

SACHKUNDE („FLEISCH“)

DEFINITION „FLEISCH“

- **Allgemeiner Sprachgebrauch:** mehr oder weniger fettes Skelettmuskelgewebe.
- **Leitsätze für Fleisch und Fleischerzeugnisse:** alle Teile von geschlachteten oder erlegten warmblütigen Tieren, die zum Genuss für Menschen bestimmt sind (Nr.1).

Bei der gewerbsmäßigen Herstellung von Fleischerzeugnissen wird unter „Fleisch“ nur Skelettmuskulatur mit anhaftendem oder eingelagertem Fett- und Bindegewebe sowie eingelagerten Lymphknoten, Nerven, Gefäßen und Schweinespeicheldrüsen verstanden (Nr. 1.1).

Bei Fleischerzeugnissen, die auch im Verbraucherhaushalt zubereitet werden (z. B. Kotelett), und bei Fleischerzeugnissen im Stück (z. B. Knochenschinken) schließt die Bezeichnung „Fleisch“ teilweise auch einen entsprechenden Anteil an eingewachsenen Knochen und Knorpeln ein, „Schweinefleisch“ auch Schwarte, im allgemeinen jedoch nur bei Teilen aus dem Bereich von Schlegel (Keule), Schulter, Brust und Bauch sowie beim Rückenspeck (vgl. dazu auch RL 2000/13/EG, Anhang I).

- **Verordnung (EG) Nr. 853/2004:** alle genießbaren Teile von Huftieren, Geflügel, Hasentieren, frei lebendem Wild, Farmwild, Kleinwild und Großwild.

„Frisches Fleisch“ ist Fleisch, dass zur Haltbarmachung ausschließlich gekühlt, gefroren, schnell gefroren, vakuumiert oder unter Schutzatmosphäre verpackt wurde.

- **Etikettierungs-RL 2000/13/EG:** tierartabhängige Höchstwerte für Gehalt an Fett und Bindegewebe.

MITTLERE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

- Wasser	74-76 %
- Stickstoffsubstanzen	20-22 %
- Fett	1,5 %
- Mineralstoffe	1 %
- Kohlenhydrate	0,05-0,2 %
- Vitamine und Enzyme	in Spuren

WASSER

• Muskelfleisch

- Ca. 95 % freies Wasser mit gelösten Stoffen (zugesetzte und diffundierbare Stoffe, z. B. Eiweißstoffe, Salze, Kohlenhydrate u. a.), das in schmalen Kanälen zwischen den Filamenten gehalten wird

- Ca. 5 % sind an Eiweiß gebundenes Wasser: Hydratwasser, das als Hydrathülle aufgrund des Dipolcharakters des Wassers die Proteinstrukturen umgibt

• Eigenwasser – Fremdwasser

- Veränderungen im Wassergehalt der Muskulatur bedingt eine Quellung oder Schrumpfung der Myofibrillen

- Quellungszustand / Wasserbindungsvermögen (WBV) dieses Proteingels ist abhängig von Art und Umfang der Wechselwirkungen zwischen den Peptidketten: Wechselwirkung ↓ = Quellung, Wechselwirkung ↑ = Entquellung (über hydrophobe Bindungen, H⁺-Brücken und Ionenbindungen)

- WBV der Myofibrillen ist von pH-Wert und Ionenmilieu abhängig, die Einfluss auf die o. g. Wechselwirkungen nehmen: elektrostatische Wechselwirkungen (Gesamtladung eines Proteins) sind am isoelektrischen Punkt (pH 5,0-5,5) am größten, d. h. dass die Quellung von Fleisch in diesem Bereich auf dem Minimum ist !

- Der Zusatz von Salzen führt zu einer Verschiebung des isoelektrischen Punktes → WBV ↑

- Hohes WBV der Muskulatur unmittelbar nach der Schlachtung ist durch den hohen pH-Wert und die hohe ATP-Konzentration vor dem Rigor mortis bedingt, mit steigendem ATP-Abbau und pH-Wert-Senkung (Laktat) sinkt das WBV

FETT

- Einflussfaktoren auf Menge bzw. Zusammensetzung des Fettes
 - Tierart, Rasse, Geschlecht, Körpergewicht, Alter, Ernährung
 - Futterfett ist an der Zusammensetzung der Fettsäuren (FS) des Fettgewebes beteiligt:
Schwein: ungesättigte FS werden im Depotfett gespeichert, Rind: kaum Einfluss (panseneigene Mikroflora), Geflügel: starker Einfluss des Futters
- Lokalisation des Fettes
 - Depotfett (z. B. Rückenspeck, Bauchspeck, Flomen)
 - Intrazelluläre Fette (Mitochondrien)
- Fett und Wasser stehen in der Muskulatur im umgekehrten Verhältnis zueinander (intramuskuläres Fett, IMF lockert die Zellstruktur → WBV ↑ !)
 - IMF in Bindegewebssepten (= Marmorierung) ähnelt dem Depotfett, hat aber mehr ungesättigte Fettsäuren !
- Tierische Fette enthalten weniger ungesättigte FS als pflanzliche Fette

KOHLLENHYDRATE

- Glykogen = Energiedepot, Gehalt ist stark schwankend (0,02-1 % des Frischgewebes) und abhängig von Alter und Zu-stand des Tieres bei der Schlachtung
 - Glykogengehalt nach dem Schlachten bestimmt den Eintritt der Totenstarre (von Bedeutung für postmortale Säuerung → bedingt Geschmack, Zartheit und Haltbarkeit)
 - Wdk. haben mehr Muskelglykogen als Schweine, Pferde und Kaninchen haben hohen Glykogengehalt der Muskulatur (daher der süßliche Geruch und Geschmack des Fleisches)
- Wenige andere Zucker (0,1-0,15 %)
 - Glucose-6-Phosphat und andere Zuckerphosphate (0,1 %), freie Glucose (0,009-0,09 %), Fructose, Ribose

VITAMINE UND MINERALSTOFFE

- Hauptsächlich B-Vitamine (B₁, B₂, B₆, B₁₂)
- Definiertes Salzmilieu ist Voraussetzung für Kontraktionsvorgänge, Kalium (intrazellulär) und Natrium (extrazellulär) halten das Membranpotential aufrecht !
 - Eisen (Myoglobin), Zink (Coenzyme), Magnesium, Phosphat, Chloride und Schwefel sowie (wenig) Calcium
 - Summe der Spurenelemente: etwa 1 mg/kg (1 ppm) Frischgewebe

STICKSTOFFHALTIGE SUBSTANZEN

- Muskeleiweiß und freie Stickstoff (N)-haltige Verbindungen !

Muskelproteine

- Fleisch gilt als Eiweißquelle mit hohem Gehalt an essentiellen Aminosäuren
 - Besonders eiweißreich ist Geflügel-, Kalb- und Wildfleisch (Schweinefleisch etwas weniger)
- Einteilung der Proteine des Muskels in drei Gruppen:
 - Proteine des kontraktiven Apparates = myofibrilläre Proteine: v. a. Myosin (50-60 %), Actin (15-30 %), Troponin/Troponin sowie Cytoskelettproteine (Connectin, Myomesin, Actinin, Desmin, Vimentin, Synemin u. a.)
 - Lösliche Proteine = Sarkoplasmproteine: v. a. Enzyme und Myoglobin (25-30 % des Gesamtproteins)
 - Unlösliche Proteine = Bindegewebsproteine und Proteine von Organellen: v. a. Kollagen, Elastin (ca. 10 % des Gesamtproteins)

Freie Stickstoff-Verbindungen (NPN-Verbindungen)

- Wasserlöslich (im freien Wasser gelöst vorliegend)

Freie Aminosäuren (v. a. Alanin, Glutaminsäure, Taurin), Peptide (v. a. Carnosin, Anserin), Amine (v. a. Methylamin und andere aliphatische Amine, Histamin, Tyramin, Tryptamin, Cadaverin u. a., Guanidin-Derivate (Kreatin und Kreatinin, Purine und Pyrimidine)

POSTMORTALE VERÄNDERUNGEN IN DER SKELETTMUSKULATUR

- Bei geschlachteten Tieren nur noch anaerobe Reaktionen (fehlende Sauerstoffzufuhr durch das Blut !)
- Nach dem Tod Verschiebung zugunsten der abbauenden Vorgänge
- Pyruvat wird zu Laktat abgebaut
- Außer der Zufuhr von Sauerstoff und Nährstoffen ist auch der Abtransport von Stoffwechselprodukten unterbrochen (Ansammlung in der Muskulatur !)
- Anreicherung von Laktat und Protonen (aus enzymatischer Hydrolyse von ATP mit pH-Wert-Senkung !)

RIGOR MORTIS

- Post mortem kontinuierliche Abnahme des pH-Werts
- Allmähliche Inaktivierung des Troponins bewirkt Myosin-ATPase-Aktivitätserhöhung mit gleichzeitiger Beschleunigung des ATP-Abbaus
- Bei genügend Glykogen- und Kreatinphosphat-Reserven in der Muskulatur ATP-Bildung noch über einen längeren Zeitraum
- Bei Erschöpfung der Reserven totaler ATP-Verlust
- Irreversible Verbindung zwischen den Aktin- und Myosin-Filamenten (Actinomyosin-Komplex), Muskel geht in Rigor mortis über
- Dauer bis zum Eintritt der Totenstarre ist abhängig von Tierart, ATP-, Kreatin-P-Gehalt und Temperatur des Fleisches (Temperatur ↓ → verzögerte Glykolyse → Starre später !)
 - Rind 8-24 h
 - Schwein 4-5 (-18) h
 - Huhn 2-4 h
- Ablauf des Rigor mortis in den einzelnen Muskelpartien unterschiedlich
 - Starre tritt zuerst an den Muskeln ein, die bis zuletzt gearbeitet haben (zuerst Herz, Zwerchfell, dann Nacken-, Hals-, Kopf-, Gliedmaßen und zuletzt Rumpfmuskulatur)
- Während der gesamten Phase des Rigor mortis kommt es zu einer starken Abnahme des WBV
- Lösung des Rigor mortis beginnt mit Erreichen des End-pH-Wertes (pH_{ult}) unter Einwirkung proteolytischer Enzyme (entscheidend im Reifungsprozess !)
 - lysosomale Enzyme (= Kathepsine): Aktivierung im neutralen pH-Bereich
 - nicht lysosomale Enzyme (= Kalpaine): Aktivierung im sauren Bereich

VORZEITIGER RIGOR MORTIS

- Zeitpunkt der Totenstarre ist abhängig von inneren (Glykogen- und Kreatin-P-Reserven) und äußeren Faktoren (v. a. von der Temperatur)
- Bei Schweinen unter prämortalem Stress und erhöhter Körpertemperatur vorzeitige Totenstarre unmittelbar nach der Schlachtung (normal ca. 4-5 h !)
 - Glykogenreserven bereits bei der Schlachtung erschöpft !
 - Temperatur ↑ → beschleunigte Glykolyse, schnelleres Erreichen des pH_{ult} und schnellere Erschöpfung der ATP-Reserven

COLD SHORTENING

- Wird frisches Fleisch (v. a. Rinder und Schafe) in der frühen Phase postmortaler Vorgänge (pH-Werte ca. 6,8) rasch (Rind: schneller als 18 h) auf +10 bis +15 °C abgekühlt, kommt es zu einer irreversiblen Kontraktur
 - Ursache ist die rasche Zunahme an Ca^{2+} -Ionen im Sarkoplasma durch Ausfall der Ca-Pumpe bei sinkenden Temperaturen und eine daraus resultierende Aktivierung der Actomyosin-ATPase
 - Diese Kälteverkürzung hat ihr Maximum von ca. 50 % bei 0 °C erreicht und führt dann bei gekochtem Fleisch zu unerwünschter Zähigkeit

AUFTAU-RIGOR

- Bei der Tiefkühlung von schlachtfischem Fleisch vor dem Eintritt des Rigor mortis kommt es nach dem Auftauen unmittelbar zum Eintritt der Totenstarre
- Postmortale Vorgänge, die zum Rigor mortis führen, sind während der Tiefkühlung unterbrochen
- beim Auftauen jedoch sehr stürmischer Verlauf dieser Vorgänge !
- Sehr schneller Abbau des noch im Muskel vorhandenen ATP durch eine hohe ATPase-Aktivität bedingt intensive Faserkontraktur
- Geschwindigkeit des Einfrierens von Bedeutung
- Schnelles Einfrieren bedingt vermehrten Austritt von Ca^{2+} -Ionen aus dem SR in das Sarkoplasma → schlagartige Aktivierung der ATPase beim Auftauen (führt ebenfalls zu einer erhöhten Zähigkeit des Fleisches !)
- Verhinderung durch langsames Auftauen möglich (allmählicher ATP-Abbau, keine schlagartige Kontraktion !)

ENTWICKLUNG DES pH-WERTES

- pH-Wert-Abfall von ca. 6,5 auf $< 5,8$ (gut gesäuertes Fleisch mit pH 5,4-5,8 !)
- Wichtig für Haltbarkeit (hemmend für Proteolyten), Struktur aufgelockert (gute technologische Eigenschaften), verbesserte Diffusion zugesetzter Stoffe
- Höherer pH-Wert ist günstiger für erwünschte Quellbarkeit und WBV
- Geschwindigkeit des pH-Wert-Abfalls und auch der erreichte End-pH-Wert sind für das WBV von entscheidender Bedeutung (schnelle und intensive Kühlung p. m.: Glykolyse langsamer, WBV deutlich höher !)
- Nach Erreichen des pH_{ult} bleibt dieser eine gewisse Zeit stabil, um dann bei der Fleischreifung anzusteigen

FLEISCHREIFUNG

- Postmortale Prozesse im Fleisch nach Lösen des Rigor mortis mit Ausbildung erwünschter Eigenschaften
- Primär während der Aufbewahrung bei -1 bis $+2$ °C (höhere Temperaturen beschleunigen den Prozess !)
- Während der Reifung leichter Anstieg des pH-Wertes und leichte Zunahme des WBV (durch pH-Wert-Anstieg, erhöhten osmotischen Druck und Proteinabbau zu Peptiden und AS sowie Freisetzung von Na- und Ca-Ionen aus dem SR !)
- Der Reifungsprozess ist mit morphologischen Veränderungen des Cytoskelettes verbunden, die proteolytisch durch endogene Enzyme (u. a. Kathepsine) bedingt werden
- Desorganisation der Z-Linien und Zerfallen der g-Filamente (→ keine laterale Adhäsion der Myofibrillen)
- Säurequellung des Kollagens durch das gebildete Laktat
- derart gequollenes Kollagen schrumpft bei der Erhitzung nicht mehr (Zartmachung des Fleisches, denn ungequollenes Kollagen zieht sich bei der Erhitzung zusammen und das Gewebe verhärtet !)
- Actinomyosin wird gelockert, aber keine Dissoziation; myofibrilläre Proteine werden in ihrer Verankerung in der Muskelstruktur verändert (Aktin, Z-Linien); Zunahme der Extrahierbarkeit (Zartwerden des Fleisches !)
- Sarkoplasmatisches Eiweiß mit partieller Denaturierung durch pH-Wert-Abfall bei der Glykolyse (bei PSE verstärkt) und partieller Proteolyse durch endogene Enzyme
- Zartwerden des Fleisches durch Lösen einiger wichtiger Bindungen des kontraktilen Eiweißes
- Aromabildung durch Eiweiß- und Fettabbau und v. a. Hypoxanthin
- Dauer (je nach Temperatur)
 - Rind) 4-14 d ($18-0$ °C)
 - 14 d (0 °C)
 - 6 d ($8-10$ °C)
 - 4 d ($16-18$ °C)
 - Schwein: 3-4 d
 - Kalb: 8 d
- Erwünschte Eigenschaften sind Zartheit, Farbbildung, Säuerung, Saftigkeit und Aromabildung

FLEISCHFEHLER

PSE-Fleisch

- „PSE-Fleisch“ ist Fleisch mit den Qualitätsmängeln „blass“ (pale), „weich“ (soft) und „wässrig“ (exsudative)
- Fleisch mit äußerst schlechtem Quellungs- und Saffthaltevermögen, erhöhten Kühl-, Koch- und Garverlusten sowie großer Zähigkeit bei weicher Konsistenz
- In der Vergangenheit v. a. bei Mastschweinen beobachtet
- Aufgrund genetischer Disposition und Stressbelastung unmittelbar bei der Schlachtung kommt es intra- und postmortal zu einer überstürzten Glykogenolyse, deren Endprodukt (Laktat) aufgrund der p. m. sistierenden Blutzirkulation nicht mehr abtransportiert werden kann und sich in der Muskulatur anreichert
- Unmittelbar nach der Schlachtung hohe Gewebetemperatur und stark erniedrigter pH-Wert (< 5,8) bewirkt partielle Denaturierung der Proteine des Sarkoplasmas → Aufhellung der Fleischfarbe, weiche Konsistenz des Fleisches und geringes WBV
- Farbaufhellung nicht durch verminderte Menge der Muskelfarbstoffe
 - optischer Effekt, durch die starke Streuung des auffallenden Lichtes bei wässriger Oberfläche und offener Fleischstruktur hervorgerufen sowie durch Ablagerung präzipitierten Proteins auf den Myofibrillen
- PSE-Eigenschaften treten besonders in den Muskelpartien auf, die einen hohen Anteil von weißen, mitochondrienarmen Fasern besitzen und somit vorwiegend anaeroben Stoffwechsel aufweisen

DFD-Fleisch

- „DFD-Fleisch“ ist Fleisch mit den Qualitätsmängeln „dunkel“ (dark), „fest“ (firm) und „trocken“ (dry)
- Bei Schweinen, meist aber bei Rindern, hier v. a. Mastbullen (= „DCB-Fleisch“, dark-cutting-beef)
- Bei einer besonderen Anstrengung oder Aufregung vor der Schlachtung wird der ATP- und Glykogenabbau beschleunigt, die anfallenden Stoffwechselprodukte (v. a. Laktat) aber über den Blutweg entsorgt
- Post mortem Glykogenvorräte sind so niedrig, dass kaum noch Laktat gebildet werden kann; Fleischsäuerung ist unzureichend, der End-pH-Wert zu hoch (ab 6,2 beim Rind)
- Fleisch ist dunkel und leimig und die Haltbarkeit deutlich eingeschränkt (hoher pH-Wert !)
- Da der isoelektrische Punkt des Hauptmuskeleiweißes deutlich niedriger liegt als der pH_{ult} in DFD-Fleisch, ist das WBV deutlich erhöht
- Die dunkel-purpurrote Farbe wird durch besondere mikrostrukturelle Gegebenheiten und den chemischen Zustand des Myoglobins hervorgerufen
 - normalerweise kommt es am frischen Anschnitt von Fleisch durch die reversible Anlagerung von Luftsauerstoff an das Myoglobin zur Bildung von Oximyoglobin mit einer Farbaufhellung des Fleisches
 - bei Fleisch mit DFD-Charakter ist diese Reaktion jedoch nur in geringem Umfang möglich (die nach dem Tode weiterlaufende Zellatmung wird durch den hohen pH-Wert noch begünstigt, so dass der Luftsauerstoff, sogleich wieder verbraucht wird und die Bildung des hellroten Oximyoglobins weitestgehend unterbleibt !)
 - Das hohe Quellungsvermögen von DFD-/DCB-Fleisch bedingt eine dicht geschlossene Oberfläche, die das Eindringen von Luftsauerstoff in tiefere Schichten verhindert und einfallendes Licht weniger streut bzw. reflektiert als dies bei Fleisch mit normaler Beschaffenheit der Fall ist

STICKIGE REIFUNG

- Bei unzureichender Kühlung, v. a. wenn die Körpertemperatur nicht abgeführt wird (= saure Gärung !)
- Gelegentlich bei Wild(-wiederkäuer) und Geflügel beobachtet
- Muskulatur von stark saurer Beschaffenheit (pH-Wert sehr niedrig !)
- Farbe wird kupferrot bis braunrot
- Geruch und Geschmack sind „sauer“, ggf. „faulig/muffig“
- Nachweis von Schwefelwasserstoff, kein/kaum Nachweis von Ammoniak (= Abgrenzung zur Fäulnis !)
- Ursache sind nicht Mikroorganismen !