der chemischen Körperzusammensetzung	Arthur <i>et al.</i> (2011)
Schaf	Untersuchungen zur Verbesserung der Schlachtkörperqualität	Jopson <i>et al.</i> (1995)
Pute	Untersuchungen von Körperkompositionen und -entwicklung	Brenøe und Kolstad (2000)
Kaninchen	Messung der Hinterbein-Muskulatur zur Verbesserung von Schlachtkörpereigenschaften	Szendro <i>et al.</i> (2008)

Die CT-Technologie basiert auf einer gewebespezifischen Abschwächung von Röntgenstrahlung beim Durchdringen eines Probanden oder Materials. Es werden sequentiell einzelne Schichten des Untersuchungsobjekts durchleuchtet und auf diese Weise eine dreidimensionale Darstellung erreicht. Die Strahlendosis liegt durch die Vielzahl der Bilder deutlich über der Dosis in der konventionellen Röntgendiagnostik (Kiefer und Kiefer, 2003). Das zu untersuchende Objekt wird auf einem Tisch positioniert und schrittweise durch die Öffnung (Gantry) des Gerätes bewegt. Die Gantry besteht aus einer Strahlung erzeugenden Röntgenröhre und gegenüberliegenden, die Röntgenstrahlung messende, Detektoren. Während einer CT-Untersuchung rotiert die Gantry um 360° um das zu untersuchende Objekt, das somit aus verschiedenen Richtungen durchstrahlt wird. Von den verschiedenen Körpergeweben werden die Röntgenstrahlen unterschiedlich stark abgeschwächt. Die Detektoren in der Gantry empfangen die unterschiedlich abgeschwächte Strahlung, wandeln sie in elektrische Signale um und leiten sie zur Auswertung an einen Computer weiter. Im Computer wird anschließend ein Graustufen-Bild erzeugt. Die Abschwächung der Röntgenstrahlung wird mit der Einheit Hounsfield Units (HU) beschrieben. Luft absorbiert nahezu keine Röntgenstrahlung und weist einen HU-Wert von -1000 auf. Ein Wert von HU = 0 entspricht der Abschwächung durch Wasser und ein Wert von HU + 1000 deutet auf

sehr kompakte Strukturen, z.B. Knochen, hin. Durch den kontinuierlichen Tischvorschub, der das zu untersuchende Objekt durch die Gantry schiebt, kann der Computer anhand der räumlichen Information das Volumen des Untersuchungsobjektes berechnen (Scholz, 2002, Judas *et al.*, 2005).

Bei Fischen wurde die CT Technologie zur Schlachtkörperbestimmung bisher bei Atlantischem Lachs (Rye, 1991), Atlantischem Heilbutt (Kolstad *et al.*, 2004), Regenbogenforelle (Gjerde, 1987), Karpfen (Hancz *et al.*, 2003), Graskarpfen, Silberkarpfen und Zander (Romvari *et al.*, 2002) analysiert.

2.7 Einfluss von linearen Maßen auf die Körperzusammensetzung

Ein weiterer Ansatzpunkt bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung ist die Analyse des Einflusses von linearen Maßen. Gelingt es, mittels linearer Maße Parameter der Körperzusammensetzung vorherzusagen oder die Vorhersage zu verbessern, wäre eine einfache und schnell am lebenden Tier zu erhebende Messmethode gefunden. Das Körpergewicht von Rindern lässt sich beispielsweise präzise mittels linearer Maße, z.B. durch Messung des Brustumfangs, bestimmen (Ozkaya und Bozkurt, 2009). Lambe *et al.* (2008) untersuchten Lämmer mittels CT und konnten zeigen, dass die Genauigkeit der Vorhersage der Schlachtkörperqualität unter Einbeziehung von linearen Maßen verbessert werden konnte.

Der Einfluss linearer Maße auf die Vorhersage der Körperzusammensetzung bzw. der Schlachtkörperqualität wurde bei verschiedenen Fischarten untersucht; bei Welsen ließ sich die Vorhersage von Fleischertragsmerkmalen mittels US-Muskelmessungen unter Hinzunahme von Körperform-Messungen geringgradig verbessern (Bosworth *et al.*, 2001). Die in Seitenlage der Fische erhobenen Körperform-Merkmale korrelierten im Allgemeinen stärker mit den Schlachtkörpermerkmalen als Körperform-Merkmale, die aus der dorsalen Ansicht erhoben wurden. Cibert *et al.* (1999) entwickelten an Karpfen eine automatisierte Bildanalyse in Seitenlage. Unter Einbeziehung von vier Winkeln und zwei Längenmessungen wurde der Morphotyp mit der besten Filetausbeute charakterisiert. Dieser zeichnete sich laut Cibert *et al.* (1999) durch eine konvexe Form des oberen Kopfes und eine hoch angesetzte und breite Schwanzflosse aus. Rutten *et al.* (2004) analysierten den Einfluss der linearen Maße Standardlänge (Länge von Maulspitze bis zum Ansatz der Schwanzflosse), Höhe, Kopflänge und Umfang auf das Filetgewicht und die Filetausbeute von Nil-Tilapia. Das Filetgewicht ließ sich im Modell mit einer Genauigkeit von 98% vorhersagen, während die Filetausbeute nur eine moderate Vorhersagegenauigkeit von 38% erzielte.

2.8 Beschreibung der Publikationen

In der ersten Publikation „*In vivo – determination of the fat content in mirror carps (Cyprinus carpio) using ultrasound, microwave and linear measurements*“ der vorliegenden Arbeit wird die *in vivo* Bestimmung des Fettgehaltes von Spiegelkarpfen mittels Ultraschall, linearen Maßen und eines auf Mikrowellentechnologie basierendem Fish-Fatmeter untersucht. Es wurden 250 dreijährige Spiegelkarpfen lebend untersucht. Die Rückenfettdicke wurde mit einem mobilen Ultraschallgerät analysiert. Zusätzlich wurde das Körpergewicht, verschiedene Längen, die Höhe und verschiedenen Umfänge der Fische gemessen. 51 der untersuchten Fische wurden anschließend geschlachtet und der Filet-Fettgehalt chemisch analysiert. Das Potential der beschriebenen Messmethoden wurde unter Verwendung von linearen Regressionsmodellen hinsichtlich der Filet-Fettgehaltsbestimmung *in vivo* untersucht.

In der zweiten Publikation „*Prediction of body composition in mirror carp (Cyprinus carpio) by using linear measurements in vivo and computed tomography post mortem*“ wird die Phänotypisierung des Filet-Fettgehaltes und der Filetausbeute mittels Computertomographie beschrieben. Zusätzlich zu den in der ersten Publikation beschriebenen Messungen wurden 33 CT-Ganzkörperscans von frisch geschlachteten Spiegelkarpfen angefertigt. Die Rückenfettdicke und das Rückenfettvolumen der Fische wurde anhand der CT-Aufnahmen ermittelt. Zudem wurde die Filetausbeute berechnet und die Filetdicke CT-basiert vermessen. Mittels linearer Regressionsanalysen und unter Einbeziehung der Ergebnisse aus der chemischen Analyse wurde die zweidimensionale Dickenmessung und die dreidimensionale Volumenmessung des Rückenfettes analysiert. Multiple Regressionsanalysen wurden unter Hinzunahme von linearen Maßen durchgeführt. Die Vorhersage der Filetausbeute wurde mittels Filetdicke und linearen Maßen analysiert. Zusätzlich fand ein Abgleich der CT-basierten Rückenfettdickenmessung und der Ultraschall-basierten Rückenfettdickenmessung statt.

3 PUBLIKATION EINS

***In vivo* – determination of the fat content in mirror carps (*Cyprinus carpio*) using ultrasound, microwave and linear measurements**

P. Maas^{1,4}, B. Grzegorzółka², P. Kreß¹, M. Oberle³ and P.V. Kremer-Rücker¹

¹ University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Faculty of Agriculture,
Steingruberstraße 2, 91746 Weidenbach, Germany

² Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Faculty of Animal Science,
Department of Genetics and Animal Breeding, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland

³ Bavarian State Institute of Fisheries,
Greiendorfer Weg 8, Höchstadt an der Aisch, Germany

⁴ Ludwig-Maximilians-Universitaet Muenchen, Chair of Food Safety,
Schönleutnerstraße 8, 85764 Oberschleissheim, Germany

Published in: *Aquaculture*, Volume 512, 2019

DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734359

Abstract

Carp are the third largest species in aquaculture worldwide and belong to the fish family ‘cyprinids’, which make up the largest part of aquaculture production. The production of lean carp is one of the main goals in the carp farming business. Carps are usually traded alive; in order to ensure product quality and achieve a high consumer acceptance, it is important to estimate the fat content of the living fish. Therefore, during this study, a total of 250 living carps were examined using a mobile ultrasound device. Additionally, a microwave technology based Fish Fatmeter (Distell, Fauldhouse, Scotland, UK) was used to determine the fat content of the living fish. Further measurements included weight, lengths, height and circumferences. The ultrasound measurements were performed on non-sedated fish using narrow water-filled containers. Two sagittal images per fish were taken to measure the backfat thickness at defined locations. Subsequently, the fish were taken out of the water in order to determine the fat content using the Fish Fatmeter. Weight and linear measurements were taken. After the *in vivo* measurements, about 10 fish per pond, in total 51 fish, were slaughtered and the fillets were analysed chemically. Linear regression models were developed. The Fish Fatmeter turned out to be an accurate method to determine the fat content of the fillet in mirror carps ($R^2 = 0.95$). Regarding the ultrasound measurement of the backfat thickness, moderate correlations between ultrasound and Fish Fatmeter were achieved ($R^2 = 0.33\text{--}0.45$). Pearson’s correlation for linear measurement and the Fish Fatmeter showed negative prediction. In order to evaluate the relative backfat thickness, the ultrasound measurement was divided by linear measurements. The best correlation was found using the ultrasound measurement point where the backfat thickness reached a constant thickness divided by the circumference around the thinnest part of the tail fin ($R^2 = 0.74$). In the next step, the carps were divided into groups of ten fish per pond. The mean Fish Fatmeter measurement and ultrasound measurement divided by circumference was calculated and correlated achieving an R^2 of 0.92. Based on these findings, it seems plausible to estimate the fat content using a small sample of ten fish with an ultrasound device and a measuring tape.

Keywords

mirror carp, phenotyping, ultrasound, fat content, microwave

1. Introduction

The global production of the species group ‘carps, barbels and other cyprinids’, which is the largest among freshwater fish, is continuously increasing. In 2016, the production of this group totalled around 30 million tonnes, recording a growth of around 1 million tonnes per year (FAO, 2018). The species ‘common carp’ (*Cyprinus carpio*) is the third most produced species in aquaculture worldwide (FAO, 2018). In Asia, the Caucasus and Central and Eastern Europe, carp production is the most common fish production system (Woynarovich *et al.*, 2010). In Germany, carp is the second most important food fish. In 2016, about 5000 tonnes of carp were harvested, mainly in the states of Bavaria and Saxony (Brämick, 2017).

However, there is high variation regarding the fat content of carp (Fauconneau *et al.*, 1995, Bauer and Schlott, 2009, Ljubojević *et al.*, 2013). On the one hand, fish fat content is of great importance, considering sensory quality and texture (Johansson *et al.*, 2000), and has a number of positive effects on human health (Sargent, 1997, Mraz *et al.*, 2017). On the other hand, however, a high fat content in carp negatively affects the taste (Oberle and Aas, 2015). In order to ensure product quality and to achieve high customer acceptance, one of the main goals is the production of lean carp.

Several areas are allowed to produce carp under a European Quality Scheme called “PGI” – Protected Geographical Indication. This quality label requires that at least one stage of production, processing or preparation, takes place in the respective area (EU-Regulation no. 1151/2012 article 7). In 2012, the Aischgrund region, located in Middle Franconia, Germany, obtained the PGI-label for its “Aischgründer Karpfen”. Stringent requirements are laid down in product specifications; according to these, the fat content of the fillet, including the skin, should not be higher than 10% (Specification according to Art. 4(2) of Regulation (EC) No. 510/2016). As carps are traded alive, a method is needed that helps to determine the fat content of the animal while it is still alive. A microwave-based Fish Fat-meter is currently available (Distell, Fauldhouse, Scotland, UK). However, due to the high costs of the device and the small profit margin in the German carp farming business, only a few producers are able to actually make use of this technique.

For species such as cattle, sheep and pig, the non-invasive measurement of backfat thickness using an ultrasound to determine carcass traits is widespread (Brethour, 1992, Delfa *et al.*, 1995, Newcom *et al.*, 2002, Müller and Polten, 2004, Conroy *et al.*, 2009, Singh *et al.*, 2015). For fish, the ultrasound measurement is in use for reproduction (Novelo and Tiersch, 2012), but rarely used for the determination of carcass traits (Bosworth *et al.*, 2001).

To date, to the best of our knowledge, there have been no publications regarding the use of ultrasound in backfat layer measurements in fish. Oberle *et al.* (2015) reported high correlations between the fat content of mirror carps and the thickness of their backfat layer, measured at split carcasses using a calliper. Therefore, the aim of the present study was to evaluate the measurement of the fat content in live mirror carps using non-invasive methods such as ultrasound (US), linear measurements (LM) and a microwave-based Fish Fatmeter (FFM).

2. Material and methods

2.1 Animals

During the harvest season in autumn 2014, 250 three-year-old mirror carps (*Cyprinus carpio*) from five different ponds around the Aischgrund region were examined. The measurements occurred during the regular harvesting of the ponds. First, the living carps were measured for their backfat thickness using a mobile ultrasound device, followed by weighing, measuring different linear traits and determining the fat content using a FFM. About ten carps per pond were chemically analyzed. The total number of fish analysed was 51. From ponds 1, 2, 3 and 4, ten fish were analysed chemically, while eleven fish from pond 5 were analysed. These fish were transported in a water tank with oxygen to the research facility and kept alive under species-appropriate conditions until slaughter. The chemical analysis of all 250 fish was not possible due to costs, effort and organisational reasons.

Since the carp were examined alive during the regular harvest, sex determination by ultrasound was not performed to avoid stress caused by long examination times. The sex of the slaughtered fish was determined visually on the carcass. The sex ratio consisted of 29 male and 20 female animals. The sex of two animals could not be determined.

The Bavarian government was informed prior to this study. Since the handling of the animals was not different from the routine handling performed by fish farmers, animal testing regulations did not apply. However, the ethical procedure was applied during the investigations. The handling of the fish was conducted with special care and without prolonged exposure to external air.

2.2 Ultrasound measurement

The non-sedated fish were put into narrow water-filled containers and were examined for their backfat thickness using a mobile ultrasound device (MicroMaxx, Fujifilm SonoSite, Frankfurt am Main, Germany) and a 5MHZ endo-linear-probe. Pond-water was used as the transmission medium; therefore, there was no need for direct contact between the probe and the animals.

The probe was positioned under water above the transition-area from the head to the back of the fish. Two sagittal images of backfat per fish were taken, which were used to measure five defined locations (Figure 1). The first image (a) shows the start of the backfat layer behind the head. Its thickness was measured at four different points. The first point (US0) was defined as the spot closest to the fish's head where the thickness of the backfat layer reaches a constant value. The following three points, US1, US2 and US3, were taken from

the same image (b) at distances of 2.5 cm, 3 cm and 3.5 cm, respectively, from the foremost point of the fat layer following its axis towards the tailfin. The second image (c) depicts the backfat layer in the region of the dorsal fin; the thickness of the backfat layer was measured 2 cm towards the cranial direction from the beginning of the first ray of the dorsal fin (US4). Due to the usage of fresh pondwater and the lack of a need for direct contact during the ultrasound measurements, the fish remained calm during the ultrasound examinations.

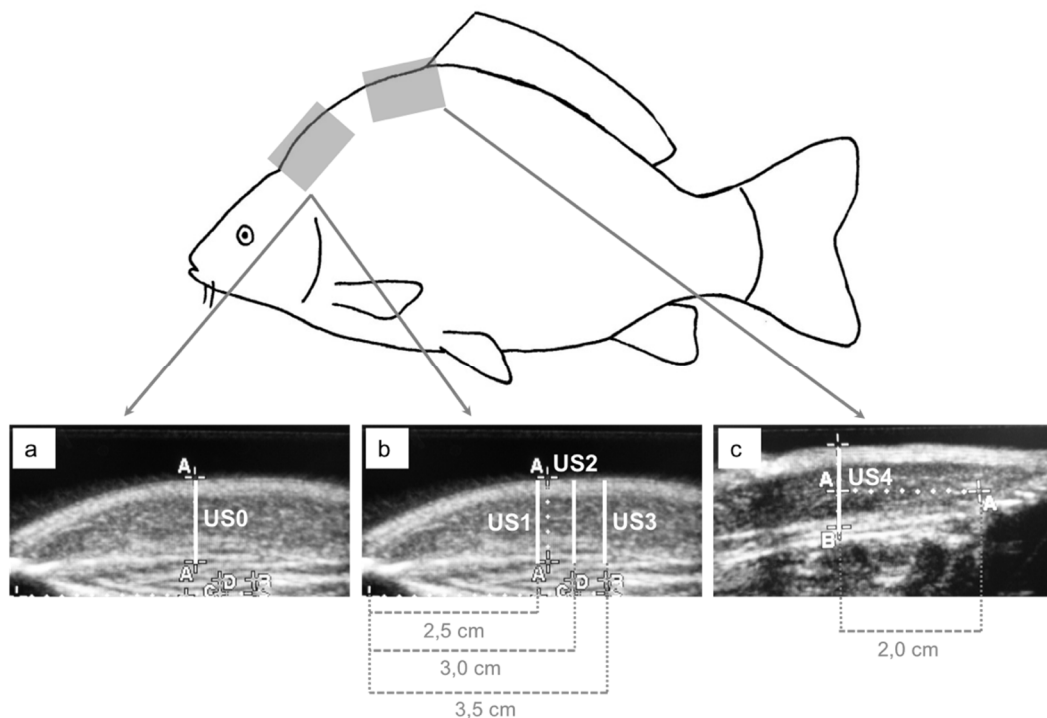


Figure 1. Measuring the backfat thickness in several positions using two ultrasound images. a) first image: US0 measured at the spot close to the fish's head where the thickness of the fat layer reaches a constant value, b) first image: US1, US2 and US3 measured 2.5 cm, 3 cm and 3.5 cm, respectively, from the beginning of the fat layer in the caudal direction, c) second image: US4 measured 2 cm from the beginning of the first ray of the dorsal fin in the cranial direction

2.3 Linear measurement

After US examination, the fish were taken out of the water and put on a wet table in order to measure the body weight using an electronic scale and to take different linear measurements using a measuring tape (Figure 2). Linear measurements included the height (H) and four traits of length (L1-L4) and circumference (CF1-CF4), respectively (Fig. 2). The height (H) was measured at the maximum height of the fish, close to the level of the ventral fin. The first length, L1, was measured from the mouth to the gill arch, L2 from the mouth to the beginning of the tail fin, L3 from the mouth to the end of the spread tail fin and L4 described the length from the mouth to the tip of the closed tail fin. The first circumference (CF1) was measured on the level of the pectoral fin, CF2 at the same position as the height H, CF3 on the level of the anal fin and CF4 around the slimmest part of the tail fin.

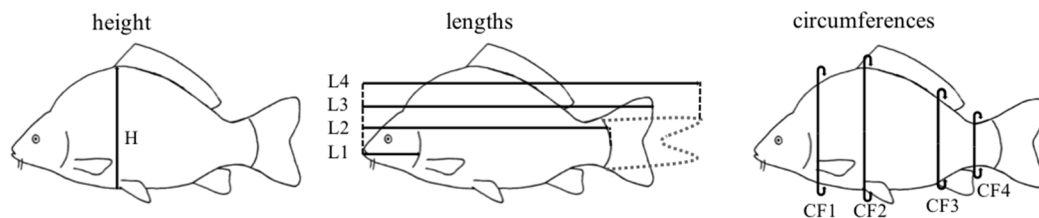


Figure 2. Linear measurement. Height (H): measured at the maximum height of the fish, Length 1 (L1): from the mouth to the gill arch, Length 2 (L2): from the mouth to the beginning of the tail fin, Length 3 (L3): from the mouth to the end of the tail fin, Length4 (L4): from the mouth to the end of the closed tail fin, Circumference 1 (CF1): at the level of the pectoral fin, Circumference 2 (CF2): at the level of the height measurement, Circumference 3 (CF3): at the level of the anal fin, Circumference 4 (CF4): around the thinnest part of the tail fin

2.4 Fish Fatmeter measurement and chemical analysis

Subsequently, the fat content of each carp was determined using the Distell Fish Fatmeter (FFM). This method is based on the strong relationship between water content and lipid content (Schreckenbach et al., 2001, Klefoth et al., 2013). The microstrip sensor emits microwaves and detects the water content of the fish (Kent, 1990). Using specific calibration data, the FFM translates the water content into a specific percentage of fat content of the fish. The handheld device was positioned in four specific locations on the left side of the fish above the lateral line in the area of the fillet, according to the manual (Figure 3). The value depicting the fat content was then displayed in the digital readout. The mean value per fish was calculated using all four values.

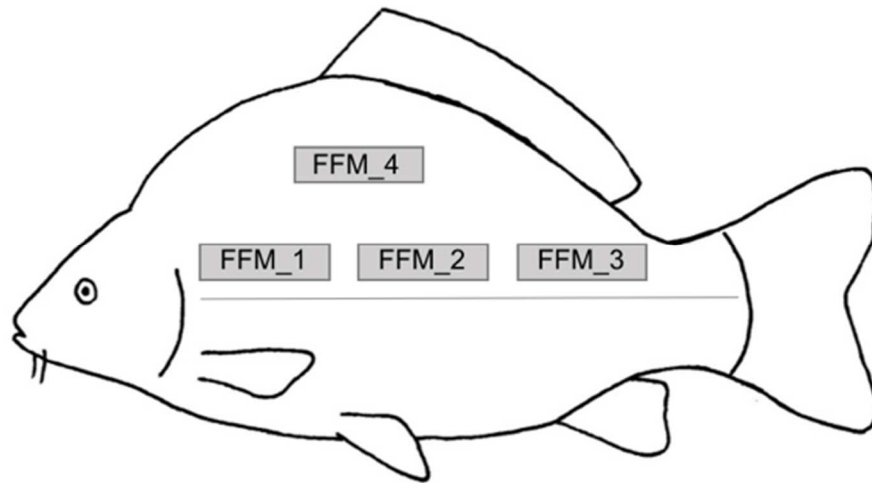


Figure 3. Measuring points of the Distell Fish Fatmeter on the left side of the carp

After the in vivo measurements were completed, about ten carps per pond were slaughtered and the left fillets, including the skin, were chemically analysed (CA) for their fat content using Soxhlet-extraction (VDLUFA, 2012). This method was modified by the investigating laboratory (Bavarian State Research Center for Agriculture - Department for Quality Assurance and Analytics 2016). The homogenised fillets were digested with hydrochloric acid under heating and the digestion liquids were filtered. The filter residues were then dried and extracted with petroleum ether under reflux. The solvent was distilled off. The residues were dried, cooled in the desiccator and weighed. After the empty weight of the flask was deducted, the fat content was obtained.

2.5 Statistics

All of the collected data were entered into Excel 2010 and analysed using RStudio (Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA) and MATLAB (MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States). Single linear regression models were used for ultrasonic measurements, the FFM and chemical analysis; multiple regression models were developed adding different linear measurements. The dataset was corrected for implausible observations. The different number of observations (n) regarding the ultrasound examinations is based on the later addition of measuring points during the experiment.

3. Results

3.1 Descriptive Statistics

The number of records, the mean and the standard deviation (SD) of weight, lengths 1-4, height, circumferences 1-4, the ultrasound measurements (US0-US4), the FFM-measurement and results from chemical analysis (CA) are presented in Table 1. The data set was split into two parts. Data set I contains the measurements of living animals, while Data set II contains carps that have been slaughtered and chemically analysed.

Table 1. Descriptive statistics in two datasets: Dataset I - *in vivo* measurements of linear parameter including weight, lengths, height, circumferences, Fish Fatmeter measurement (FFM) and ultrasound (US); Dataset II - FFM and chemical analysis (CA) of fat content

	n	mean	SD ($\pm$)
Dataset I	250		
Weight (g)		1686	609
Length1 (cm)		10.46	1.19
Length2 (cm)		36.81	4.07
Length3 (cm)		40.01	4.41
Length4 (cm)		41.58	4.27
Height (cm)		15.08	2.12
Circumference1 (cm)		31.28	4.18
Circumference2 (cm)		36.39	4.72
Circumference3 (cm)		24.84	3.48
Circumference4 (cm)		13.32	1.88
FFM (%)		12.52	8.41
US0 (cm)	250	1.04	0.18
US1 (cm)	196	1.07	0.17
US2 (cm)	196	1.08	0.17
US3 (cm)	196	1.08	0.17
US4 (cm)	154	0.97	0.14
Dataset II	51		
FFM (%)		12.59	9.28
CA (%)		13.10	8.77

n = number of observations, SD = standard deviation

3.2 Fish Fatmeter

During our study, an R^2 of 0.95 ($n = 51$; $p < 0.001$) was found comparing the results of FFM and the chemical analysis (Figure 4).

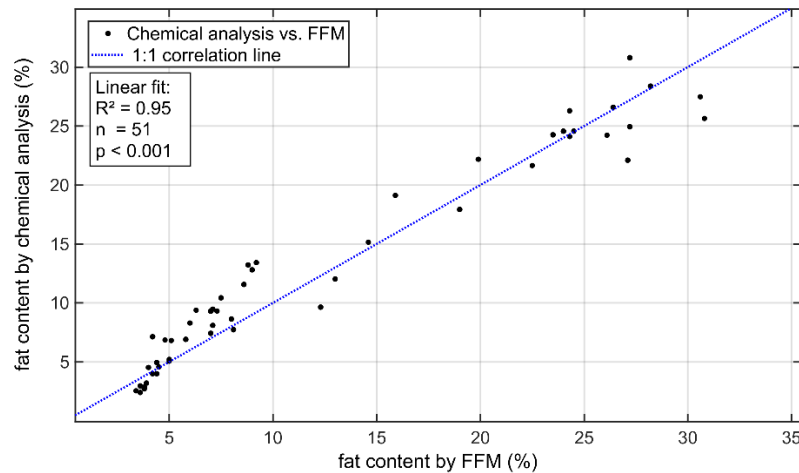


Figure 4. Correlation between the fat content of live fish using microwave technology (FFM) and the fat content determined by chemical analysis ($R^2 = 0.95$, $n = 51$, $p < 0.001$)

In order to examine the accuracy of the Fish Fatmeter in relation to certain fat levels, the fish were subdivided into groups according to their fat content determined by chemical analysis. The first group included fish with a fat content between 1% and 10% fat, the second group contained fish with a fat content between 10% and 20% fat, and the third group included fish with a fat content above 20%. Similar Pearson's coefficients of determination were found for the groups up to 20% fat, with an R^2 of 0.67 and 0.73. Fish with a fat content above 20% showed an R^2 of 0.33 (Table 2).

Table 2. Pearson's coefficient of determination (R^2) and coefficient of correlation (r) for the fat content measured by chemical analysis (CA) and the Fish Fatmeter (FFM) divided into three groups according to fat content

fat content (CA)	n	R^2	r	p	RMSE
1–10%	27	0.67	0.82	< 0.001	1.17
10–20%	9	0.73	0.86	0.003	2.23
>20%	15	0.33	0.58	0.024	2.48
all fish	51	0.95	0.97	< 0.001	2.12

n = number of observations, p = p-value, RMSE = Root Mean Squared Error

3.3 Ultrasound

As single correlations between the fat content measured by FFM and the fat content determined by chemical analysis resulted in a strong correlation, the FFM results were used as the reference measurements for calculations regarding the ultrasonic and linear measurements in the remaining fish, which were only measured *in vivo*. The FFM measurement correlated significantly with the US measurement including US0, $R^2 = 0.45$; US1, $R^2 = 0.40$; US2, $R^2 = 0.41$; US3, $R^2 = 0.44$; US4, $R^2 = 0.33$ (Table 3). In the following calculations, US0 is used as the largest number of animals is present in that group. The US0 was measured at the spot close to the fish's head where the backfat reached a constant thickness (Figure 1).

3.4 Linear measurement

We used weight, different lengths, height and different circumferences. The methodology of the linear measurement is described in Figure 2. Pearson's correlation for linear measurement and the FFM showed a negative prediction and small coefficients of determination (Table 4). Stepwise regression was performed using the FFM measurement and the US measurement adding different linear measurement traits. The results did not lead to a much higher prediction accuracy than US measurements alone.

Table 3. Pearson's coefficient of determination (R^2) and coefficient of correlation (r) for the Fish Fat Meter (FFM) and several ultrasound (US) measurements of the backfat thickness

ultrasound point	n	R^2	r	p	RMSE
US0	250	0.45	0.67	< 0.001	0.137
US1	196	0.40	0.63	< 0.001	0.13
US2	196	0.41	0.64	< 0.001	0.133
US3	196	0.44	0.66	< 0.001	0.129
US4	154	0.33	0.57	< 0.001	0.118

n = number of observations, p = p-value, RMSE = Root Mean Squared Error

Table 4. Pearson's coefficient of determination (R^2) and coefficient of correlation (r) for the Fish Fatmeter (FFM) results as the gold standard and the linear measurement traits

linear measurement traits	n	R ²	r	p	RMSE
W	250	0.25	-0.497	< 0.001	530
L1	250	0.30	-0.550	< 0.001	0.992
L2	250	0.30	-0.548	< 0.001	3.41
L3	250	0.32	-0.566	< 0.001	3.65
L4	250	0.32	-0.564	< 0.001	3.53
H	250	0.29	-0.534	< 0.001	1.8
CF1	250	0.26	-0.507	< 0.001	3.61
CF2	250	0.26	-0.509	< 0.001	4.07
CF3	250	0.26	-0.507	< 0.001	3.01
CF4	250	0.32	-0.562	< 0.001	1.56

W = weight, L1 = Length1, L2 = Length2, L3 = Length3, L4 = Length4, H = Height, CF1 = Circumference1, CF2 = Circumference2, CF3 = Circumference3, CF4 = Circumference4, n = number of observations, p = p-value, RMSE = Root Mean Squared Error

3.5 Evaluation of the specific backfat thickness

In order to adjust the US measurement for the effect of absolute values, the backfat thickness measured by ultrasound was divided by linear measurements. The correlations between FFM and US0 divided by linear measurements resulted in R^2 values of 0.62 to 0.74 ($n = 250$, $p < 0.001$). The best correlation was found using FFM and US0 divided by CF4 and resulted in an R^2 of 0.74 (Figure 5). This new variable is referred to as US0/CF4 in the following.

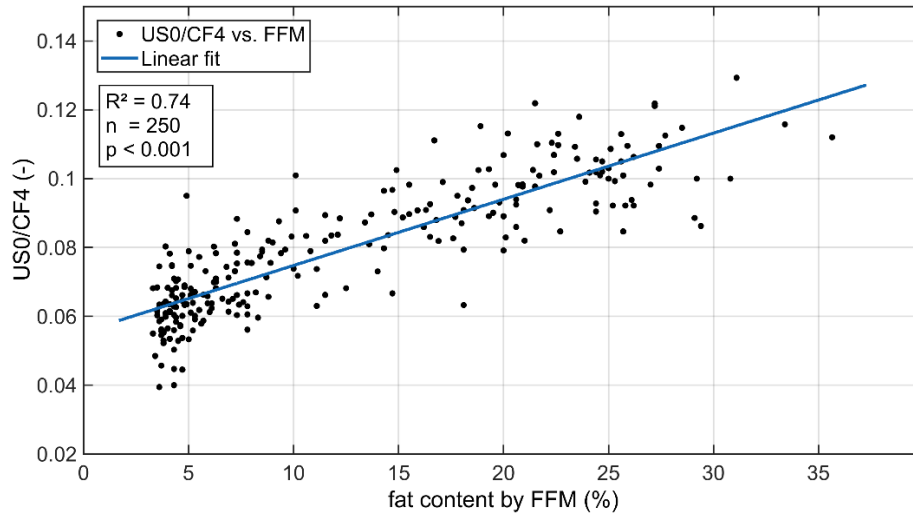


Figure 5. Correlation between the backfat layer thickness measured by US0 divided by CF4 and the fat content determined by FFM ($R^2 = 0.74$, $n = 250$, $p < 0.001$)

Major differences regarding the fat content become apparent through the examination of fish from five different ponds. Fish from pond 1 had a mean fat content of 5.61% with a standard deviation ($\pm$) of 2.55 ($n = 54$). At pond 2, the mean fat content was 5.03% (± 1.62 , $n = 42$). A high mean fat content was found in pond 3 (17.04%, ± 7.47 , $n = 51$) and pond 4 (23.22%, ± 5.24 , $n = 52$). Carps from pond 5 had a mean fat content of 10.50% (± 3.95 , $n = 51$).

In the next step, every pond was subdivided into groups of ten random fish. The number of groups formed was $n(g) = 24$. Per pond, five groups with ten fish each were considered with the exception of pond 2; only four groups could be designed here as only 42 carp from this pond were examined. The mean values for the fat content measured by FFM and the mean values for US0 divided by different linear measurements were calculated for every group. The new variables regarding the mean value of the ten fish of the backfat thickness measured by ultrasound divided by linear measurement are called US0/(linearmeasurement)_mean in the following, for example US0/CF4_mean. The best result gives the linear correlation of the mean values between FFM and US0/CF4_mean (R^2 of 0.92, Figure 6). Further results of correlations with various linear measurements are shown in Table 5.

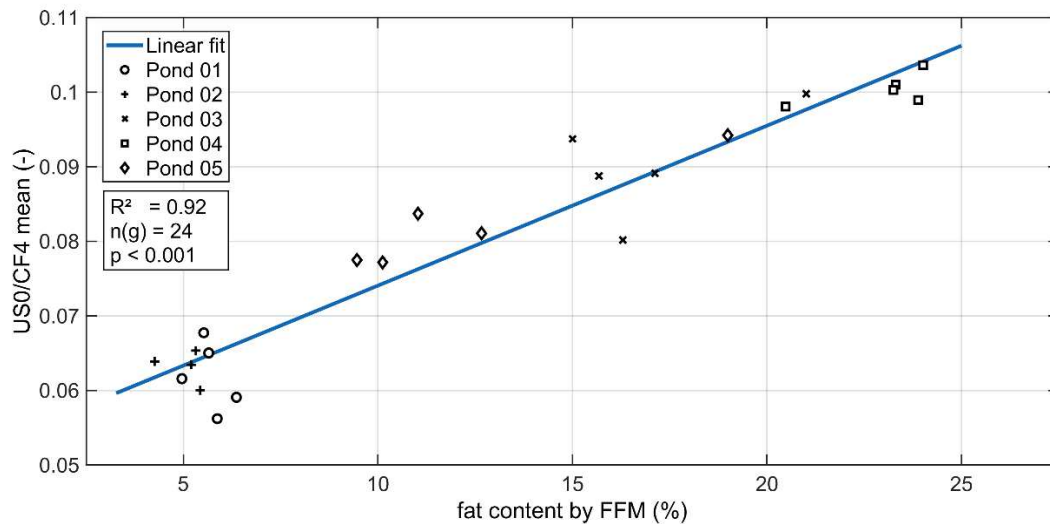


Figure 6. Correlation of the mean value for random groups of 10 fish per pond between fat content measured by FFM (in %) and the backfat thickness measured by ultrasound (US0) divided by the linear measurement CF4 (US0/CF4_mean) ($R^2 = 0.92$, $n(g) = 24$, $p < 0.001$)

Table 5. Pearson's coefficient of determination (R^2) and coefficient of correlation (r) for the mean values of the groups of 10 fish for the FFM as gold standard and the backfat thickness measured by ultrasound divided by linear measurements

	n(g)	R^2	r	p	RMSE
US0_W_mean	24	0.88	0.94	< 0.001	0.00009
US0_L1_mean	24	0.91	0.96	< 0.001	0.0052
US0_L2_mean	24	0.90	0.95	< 0.001	0.0016
US0_L3_mean	24	0.89	0.94	< 0.001	0.0016
US0_L4_mean	24	0.88	0.94	< 0.001	0.0015
US0_H_mean	24	0.88	0.94	< 0.001	0.0048
US0_CF1_mean	24	0.86	0.92	< 0.001	0.0024
US0_CF2_mean	24	0.90	0.95	< 0.001	0.0017
US0_CF3_mean	24	0.90	0.95	< 0.001	0.0027
US0_CF4_mean	24	0.92	0.96	< 0.001	0.0046

US0_W_mean = US0 divided by weight (mean of 10 fish), US0_L1_mean = US0 divided by Length1 (mean of 10 fish) ...

n(g) = number of groups of 10 fish each, p = p-value, RMSE = Root Mean Squared Error

4. Discussion

4.1 Descriptive Statistics

The similar mean value of the ultrasonic measuring points US0 to US3 is conspicuous. It is assumed that backfat in the range 2.5 cm after beginning (US1) up to 3.5 cm after beginning (US3) has the same thickness. The measuring point US0 was mostly in the area of US1. US4 remained caudal and was determined using a new ultrasound image. The lower mean value could be due to a narrowing backfat thickness on the one hand, or because the fat layer in the bodyward region was traversed by connective tissues, on the other hand, meaning that a clear demarcation between fat and surrounding tissue was not always possible. Thus, it is assumed that the determined values of the backfat thickness were too small compared to those that were actually present. In addition, fewer fish were examined as this measuring point was added later. In order to verify this, a more detailed examination of the backfat thickness must be carried out using further technology, e.g. computer tomography (Romvari *et al.*, 2002).

4.2 Fish Fatmeter

For a high consumer acceptance and the subsequently high sales of carps, it is important for the carp farming business to measure the fat content in live carp. The FFM has shown to be an accurate method to determine the fat content of the fillet in live mirror carps (R^2 of 0.95). In comparable studies, indications for the coefficients of determination (R^2) for carp, eel, river catfish, herring and Pacific salmon vary between 0.67 and 0.93 (Vogt *et al.*, 2002, Crossin and Hinch, 2005, Van Sang *et al.*, 2009, Klefoth *et al.*, 2013).

In our study, a high spread in fat content was found. The results of the chemical analysis regarding the fat content in fillet varied from 2.4% to 30.8%. No similar study was found that examined carp and showed a comparable span in fat content. Further studies depicted a lower range of fat content in common carp: 2.7% to 6.9% (Bauer and Schlott, 2009), 6.3% to 15% (Ljubojević *et al.*, 2013), 6.7% to 17.6% (Zeitler *et al.*, 1984).

The production of lean carps is one of the main goals in the carp farming business. A study of sensory evaluation concluded that lean carps (0-5% fat content) were preferred; carps representing a high fat content (>15% fat content) were considered significantly worse with regards to its taste (Oberle and Aas, 2015). According to the literature, carps with a fat content above 20% do not seem to be suitable. In fact, fish with a fat content lower than 20% can be detected using the FFM with around 80% accuracy.

4.3 Ultrasound

To date, to the best of our knowledge, there are no publications regarding the use of ultrasound in fish backfat layer measurements. In other species, the ultrasound measurement of backfat thickness is a widely used method. In particular, non-invasive methods such as ultrasound measurement are used in animal breeding programs to identify promising sires. For living swine and cattle, it is a commonly used method to predict the carcass value *in vivo* (Brethour, 1990, Newcom *et al.*, 2002, Müller and Polten, 2004, Bergen *et al.*, 2005). Ultrasound can also be used to infer the body condition score in dairy cows (Singh *et al.*, 2015). Oberle *et al.* (2015) reported a correlation of $R^2 = 0.85$ between fat content of the fillet measured by FFM and the backfat layer in carps. The backfat thickness was determined by calliper-measurement at the split carcass. The lower correlation (R^2 of 0.33–0.45) in our study using US might be caused by the difficulty in taking precise sectional images of the backfat layer. The US measurement was performed in living animals without anaesthesia. There was no contact between the ultrasound probe and the carp. The fish was restricted in its movement by a narrow, water-filled container but even the smallest motions of the fish led to varied intersection angles of the backfat layer on the frozen image. In order to verify this assertion, a more precise measuring method of backfat thickness must be evaluated. Computed tomography (CT) would be a suitable technique. In sheep farming, where ultrasound examinations to predict carcass quality give only moderate results, CT examination is routinely used as the gold standard (Lambe *et al.*, 2008, Scholz *et al.*, 2015).

4.4 Linear measurement

The usage of linear measures is a common method to improve predictive models of animal body composition, even in animal breeding (Bergen *et al.*, 2005, Bernau *et al.*, 2015). Van Sang *et al.* (2009) and Bosworth *et al.* (2001) used several body measurements to predict fillet weight and fillet yield in live river catfish. One of the aims of our study was to evaluate the relationship between linear measurements and the fat content of carps. Stepwise regression using the FFM as a reference measurement and the US measurement adding different linear measurement traits does not generate much stronger correlations than US points gave alone. The linear measurement alone therefore does not allow conclusions to be drawn about the fat content of the carp.

4.5 Evaluation of the specific backfat thickness

The backfat thickness is an absolute value. Comparatively small carps have a smaller backfat thickness than large carps; nevertheless, small carps can have a higher total fat content.

In order to adjust the backfat thickness for this effect, the ultrasound measurement was divided by linear measurement. Compared to the correlations between US and FFM ($R^2 = 0.33-0.45$), with addition of linear measurements, a higher coefficient of determination was achieved ($R^2 = 0.62-0.74$). Thus, around 80% of the fat content of carp can be explained by using ultrasound and linear measurements. In the next step, groups of ten fish per pond were considered and the mean values regarding FFM, US and linear measurements were calculated. On the one hand, averaging has the effect of compensating for random measurement errors. On the other hand, the method of designing groups and taking the mean comes close to current Bavarian practice: currently, six fish per pond are measured using FFM and the mean value is calculated to indicate the average fat content of the pond.

The linear correlation of the mean values of the groups between FFM and US0 divided by linear measurements resulted in an R^2 of 0.88-0.92. Instead of selling the carps without knowledge of their fat content and consequent taste, it seems possible to estimate the fat content using a small sample of fish using an ultrasound device and a measuring tape.

In addition, it becomes clear that the ponds contained fish of a certain fat level. Two ponds contained lean fish, one pond contained fish with a medium fat content and two ponds contained fatty fish. The differences in fat content of carp are mainly caused by the density of the fish population and the fed diet (Zeitler *et al.*, 1984, Schwarz *et al.*, 2006). It is therefore of great importance for the carp farmer to be able to determine the fat content during the year in order to adjust the diet. Especially in the warm summer months, the fat content can be influenced by feeding (Yamamoto *et al.*, 2003, Okos *et al.*, 2006, Oyugi *et al.*, 2012). Furthermore, it is of great interest to the carp farmer to determine the fat content of the fish during harvesting in order to achieve the best price for high quality fish with fat contents below 10%.

For these purposes, however, it must be possible for the pond owner to measure the fat content of his fish several times a year. The price for a Fish Fatmeter is around 8000 EUR. The cost for a new, simple and portable b-mode ultrasound device ranges from approx. 2000 to 10000 EUR, depending on equipment. Another possibility is buying a used device. This possibility also exists with the Fish Fatmeter, but the availability of used ultrasound devices is much higher. However, it remains an expensive investment for the carp farmer. One way to avoid these costs is to have the ultrasound measurement performed by the local veterinarian. In particular, large animal practitioners usually own a portable ultrasound device and could offer the backfat measurement of carps as a service. Another option is to test an a-mode ultrasound device to determine the thickness of the backfat layer. These devices have clearly more favourable purchase prices.

5. Conclusion

The Fish Fatmeter (FFM) was shown to be the most accurate method to determine the fat content in mirror carps. During our study, an R^2 of 0.95 was found by comparing the results of FFM and the chemical analysis. The FFM tends to work better in carp with a fat content below 20%. Moderate correlations have been observed between ultrasound measurements and FFM measurements as the reference method. The linear measurements provided negative correlations with the FFM. However, the ultrasound method can be improved by dividing the backfat thickness by linear measurements. In order to evaluate practical relevance and to reduce random measurement errors, groups of ten randomly selected fish were considered for each pond. The correlation of the mean FFM measurement and the mean US measurement divided by linear measurements showed an R^2 of 0.88–0.92. This result shows that the backfat thickness is suitable for predicting fat content. However, the backfat thickness should be divided by using a linear measurement and the mean value of a sample of ten carps should be calculated.

4.1 The next steps

The next step will be to evaluate the ultrasound method in more detail. The accuracy of the method should be checked using a larger number of fish and changing conditions, e.g. different data collectors. Other methods should be considered to determine the accuracy of the ultrasound method and to evaluate their random measurement errors. Looking ahead, a comparative method could be computed tomography.

Subsequently, the best predictive model will be proposed. Taking into account costs and breeding options, this model could be established for *in vivo* measurements and will change the standard methods. Furthermore, a breeding program using precise methods to predict and control the body composition of carp in order to select suitable fish for breeding should be developed and constructed. Thus a system of quality-oriented production and marketing could be established, resulting in a high quality product and, consequently, in a higher profit margin.

Acknowledgements

We thank the COST Action FA1102 Farm Animal Imaging (FAIM) for supporting Dr. Beata Grzegorzółka during two short-term scientific missions regarding this project.

References

- Bauer, C., Schlott, G., 2009. Fillet yield and fat content in common carp (*Cyprinus carpio*) produced in three Austrian carp farms with different culture methodologies. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 591-594. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01282.x>.
- Bavarian State Research Center for Agriculture, Department for Quality Assurance and Analytics, 2016. Determination of intramuscular fat content in fish - modification of the VDLUFA method 5.1.1. Subject area AQU3, central laboratory, Analysis of feed and animal products, Poing, Germany. Internal documentation, received by email on 19 October 2016.
- Bergen, R., Miller, S.P., Mandell, I.B., Robertson, W.M., 2005. Use of live ultrasound, weight and linear measurement to predict carcass composition of young beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 23-25. <https://doi.org/10.4141/A04-011>.
- Bernau, M., Kremer, P.V., Lauterbach, E., Tholen, E., Petersen, B., Pappenberger, E., Scholz, A.M., 2015. Evaluation of carcass composition of intact boars using linear measurements from performance testing, dissection, dual energy X-ray absorptiometry (DXA) and magnetic resonance imaging (MRI). *Meat Sci.* 104, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.01.011>.
- Bosworth, B.G., Holland, M., Brazil, L., 2001. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. *J. Animal Sci.* 79, 1483-1490. <https://doi.org/10.2527/2001.7961483x>.
- Brämick, U., 2017. Annual report of fresh water fisheries and aquaculture. In German: Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2017. Institut für Binnenfischerei e.V., Potsdam-Sacrow. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/EU-Fischereipolitik-Meeresschutz/JahresberichtBinnenfischerei.html> (accessed 5 January 2019).
- Brethour, J.R., 1990. Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle. *J. Animal Sci.* 68, 2603-2613. <https://doi.org/10.2527/1990.6892603x>.
- Brethour, J.R., 1992. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat in cattle. *J. Animal Sci.* 70, 1039-1044. <https://doi.org/10.2527/1992.7041039x>.
- Conroy, S.B., Drennan, M.J., Kenny, D.A., McGee, M., 2009. The relationship of live animal muscular and skeletal scores, ultrasound measurements and carcass classification scores with carcass composition and value in steers. *Animal.* 3, 1613-1624. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990395>.

- Crossin, G.T., Hinch, S.G., 2005. A nonlethal, rapid method for assessing the somatic energy content of migrating adult Pacific salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 134, 184-191. <https://doi.org/10.1577/FT04-076.1>.
- Delfa, R., Teixeira, A., Gonzales, C., Blasco, I., 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and *longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Rumin. Res.* 16, 159-164. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00632-U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00632-U).
- EU-Regulation no. 1151/2012 article 7. In German: Verordnung (EU) Nr. 1151/2012 des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. November 2012 über Qualitätsregelungen für Agrarerzeugnisse und Lebensmittel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:343:0001:0029:de:PDF> (accessed 10 April 2018).
- FAO, 2018. FAO yearbook, Fishery and Aquaculture Statistics, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries and Aquaculture Department, Rome. http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2016_USBcard/booklet/web_i9942t.pdf (accessed 06 April 2019).
- Fauconneau, B., Alami-Durante, H., Laroche, M., Marcel, J., Vallot, D., 1995. Growth and meat quality relations in carp. *Aquaculture*. 129, 265-297. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00309-C](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00309-C).
- Johansson, L., Kiessling, A., Kiessling, K.-H., Berglund, L., 2000. Effects of altered ration levels on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Qual. Prefer.* 11, 247-254. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(99\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(99)00073-7).
- Kent, M., 1990. Hand-held instrument for fat/water determination in whole fish. *Food Control*. 1, 47-53. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(90\)90121-R](https://doi.org/10.1016/0956-7135(90)90121-R).
- Klefoth, T., Skov, C., Aarestrup, K., Airlinghaus, R., 2013. Reliability of non-lethal assessment methods of body composition and energetic status exemplified by applications to eel (*Anguilla anguilla*) and carp (*Cyprinus carpio*). *Fish. Res.* 146, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.03.010>.
- Lambe, N.R., Navajas, E.A., Schofield, C.P., Fisher, A.V., Simm, G., Roehe, R., Bünger, L., 2008. The use of various live animal measurements to predict carcass and meat quality in two divergent lamb breeds. *Meat Sci.* 80, 1138-1149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.026>.

- Ljubojević, D., Ćirković, M., Đorđević, V., Puvača, N., Trbović, D., Vukadinov, J., Plavša, N., 2013. Fat quality of marketable fresh water fish species in the Republic of Serbia. *Czech J Food Sci.* 31, 445-450. <https://doi.org/10.17221/53/2013-CJFS>.
- Mraz, J., Zajic, T., Kozak, P., Pickova, J., Kacer, P., Adamek, V., Kralova Lesna, I., Lanska, V., Adamkova, V., 2017. Intake of carp meat from two aquaculture production systems aimed at secondary prevention of ischemic heart disease - a follow-up study. *Physiol. Res.* 66, 129-137.
- Müller, S., Polten, S., 2004. Comparative investigations for ultrasonic fat thickness measurements of pigs at the performance testing. In German: Vergleichsuntersuchungen zur Ultraschall-Speckdickenmessung beim Schwein im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. *Arch. Anim. Breed.* 47, 249-263. <https://doi.org/10.5194/aab-47-249-2004>.
- Newcom, D.W., Baas, T.J., Lampe, J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *J. Animal Sci.* 80, 3046-3052. <https://doi.org/10.2527/2002.80123046x>.
- Novelo, N.D., Tiersch, T.R., 2012. A Review of the Use of Ultrasonography in Fish Reproduction. *N. Am. J. Aquac.* 74, 169-181. <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.672370>.
- Oberle, M., Aas, M., 2015. Sensoric evaluation of Carp (*Cyprinus carpio*) flesh with different fat content. *Proc. of the 3rd Carp Conference*, 3rd-4th Sept 2015, Vodnany, Czech Republic, pp. 65-66.
- Oberle, M., Hlavac, D., Masilko, J., 2015. Determination of fat content of fillets from the thickness of the dorsal fat deposition in carp (*Cyprinus carpio* L.). 3rd Carp Conference Vodnany, MEVPIS Vodnany, Czech Republic.
- Okos, M., Oberle, M., Willeke, H., 2006. Influence of the distribution of the feed quantity over the growth period on the meat quality of carp. In German: Einfluss der Verteilung der Futtermenge über die Wachstumsperiode auf die Fleischqualität von Karpfen. Jahresbericht 2006, pp 21-22. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei. <https://www.lfl.bayern.de/jahresberichte> (accessed 08 April 2016).
- Oyugi, D.O., Cucherousset, J., Baker, D.J., Britton, J.R., 2012. Effects of temperature on the foraging and growth rate of juvenile common carp, *Cyprinus carpio*. *J. Therm. Biol.* 37, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.11.005>.

- Romvari, R., Hancz, C.S., Petrasi, Z.S., Molnar, T., Horn, P., 2002. Non-invasive measurement of fillet composition of four freshwater fish species by computer tomography. *Aquacult. Int.* 10, 231-240. <https://doi.org/10.1023/A:1022196413528>.
- Sargent, J.R., 1997. Fish oils and human diet. *Br. J. Nutr.* 78, 5-13. <https://doi.org/10.1079/BJN19970131>.
- Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal.* 9, 1250-1264. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000336>.
- Schreckenbach, K., Knösche, R., Ebert, K., 2001. Nutrient and energy content of freshwater fishes. *J. Appl. Ichthyol.* 17, 142-144. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2001.00295.x>.
- Schwarz, F.J., Bräutigam, M., Schabbel, W., Oberle, M., Steinhart, H., 2006. Effect of stocking density and feeding of carp (*Cyprinus carpio* L.) on fat content and fatty acid composition. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 15, 132.
- Singh, R., Randhawa, S.N.S., Randhawa, C.S., 2015. Body condition score and its correlation with ultrasonographic back fat thickness in transition crossbred cows. *Vet. World.* 8, 290-294. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.290-294>.
- Specification according to Art. 4(2) of Regulation (EC) No. 510/2006. In German: Spezifikation gemäß Artikel 4 Abs.2 der Verordnung (EG) Nr. 510/2006 zum Antrag auf Eintragung der Bezeichnung "Aischgründer Karpfen" als g.g.A. <https://www.teichgenossenschaft-aischgrund.de/downloads/SpezifikationAischgründerKarpfen.pdf> (accessed 3 March 2018).
- Van Sang, N., Thomassen, M., Klemetsdal, G., Gjøløen, H.M., 2009. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture.* 288, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.030>.
- VDLUFA, 2012. Manual of Agricultural Experimental and Research Methodology, Vol. III. The Chemical Analysis of Animal Feed, 5.1.1. Determination of Crude Fat. In German: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 5.1.1. Bestimmung von Rohfett. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt, Germany.

- Vogt, A., Gormley, T.R., Downey, G., Somers, J., 2002. A comparison of selected rapid methods for fat measurement in fresh herring (*Clupea harengus*). *J. Food Compos. Anal.* 15, 205-215. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1049>.
- Woynarovich, A., Moth-Poulsen, T., Péteri, A., 2010. Carp polyculture in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/013/i1794e/i1794e.pdf> (accessed 11 November 2018).
- Yamamoto, T., Shima, T., Furuita, H., Suzuki, N., 2003. Effect of water temperature and short-term fasting on macronutrient self-selection by common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*. 220, 655-666. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00541-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00541-0).
- Zeitler, M.H., Kirchgessner, M., Schwarz, F.J., 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*. 36, 37-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90052-8).

4 PUBLIKATION ZWEI

Prediction of body composition in mirror carp (*Cyprinus carpio*) by using linear measurements *in vivo* and computed tomography *post mortem*

Paula Maas^{1,5}, Beata Grzegorzółka², Philipp Kreß¹, Martin Oberle³, Michael Judas⁴, and Prisca Valerie Kremer-Rücker¹

¹ Faculty of Agriculture, University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf,
Steingruberstraße 2, 91746 Weidenbach, Germany

² Faculty of Animal Science, Department of Genetics and Animal Breeding,
Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Ciszewskiego 8, 02-786 Warsaw, Poland

³ Bavarian State Institute of Fisheries,
Greiendorfer Weg 8, Höchstadt an der Aisch, Germany

⁴ Max-Rubner-Institut, Department of Safety and Quality of Meat,
E.-C.-Baumann-Straße 20, 95326 Kulmbach, Germany

⁵ Faculty of Veterinary Medicine, Ludwig-Maximilians-Universität Muenchen,
Chair of Food Safety, Schönleutnerstraße 8, 85764 Oberschleissheim, Germany

Published in: *Archives Animal Breeding*, 63, 69-80, 2020

DOI: 10.5194/aab-63-69-2020

Abstract

The mirror carp (*Cyprinus carpio*) belongs to the cyprinids, the world's largest and most important fish family in aquaculture. The fat content and the fillet yield are important parameters in the marketing of carp. Although the influence of the environment on the body composition of the carp has been well studied, there is little research in the field of breeding. For this purpose, precise phenotyping is indispensable.

Therefore, during this study a total of 33 mirror carps were examined using computed tomography (CT) technology. First, the fish were examined alive. Total body weight and linear measurements such as lengths, height and circumferences were measured, and ultrasound was used to determine the back-fat thickness. The fish were then slaughtered and whole body scans of all fish using CT were made. The carps were filleted and the fillets with skin were chemically analyzed.

In order to predict the chemical fillet fat content, thickness measurements and volume calculations of the back fat were carried out using CT. Compared to the CT-based back-fat thickness measurement correlated with the results from the chemical analysis ($R^2 = 0.62$), the CT-based volume measurement of the back fat leads to a higher coefficient of determination ($R^2 = 0.85$). Prediction results can still be improved by adding linear measurements. The *in vivo* ultrasound examination of the back-fat thickness was compared with the CT back-fat thickness results. The measurements of the back-fat thickness took place at similar positions in the fish. Coefficients of determination (R^2) of 0.63 to 0.77 were obtained. The back fat in mirror carp proved to be an interesting area for determining the fillet fat content.

The evaluation of the fillet yield resulted in a mean value of 42.89% with a standard deviation of ± 2.43 . Fillet yield (%) correlated with CT-based fillet thickness measurement resulted in a moderate coefficient of determination (R^2 of 0.45). A similar coefficient of determination was achieved with selected linear measurements.

1. Introduction

Aquaculture will play a major role in feeding the growing world population, which will mean feeding nearly 10 billion people by 2050 – in this context aquaculture is of particular interest when it comes to solving the upcoming global protein deficiency (Evans, 2009, Searchinger *et al.*, 2018). Worldwide, cyprinids are the most important and largest fish family. The common carp (*Cyprinus carpio*) is the third most produced species in aquaculture (FAO, 2018). It is a very sustainable fish, which is typically kept under extensive or semi-intensive conditions. Therefore, the environmental conditions have a huge impact on the performance of carp, and pond management has been a major focus of attention (Horváth *et al.*, 2008). Breeding is a complementary way to produce tasty carps. For the selection of suitable parents a method is required to analyze the carcass quality *in vivo*.

Different imaging technologies such as ultrasound (US), magnetic resonance imaging or computed tomography are used for performance testing in live animals (Scholz *et al.*, 2015). Computed tomography (CT) has already been successfully used for determining carcass composition in fish species such as salmon, rainbow trout, cod, common carp, grass carp and silver carp (Gjerde, 1987, Rye, 1991, Romvari *et al.*, 2002, Hancz *et al.*, 2003b, Kolstad *et al.*, 2004, Kolstad *et al.*, 2008). This imaging technology is based on the density-related attenuation of x-rays by different tissues. The object to be examined is positioned on a table and moved stepwise through the gantry of the CT device. A measuring unit consisting of an x-ray tube and opposing detectors rotates along the gantry. During rotation, the object is irradiated and the remaining radiation after passing the object is detected. From these measurements, a specific attenuation value is calculated for each volume element (voxel). The attenuation is expressed in Hounsfield Units (HU) and can range from -1000 HU for air to +1000 HU for very dense tissues (Scholz *et al.*, 2015).

Fat content and fillet yield are the main traits in the marketing of carp. Previous studies investigated the morphology (Cibert *et al.*, 1999) and heritability estimates of the fillet yield (heritability of 0.38 for % fillet yield with skin; Kocour *et al.*, 2007). Regarding the fat content, a high variation has been described in common carp: Zeitler *et al.* (1984) 6.7% – 17.6%, Ljubojević *et al.* (2013) 6.3% – 15%, Bauer and Schlott (2009) 2.7% to 6.9%.

Oberle and Aas (2015) described negative effects on the taste of carp flesh exceeding a fat content of 15%. In Germany, some areas are allowed to produce carp under a European Quality Scheme (EU-Regulation no. 1151/2012 article 7, 2012). According to the requirements laid down in the product's specifications, the fat content including the skin should not exceed 10%. Due to the fact that carps are mostly traded alive, fast and noninvasive methods are needed to determine carcass traits. Currently the fat content is determined by a microwave-based Fish Fatmeter (Kent, 1990). Oberle *et al.* (2015) reported a coefficient

of determination of $R^2 = 0.85$ between the back-fat thickness, measured at the split carcass, and the fat content measured by the Fish Fatmeter. During a previous study, the back-fat thickness of carps was measured by ultrasound and showed moderate coefficients of determination with the fat content measured by the Fish Fatmeter ($R^2 = 0.41$) (Maas *et al.*, 2015).

The measurement of back-fat thickness with an ultrasound is widely used for other species, such as pigs and cattle, as a noninvasive method to determine the carcass quality (Brethour, 1992, Newcom *et al.*, 2002, Müller and Polten, 2004). It is also possible to estimate various parameters in animals using linear measurements. In cattle, linear measurements are successfully used to predict body weight (Alderson, 1999, Ozkaya and Bozkurt, 2009).

The objective of the present study was to estimate the body composition and fillet yield of carps using computed tomography and different linear body measurements. Chemical analysis and dissection were used as reference methods. In addition, a validation of the back-fat thickness measurement by ultrasound was done.

2. Material and methods

2.1 Animals

During autumn 2014, 33 three-year-old mirror carps (*Cyprinus carpio*) from six different ponds in Bavaria, southern Germany, were examined for their body composition. The carps were reared in fish ponds with semi-intensive polyculture based on natural feed and supplementary feed in the form of cereals. The measurements occurred during the regular harvesting. The netted, live carps were measured for their back-fat thickness using a mobile ultrasound device, followed by weighing and measuring of different linear parameters. The fish were then slaughtered and full-body CT scans were performed. After the CT scan, the fish were filleted and one fillet including skin was analyzed chemically.

The Bavarian government was informed about this study. A notification as an animal experiment was not necessary, as the handling of the animals did not differ from the routine handling of the fish farmers. The handling of the fish was carried out with special care and without prolonged exposure to the outside air.

2.2 In vivo measurement

The non-sedated fish were put into narrow water-filled containers, and oxygen was added to the water. Four fish fit into one container at the same time, separated by thin walls. The carps were examined for their back-fat thickness using a mobile ultrasound device (Micro-Maxx, Fujifilm SonoSite, Frankfurt am Main, Germany) and a 5 MHz endolinear probe. Water was used as the transmission medium, and therefore there was no need for direct contact between the probe and the animals. The probe was positioned underwater above the transition area from head to back of the fish. The back-fat thickness was measured at four defined locations from two sagittal images per fish: at a distance of 2.5 cm (US1), 3 cm (US2) and 3.5 cm (US3) from the foremost point of the fat layer following its axis towards the tail fin and 2 cm (US4) towards the cranial direction from the beginning of the first ray of the dorsal fin.

After the US examination, the body weight was determined and linear measurements were carried out. Linear measurements included the height, four traits of length and four traits of circumference (Figure 7). The height (H) was measured at the maximum height of the fish, close to the level of the ventral fin. Length 1 (L1) was measured from the mouth to the gill arch, Length 2 (L2) from the mouth to the beginning of the tail fin, Length 3 (L3) from the mouth to the end of the spread tail fin and Length 4 (L4) from the mouth to the tip of the closed tail fin. Circumference 1 (CF1) was measured on the level of the pectoral

fin, Circumference 2 (CF2) at the same position as the height, Circumference 3 (CF3) on the level of the anal fin and Circumference 4 (CF4) around the slimmest part of the tail fin. The fish were then slaughtered and cooled before being transported to the CT.

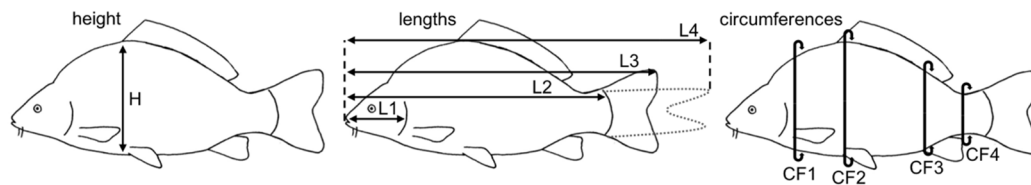


Figure 7. Linear measurement of carp including height, four lengths and four circumferences

2.3 CT scanning

After slaughtering, the fish were chilled immediately using ice-cube-filled boxes. Within 6h, whole-body scans were performed with all fish using a Siemens Somatom Plus 4 (Siemens, Germany). During one CT scan, four fish were positioned in parallel in an upright position using the above-described containers without water filling. Transversal sectional images were generated. The time required for full-body scans was 10 – 15 min per group of four fish depending on the length. The following settings were selected: voxel width 0.585938 mm, voxel height 0.585938 mm, slice thickness 3 mm, voltage 140 kV, rotation time 1 s, dosage 146 mA.

2.4 Analysis of the CT images

The CT images had a matrix of 512 x 512 voxels. The CT images were analyzed using the Able 3D-Doctor analysis software (Lexington, MA, USA; FDA approved). The back-fat thickness was measured using individual CT sectional images analogous to the ultrasound measuring points. The sectional plane of the US images was sagittal, as opposed to the transversal sectional plane of the CT images. The CT back-fat thickness was measured at similar positions compared to the US back-fat thickness measurement, with a deviation of ± 1 mm. The CT measuring points were at a distance of 2.4 cm (CT1_BF), 3 cm (CT2_BF) and 3.6 cm (CT3_BF) from the beginning of the back towards the caudal direction and 2.1 cm (CT4_BF) towards the cranial direction from the first ray of the dorsal fin (Figure 8). At point CT4_BF the back-fat thickness was measured twice (CT4_BF1 and CT4_BF2), as the back fat in this region is divided into two parts by a tissue (Figure 9). The back fat is

divided vertically by the spinous process, and at the upper end of the spinous process a tissue divides the fat layer horizontally. CT4_BF1 describes the thickness from the skin to the upper end of the dividing tissue. CT4_BF2 describes the thickness starting from the skin to the ventral end of the fat layer, where the lean tissue begins. At CT1-3, the two-part structure of the back fat was visible for fish with high fat content, but not for lean fish. Therefore, only the smaller back-fat thickness was measured at the CT1-3, analogous to CT4_BF1. In addition, the volume of the back fat was determined from the beginning of the back to the beginning of the dorsal fin. The method used for volume calculation was semiautomatic. The back-fat portion was defined as a region of interest and object boundaries including fat tissue were used to create volume rendering. To determine the fat boundaries, the tool “interactive segmentation” was used. For each fish, a specific image threshold was set based on the visual boundaries between fat and surrounding tissue. The volume of the back fat was then calculated automatically. Volume information was given in cubic centimeters.

In a next step, the fillet thickness was measured on single cross-sectional CT images at the level of CT4 in order to predict the fillet yield. At an angle of 90° to the spinous process of the spine, the thickness of the fillet was measured at the level of the spinal canal, starting from the bone and including the skin (Figure 9). This was done for the left and the right side of the fish (CT4_R, CT4_L).

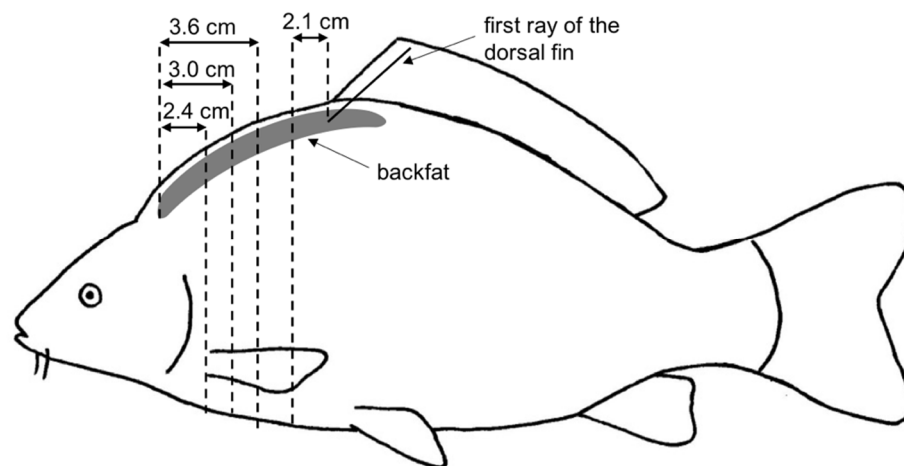


Figure 8. Measurement of the back-fat thickness in four positions using transversal CT images; 2.4, 3.0 and 3.6 cm from the beginning of the back fat in the direction of the tail and 2.1 cm in direction of the head from the first ray of the dorsal fin



Figure 9. CT cross section 2.1 cm before the first ray of the dorsal fin. The back-fat thickness was measured in two different thicknesses (CT4_BF1, CT4_BF2). The thickness of the fillet was measured on the right and left side (CT4_R, CT4_L)

2.5 Chemical Analysis

After the CT scans were completed, the carps were filleted. The *in vivo* examinations, the slaughtering, the CT examinations and the filleting of the fish took place in 1 d. The fillets including the skin were weighed and fillet yield was calculated. The sex was determined by adspexion at the opened carcass. Afterwards, the fillets were frozen at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. For the chemical analysis, the left fillets including the skin were analyzed using Soxhlet extraction (VDLUFA, 2012).

The method was modified by the investigating laboratory (Bavarian State Research Center for Agriculture - Department for Quality Assurance and Analytics, 2016). The thawed fillet including skin was mushed into a homogeneous paste; 5 g of the homogenized fillet was

taken and digested with hydrochloric acid under heat and the digestion liquids were filtered. The filter residues were dried and extracted with petroleum benzine under reflux. The solvent was distilled off. The residues were dried, cooled in the desiccator and weighed. After the empty weight of the flask had been deducted, the fillet fat content was obtained. For each fillet a double analysis was carried out. The deviation between the two measurement results for the chemically analyzed fat content was less than 0.2%. The mean value was calculated.

2.6 Statistics

Data were collected using Excel (version 16.15, Microsoft Corporation, Redmond, USA) and analyzed using RStudio (Integrated Development for R - RStudio, Inc., Boston, MA, USA) and MATLAB (MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA). A Kruskal-Wallis test was performed to evaluate the difference in fat content between the ponds. The Mann-Whitney U test and the t test were used to evaluate the influence of sex on fillet fat content, fillet weight and fillet yield. Single linear regression models were used for the CT measurements, the ultrasound measurement, the linear measurement and the chemical analysis; multiple regression models were developed adding different linear measurements. A Bland-Altman analysis was performed in order to compare the ultrasound measurement and CT-based measurement of the back-fat thickness. The residuals were tested using diagnostic plots: residuals vs. fitted plot (testing linear relationship assumptions), normal Q-Q plot (testing normal distribution), scale-location plot (testing homogeneity of variance), residuals vs. leverage plot (identify influential cases).

3. Results

3.1 Descriptive statistics

Data of body weight, fillet fat content, fillet weight and fillet yield are summarized in Table 6. The fillet weight represents the sum of the left and right fillet weight. The fillet yield was calculated as a percentage of the fillet weight of the total body weight. The fillet fat content was determined by chemical analysis of the left fillet. The fillet fat content showed a very high range, which can be attributed to the individual ponds. The average values of the fillet fat content for the carps from individual ponds were 5.2% (± 2.5 , $n = 6$), 6.0% (± 2.9 , $n = 6$), 9.3% (± 1.9 , $n = 8$), 9.6% (± 3.2 , $n = 6$), 18.7% (± 4.7 , $n = 3$) and 23.6% (± 3.4 , $n = 4$).

Both sexes were approximately equally represented (15 females, 17 males). The sex of one fish could not be determined. No significant differences between the sexes regarding the fillet fat content, the fillet weight and the fillet yield were found.

Table 6. Mean, minimum, maximum and standard deviation ($\pm$) for the traits body weight (g), fillet fat content* (%), fillet weight (g) and fillet yield (%); $n = 33$

Trait	Mean	Min	Max	$\pm$
Total body weight (g)	1647	953	2607	535
Fillet fat content (%)	10.96	2.41	26.60	7.11
Fillet weight (g)	715	390	1262	265
Fillet yield (%)	42.89	38.39	48.41	2.43

*Fat content of the left fillet determined by chemical analysis

An uncertainty test of all following linear models was performed by testing the residuals using the diagnostic plots described in Sect. 2.6. The residuals showed no nonlinear patterns and were normally distributed. No major deviation was found regarding the assumption of equal variance of the residuals. One influential case was found regarding the multiple linear regression models for fillet fat content, CT-based back-fat thickness CT4_BF1 and linear measurements. However, the regression results without the influential case were only marginally better. Therefore, the fish causing the influential case was not removed in favor of the number of observations.

3.2 Evaluation of the fillet fat content

The back-fat layer and its influence on the carcass quality, i.e., the fillet fat content, were investigated using CT technology. In a first step, the relationship between the back-fat thickness measured on CT images and the fillet fat content determined by chemical analysis was analyzed. The results are presented in Table 7. The linear correlation of CT4_BF2 and the fillet fat content determined by chemical analysis is shown in Figure 10. Single linear correlations of the analogous measuring positions of CT and US are shown in Table 8. In addition, a Bland-Altman analysis was performed to compare these two measurement methods (Figure 11).

Table 7. Mean and standard deviation ($\pm$) of the back-fat thickness over four CT scan positions as well as the coefficients of determination (R^2) for back-fat thickness measured on a single CT image and fillet fat content measured by chemical analysis ($n = 33$, $p < 0.001$)

Measuring position	Mean (cm)	$\pm$	R^2	RMSE (%)
CT1_BF	0.76	0.25	0.53	4.88
CT2_BF	0.77	0.23	0.55	4.75
CT3_BF	0.77	0.22	0.55	4.75
CT4_BF1	0.63	0.15	0.31	5.92
CT4_BF2	1.19	0.25	0.62	4.41

RMSE: root mean squared error, dependent variable: fillet fat content

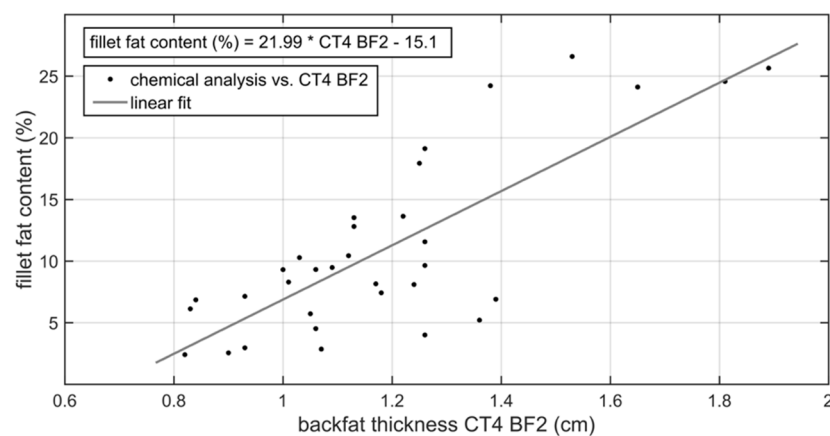


Figure 10. Correlation between fillet fat content determined by chemical analysis (%) and back-fat thickness CT4_BF2 (cm) determined by CT image ($R^2 = 0.62$, $n = 33$, $p < 0.001$)

Table 8. Relationship between back-fat thickness measured on a single CT image and back-fat thickness measured by ultrasound (US) (n = 33, p < 0.001)

CT measuring position	US measuring position	R ²	RMSE (cm)
CT1_BF	US1	0.76	0.12
CT2_BF	US2	0.72	0.12
CT3_BF	US3	0.77	0.11
CT4_BF1	US4	0.64	0.09
CT4_BF2	US4	0.63	0.16

R²: coefficient of determination, RMSE: root mean squared error, dependent variable: CT-based back-fat thickness

Next, the influence of the linear measurement was investigated. Single correlations of the results of fillet fat content determined by chemical analysis and the linear measurements are shown in Table 9.

In a next step, multiple regressions were performed using the results of the chemical analysis as dependent variables. As independent variables, the CT back-fat thicknesses were used and different linear measurements were added. The prediction of the fillet fat content was significantly improved with the addition of linear measurements. If more than one linear measurement was added, the prediction could not be improved decisively. The results of multiple regression analysis are shown in Table 10.

Furthermore, the volume of the back fat (cm³) was calculated, starting from the beginning of the back until the beginning of the dorsal fin. Figure 12 shows a 3-D model of one of the examined carp representing the back-fat layer. The mean volume (n = 33 fish) of the back-fat layer was 7.62 cm³, with a standard deviation of ± 5.40; the minimum was 1.03 cm³ and maximum 20.64 cm³. Single correlation with the chemical analysis generated an R² of 0.85. In a next step, multiple regressions with the linear measurements were carried out (Table 11).

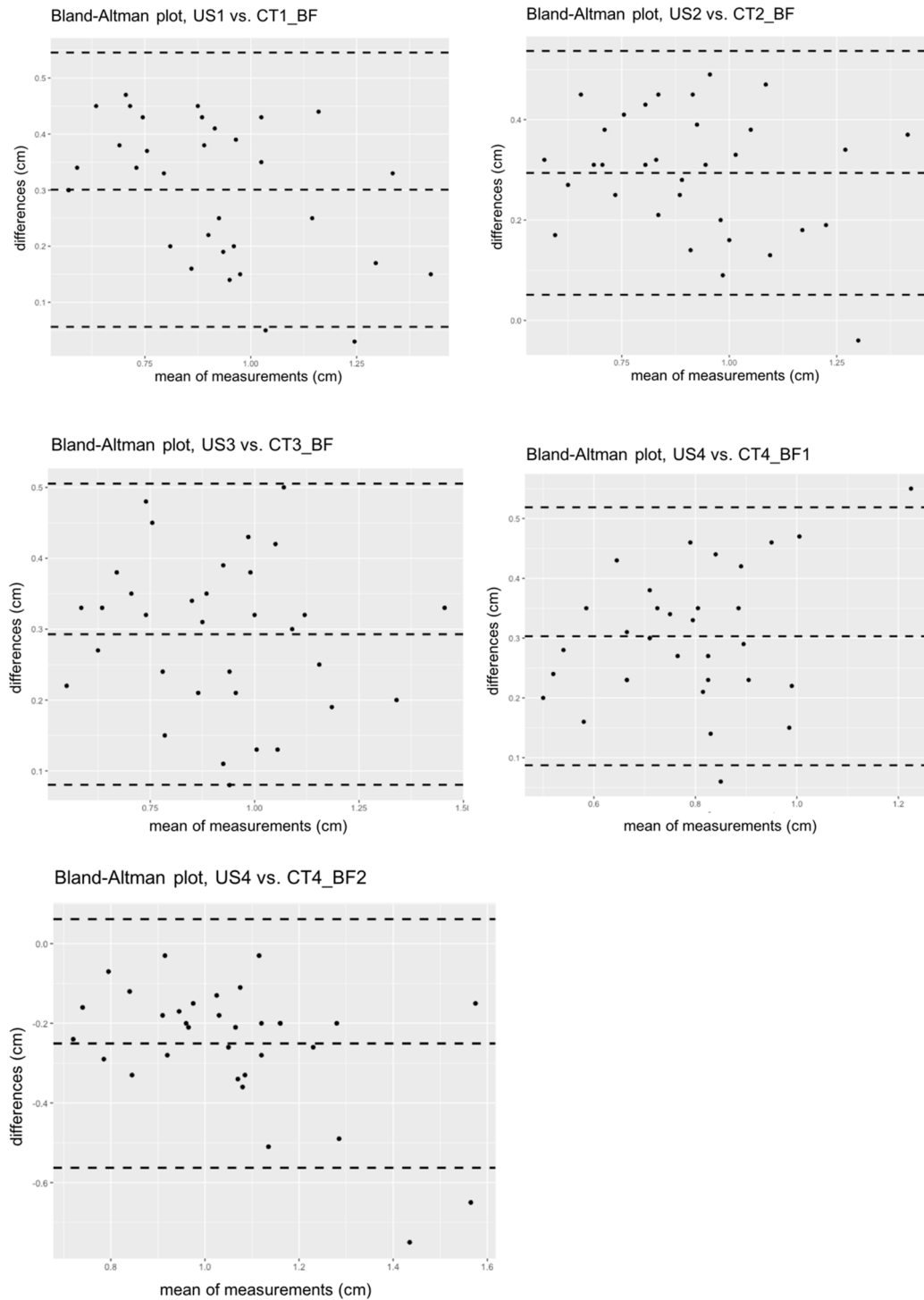


Figure 11. Bland-Altman analysis comparing two methods for measuring back-fat thickness in carp: the ultrasound method (US) and the CT-based method (CT_BF); $n = 33$. Differences are calculated as $US - CT$, middle dashed line: mean value of the difference, upper and lower dashed lines: standard deviation of the difference

Table 9. Relationship between fillet fat content (%) measured by chemical analysis and linear measurements; n = 33

Dependent variable	Independent variable	R ²	Adjusted R ²	r	p	RMSE (%)
Fillet fat content (%)	Total body weight	0.029	-0.0028	-0.169	0.348	7.01
	Length 1	0.18	0.154	-0.424	0.014	6.44
	Length 2	0.091	0.061	-0.301	0.088	6.78
	Length 3	0.093	0.064	-0.305	0.084	6.77
	Length 4	0.116	0.087	-0.34	0.053	6.69
	Height	0.031	0.000095	-0.177	0.324	7.0
	Circumference 1	0.00024	-0.032	-0.015	0.932	7.11
	Circumference 2	0.028	-0.0038	-0.166	0.356	7.01
	Circumference 3	0.028	-0.0038	-0.166	0.356	7.01
	Circumference 4	0.015	-0.016	-0.124	0.491	7.06

R²: coefficient of determination, r: Pearson coefficient of correlation, RMSE: root mean squared error

Table 10. Results of multiple linear regression for fillet fat content (%) and CT-based back-fat thickness (cm) with the addition of linear measurement (n = 33, p < 0.001)

Dependent variable	Independent variables	R ²	Adjusted R ²	RMSE (%)
Fillet fat content (%)	CT4_BF2 + total body weight	0.857	0.848	2.69
	CT4_BF2 + Length 1	0.789	0.775	3.27
	CT4_BF2 + Length 2	0.826	0.815	2.96
	CT4_BF2 + Length 3	0.818	0.806	3.04
	CT4_BF2 + Length 4	0.82	0.808	3.01
	CT4_BF2 + Height	0.874	0.866	2.52
	CT4_BF2 + Circumference 1	0.8	0.787	3.18
	CT4_BF2 + Circumference 2	0.862	0.853	2.64
	CT4_BF2 + Circumference 3	0.806	0.793	3.13
	CT4_BF2 + Circumference 4	0.844	0.833	2.81
	CT4_BF2 + All linear measures	0.894	0.839	2.31

R²: coefficient of determination, RMSE: root mean squared error

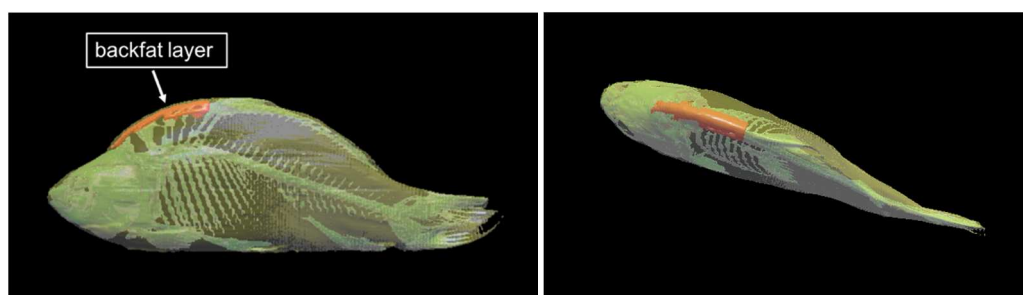


Figure 12. 3-D model of a mirror carp created with 3D-Doctor software showing the back fat from the beginning of the back to the beginning of the dorsal fin

Table 11. Results of multiple linear regression for fillet fat content (%) and back-fat volume (cm^3) with the addition of linear measurement ($n = 33$, $p < 0.001$)

Dependent variable	Independent variables	R^2	Adj. R^2	r	RMSE
Fillet fat content (%)	Back-fat volume	0.85	0.846	0.9222	2.75
	Back-fat volume + Body Weight	0.899	0.892	0.9481	2.26
	Back-fat volume + Length 1	0.888	0.88	0.9422	2.38
	Back-fat volume + Length 2	0.894	0.887	0.9454	2.32
	Back-fat volume + Length 3	0.894	0.887	0.9454	2.32
	Back-fat volume + Length 4	0.892	0.885	0.9445	2.34
	Back-fat volume + Height	0.893	0.885	0.9447	2.33
	Back-fat volume + Circumference 1	0.905	0.899	0.9515	2.19
	Back-fat volume + Circumference 2	0.892	0.885	0.9444	2.34
	Back-fat volume + Circumference 3	0.889	0.881	0.9427	2.37
	Back-fat volume + Circumference 4	0.896	0.889	0.9465	2.3
	Back-fat vol. + All linear measures	0.923	0.883	0.9609	1.97

R^2 : coefficient of determination, r: Pearson coefficient of correlation, RMSE: Root Mean Squared Error

3.3. Evaluation of the fillet yield

The fillet yield was calculated from the fillet weight and the total body weight of the fish.

Mean fillet yield was 42.89% (± 2.43), with a maximum fillet yield of 48.41% and a minimum fillet yield of 38.39%.

The fillet thickness measurement was performed on single CT images (Figure 9). The mean of CT4_R was 2.74 cm (± 0.32), and the mean of CT4_L was 2.77 cm (± 0.33). The two measurements CT4_R and CT4_L were added up (CT4_R + CT4_L).

In order to predict fillet yield, linear regression studies were done. In a first step, the total body weight and the linear measurements such as lengths, height and circumferences were used to predict the fillet yield. In a next step, linear regression studies were done for fillet yield and the CT measurement (Table 12). Multiple regression models of the CT measurement combined with linear measurements did not result in stronger predictions.

Table 12. Results of single linear regression between fillet yield (%), linear measurement and CT measurement; n = 33

Dependent variable	Independent variable	R ²	Adjusted R ²	p	RMSE (%)
Fillet yield (%)	Total body weight	0.42	0.41	< 0.001	1.84
	Length 1	0.11	0.08	0.0578	2.29
	Length 2	0.34	0.32	< 0.001	1.98
	Length 3	0.35	0.33	< 0.001	1.96
	Length 4	0.3	0.28	< 0.001	2.03
	Height	0.37	0.34	< 0.001	1.94
	Circumference 1	0.47	0.45	< 0.001	1.78
	Circumference 2	0.38	0.36	< 0.001	1.91
	Circumference 3	0.28	0.25	0.0017	2.07
	Circumference 4	0.42	0.4	< 0.001	1.85
	CT4_R	0.42	0.4	< 0.001	1.85
	CT4_L	0.46	0.44	< 0.001	1.79
	CT4_R + CT4_L	0.46	0.42	< 0.001	1.8

R²: coefficient of determination, RMSE: root mean squared error

4. Discussion

The study aimed at the prediction of the body composition of mirror carps using CT and linear measurements. A sample size of $n = 33$ fish was examined. During this study, no effects of sex on carcass composition were observed. On the one hand, Hancz *et al.* (2003a), Fajmonova *et al.* (2003) and Varga *et al.* (2013) found no influence of sex on the body composition of carp (sample size: $n = 18$, $n = 48$ and $n = 80$). Kocour *et al.* (2007), on the other hand, investigated a larger number of carp ($n = 331$) and found a significant influence of sex, resulting in females being larger and fatter than males.

However, carcass composition is not only determined by environmental factors; it also depends on the breed (Gela *et al.*, 2003, Varga *et al.*, 2013). Genetic improvement in common carp was investigated by several authors (Bakos and Gorda, 1995, Linhart *et al.*, 2002, Kocour *et al.*, 2005, Kocour *et al.*, 2007). The best results for carcass quality were achieved by cross-breeding. However, before genetic selection can be performed, a precise phenotyping must be carried out.

4.1 Evaluation of the fillet fat content

The fillet fat content of the examined carps ranged between 2.41 % and 26.60 %, measured by chemical analysis. In addition, the fat content of the carps varied considerably between the different ponds the fish originated from, which is mainly related to feeding, but also to other factors, e.g., stocking density and water temperature (Zeitler *et al.*, 1984, Yamamoto *et al.*, 2003, Schwarz *et al.*, 2006).

The back-fat layer is known to be a good predictor of the fat content of carp (Oberle *et al.*, 2015). It is of constant thickness in the range 2.4 to 3.6 cm behind the beginning of the back. The back fat enlarges in front of the dorsal fin in our examined fish. Hancz *et al.* (2003a) described the area around the beginning of the dorsal fin as the richest in fat and calculated the fat area (cm²) in their study using CT.

In the area of the dorsal fin the back fat is split. The spinous process of the spinal column protrudes from below into the fat layer. At its upper end a muscular tissue divides the fat layer into two sections. This separation made it difficult to measure the thickness of the back-fat layer accurately in the area of the dorsal fin using *in vivo* methods such as ultrasound.

The CT-based back-fat thickness measurement and the US measurement showed higher correlation in the range of 2.4 to 3.6 cm towards the caudal direction ($r = 0.85 - 0.88$ with an RMSE of 0.11 – 0.12 cm) than in the region of the dorsal fin ($r = 0.79 - 0.80$ with an

RMSE of 0.09 – 0.16 cm). The Bland-Altman analysis showed mainly positive differences, which leads to the conclusion that the US-based method provides higher measurement results than the CT-based method.

Using single linear regression models to evaluate the correlation between fillet fat content and linear measurement, moderate, nonsignificant results were obtained. The RMSE ranged between 6.44 % and 7.11 %. Remarkably, the best result was obtained by predicting the fat content using Length 1; Pearson correlation coefficient was negative ($r = -0.42$). In a previous study examining a larger sample of mirror carps, significant inverse correlations between fillet fat content and linear measurements were found (r of -0.50 to -0.57, $n = 250$) (Maas *et al.*, 2019).

The back-fat thickness measurement using CT images showed a correlation of $r = 0.55$ to 0.78 with regard to the fillet fat content. The RMSE ranged between 4.41 % (CT4_BF2) and 5.92 % (CT4_BF1). The Pearson coefficient of correlation could be improved by adding linear measurement. Approximately 93 % of the variation in fillet fat content could be explained by the back-fat thickness combined with one linear measurement (height of the fish, circumference on the level of the height or total body weight).

The volume calculation of the back fat provides better results with regard to the fillet fat content than the thickness measurement. The evaluated area ranged from the beginning of the back to the beginning of the dorsal fin. The prediction of the fillet fat content using the back-fat volume resulted in a Pearson coefficient of correlation of 0.92 (RMSE of 2.75 %). A Pearson coefficient of correlation of 0.94 – 0.96 was achieved using the chemical analysis results as a dependent variable and including back-fat volume and linear measurement.

Hancz *et al.* (2003a) achieved a similar result in calculating the back-fat area (cm^2) in common carp ($R^2 = 0.88$). Romvari *et al.* (2002) calculated the fat volume in common carp, grass carp, silver carp and pike-perch using CT images from the end of the operculum to the beginning of the caudal fin. The fat content of pike perch could not be evaluated because it was extremely low. For the cyprinid species, an R^2 of 0.93 was generated using CT-based fat volume and the chemical fat content of fillet. The method used by Hancz *et al.* (2003a) and Romvari *et al.* (2002) was based on a CT study (Romvári *et al.*, 1998) on rabbits. The HU density range from -90 to +160 was calculated for fat and lean tissue. A total of 10 HU values were combined, resulting in 25 HU variables used to calculate a “fat index” and to generate prediction equations for the fat content. Kolstad *et al.* (2004) provided an r of 0.95 in Atlantic halibut by calculating the relationship between fat deposit areas (in %) measured in one sectional CT image and chemical fat content measured in cutlets. For fat, the HU range was set between -174 and -18 HU.

The mentioned studies calculated the fat area or fat volume using the Hounsfield unit (HU) range. One criticism of this method, however, is the incomplete separation of fat and lean tissue, since some voxels are not clearly assignable but consist of a mix of tissues (Luiting *et al.*, 1995). In our study, the volume was calculated semiautomatically by manual limitation of the dorsal fat layer. The accuracy of our method of volume calculation compared to the HU method should be investigated in a next step.

4.2 Evaluation of the fillet yield

Usually, carp is marketed as whole fish. The marketing of fillets as part of a new food trend is becoming increasingly important. Therefore, besides the fillet fat content, the fillet yield (%) is an important parameter in the marketing of carp. Compared to other studies, the fillet yield of 42.89 % found in our sample was very good. Fillet yields including the skin were examined in Austria with 34 % - 35.9 % (Bauer and Schlott, 2009), in France with 34.6 % (Cibert *et al.*, 1999) and in the Czech Republic with 41.1 % (Kocour *et al.*, 2007).

Linear regressions between fillet yield and linear measurements resulted in a Pearson coefficient of correlation of 0.33 – 0.68 and RMSE of 1.78 % – 2.29 %. The best correlation was achieved between fillet yield and circumference of the fish on the level of the pectoral fin (CF1). With the exception of Length 1 and Circumference 3, all linear measurements achieved a significant correlation with the fillet yield ($p < 0.001$). For comparison, Bauer and Schlott (2009) found neither a correlation between fillet yield and body weight nor between fillet yield and total length in Austrian carp ($n = 90$). Kocour *et al.* (2007), however, found a correlation of 0.43 between fillet yield and body weight and a correlation of 0.46 for fillet yield and standard length in carp ($n = 331$). Kocour *et al.* (2007) also investigated the breed of the examined carp.

Linear regressions between fillet yield and CT measurements of fillet thickness resulted in a Pearson coefficient of correlation of around 0.67 with RMSE of 1.79 % to 1.85 %. Kolstad *et al.* (2004) found correlations of 0.53 to 0.95 by calculating the area (%) of lean tissue in different CT scan positions in Atlantic halibut ($n = 50$). The fish were gutted before the CT was done. In our study, the carps were not gutted before they were scanned by CT. Therefore, a clear separation of fillet and innards could not be determined on the CT images, and an area or volume calculation of the fillet was not possible.

5. Conclusion

In summary, it can be concluded that a volume calculation of the back fat based on three-dimensional CT images provides a more accurate prediction with regard to the fillet fat content than two-dimensional measurements of the back fat using single CT images or ultrasound.

The back fat in carp has proven to be a significant area regarding the fillet fat content and therefore the carcass quality. Multiple linear regression models including linear measurements can be used in both 2-D and 3-D measurements to improve the Pearson coefficient of correlation.

The fillet yield can be predicted with moderate results by measuring the thickness of the fillet on single transversal CT images. A prediction on a similar level is provided by some selected linear measurements and by total body weight.

In principle, CT technology, combined with linear measurements, offers great potential for phenotyping carp. In addition, the CT images can be used in the long term to evaluate further parameters for predicting body composition in mirror carp.

The results of our study should be verified with a larger number of animals. Next, the best predictive model could be established for *in vivo* measurements and will help to select suitable fish for breeding. In this way, a system of quality-oriented production can be established that leads to a high-quality product and thus to a high level of consumer acceptance.

Data availability.

The original data are available upon request to the corresponding authors.

Author contributions.

PVKR conceived and designed the research idea and supervised the study; PM, BG and PK performed the experiments; MO provided the experimental environment and coordination; MJ performed the CT examinations; PM and BG analyzed the data; PM wrote the paper.

Competing interests.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Financial support.

This research has been supported by COST (European Cooperation in Science and Technology) (Far Animal Imaging (FAIM) (grant no. FA1102)).

Review statement.

This paper was edited by Steffen Maak and reviewed by two anonymous referees.

References

- Alderson, G.L.H., 1999. The development of a system of linear measurements to provide an assessment of type and function of beef cattle. *Anim Genet Resour.* 25, 45-55. <https://doi.org/10.1017/S1014233900005782>.
- Bakos, J., Gorda, S., 1995. Genetic improvement of common carp strains using intraspecific hybridization. *Aquaculture.* 129, 183-186. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00245-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00245-J).
- Bauer, C., Schlott, G., 2009. Fillet yield and fat content in common carp (*Cyprinus carpio*) produced in three Austrian carp farms with different culture methodologies. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 591-594. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01282.x>.
- Bavarian State Research Center for Agriculture - Department for Quality Assurance and Analytics 2016. Determination of intramuscular fat content in fish - modification of the VDLUFA method 5.1.1. Subject area AQU3, central laboratory, Analysis of feed and animal products, Poing, Germany. Internal documentation, received by email on 19 October 2016.
- Brethour, J.R., 1992. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat in cattle. *J. Animal Sci.* 70, 1039-1044. <https://doi.org/10.2527/1992.7041039x>.
- Cibert, C., Fermon, Y., Vallod, D., Meunier, F.J., 1999. Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. *Aquat. Living Resour.* 12, 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(99\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(99)80009-6).
- EU-Regulation no. 1151/2012 article 7, In german: Verordnung (EU) Nr. 1151/2012 des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. November 2012 über Qualitätsregelungen für Agrarerzeugnisse und Lebensmittel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:343:0001:0029:de:PDF> (accessed 10 April 2018).
- Evans, A., 2009. The feeding of the nine billion: global food security for the 21st century. Chatham Historical Society Incorporated, Chatham House, London.
- Fajmonova, E., Zelenka, J., Komprda, T., Kladroba, D., Sarmanova, I., 2003. Effect of sex, growth intensity and heat treatment on fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio*) filets. *Czech J. Anim. Sci.* 48, 85-92.

- FAO, 2018. FAO yearbook - fishery and aquaculture statistics 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries and Aquaculture Department, Rome, http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2016_USBcard/booklet/web_i9942t.pdf (accessed 06 April 2019).
- Gela, D., Rodina, M., Linhart, O., 2003. Top-crossing with evaluation of slaughtering value in common carp (*Cyprinus carpio* L.) offspring. *Aquacult. Int.* 11, 379-387. <https://doi.org/10.1023/A:1025721723369>.
- Gjerde, B., 1987. Predicting carcass composition of rainbow trout by computerized tomography. *J. Anim. Breed. Genet.* 104, 121-136. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1987.tb00115.x>.
- Hancz, C., Romvári, R., Petrási, Z., Horn, P., 2003a. Prediction of carcass quality traits of common carp by X-ray computerized tomography. *Isr. J. Aquac.* 55, 61-68.
- Hancz, C., Romvári, R., Szabó, A., Molnár, T., Magyary, I., Horn, P., 2003b. Measurement of total body composition changes of common carp by computer tomography. *Aquac. Res.* 34, 991-997. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00900.x>.
- Horváth, L., Tamás, G., Seagrave, C., 2008. Carp and pond fish culture: including Chinese herbivorous species, pike, tench, zander, wels catfish, goldfish, African catfish and sterlet. John Wiley & Sons, Oxford, ISBN 978-1-405-17175-5.
- Kent, M., 1990. Hand-held instrument for fat/water determination in whole fish. *Food Control.* 1, 47-53. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(90\)90121-R](https://doi.org/10.1016/0956-7135(90)90121-R).
- Kocour, M., Gela, D., Rodina, M., Linhart, O., 2005. Testing of performance in common carp *Cyprinus carpio* L. under pond husbandry conditions I: top-crossing with Northern mirror carp. *Aquac. Res.* 36, 1207-1215. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01340.x>.
- Kocour, M., Mauger, S., Rodina, M., Gela, D., Linhart, O., Vandeputte, M., 2007. Heritability estimates for processing and quality traits in common carp (*Cyprinus carpio* L.) using a molecular pedigree. *Aquaculture.* 270, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.001>.
- Kolstad, K., Mørkøre, T., Thomassen, M.S., 2008. Quantification of dry matter % and liquid leakage in Atlantic cod (*Gadhus morhua*) using computerised X-ray tomography (CT). *Aquaculture.* 275, 209-216. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.12.011>.

- Kolstad, K., Vegusdal, A., Baeverfjord, G., Einen, O., 2004. Quantification of fat deposits and fat distribution in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) using computerised X-ray tomography (CT). *Aquaculture*. 229, 255-264. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00354-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00354-5).
- Linhart, O., Gela, D., Rodina, M., Šlechtová, V., Šlechta, V., 2002. Top-crossing with paternal inheritance testing of common carp (*Cyprinus carpio* L.) progeny under two altitude conditions. *Aquaculture*. 204, 481-491. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00833-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00833-X).
- Ljubojević, D., Ćirković, M., Đorđević, V., Puvača, N., Trbović, D., Vukadinov, J., Plavša, N., 2013. Fat quality of marketable fresh water fish species in the Republic of Serbia. *Czech J. Food Sci.* 31, 445-450. <https://doi.org/10.17221/53/2013-CJFS>.
- Luiting, P., Kolstad, K., Enting, H., Vangen, O., 1995. Pig breed comparison for body composition at maintenance: analysis of computerized tomography data by mixture distributions. *Livest. Prod. Sci.* 43, 225-234. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00044-L](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00044-L).
- Maas, P., Grzegorzółka, B., Kreß, P., Oberle, M., Kremer-Rücker, P.V., 2019. *In vivo* – determination of the fat content in mirror carps (*Cyprinus carpio*) using ultrasound, microwave and linear measurements. *Aquaculture*. 512, 734359, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734359>.
- Maas, P., Grzegorzółka, B., Kreß, P., Oberle, M., Gareis, M., Kremer, P., 2015. *In vivo* phenotyping of carcass traits in mirror carps (*Cyprinus carpio*) using ultrasound, microwave and linear measurements. *Farm Animal Imaging*. ISBN 978-0-9931063-1-6.
- Müller, S., Polten, S., 2004. Comparative investigations for ultrasonic fat thickness measurements of pigs at the performance testing. In German: Vergleichsuntersuchungen zur Ultraschall-Speckdickenmessung beim Schwein im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. *Arch. Anim. Breed.* 47, 249-263. <https://doi.org/10.5194/aab-47-249-2004>.
- Newcom, D.W., Baas, T.J., Lampe, J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *J. Animal Sci.* 80, 3046-3052. <https://doi.org/10.2527/2002.80123046x>.
- Oberle, M., Aas, M., 2015. Sensoric evaluation of Carp (*Cyprinus carpio*) flesh with different fat content. *Proc. of the 3rd Carp Conference*. Vodnany, Czech Republic, pp. 65-66.

- Oberle, M., Hlavac, D., Masilko, J., 2015. Determination of fat content of fillets from the thickness of the dorsal fat deposition in carp (*Cyprinus carpio* L.). 3rd Carp Conference Vodnany, MEVPIS Vodnany, Czech Republic.
- Ozkaya, S., Bozkurt, Y., 2009. The accuracy of prediction of body weight from body measurements in beef cattle. *Arch. Anim. Breed.* 52, 371-377. <https://doi.org/10.5194/aab-52-371-2009>.
- Romvári, R., Hancz, C.S., Petrasi, Z.S., Molnar, T., Horn, P., 2002. Non-invasive measurement of fillet composition of four freshwater fish species by computer tomography. *Aquac. Int.* 10, 231-240. <https://doi.org/10.1023/A:1022196413528>.
- Romvári, R., Szendrő, Z.S., Jensen, J.F., Sørensen, P., Milisits, G., Bogner, P., Horn, P., Csapó, J., 1998. Noninvasive measurement of body composition of two rabbit populations between 6 and 16 weeks of age by computer tomography. *J. Anim. Breed. Genet.* 115, 383-395. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1998.tb00359.x>.
- Rye, M., 1991. Prediction of carcass composition in Atlantic salmon by computerized tomography. *Aquaculture.* 99, 35-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90286-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90286-G).
- Scholz, A.M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal.* 9, 1250-1264. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000336>.
- Schwarz, F.J., Bräutigam, M., Schabbel, W., Oberle, M., Steinhart, H., 2006. Effect of stocking density and feeding of carp (*Cyprinus carpio* L.) on fat content and fatty acid composition. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 15, 132.
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., Dumas, P., Matthews, E., 2018. Synthesis report: creating a sustainable food future: a menu of solutions to feed nearly 10 billion people by 2050. Washington, USA. <https://www.wri.org/publication/creating-sustainable-food-future> (accessed 21 May 2019).
- Varga, D., Hancz, C., Horn, P., Molnár, T., Szabó, A., 2013. Environmental factors influencing the slaughter value and flesh quality of the common carp in four typical fish farms in Hungary. *Acta Aliment.* 42, 495-503. <https://www.doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.4.4>.

- VDLUFA, 2012. Manual of Agricultural Experimental and Research Methodology, Vol. III. The Chemical Analysis of Animal Feed, 5.1.1. Determination of Crude Fat. In German: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 5.1.1. Bestimmung von Rohfett. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Yamamoto, T., Shima, T., Furuita, H., Suzuki, N., 2003. Effect of water temperature and short-term fasting on macronutrient self-selection by common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*. 220, 655-666. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00541-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00541-0).
- Zeitler, M.H., Kirchgessner, M., Schwarz, F.J., 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*. 36, 37-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90052-8).

5 DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Phänotypisierung der Schlachtkörpermerkmale Rückenfettdicke (cm) und Filetausbeute (%) von Spiegelkarpfen mittels Ultraschall und linearen Maßen *in vivo* und Computertomographie *post mortem*. Die *in vivo* Untersuchung wurde an 250 Fischen durchgeführt und umfasste die Ermittlung der Rückenfettdicke mittels Ultraschall, die Erfassung des Körpergewichts und verschiedener linearer Maße und die Anwendung eines auf Mikrowellentechnologie basierenden Fish-Fatmeters. Anschließend wurden 51 der 250 lebend untersuchten Karpfen geschlachtet und filetiert. Das Filetgewicht wurde ermittelt und das linke Filet chemisch analysiert. An 33 der frisch geschlachteten Karpfen wurde vor der Filetierung und chemischen Analyse ein Ganzkörper-CT durchgeführt.

Mit Hilfe von Regressionsmodellen wurden anhand der Untersuchungsergebnisse der Filet-Fettgehalt (%) und die Filetausbeute (%) geschätzt. Zudem fand eine Bewertung der Fish-Fatmeter Messung zur Bestimmung des Filet-Fettgehaltes statt.

5.1 Evaluation der Fish-Fatmeter Messung

Die Messung des Fettgehaltes mittels Fish-Fatmeter (FFM) wurde am lebenden Fisch durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde der Fisch auf einem nassen Polster auf seine rechte Seite gelegt. Der Fettgehalt des linken Filets wurde gemäß dem Leitfaden anhand von vier Messpositionen oberhalb der Seitenlinie mittels FFM ermittelt. Insgesamt wurde die FFM Messung an 250 Karpfen durchgeführt. 51 der Fische wurden anschließend geschlachtet und filetiert. Das linke Filet wurde mittels Soxhlet-Extraktion chemisch analysiert (VDLUFA, 2012). Die lineare Korrelation der chemischen Analyse mit der FFM Messung ergab ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,95. Mittels FFM ist eine Fettgehaltsbestimmung *in vivo* bei Spiegelkarpfen somit präzise möglich.

Vorausgegangene Studien erzielten Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,83 bei österreichischen Karpfen (Bauer *et al.*, 2011), von 0,71 bei Heringen (Vogt *et al.*, 2002), von 0,93 bei Pazifischen Lachsen (Crossin und Hinch, 2005) und von 0,73 bei Welsen (Van Sang *et al.*, 2009).

Aufgrund der hohen Variation im Fettgehalt (2,4-30,8%) der in dieser Studie untersuchten Karpfen wurde die Genauigkeit der FFM Messung für verschiedene Fisch-Fettgruppen analysiert. Tendenziell arbeitete das FFM für einen Filet-Fettgehalt im Bereich von 1-20% präziser als bei Karpfen, die einen Fettgehalt über 20% aufwiesen. Laut Herstellerangaben wird bei mageren Proben bis 15% Fettgehalt eine Messgenauigkeit von +/- 1% erreicht, bei Proben mit bis zu 30% Fett eine Messgenauigkeit von +/- 2% (Distell, 2018).

Anhand der FFM-Ergebnisse wurde deutlich, dass es merkliche Unterschiede im Fettgehalt der Karpfen von Teich zu Teich gab. Es wurden je ca. 50 Fische aus fünf unterschiedlichen Teichen untersucht. Die Mittelwerte der Fettgehalte bezogen auf die einzelnen Teiche beliefen sich auf 5,03% (± 1.62), 5,61% (± 2.55), 10,50% (± 3.95), 17,04% (± 7.47) und 23,22% (± 5.24). Als Qualitätskriterium gilt ein Filet-Fettgehalt mit Haut unter 10% (Spezifikation Aischgründer Karpfen, 2007). Der Fettgehalt von Speisekarpfen kann über die Fütterung stark beeinflusst werden (Zeitler *et al.*, 1984, Schwarz *et al.*, 2006, Urbánek *et al.*, 2010). Es ist somit nicht nur von Bedeutung den Fettgehalt zum Zeitpunkt der Abfischung zu bestimmen; insbesondere über die Sommer- d.h. die Haupt-Fütterungsmonate ist eine schnelle Fettgehaltsbestimmung nötig, um die Fütterung entsprechend anpassen und einheitliche Produktqualitäten erzeugen zu können (Okos *et al.*, 2006). Das bisherige Vorgehen in der bayerischen Teichwirtschaft, eine Stichprobe von sechs lebenden Karpfen pro Teich zu einer von vier Messstellen zu transportieren, ist zeitaufwendig und mühsam und eignet sich daher nur bedingt für eine mehrmalige Überprüfung des Fettgehaltes im Jahresverlauf (LfL, 2007).

5.2 Ultraschallbasierte Bestimmung der Rückenfettdicke *in vivo*

Die ultraschallbasierte Messung der Rückenfett- bzw. Rückenspeckdicke ist bei Rind, Schwein und Lamm ein gängiges Verfahren zur Überprüfung der Schlachtkörperqualität *in vivo* (Brethour, 1990, Delfa *et al.*, 1995, Newcom *et al.*, 2002). Bei Fischen wurde die Rückenfettdicke zur Bestimmung der Schlachtkörperqualität *in vivo* bisher nicht untersucht. In der vorliegenden Arbeit wurde die Rückenfettdicke mittels sagittaler Ultraschallbilder an fünf Positionen entlang des Karpfenrückens vermessen. Das Rückenfett der untersuchten Fische wies im Bereich 2,5 cm bis 3,5 cm nach Beginn der Rückenfettschicht eine konstante Dicke auf. 2 cm vor der Rückenflosse wurden mittels Ultraschall kleinere Werte gemessen. Anhand des Ultraschallbildes war es in diesem Bereich allerdings schwierig, eine klare Trennung von Rückenfett und tieferliegendem Gewebe zu ermitteln. Anhand der ausgewerteten CT-Schnittbilder wurde erkennbar, dass die Rückenfettauflage im Bereich vor der Rückenflosse von einem Gewebe geteilt wird. Von ventral ragen die Dornfortsätze der Wirbelsäule in die Rückenfettauflage. An dem dorsalen Ende der Dornfortsätze ist ein die Rückenfettdicke horizontal unterteilendes Gewebe angelagert. Dies erschwerte die präzise Fettdickenmessung mittels Ultraschall in diesem Bereich. Daher sollte der Bereich 2 cm vor der Rückenflosse bei dreijährigen Spiegelkarpfen zukünftig nicht zur Bestimmung der Rückenfettdicke mittels Ultraschall herangezogen werden.

Das FFM wurde als Referenzmessung für den Filet-Fettgehalt herangezogen. Der Einsatz dieser vergleichsweise schnellen und einfachen Methode ermöglichte die Untersuchung

einer größeren Stichprobe. Die FFM-Methode wurde zuvor mittels einer kleinen Stichprobe (20% der Gesamtheit aller untersuchten Fische) anhand des Goldstandards chemische Analyse verifiziert ($R^2 = 0,95$).

Die Variation im Filet-Fettgehalt konnte zu 67% mittels der Ultraschall-Rückenfettdicke erklärt werden. Eine Überblicksarbeit aus dem Jahr 1992 vergleicht Korrelationen für die *in vivo* Messungen von Rückenfett- bzw. Rückenspeckdicke und den tatsächlich am Schlachtkörper gemessenen Maßen für Rinder, Schweine und Lämmer aus verschiedenen Studien (Houghon und Turlington, 1992). Für Schweine ergaben sich Korrelationskoeffizienten von 0,20 bis 0,94, bei Schafen lagen die Korrelationskoeffizienten zwischen 0,42 und 0,91 und bei Rindern ergaben sich Werte von 0,22 bis 0,97. Die Genauigkeit der Ultraschallmessung war abhängig von der untersuchten Spezies, der Messposition, dem verwendeten Ultraschallgerät und der Qualifikation des Untersuchers. Bei Karpfen sollte die Aussagekraft der ultraschallbasierten Messung der Rückenfettdicke im nächsten Schritt auf einige dieser Faktoren hin untersucht werden, d.h. zum Beispiel unter Einsatz von verschiedenen Ultraschallgeräten und Untersuchern. Zum jetzigen Zeitpunkt finden sich keine vergleichenden Studien bei Fischen bezüglich der Rückenfettanalyse mittels Ultraschall in der Literatur.

5.3 Evaluation der linearen Maße bezüglich des Fettgehaltes

Das Hinzuziehen von linearen Maßen zur Vorhersage der Schlachtkörperqualität bzw. um bestehende Vorhersagemodelle zu verbessern ist eine gängige Methode (Bergen *et al.*, 2005, Lambe *et al.*, 2008). Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurde das Körpergewicht, vier Längenmaße, die Höhe und vier Umfänge an lebenden Karpfen ermittelt. Sowohl das Körpergewicht als auch die linearen Maße korrelierten signifikant mit dem Filet-Fettgehalt detektiert mittels FFM. Es ergaben sich Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,25-0,32. Die Korrelationen ergaben für jedes genannte Merkmal einen negativen Korrelationskoeffizienten. Auf die untersuchte Stichprobe von 250 Karpfen bezogen bedeutet dies, je leichter, kürzer, kleiner oder schmaler der Fisch, desto höher war sein Fettgehalt. Romvari *et al.* (2002) untersuchten eine sehr kleine Stichprobe von 18 Karpfen und fanden keinen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Fettgehalt. Kora *et al.* (2000) berechneten aus Körpergewicht und Körperlänge von Meerbrassen einen spezifischen Körperindex und statierten gute, positive Korrelationen von Körperindex und Fettgehalt, d.h. je größer und länger die Meerbrassen waren, desto höher war ihr Fettgehalt.

Die in dieser Studie untersuchten Karpfen stammten aus fünf unterschiedlichen Teichen, wovon die Karpfen zweier Teiche enorm hohe Fettgehalte (Mittelwerte von 17% und 23%) bei geringem Körpergewicht aufwiesen (Anhang, Tabelle 3). Der Einfluss der linearen

Maße sollte daher mit einer umfangreicheren Stichprobe unter Einbeziehung einer größeren Anzahl Teiche weiter untersucht werden.

5.4 Evaluation der spezifischen Rückenfettdicke vermessen mittels Ultraschall

Anhand der Ergebnisse wurde zudem ersichtlich, dass kleinere Karpfen zum Teil eine kleinere Rückenfettdicke aufwiesen, aber durchaus einen höheren Fettgehalt besaßen als größere Karpfen, die eine größere Rückenfettdicke aufwiesen. Um diesen Effekt zu mindern, wurde in einem nächsten Schritt die spezifische Rückenfettdicke der Karpfen berechnet. Die Rückenfettdicke, gemessen mittels Ultraschall, wurde durch das Körpergewicht bzw. durch ein lineares Maß dividiert. Die anschließend berechneten linearen Vorhersagemodelle bezüglich des Fettgehaltes (FFM in %) mittels spezifischer Rückenfettdicke (US dividiert durch Körpergewicht bzw. lineares Maß) ergaben Genauigkeiten von 79-86%. Das beste Vorhersagemodell ergab sich aus dem Filet-Fettgehalt und der spezifischen Rückenfettdicke unter Einbeziehung des Umfangs der Schwanzflosse ($R^2 = 0,74$).

In einem nächsten Schritt wurden pro Teich per Zufallsprinzip Gruppen von 10 Fischen gebildet und die Mittelwerte bezüglich FFM und spezifischer Rückenfettdicke kalkuliert. Diese Herangehensweise diente dazu, Messfehler abzuschwächen und ist an die aktuelle bayerische Fettgehaltsbestimmung von Karpfen angelehnt, bei der sechs Fische pro Teich mittels FFM untersucht und der Mittelwert bestimmt wird. Die Vorhersagemodelle bezogen auf die Mittelwerte von spezifischer Rückenfettdicke und FFM-Messung ergaben Genauigkeiten von 92-96%. Mittels Ultraschallmessung der Rückenfettdicke, Hinzuziehen eines linearen Maßes und der Bildung von Mittelwerten über 10 Fische pro Teich lässt sich somit ein guter Rückschluss auf den Filet-Fettgehalt ziehen. Das beste lineare Modell ergab sich unter Einbeziehung des Umfangs um die Schwanzflosse ($R^2 = 0,92$).

Portable B-Mode Ultraschallgeräte liegen in ihrem Anschaffungspreis von 2000,- bis 10000,- EUR im Vergleich zum FFM mit ca. 8000,- EUR ebenfalls nicht im Budget eines im Nebenerwerb wirtschaftenden Teichwirts. Die Fettgehaltsbestimmung mittels Ultraschall könnte allerdings vom betreuenden Tierarzt oder Tiergesundheitsdienst, der in der Regel über portable Ultraschallgeräte verfügt, als Dienstleistung angeboten werden.

5.5 CT Analyse des Rückenfettes

33 Karpfen wurden geschlachtet, gekühlt und vor der Filetierung computertomographisch untersucht. Es wurden Ganzkörperscans angefertigt. Anhand der transversalen CT-Schnittbilder wurde zunächst die Rückenfettdicke analysiert. Die Rückenfettdickenmessung wurde an ähnlicher Position zu den Ultraschall-Messpunkten durchgeführt. Die CT-basierte Rückenfettdickenmessung und die US-basierte Rückenfettdickenmessung zeigten

gute Korrelationen. In dem Bereich 2,5-3,5 cm nach Beginn der Rückenfettauflage ließ sich die CT-basiert gemessene Dicke mit 85-88% Genauigkeit mittels US vorhersagen.

Die linearen Korrelationen der CT-basierten Rückenfettdicken und den chemisch analysierten Filet-Fettgehalten ergaben Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,31-0,62. In einem nächsten Schritt wurde eine Volumenmessung des Rückenfettes von Beginn des Rückens bis zum Ansatz der Rückenflosse durchgeführt. Die Kalkulation wurde halbautomatisch mittels der Software Able 3D Doctor (Lexington, MA, USA) umgesetzt. Das Rückenfett wurde auf den CT-Schnittbildern manuell anhand der visuellen Gewebegrenzen markiert. Die Kalkulation erfolgte automatisch. Die Volumenkalkulation des Rückenfettes lieferte eine deutlich bessere Korrelation mit der chemischen Analyse ($R^2 = 0,85$).

Hancz *et al.* (2003) erzielten ein ähnliches Ergebnis ($R^2 = 0,88$) mittels der Berechnung der Rückenfettfläche (cm^2) bei Karpfen anhand von CT-Aufnahmen. Die Messmethodik beruhte auf Hounsfield-Units (HU), die die Abschwächung von Röntgenstrahlung im Gewebe beschreiben (Judas *et al.*, 2005). In ihrer Studie kalkulierten sie für Fett und mageres Gewebe den HU-Dichtebereich von -90 bis +160 HU. Je 10 benachbarte HU-Werte wurden zusammengefasst, was zu insgesamt 25 HU-Variablen führte. Vorhersagegleichungen wurden durch lineare Regressionen und der Kombination der unterschiedlichen HU-Variablen erstellt. Die Studie von Romvari *et al.* (2002) an Karpfen, Graskarpfen, Silberkarpfen und Zander basiert auf der gleichen Methodik. Mittels einer Volumenkalkulation des Fettgewebes anhand von HU-Variablen konnte der Filet-Fettgehalt mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,93$ für die Cypriniden vorhergesagt werden. Bei Zander war aufgrund des sehr niedrigen Fettanteils keine Vorhersage möglich. Kolstad *et al.* (2004) ermittelten einen Korrelationskoeffizienten von 0,95 bei Atlantischem Heilbutt für CT-basiert gemessene Fettdepots und chemisch analysierten Filet-Fettgehalt. Die Fettdepots wurden auf einzelnen CT-Schnittbildern gemessen. Für Fett wurde der HU-Bereich von -174 bis -18 HU kalkuliert. Den beschriebenen Studien ist gemein, dass sie die Analyse auf Basis von HU-Werten durchführten. In der vorliegenden Arbeit basieren die CT-Auswertungen auf manuellen bzw. halbautomatischen Auswertungen auf Basis von visuellen Gewebegrenzen. Mit beiden Methoden lassen sich gute Vorhersagen bezüglich des Fettgehaltes bei Fischen erzielen.

Sowohl die Filet-Fettgehalt Schätzungen mittels Rückenfettdicke als auch mittels Rückenfettvolumen ließen sich unter Einbeziehung von linearen Maßen verbessern. Die beste Vorhersage für den Filet-Fettgehalt unter Einbeziehung der Rückenfettdicke ergab sich mit Hinzuziehen der Höhe des Fisches ($R^2 = 0,87$). Das beste lineare Modell für den Filet-Fettgehalt mittels Rückenfettvolumen ergab sich unter Einbeziehung des Umfangs auf Höhe der Brustflosse ($R^2 = 0,90$).

5.6 Evaluation der Filetausbeute mittels CT und linearen Maßen

Neben dem Fettgehalt ist die Filetausbeute ein weiteres, entscheidendes Schlachtkörpermerkmal beim Karpfen. Mit durchschnittlich 42,89% ($\pm 2,43$) wurde bei den in dieser Studie untersuchten Karpfen eine sehr gute Filetausbeute erzielt. Bauer und Schlott (2009) ermittelten eine Filetausbeute von 34-35,9% bei Karpfen in Österreich, Cibert *et al.* (1999) erreichten 34,6% bei Karpfen in Frankreich und Kocour *et al.* (2007) erzielten eine Filetausbeute von 41,1% bei Karpfen in Tschechien.

Anhand einzelner CT-Schnittbilder wurde die Filetdicke bei 33 Spiegelkarpfen ca. 2 cm vor Beginn der Rückenflosse auf Höhe der Wirbelsäule vermessen. Diese Messung wurde für das linke und das rechte Filet durchgeführt. Mittels der Dickenmessung der Filets ließ sich im linearen Modell die Filetausbeute zu 65-68% vorhersagen. Ein ähnliches Ergebnis wurde unter alleiniger Verwendung des Körpergewichts, dem Umfang auf Höhe der Brustflosse oder dem Umfang der Schwanzflosse erzielt ($r = 0,65-0,68$).

Bauer und Schlott (2009) untersuchten 90 österreichische Karpfen und fanden weder einen Zusammenhang zwischen Filetausbeute und Körpergewicht noch zwischen Filetausbeute und Länge. Kocour *et al.* (2007) hingegen fanden einen moderaten Zusammenhang zwischen Filetausbeute und Körpergewicht und Filetausbeute und Körperlänge ($r = 0,43/0,46$) bei 331 untersuchten Spiegelkarpfen.

Anhand der divergierenden Ergebnisse der erwähnten Studien lässt sich kein einheitlicher Trend hinsichtlich einer Vorhersage der Filetausbeute bei Karpfen erkennen. Erstaunlich ist die relativ gute Vorhersage des Filetgewichts mittels einzelner linearer Maße in der vorliegenden Arbeit. Diese Ergebnisse sollten mit einer größeren Fischzahl evaluiert werden. Würden sich die Ergebnisse verifizieren lassen, ließe sich nur mit einem Maßband oder einer Waage ein Großteil der Variation der Filetausbeute erklären. Anhand der CT-Aufnahmen ließen sich zukünftig weitere potentiell aussagekräftige Regionen bezüglich der Filetausbeute untersuchen. Zudem könnten die CT-basierten Messungen in weiterführenden Untersuchungen mittels Ultraschall nachvollzogen werden. Ließen sich ähnliche Genauigkeiten mittels Ultraschall erzielen, wäre eine kostengünstigere und schnellere Methode gefunden die Filetausbeute *in vivo* zu bestimmen.

Die Vorhersage der Filetausbeute mittels linearer Maße wurde auch bei anderen Aquakulturarten mit unterschiedlichsten Ergebnissen untersucht. Haffray *et al.* (2013) untersuchten den Einfluss verschiedener morphologischer Parameter auf die Filetausbeute bei Regenbogenforellen mittels linearer Regressionen und fanden Korrelationen von 0,56-0,68. Bosworth *et al.* (2001) konnten zeigen, dass Barsche mit kleineren Köpfen und höherem Körperrumfang eine tendenziell höhere Filetausbeute aufwiesen. Zudem konnten sie mittels

Ultraschallmessungen von Muskelflächen bis zu 50% der Filetausbeute vorhersagen. Rutten *et al.* (2004) untersuchten den Einfluss von Gewicht, Länge, Höhe und Breite auf die Filetausbeute von Nil-Tilapia und fanden eine moderate Korrelation von 0,38. Bei Pangasius wurde ebenfalls Körpergewicht, Länge, Höhe, Breite und Umfang hinsichtlich einer Vorhersage der Filetausbeute analysiert. Das beste Modell bestehend aus vier Variablen ergab eine Vorhersagegenauigkeit von 86% (Van Sang *et al.*, 2009).

5.7 Einfluss des Geschlechts auf Filet-Fettgehalt und Filetausbeute

Die Analyse eines geschlechtsspezifischen Einflusses wurde für die 33 mittels CT untersuchten Karpfen vorgenommen. Es konnte kein Einfluss des Geschlechts auf den Fettgehalt und die Filetausbeute festgestellt werden. Mehrere Studien konnten ebenfalls keinen Einfluss des Geschlechts auf die Körperzusammensetzung von schlachtreifen Karpfen feststellen (Fajmonova *et al.*, 2003, Hancz *et al.*, 2003, Varga *et al.*, 2013). Eine weitere Studie veröffentlichte einen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf die Schlachtkörperqualität bei Karpfen. Die untersuchten Weibchen besaßen einen höheren Fettgehalt, ein höheres Körpergewicht und eine höhere Filetausbeute als die männlichen Fische (Kocour *et al.*, 2007).

Bei vielen Aquakulturarten wurde ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf die Schlachtkörperqualität nachgewiesen. Dies hängt meist mit einem unterschiedlichen Einsetzen der Geschlechtsreife bei Männchen und Weibchen zusammen. Mit Beginn der Geschlechtsreife wird die Produktionsleistung aufgrund des Wachstums der Gonaden negativ beeinflusst (Carrillo *et al.*, 2009, Taranger *et al.*, 2010). Bei der Regenbogenforelle werden inzwischen hauptsächlich rein weibliche Populationen gezüchtet, da die Weibchen zum Zeitpunkt der Ernte noch nicht geschlechtsreif sind (Bostock *et al.*, 2010, Sheehan *et al.*, 2011). Bei Tilapia Spezies werden im Gegensatz dazu rein männliche Populationen bevorzugt, da sie schneller wachsen und größer werden als weibliche Nachkommen (Mair *et al.*, 1997). Für weiterführende Studien an Spiegelkarpfen sollte eine fundierte Betrachtung eines geschlechtsspezifischen Einflusses auf das Wachstum und die Schlachtkörperkomposition erfolgen.

5.8 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass das Rückenfett von Spiegelkarpfen eine aussagekräftige Region in Bezug auf den Filet-Fettgehalt und somit die Schlachtkörperqualität ist. Eine CT-basierte dreidimensionale Volumenkalkulation des Rückenfettes liefert eine höhere Vorhersagegenauigkeit als eine zweidimensionale Dickenmessung des Rückenfettes. Beide Vorhersagemodelle lassen sich unter Hinzunahme von linearen Maßen weiter verbessern.

Mittels Ultraschalltechnologie ist ein Rückschluss auf den Fettgehalt im Filet nur bedingt möglich. Durch die Berechnung einer spezifischen Rückenfettdicke und die Bildung von Mittelwerten über 10 Fische pro Teich lässt sich allerdings eine praktische Möglichkeit für den Vermarkter ableiten, den durchschnittlichen Fettgehalt der Fische eines Teiches zu bestimmen.

Die Filetausbeute von Spiegelkarpfen lässt sich anhand der Ergebnisse mit einer moderaten Genauigkeit von der Filetdicke kurz vor Beginn der Rückenflosse vorhersagen. Eine ähnlich hohe Vorhersagegenauigkeit wurde unter Einbeziehung einzelner linearer Maße oder dem Körpergewicht erzielt.

6 AUSBLICK

Die Aquakultur weist das größte Wachstum im Bereich der tierischen Lebensmittelerzeugung auf (Tacon, 2003). Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate in der Aquakultur betrug in den Jahren 2001-2016 5,8% (FAO, 2018).

Ein Großteil der Aquakultur-Produktion stammt aus Wildbeständen oder Beständen, die nur wenige Generationen vom Wildbestand entfernt sind. Aktuell stammen weniger als 10% der in der Aquakultur produzierten Fische aus genetisch optimierten Beständen. In erster Linie liegt dies an der mit ca. 200 bezifferten sehr hohen Anzahl an produzierten Fischarten in der Aquakultur (Tacon, 2003). Auf Zuchtwertschätzung basierende Selektions- bzw. Zuchtprogramme müssen für jede Art individuell entwickelt werden. Dabei ist gerade in der Aquakultur aufgrund von relativ hohen Heritabilitäten für wirtschaftlich entscheidende Merkmale und kurze Intervalle bis zum Erreichen der Geschlechtsreife ein großes Potential hinsichtlich der genetischen Optimierung zu sehen. Die höchste Anzahl an Zuchtprogrammen gibt es für Buntbarsche, Atlantische Lachse und Regenbogenforellen. Für die Familie der Karpfenfische, die weltweit die wichtigste Gruppe in der Aquakultur ausmacht, gibt es nur eine geringe Anzahl an dokumentierten Zuchtprogrammen (Gjedrem *et al.*, 2012). Kocour *et al.* (2007) fanden für die Körperlänge, das Körpergewicht, den Fettgehalt und die Kopflänge von Karpfen hohe Heritabilitäten von $h^2 > 0,5$.

Der Zuchtwertschätzung, das heißt der Schätzung der genetischen Veranlagung der Tiere, geht eine tierindividuelle Erfassung von relevanten Leistungsmerkmalen voraus. Je präziser die Phänotypisierung erfolgen kann, desto mehr Erfolg verspricht anschließend die gezielte Verpaarung ausgewählter Elterntiere (Oesau, 2012). Zudem wird der Marker-gestützten Selektion (MAS) in der Aquakultur verstärkt Beachtung geschenkt, da sich so der Zuchtfortschritt enorm steigern lässt (Liu und Cordes, 2004, Sonesson, 2007). Bei der MAS werden molekulare genetische Marker, d.h. bekannte DNA-Abschnitte, zur Auswahl von Elterntieren mit gewünschten Eigenschaften genutzt. Die Grundlage einer optimalen MAS besteht wiederum aus sicher zu phänotypisierenden Merkmalen, die eine hohe Aussagekraft besitzen. Somit muss eine präzise Phänotypisierung jedem züchterischen Einsatz vorausgehen.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Analyse des Rückenfettes eine präzise Phänotypisierung des Filet-Fettgehaltes möglich ist. Die für diese Studie angefertigten computertomographischen Aufnahmen können im Abgleich mit den Ergebnissen aus der chemischen Analyse dauerhaft zur Evaluation weiterer Schlachtkörpermerkmale eingesetzt werden. Die besten Vorhersage-Modelle sollten anschließend unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen für *in vivo* Messungen am Karpfen etabliert werden.

Darüber hinaus sollte ein Zuchtprogramm mit präzisen Methoden zur Vorhersage und Kontrolle der Körperzusammensetzung entwickelt werden, um geeignete Fische für die Zucht auszuwählen. Letztendlich könnte so ein System der qualitätsorientierten Erzeugung und Vermarktung entstehen, das zu einem qualitativ hochwertigen Produkt, einer hohen Verbraucherzufriedenheit und einer höheren Gewinnmarge in der Karpfenteichwirtschaft führt.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Der Karpfen (*Cyprinus carpio*) gehört zur Familie der *Cyprinidae*, die weltweit größte und wichtigste Familie in der Aquakultur. Der Aquakultur wird eine zentrale Rolle bei der Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung und der Bekämpfung des entstehenden Proteindefizits zugesprochen. Karpfen können nachhaltig unter extensiven oder semi-intensiven Bedingungen produziert werden und stehen somit nicht unmittelbar in Nahrungskonkurrenz zum Menschen. Die Karpfenerzeugung wird künftig eine Schlüsselrolle einnehmen, wenn es darum geht, nachhaltige, tierische Lebensmittel zu produzieren.

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung von Karpfen, insbesondere des Fettgehaltes, ist eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe Produktqualität und letztendlich eine gesicherte Verbraucherszufriedenheit. Karpfen sollten einen Filet-Fettgehalt von unter 10% aufweisen. Da die Karpfen zumeist lebend vermarktet werden, werden *in vivo* Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung benötigt. Überdies ist eine präzise Phänotypisierung *in vivo* die Grundvoraussetzung für jedes Zuchtprogramm. Da die Aufzucht- und Umweltbedingungen von Karpfen die Körperzusammensetzung stark beeinflussen, wurden sie umfangreich erforscht. Es gibt jedoch kaum Zuchtprogramme zur Verbesserung der Schlachtkörperqualität.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Filet-Fettgehalt und die Filetausbeute von Spiegelkarpfen mittels nicht-invasiver Methoden zu bestimmen.

Die erste Publikation beschreibt die Untersuchung von 250 dreijährigen lebenden Spiegelkarpfen aus fünf unterschiedlichen Teichen mit einem mobilen Ultraschallgerät. Die Karpfen befanden sich während der Ultraschalluntersuchung in mit Wasser gefüllten, speziell designten Behältnissen. Zwei sagittale Schnittbilder des Rückenfettes wurden aufgenommen und die Rückenfettdicke an mehreren Positionen vermessen. Anschließend wurden die Fische aus dem Wasser genommen und der Fettgehalt mittels eines auf Mikrowellentechnologie basierendem Fish-Fatmeter untersucht. Im Anschluss erfolgte die Erfassung von Körpergewicht und linearer Maße einschließlich Längen, Höhe und Umfänge der Fische. 51 der 250 Karpfen wurden anschließend geschlachtet, filetiert und das linke Filet chemisch analysiert. Das Fish-Fatmeter erwies sich als genaue Methode zur Bestimmung des Filet-Fettgehaltes ($R^2 = 0,95$) und wurde als Referenzmethode für den Filet-Fettgehalt für die ausschließlich *in vivo* untersuchten Fische herangezogen. Für die linearen Maße und den Filet-Fettgehalt ergaben sich Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,25-0,32 und negative Korrelationskoeffizienten. Für die Ultraschallmessung der Rückenfettdicke in Bezug auf den Filet-Fettgehalt ergaben sich moderate Korrelationen ($R^2 = 0,33-0,45$). In einem nächsten Schritt wurde die spezifische Rückenfettdicke der Fische berechnet, indem die Ultraschall-

basierte Rückenfettdicke durch ein lineares Maß dividiert wurde. Anhand dieser Vorgehensweise und der Berechnung von Mittelwerten über 10 zufällig ausgewählte Fische pro Teich ließ sich die Vorhersage des Filet-Fettgehaltes deutlich verbessern ($R^2 = 0,92$).

In der zweiten Publikation wurden 33 dreijährige Spiegelkarpfen nach der Schlachtung mittels Computertomographie (CT) untersucht. Zuvor wurden, wie in der ersten Publikation beschrieben, die Karpfen *in vivo* untersucht. Mittels CT wurden Ganzkörperscans angefertigt. Anschließend wurden die Karpfen filetiert, die Filetausbeute berechnet und das linke Filet chemisch analysiert. Das Geschlecht wurde anhand des Schlachtkörpers bestimmt. Es konnte kein Einfluss des Geschlechts auf den Fettgehalt oder die Filetausbeute nachgewiesen werden. Anhand der CT-Aufnahmen wurde die Rückenfettdicke analog zu den Positionen der ultraschallbasierten Rückenfettdickenmessung bestimmt. In einem nächsten Schritt wurde das Volumen des Rückenfettes von Beginn des Rückens bis zum Ansatz der Rückenflosse kalkuliert. Kurz vor Beginn der Rückenflosse wurde zudem die Filetdicke des rechten und linken Filets auf Höhe der Wirbelsäule vermessen. Bezüglich des Filet-Fettgehaltes ließ sich mit der dreidimensionalen Volumenkalkulation eine sehr gute Vorhersage von 92% erzielen. Mittels CT-basierter zweidimensionaler Rückenfettdickenmessung wurde in der linearen Regression eine Vorhersagegenauigkeit von 78% erzielt. Beide Messmethoden ließen sich mittels multipler Regression unter Hinzunahme von einzelnen linearen Maßen auf Vorhersagegenauigkeiten von 94-95% verbessern. Die Filetausbeute betrug im Mittelwert 42,89%. Mittels der Filet-Dickenmessung ließ sich die Filetausbeute zu 68% vorhersagen. Ein ähnliches Ergebnis hinsichtlich der Vorhersage der Filetausbeute wurde mit dem Körpergewicht und einzelnen linearen Maßen erzielt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine Grundlage für eine präzise *in vivo* Phänotypisierung zur Vorhersage von Schlachtkörpermerkmalen bei Spiegelkarpfen dar. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten für die Erarbeitung von zukünftigen Zuchtprogrammen bei Spiegelkarpfen genutzt werden. Zudem wurde mittels der Ultraschallmethodik und dem Einsatz von linearen Maßen die Basis für ein praxisnahes Verfahren entwickelt, das es dem Teichwirt ermöglicht, den Fettgehalt seiner lebenden Fische zu bestimmen und somit ein qualitativ hochwertiges Produkt zu erzeugen.

8 SUMMARY

The carp (*Cyprinus carpio*) belongs to the Cyprinids, the world's largest and most important fish family in aquaculture. Aquaculture will play a central role in combating the emerging protein deficit of the world's growing population. Carps can be produced sustainably under extensive or semi-intensive conditions and are therefore not in direct food competition with humans. Thus, carp production will play a key role in the future when it comes to producing sustainable animal protein sources.

The determination of the body composition of carp, in particular the fat content, is important for a high product quality and a high consumer acceptance. Carps should have a fillet fat content of less than 10%. There are usually traded alive, therefore *in vivo* methods are needed to determine the body composition. Moreover, precise phenotyping *in vivo* is the basic requirement for any breeding program. Carp rearing and environmental conditions have been extensively researched, but there is little research in breeding programs to improve body composition.

The aim of the present work was to determine the fillet fat content and the fillet yield of mirror carp using non-invasive methods.

The first publication describes the examination of 250 three-year-old living mirror carps from five different ponds with a mobile ultrasound device. Carps were placed in purpose-built containers filled with water during the ultrasound examination. Two sagittal sectional images of the back-fat were taken and the back-fat thickness was measured at several positions. The fish were then taken out of the water and the fat content was examined using a Fish Fatmeter based on microwave technology. The body weight and various linear measures were then measured, including different lengths, the height and different circumferences of the fish. 51 of the 250 carp were slaughtered and filleted. The left fillet was chemically analyzed. The Fish Fatmeter proved to be an accurate method for the determination of the fillet fat content ($R^2 = 0.95$) and was used as the reference method for the fillet fat content for fish examined *in vivo*. For the linear measurements and the fillet fat content, coefficients of determination (R^2) of 0.25-0.32 and negative correlation coefficients were obtained. The ultrasound measurement of the back-fat thickness in relation to the fillet fat content showed moderate correlations ($R^2 = 0.33$ -0.45). In a next step, the specific back-fat thickness of the fish was calculated by dividing the ultrasound-based back-fat thickness by a linear measurement. Using this approach and the calculation of mean values over 10 fish per pond, the prediction of the fillet fat content could be significantly improved ($R^2 = 0.92$).

In the second publication, 33 three-year-old mirror carps were examined by computed tomography (CT) after slaughter and before dissection. Previously, the carp were examined *in vivo* as described in the first publication. Whole body scans were performed. The carp were then filleted, the fillet yields were calculated and the left fillets were chemically analyzed. The sex was determined on the basis of the carcass. No influence of the sex on the fillet fat content or the fillet yield could be proven. The CT images were used to measure the back-fat thickness analogously to the measurement positions of the ultrasound-based back-fat thickness. The next step was to calculate the volume of dorsal fat from the beginning of the back to the base of the dorsal fin. Shortly before the start of the dorsal fin, the thickness of the right and left fillets was also measured at the level of the spinal column. With regard to the fillet fat content, a very good prediction of 92% could be achieved with the three-dimensional volume calculation. Using CT-based two-dimensional back fat thickness measurement, a prediction accuracy of 78% was achieved with linear regression analysis. Both measurement methods could be improved by multiple regression analysis with the addition of individual linear measurements leading to prediction accuracies of 94-95%. The average fillet yield was 42.89%. By measuring the thickness of the fillets, it was possible to predict the fillet yield at 68%. A similar result regarding the prediction of the fillet yield was achieved with the body weight and individual linear measurements.

The results of this work provide a basis for precise *in vivo* phenotyping to predict carcass characteristics in mirror carp. The knowledge gained should be used for the development for future breeding programs for mirror carp. In addition, the developed ultrasound method and the use of linear measurements can lay the foundation for a practical procedure that enables the pond farmer to determine the fat content of his living fish and thus produce a high-quality product.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- Ahne, W., Liebich, H-G., Stohrer, M., Wolf, E., 2000. Zoologie Lehrbuch für Studierende der Veterinärmedizin und Agrarwissenschaften. Schattauer Verlagsgesellschaft GmbH. ISBN 3-7945-1764-4.
- Arthur, P., Barchia, I., Giles, L., Eamens, G., 2011. Chemical composition of growing pigs and its relationship with body tissue composition assessed by X-ray-computed tomography. *J. Animal Sci.* 89, 3935-3944. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3728>.
- Bakos, J., Gorda, S., 1995. Genetic improvement of common carp strains using intraspecific hybridization. *Aquaculture*. 129, 183-186. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00245-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00245-J).
- Balon, E.K., 1995. Origin and domestication of the wild carp, *Cyprinus carpio*: from Roman gourmets to the swimming flowers. *Aquaculture*. 129, 3-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00227-F](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00227-F).
- Bauer, C., Schlott, G., 2009. Fillet yield and fat content in common carp (*Cyprinus carpio*) produced in three Austrian carp farms with different culture methodologies. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 591-594. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01282.x>.
- Bauer, C., Gratzl, G., Schlott, G., 2007. Die Variation des Fettgehalts von Speisekarpfenfilets innerhalb und zwischen österreichischen Teichwirtschaften. *Österreichs Fischerei*. 8/9, 206-209.
- Bauer, C., Gratzl, G., Schlott, G., 2011. Qualitätskontrolle bei Speisekarpfen mit dem Fettmessgerät Distell FM 692. *Österreichs Fischerei*. 2/12, 70-72.
- Baumung, R., 2005. Genetische Grundlagen und Methoden der Kreuzungszucht. Kreuzungszucht und Heterosis – Seminar des Ausschusses für Genetik der Zentralen Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter, 3-10.
- Bergen, R., Miller, S.P., Mandell, I.B., Robertson, W.M., 2005. Use of live ultrasound, weight and linear measurement to predict carcass composition of young beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 23-25. <https://doi.org/10.4141/A04-011>.
- Blythe, B., Helfrich, L.A., Beal, W.E., Boworth, B.G., Libey, G.S., 1994. Determination of sex and maturational status of striped bass (*Morone saxatilis*) using ultrasonic imaging. *Aquaculture*. 125, 175-184. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90294-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90294-1).

- Bostock, J., Brendan, M.A., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., Corner, R., 2010. Aquaculture: global status and trends. *Philos. Trans. Royal Soc. B: Biological Sciences*. 365, 2897-2912. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>.
- Bosworth, B.G., Libey, G.S., Notter, D.R., 1998. Relationships among total weight, body shape, visceral components, and fillet traits in Palmetto Bass (Striped Bass Female *Morone saxatilis* x White Bass Male *M. chrysops*) and Paradise Bass (Striped Bass Female *M. saxatilis* x Yellow Bass Male *M. mississippiensis*). *J. World Aquacult. Soc.* 29, 40-50. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1998.tb00298.x>.
- Bosworth, B.G., Holland, M., Brazil, L., 2001. Evaluation of ultrasound imagery and body shape to predict carcass and fillet yield in farm-raised catfish. *J. Animal Sci.* 79, 1483-1490. <https://doi.org/10.2527/2001.7961483x>.
- Brämick, U., 2017. Jahresbericht zur Deutschen Binnenfischerei und Binnenaquakultur 2017. Institut für Binnenfischerei e.V., Potsdam-Sacrow. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/EU-Fischereipolitik-Meeresschutz/JahresberichtBinnenfischerei.html> (abgerufen am 5. Januar 2019).
- Brenøe, U., Kolstad, K., 2000. Body composition and development measured repeatedly by computer tomography during growth in two types of turkeys. *Poult. Sci.* 79, 546-552. <https://doi.org/10.1093/ps/79.4.546>.
- Brethour, J.R., 1990. Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle. *J. Animal Sci.* 68, 2603-2613. <https://doi.org/10.2527/1990.6892603x>.
- Brethour, J.R., 1992. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat in cattle. *J. Animal Sci.* 70, 1039-1044. <https://doi.org/10.2527/1992.7041039x>.
- Carrillo, M., Zanuy, S., Felip, A., Bayarri, M.J., Molé's, G., Gómez, A., 2009. Hormonal and environmental control of puberty in perciform fish. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1163, 49-59. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2008.03645.x>.
- Cibert, C., Fermon, Y., Vallod, D., Meunier, F.J., 1999. Morphological screening of carp *Cyprinus carpio*: relationship between morphology and fillet yield. *Aquat. Living Resour.* 12, 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(99\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(99)80009-6).
- Crossin, G.T., Hinch, S.G., 2005. A nonlethal, rapid method for assessing the somatic energy content of migrating adult Pacific salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 134, 184-191. <https://doi.org/10.1577/FT04-076.1>.

- Delfa, R., Teixeira, A., Gonzales, C., Blasco, I., 1995. Ultrasonic estimates of fat thickness and *Longissimus dorsi* muscle depth for predicting carcass composition of live Aragon lambs. *Small Rumin. Res.* 16, 159-164. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(95\)00632U](https://doi.org/10.1016/0921-4488(95)00632U).
- Distell, 2018. Accuracy of results - Fish Fatmeter. <https://www.distell.com/fish-fatmeter/accuracy-of-results/> (abgerufen am 5. Juli 2019).
- Verordnung (EU) Nr. 1151/2012 des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. November 2012 über Qualitätsregelungen für Agrarerzeugnisse und Lebensmittel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:343:0001:0029:de:PDF>. (abgerufen am 10. April 2018).
- Evans, A., 2009. The feeding of the nine billion. Global food security for the 21st century. Chatham House, London.
- Fajmonova, E., Zelenka, J., Komprda, T., Kladroba, D., Sarmanova, I., 2003. Effect of sex, growth intensity and heat treatment on fatty acid composition of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets. *Czech J. Anim. Sci.* 48, 85-92.
- FAO, 2018. FAO yearbook - fishery and aquaculture statistics 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries and Aquaculture Department, Rome. http://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2016_USBcard/booklet/web_i9942t.pdf (abgerufen am 6. April 2019).
- Fauconneau, B., Alami-Durante, H., Laroche, M., Marcel, J., Vallot, D., 1995. Growth and meat quality relations in carp. *Aquaculture*. 129, 265-297. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00309-C](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00309-C).
- Füllner, G., Pfeifer, M., Langner, N., 2007. Karpfenteichwirtschaft - Bewirtschaftung von Karpfenteichen - Gute fachliche Praxis. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. ISBN 978-3-00-020931-4.
- Fürst-Waltl, B., 2005. Kreuzungszucht bei Fleischrindern. Kreuzungszucht und Heterosis – Seminar des Ausschusses für Genetik der Zentralen Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter, 27-35.
- Gjedrem, T., Robinson, N., Rye, M., 2012. The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*. 350-353, 117-129. <https://www.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.008>.

- Gjerde, B., 1987. Predicting carcass composition of rainbow trout by computerized tomography. *J. Anim. Breed. Genet.* 104, 121-136. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1987.tb00115.x>.
- Haffray, P., Bugeon, J., Rivard, Q., Quittet, B., Puyo, S., Allamelou, J.M., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., 2013. Genetic parameters of in-vivo prediction of carcass, head and fillet yields by internal ultrasound and 2D external imagery in large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 410-411, 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.06.016>.
- Hancz, C., Romvári, R., Petrási, Z., Horn, P., 2003. Prediction of carcass quality traits of common carp by X-ray computerized tomography. *Isr. J. Aquac.* 55, 61-68.
- Houghton, P.L., Turlington, L.M., 1992. Application of ultrasound for feeding and finishing animals: a review. *J. Animal Sci.* 70, 930-941. <https://doi.org/10.2527/1992.703930x>.
- Hulata, G., 1995. A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquaculture*. 129, 143-155. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00244-I](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00244-I).
- i Furnols, M.F., Teran, M.F., Gispert, M., 2009. Estimation of lean meat content in pig carcasses using X-ray computed tomography and PLS regression. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 98, 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2009.04.009>.
- Jopson, N.B., McEwan, J., Dodds, K., Young, M., 1995. Economic benefit of including computed tomography measurements in sheep breeding programmes. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 11, 151-162.
- Judas, M., Höreth, R., Dobrowolski, A., 2005. Computertomographie als Methode zur Analyse der Schlachtkörper von Schweinen. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 44, 145-151.
- Kantoci, S., 2008. Anreicherung von Iod und Omega-3-Fettsäuren in der Karpfenproduktion durch Algen im Fischfutter. Unv. Diss. der tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Karlsen, Ø., Holm, J.C., 1994. Ultrasonography, a non-invasive method for sex determination in cod (*Gadus morhua*). *J. Fish Biol.* 44, 965-971. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1994.tb01268.x>.
- Kent, M., 1990. Hand-held instrument for fat/water determination in whole fish. *Food Control*. 1, 47-53. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(90\)90121-R](https://doi.org/10.1016/0956-7135(90)90121-R).

- Kent, M., Lees, A., Christie, R.H., 1992. Seasonal variation in the calibration of a microwave fat:water content meter for fish flesh. *Int. J. Food. Sci. Tech.* 27, 137-143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01189.x>.
- Kestemont, P., 1995. Different systems of carp production and their impacts on the environment. *Aquaculture*. 129, 347-372. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00292-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00292-V).
- Kiefer, J., Kiefer, I., 2003. Allgemeine Radiologie: Strahlenanwendung - Strahlenwirkung - Strahlenschutz. Blackwell Verlag GmbH. ISBN 3-8263-3397-7.
- Klobukowski, J., Skibniewska, K., Janowicz, K., Klobukowski, F., Siemianowska, E., Terech-Majewska, E., Szarek, J., 2008. Selected parameters of nutritional and pro-health value in the common carp (*Cyprinus carpio* L.) muscle tissue. *J. Food Qual.* 2018, Article ID 6082164. <https://doi.org/10.1155/2018/6082164>.
- Kocour, M., Gela, D., Rodina, M., Linhart, O., 2005. Testing of performance in common carp *Cyprinus carpio* L. under pond conditions I: top-crossing with Northern mirror carp. *Aquac. Res.* 36, 1207-1215. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01340.x>.
- Kocour, M., Mauger, S., Rodina, M., Gela, D., Linhart, O., Vandeputte, M., 2007. Heritability estimates for processing and quality traits in common carp (*Cyprinus carpio* L.) using a molecular pedigree. *Aquaculture*. 270, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.001>.
- Kolstad, K., Vegusdal, A., Baevefjord, G., Einen, O., 2004. Quantification of fat deposits and fat distribution in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) using computerised X-ray tomography (CT). *Aquaculture*. 229, 255-264. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00354-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00354-5).
- Kora, H., Tsuchimoto, M., Miyata, K., Osato, S., Wang, Q., Gomez Apablaza, P., Mishima, T., Tachibana, K., 2000. Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured red sea bream. *Fisheries Sci.* 66, 365-371.
- Krause, S., 2003. Sonographische Darstellung der inneren Organe des Karpfens (*Cyprinus carpio*). Univ. Diss. der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- Lambe, N.R., Navajas, E.A., Schofield, C.P., Fisher, A.V., Simm, G., Roehe, R., Bünger, L., 2008. The use of various live animal measurements to predict carcass and meat quality in two divergent lamb breeds. *Meat Sci.* 80, 1138-1149. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.026>.

- LfL, 2007. Fettmessung am lebenden Speisekarpfen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei – Außenstelle für Karpfenteichwirtschaft, Höchststadt. <https://www.lfl.bayern.de/ifi/karpfenteichwirtschaft/030743/index.php> (abgerufen am 20. Juni 2019).
- LfL, 2018. Karpfen schlachten und vorbereiten für die Küche. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Fischerei - Außenstelle für Karpfenteichwirtschaft, Höchststadt. <https://www.lfl.bayern.de/ifi/karpfenteichwirtschaft/115845/index.php> (abgerufen am 25. Juli 2019).
- Liu, Z.J., Cordes, J.F., 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture*. 238, 1-37. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.027>.
- Ljubojević, D., Ćirković, M., Đorđević, V., Puvača, N., Trbović, D., Vukadinov, J., Plavša, N., 2013. Fat quality of marketable fresh water fish species in the Republic of Serbia. *Czech J. Food Sci.* 31, 445-450. <https://doi.org/10.17221/53/2013-CJFS>.
- Mair, G.C., Abucay, J.S., Skibinski, D.O.F., Abella, T.A., Beardmore, J.A., 1997. Genetic manipulation of sex ratio for the large-scale production of all-male tilapia *Oreochromis niloticus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 396-404. <https://doi.org/10.1139/cjfas-54-2-396>.
- Martin-Robichaud, D.J., Rommes, M., 2001. Assessment of sex and evaluation of ovarian maturation of fish using ultrasonography. *Aquac. Res.* 32, 113-120. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00538.x>.
- Mattson, N.S., 1991. A new method to determine sex and gonad size in live fishes by using ultrasonography. *J. Fish Biol.* 39, 673-677. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1991.tb04397.x>.
- Moav, R., Finkel, A., Wohlfarth, G., 1975. Variability of intermuscular bones, vertebrae, ribs, dorsal fin rays and skeletal disorders in the common carp. *Theor. Appl. Genet.* 46, 33-43. <https://doi.org/10.1007/BF00264753>.
- Moghim, M., Vajhi, A.R., Veshkini, A., Masoudifard, M., 2002. Determination of sex and maturity in *Acipenser stellatus* by using ultrasonography. *J. Appl. Ichthyol.* 18, 325-328. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00423.x>.
- Morawa, F.W.F., 1962. Die Beschaffenheit des Fischkörpers als Spiegel von Vererbungsanlage, Lebenskraft und Umwelt. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 64, 128-133.

- Müller, S., Polten, S., 2003. Ultraschall-Speckdickenmessung am lebenden Tier im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. Ergebnisse ZDS-USV 2002. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Navajas, E.A., Richardson, R.I., Fisher, A.V., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Prieto, N., Simm, G., Roehe, R., 2010. Predicting beef carcass composition using tissue weights of a primal cut assessed by computed tomography. *Animal*. 4, 1810-1817.
- Newcom, D.W., Baas, T.J., Lampe, J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *J. Animal Sci.* 80, 3046-3052. <https://doi.org/10.2527/2002.80123046x>.
- Novelo, N.D., Tiersch, T.R., 2012. A review of the use of ultrasonography in fish reproduction. *N. Am. J. Aquac.* 74, 169-181. <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.672370>.
- Oberle, M., 2008. Fettmessung am lebenden Karpfen. *Fischer & Teichwirt*. 2, 44-46.
- Oberle, M., 2005. Monitoring zum Fettgehalt von Speisekarpfen. Jahresbericht 2005, S. 27. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Fischerei.
- Oberle, M., Aas, M., 2015. Sensoric evaluation of Carp (*Cyprinus carpio*) flesh with different fat content. *Proc. of the 3rd Carp Conference*. 3rd-4th September 2015, Vodnany, Czech Republic, pp. 65-66.
- Oberle, M., Hlavac, D., Hopkins, J., 2012. Ableitung des Fettgehaltes von Karpfenfilets aus der Fettauflage am Rücken. Jahresbericht 2012, S. 23-25. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Fischerei.
- Oberle, M., Hlavac, D., Masilko, J., 2015. Determination of fat content of fillets from the thickness of the dorsal fat deposition in carp (*Cyprinus carpio* L.). 3rd Carp Conference Vodnany. MEVPIS Vodnany, Czech Republic.
- Oesau, S., 2012. Erfassung und Bewertung von Leistungsmerkmalen im Rahmen der Zuchtwertschätzung beim Steinbutt (*Scophthalmus maximus*). Unv. Diss. Agrar- der Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Okos, M., Oberle, M., Willeke, H., 2006. Einfluss der Verteilung der Futtermenge über die Wachstumsperiode auf die Fleischqualität von Karpfen. Jahresbericht 2006, S. 21-22. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Fischerei.
- Ozkaya, S., Bozkurt, Y., 2009. The accuracy of prediction of body weight from body measurements in beef cattle. *Arch. Anim. Breed.* 52, 371-377. <https://doi.org/10.5194/aab-52-371-2009>.

- Pfeiffer, M., Füllner, G., Geisler, J., 2003. Einfluss der Fütterung unterschiedlicher pflanzlicher Futtermittel auf die Produktqualität von Speisekarpfen. *Fischer & Teichwirt.* 54, 328-332.
- Raudner, E., Bätzing, W., Oberle, M., 2005. Der Karpfen als Motor für die Gastronomie einer ganzen Region. *FischMagazin.* 12, 119-123.
- Romvari, R., Hancz, C.S., Petrasi, Z.S., Molnar, T., Horn, P., 2002. Non-invasive measurement of fillet composition of four freshwater fish species by computer tomography. *Aquac. Int.* 10, 231-240. <https://doi.org/10.1023/A:1022196413528>.
- Rutten, M.J.M., Bovenhuis, H., Komen, H., 2004. Modeling fillet traits based on body measurements in three Nile tilapia strains (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture.* 231, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.002>.
- Rye, M., 1991. Prediction of carcass composition in Atlantic salmon by computerized tomography. *Aquaculture.* 99, 35-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90286-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90286-G).
- Scholz, A., 2002. *In-vivo*-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Habil. Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Scholz, A.M., Baulain, U., 2009. Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Nutztier. *Züchtungskunde.* 81, 86-96.
- Schreckenbach, K., 2012. Aufbau und Funktion des Fischkörpers. *Fischkunde.* 1-43. <https://www.kreisanglerverband-schwedt.de/angler-infos/fischereischein> (abgerufen am 1. September 2019).
- Schwarz, F.J., Bräutigam, M., Schabbel, W., Oberle, M., Steinhart, H., 2006. Effect of stocking density and feeding of carp (*Cyprinus carpio* L.) on fat content and fatty acid composition. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 15, 132.
- Sheehan, R.J., Shasteen, S.P., Suresh, A.V., Kapuscinski, A.R., Seeb, J.E., 2011. Better Growth in All-Female Diploid and Triploid Rainbow Trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 128, 491-498. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1999\)128<0491:BGIAFD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1999)128<0491:BGIAFD>2.0.CO;2).
- Sonesson, A.K., 2007. Possibilities for marker-assisted selection in aquaculture breeding schemes. In *Marker-assisted Selection, Current Status and Future Perspectives in Crops, Livestock, Forestry and Fish*, pp. 309-328, FAO, Rome.

- Spezifikation Aischgründer Karpfen, 2007. Spezifikation gemäß Artikel 4 Abs.2 der Verordnung (EG) Nr. 510/2006 zum Antrag auf Eintragung der Bezeichnung "Aischgründer Karpfen" als g.g.A.
- Szendro, Zs., Metzger, Sz., Romvári, R., Szabó, A., Locsmándi, L., Petrási, Zs., Nagy, I., Nagy, Z., Biró-Németh, E., Radnai, I., Matics, Zs., Horn, P., 2008. Effect of divergent selection based on CT measured hind leg muscle volume on productive and carcass traits of rabbits. *9th World Rabbit Conference*. Verona, Italy, pp. 249-254.
- Tacon, A.J., 2003. Aquaculture production trends analysis - review of the state of world aquaculture. *FAO Fisheries Circular*. 886, 5-29.
- Taranger, G.L., Carrillo, M., Schulz, R.W., Fontaine, P., Zanuy, S., Felip, A., Weltzien, F-A., Dufour, S., Karlsen, Ø., Norberg, B., Andersson, E., Hansen, T., 2010. Control of puberty in farmed fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* 165, 483-515. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.05.004>.
- TVT, 1993. Empfehlungen zur Hälterung von Speisefischen im Einzelhandel. Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V. Arbeitskreis 1 (Nutztiere), Unterausschuß Fische. <http://www1.uni-giessen.de/tierschutz/3244.htm> (abgerufen am 4. September 2019).
- Urbánek, M., Hartvich, P., Vácha, F., Rost, M., 2010. Investigation of fat content in market common carp (*Cyprinus carpio*) flesh during the growing season. *Aquac. Nutr.* 16, 511-519. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00690.x>.
- Van Sang, N., Thomassen, M., Klemetsdal, G., Gjøløen, H.M., 2009. Prediction of fillet weight, fillet yield, and fillet fat for live river catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture*. 288, 166-171. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.030>.
- Váradi, L., 1995. Equipment for the production and processing of carp. *Aquaculture*. 129, 443-466. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00306-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00306-9).
- Varga, D., Hancz, C., Horn, P., Molnár, T., Szabó, A., 2013. Environmental factors influencing the slaughter value and flesh quality of the common carp in four typical fish farms in Hungary. *Acta Aliment.* 42, 495-503. <https://www.doi.org/10.1556/AAlim.42.2013.4.4>.
- VDLUFA, 2012. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 5.1.1. Bestimmung von Rohfett. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt, Germany.

- Vogt, A., Gormley, T.R., Downey, G., Somers, J., 2002. A comparison of selected rapid methods for fat measurement in fresh herring (*Clupea harengus*). *J. Food Compos. Anal.* 15, 205-215. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1049>.
- von Sengbusch, R., Meske, C.H., 1967. Auf dem Weg zum grätenlosen Karpfen. *Der Züchter*. 37, 271-274.
- Wohlfarth, G.W., 1993. Heterosis for growth rate in common carp. *Aquaculture*. 113, 31-46. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90338-Y](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90338-Y).
- Woynarovich, A., Moth-Poulsen, T., Péteri, A., 2010. Carp polyculture in Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/013/i1794e/i1794e.pdf> (abgerufen am 11. November 2018).
- WWF Deutschland, 2018. WWF Fischratgeber. <https://fischratgeber.wwf.de> (abgerufen am 06. Juni 2019)
- Zeitler, M.H., Kirchgessner, M., Schwarz, F.J., 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*. 36, 37-48. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90052-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90052-8).

10 ANHANG

Tabelle 3. Mittelwerte und Standardabweichungen von Gewicht (g) und Fettgehalt (%) bezogen auf die einzelnen Teiche

Teich	n	Gewicht in g (SD)	Fettgehalt ^a in % (SD)
01	54	2114 (± 469)	5,61 (± 2,55)
02	42	2491 (± 364)	5,03 (± 1,62)
03	51	1511 (± 401)	17,04 (± 7,47)
04	52	1075 (± 108)	23,22 (± 5,24)
05	51	1367 (± 241)	10,50 (± 3,95)

n = Anzahl der Beobachtungen, SD (±) = Standardabweichung, ^agemessen mittels Fish-Fatmeter

11 TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1. ERTRÄGE UND NUTZFLÄCHEN DER DEUTSCHEN KARPFENTEICHWIRTSCHAFT IN 2017 (NACH BRÄMICK, 2017)	5
TABELLE 2. EINSATZ VON COMPUTERTOMOGRAPHIE BEI VERSCHIEDENEN TIERARTEN	11
TABELLE 3. MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN VON GEWICHT (G) UND FETTGEHALT (%) BEZOGEN AUF DIE EINZELNEN TEICHE	89
 TABLE 1. DESCRIPTIVE STATISTICS IN TWO DATASETS: DATASET I - <i>IN VIVO</i> MEASUREMENTS OF LINEAR PARAMETER INCLUDING WEIGHT, LENGTHS, HEIGHT, CIRCUMFERENCES, FISH FATMETER MEASUREMENT (FFM) AND ULTRASOUND (US); DATASET II - FFM AND CHEMICAL ANALYSIS (CA) OF FAT CONTENT	23
TABLE 2. PEARSON'S COEFFICIENT OF DETERMINATION (R^2) AND COEFFICIENT OF CORRELATION (R) FOR THE FAT CONTENT MEASURED BY CHEMICAL ANALYSIS (CA) AND THE FISH FATMETER (FFM) DIVIDED INTO THREE GROUPS ACCORDING TO FAT CONTENT	24
TABLE 3. PEARSON'S COEFFICIENT OF DETERMINATION (R^2) AND COEFFICIENT OF CORRELATION (R) FOR THE FISH FAT METER (FFM) AND SEVERAL ULTRASOUND (US) MEASUREMENTS OF THE BACKFAT THICKNESS	25
TABLE 4. PEARSON'S COEFFICIENT OF DETERMINATION (R^2) AND COEFFICIENT OF CORRELATION (R) FOR THE FISH FATMETER (FFM) RESULTS AS THE GOLD STANDARD AND THE LINEAR MEASUREMENT TRAITS	26
TABLE 5. PEARSON'S COEFFICIENT OF DETERMINATION (R^2) AND COEFFICIENT OF CORRELATION (R) FOR THE MEAN VALUES OF THE GROUPS OF 10 FISH FOR THE FFM AS GOLD STANDARD AND THE BACKFAT THICKNESS MEASURED BY ULTRASOUND DIVIDED BY LINEAR MEASUREMENTS	28
TABLE 6. MEAN, MINIMUM, MAXIMUM AND STANDARD DEVIATION ($\pm$) FOR THE TRAITS BODY WEIGHT (G), FILLET FAT CONTENT* (%), FILLET WEIGHT (G) AND FILLET YIELD (%); N = 33	48
TABLE 7. MEAN AND STANDARD DEVIATION ($\pm$) OF THE BACK-FAT THICKNESS OVER FOUR CT SCAN POSITIONS AS WELL AS THE COEFFICIENTS OF DETERMINATION (R^2) FOR BACK-FAT THICKNESS MEASURED ON A SINGLE CT IMAGE AND FILLET FAT CONTENT MEASURED BY CHEMICAL ANALYSIS (N = 33, P < 0.001)	49
TABLE 8. RELATIONSHIP BETWEEN BACK-FAT THICKNESS MEASURED ON A SINGLE CT IMAGE AND BACK-FAT THICKNESS MEASURED BY ULTRASOUND (US) (N = 33, P < 0.001)	50

TABLE 9. RELATIONSHIP BETWEEN FILLET FAT CONTENT (%) MEASURED BY CHEMICAL ANALYSIS AND LINEAR MEASUREMENTS; N = 33	52
TABLE 10. RESULTS OF MULTIPLE LINEAR REGRESSION FOR FILLET FAT CONTENT (%) AND CT-BASED BACK-FAT THICKNESS (CM) WITH THE ADDITION OF LINEAR MEASUREMENT (N = 33, P < 0.001)	52
TABLE 11. RESULTS OF MULTIPLE LINEAR REGRESSION FOR FILLET FAT CONTENT (%) AND BACKFAT VOLUME (CM ³) WITH THE ADDITION OF LINEAR MEASUREMENT (N = 33, P < 0.001).....	53
TABLE 12. RESULTS OF SINGLE LINEAR REGRESSION BETWEEN FILLET YIELD (%), LINEAR MEASUREMENT AND CT MEASUREMENT; N = 33	54

12 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1. DARSTELLUNG EINES SPIEGELKARPFENS (QUELLE: MAAS, P.)	6
ABBILDUNG 2. ÜBERBLICK ÜBER DIE ARBEITSSCHRITTE IN EINEM ZUCHTPROGRAMM (NACH OEASAU, 2012)	7
ABBILDUNG 3. DARSTELLUNG DER RÜCKENFETTAUFLAGE AM FILETIERTEN SPIEGELKARPFFEN (QUELLE: MAAS, P.)	10
 FIGURE 1. MEASURING THE BACKFAT THICKNESS IN SEVERAL POSITIONS USING TWO ULTRASOUND IMAGES. A) FIRST IMAGE: US0 MEASURED AT THE SPOT CLOSE TO THE FISH'S HEAD WHERE THE THICKNESS OF THE FAT LAYER REACHES A CONSTANT VALUE, B) FIRST IMAGE: US1, US2 AND US3 MEASURED 2.5 CM, 3 CM AND 3.5 CM, RESPECTIVELY, FROM THE BEGINNING OF THE FAT LAYER IN THE CAUDAL DIRECTION, C) SECOND IMAGE: US4 MEASURED 2 CM FROM THE BEGINNING OF THE FIRST RAY OF THE DORSAL FIN IN THE CRANIAL DIRECTION.....	20
FIGURE 2. LINEAR MEASUREMENT. HEIGHT (H): MEASURED AT THE MAXIMUM HEIGHT OF THE FISH, LENGTH 1 (L1): FROM THE MOUTH TO THE GILL ARCH, LENGTH 2 (L2): FROM THE MOUTH TO THE BEGINNING OF THE TAIL FIN, LENGTH 3 (L3): FROM THE MOUTH TO THE END OF THE TAIL FIN, LENGTH4 (L4): FROM THE MOUTH TO THE END OF THE CLOSED TAIL FIN, CIRCUMFERENCE 1 (CF1): AT THE LEVEL OF THE PECTORAL FIN, CIRCUMFERENCE 2 (CF2): AT THE LEVEL OF THE HEIGHT MEASUREMENT, CIRCUMFERENCE 3 (CF3): AT THE LEVEL OF THE ANAL FIN, CIRCUMFERENCE 4 (CF4): AROUND THE THINNEST PART OF THE TAIL FIN.....	21
FIGURE 3. MEASURING POINTS OF THE DISTELL FISH FATMETER ON THE LEFT SIDE OF THE CARP.....	22
FIGURE 4. CORRELATION BETWEEN THE FAT CONTENT OF LIVE FISH USING MICROWAVE TECHNOLOGY (FFM) AND THE FAT CONTENT DETERMINED BY CHEMICAL ANALYSIS ($R^2 = 0.95$, $N = 51$, $P < 0.001$).....	24
FIGURE 5. CORRELATION BETWEEN THE BACKFAT LAYER THICKNESS MEASURED BY US0 DIVIDED BY CF4 AND THE FAT CONTENT DETERMINED BY FFM ($R^2 = 0.74$, $N =$ 250 , $P < 0.001$).....	27
FIGURE 6. CORRELATION OF THE MEAN VALUE FOR RANDOM GROUPS OF 10 FISH PER POND BETWEEN FAT CONTENT MEASURED BY FFM (IN %) AND THE BACKFAT THICKNESS MEASURED BY ULTRASOUND (US0) DIVIDED BY THE LINEAR MEASUREMENT CF4 ($US0/CF4_MEAN$) ($R^2 = 0.92$, $N(G) = 24$, $P < 0.001$).....	28

FIGURE 7. LINEAR MEASUREMENT OF CARP INCLUDING HEIGHT, FOUR LENGTHS AND FOUR CIRCUMFERENCES.....	44
FIGURE 8. MEASUREMENT OF THE BACK-FAT THICKNESS IN FOUR POSITIONS USING TRANSVERSAL CT IMAGES; 2.4, 3.0 AND 3.6 CM FROM THE BEGINNING OF THE BACK FAT IN THE DIRECTION OF THE TAIL AND 2.1 CM IN DIRECTION OF THE HEAD FROM THE FIRST RAY OF THE DORSAL FIN.....	45
FIGURE 9. CT CROSS SECTION 2.1 CM BEFORE THE FIRST RAY OF THE DORSAL FIN. THE BACK-FAT THICKNESS WAS MEASURED IN TWO DIFFERENT THICKNESSES (CT4_BF1, CT4_BF2). THE THICKNESS OF THE FILLET WAS MEASURED ON THE RIGHT AND LEFT SIDE (CT4_R, CT4_L).....	46
FIGURE 10. CORRELATION BETWEEN FILLET FAT CONTENT DETERMINED BY CHEMICAL ANALYSIS (%) AND BACK-FAT THICKNESS CT4_BF2 (CM) DETERMINED BY CT IMAGE ($R^2 = 0.62$, $N = 33$, $P < 0.001$).....	49
FIGURE 11. BLAND-ALTMAN ANALYSIS COMPARING TWO METHODS FOR MEASURING BACK-FAT THICKNESS IN CARP: THE ULTRASOUND METHOD (US) AND THE CT-BASED METHOD (CT_BF); $N = 33$. DIFFERENCES ARE CALCULATED AS $US - CT$, MIDDLE DASHED LINE: MEAN VALUE OF THE DIFFERENCE, UPPER AND LOWER DASHED LINES: STANDARD DEVIATION OF THE DIFFERENCE.....	51
FIGURE 12. 3-D MODEL OF A MIRROR CARP CREATED WITH 3D-DOCTOR SOFTWARE SHOWING THE BACK FAT FROM THE BEGINNING OF THE BACK TO THE BEGINNING OF THE DORSAL FIN.....	53

13 DANKSAGUNG

Bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis bedanke ich mich für sein stetes Interesse an der Thematik und für die Betreuung dieser Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. vet. habil. Prisca Kremer-Rücker für die sehr gute wissenschaftliche Betreuung und dafür, dass sie immer mit wertvollem Rat und Tat die Arbeit begleitet hat.

Dr. Beata Grzegrzółka danke ich für ihren Einsatz bei der Datenerhebung und die Unterstützung bei der Datenauswertung.

Bei Dr. Martin Oberle und Kollegen möchte ich mich für die freundliche Aufnahme, die Einblicke in die Karpfenteichwirtschaft und für die Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei dem praktischen Teil dieser Arbeit bedanken.

Philipp Kreß, Sebastian Salomon und den fleißigen Studentinnen von Frau Prof. Kremer-Rücker danke ich sehr herzlich für die tatkräftige Unterstützung und den unermüdlichen Einsatz bei der Datenerhebung.

Dr. Manfred Schuster und seinem Team, insbesondere Frau Claudia Reinhardt, danke ich für die Kooperation bei der Erstellung der chemischen Analysen.

Dr. Michael Judas danke ich für die Mitwirkung bei der Anfertigung der computertomographischen Aufnahmen.

Herzlich danken möchte ich zudem Nathalie und Leni für die Zeit, die sie für fleißiges Korrekturlesen aufgewendet haben.

Ben danke ich für die ideenreichen Diskussionen und Vorschläge bezüglich der Ausarbeitung und der Datenauswertung.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern für die fortwährende Betreuung der kleinen Mathilde. Ohne eure Unterstützung wäre diese Dissertation niemals geschrieben worden.