

Aus dem Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand a. D.: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Andreas Stolle

**Vergleichende physikalische Farbmessung und sensorische
Farbbeurteilung unter verschiedenen Beleuchtungssystemen an
ausgewählten Brühwurstprodukten im Hinblick auf eine objektive
Qualitätskontrolle in der Lebensmittelüberwachung**

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

von
Marie-Luise Sonja Wieser
aus München

München 2010

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Stolle
Korreferent/en:	Univ.-Prof. Dr. Braun

Tag der Promotion: 13. Februar 2010

Inhaltsverzeichnis

TABELLENVERZEICHNIS	7
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	9
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	10
1 EINLEITUNG	14
2 LITERATUR	16
2.1 WARENPRÄSENTATION.....	16
2.1.1 Allgemeine Warenpräsentation	16
2.1.2 Präsentation von Fleisch und Fleischerzeugnissen.....	17
2.2 FARBE	18
2.2.1 Begriffe der Farbenlehre: Farbreiz, Farbvalenz, Farbmeterik und Farbabstand	21
2.2.2 Farbwahrnehmung durch den Menschen.....	24
2.2.2.1 Funktionsprinzip des menschlichen Auges	24
2.2.2.2 Farbstimmung des Auges (chromatische Adaptation)	26
2.2.3 Farbmaßsysteme	27
2.2.3.1 Das X, Y, Z-System.....	28
2.2.3.2 Das L*a*b*-System.....	29
2.2.3.3 Der LCH-Farbraum	31
2.2.4 Beleuchtungstechnik.....	34
2.2.4.1 Die Objektfarbe	35
2.2.4.2 Die Lichtfarbe.....	36
2.2.5 Leuchten, Leuchtsysteme und Farbfilter	38
2.2.6 Rechtliche Anforderungen an die Beleuchtung.....	39
2.2.6.1 Entstehung der DIN 10504.....	40
2.3 SENSORIK ALS GRUNDLAGE DER LEBENSMITTELPRÜFUNG	43
2.3.1 Prüfpersonen.....	44
2.3.2 Prüfbedingungen.....	45
2.3.3 Die Sinneseindrücke	45
2.3.3.1 Die visuelle Wahrnehmung	46
2.3.3.2 Die olfaktorische Wahrnehmung.....	46
2.3.3.3 Die gustatorische Wahrnehmung	47

Inhaltsverzeichnis

2.3.3.4	Die haptische Wahrnehmung	48
2.3.3.5	Die auditive Wahrnehmung.....	48
2.3.3.6	Flavour.....	49
2.3.4	Sensorische Untersuchungsmethoden	49
2.3.4.1	Unterschiedsprüfungen (Diskriminierende Prüfung)	49
2.3.4.2	Beschreibende Prüfungen (Deskriptive Prüfungen).....	50
2.3.4.3	Bewertende Prüfungen	51
2.3.4.4	Hedonische Prüfung	51
2.3.4.5	Elektronische Sensorik	52
2.4	GRUNDLAGEN FÜR DIE PHYSIKALISCHE FARBMESSUNG.....	52
2.4.1	Messverfahren	52
2.4.1.1	Gleichheitsverfahren.....	53
2.4.1.2	Dreibereichsverfahren	53
2.4.2	Voraussetzungen für vergleichbare Farbmessungen	54
2.4.2.1	Die Lichtart.....	54
2.4.2.2	Die Messgeometrie	55
2.4.2.3	Der Beobachter	56
2.4.3	Messgeräte	56
2.5	FLEISCHERZEUGNISSE: HERSTELLUNG, KONSERVIERUNG UND FARBENTSTEHUNG	58
2.5.1	Einflüsse auf die Farbe des Ausgangsproduktes Fleisch.....	58
2.5.2	Fleischerzeugnisse	64
2.5.2.1	Systematik der Fleischerzeugnisse	64
2.5.3	Allgemeine Technologie der Wurstherstellung.....	65
2.5.3.1	Spezielle Brühwursttechnologie	66
2.5.4	Technologisch bedingte Einflüsse auf die Farbe von Brühwürsten	68
2.5.4.1	Pökeln	68
2.5.4.1.1	Wirkprinzip.....	69
2.5.4.1.2	Chemische Vorgänge.....	70
2.5.4.1.3	Alternativen zur Umrötung mit Nitrit und deren Auswirkungen auf die Farbe	71
2.5.4.2	Räuchern.....	72
2.5.4.3	Wasseraktivität und pH-Wert	74
2.6	EINFLÜSSE AUF DIE HALTBARKEIT UND FARBSTABILITÄT.....	74
2.6.1	Produktspezifität.....	75
2.6.2	Kühlung	76

Inhaltsverzeichnis

2.6.3	Lagerung und Keimwachstum.....	77
2.6.4	Sauerstoff und Verpackung	79
2.6.5	Beleuchtung und Verpackung	82
3	MATERIAL UND METHODEN	84
3.1	MATERIAL	84
3.1.1	Auswahl.....	84
3.1.2	Probenahme	85
3.1.3	Lagerungsbedingungen.....	86
3.1.4	Modellversuch	87
3.2	METHODEN	88
3.2.1	Versuchsdurchführung	88
3.2.1.1	Physikalische Untersuchungen.....	90
3.2.1.2	Sensorische Untersuchungen.....	92
3.2.2	Modellversuch	96
3.2.3	Technische Einrichtungen	96
3.2.4	Statistische Auswertung	101
4	ERGEBNISSE	104
4.1	DESKRIPTIVE ANALYSE DES OBJEKTIV GEMESSENEN DATENSATZES	105
4.1.1	Vergleich der Messwerte nach Lampenarten	105
4.1.2	Vergleich der Messwerte nach Wurstsorten.....	106
4.2	STATISTISCHE ÜBERPRÜFUNG AUF NORMALVERTEILUNG.....	109
4.2.1	Einfluss der Lampenart auf die Produkte ohne Berücksichtigung des MHD	110
4.2.2	Einfluss der Lampenart auf die Produkte unter Berücksichtigung des MHD	112
4.2.3	„Alte Wurst“ unter Rotlicht = „frische Wurst“ unter Tageslicht?.....	112
4.3	DESKRIPTIVE ANALYSE DES SUBJEKTIV GEWONNENEN DATENMATERIALS.....	114
4.3.1	Vergleich der Messwerte nach Lampenarten	114
4.3.2	Vergleich der Messwerte nach Wurstsorten.....	115
4.4	STATISTISCHE ÜBERPRÜFUNG AUF NORMALVERTEILUNG.....	118
4.4.1	Einfluss der Lampenart auf die Produkte ohne Berücksichtigung des MHD	118
4.4.2	Einfluss der Lampenart auf die Produkte unter Berücksichtigung des MHD	120
4.5	PERSÖNLICHE EINSCHÄTZUNG DER FARBÄNDERUNG VS. RAL-FARBWERTE.....	121

Inhaltsverzeichnis

4.6	VERGLEICHENDE BETRACHTUNG BEIDER DATENSÄTZE	123
4.6.1	Darstellung des Farbabstandes ΔE für beide Datensätze	124
4.6.2	Überprüfung der Korrelation der beiden Datensätze für die Wurstsorten	125
4.6.3	Überprüfung der Korrelation der beiden Datensätze für die Rotlichtbeleuchtung..	127
4.6.4	Überprüfung des Beleuchtungseffekts mit linearen gemischten Modellen.....	128
4.6.4.1	Überprüfung der statistischen Modelle für den objektiven Datensatz	133
4.6.4.2	Überprüfung der statistischen Modelle für den subjektiven Datensatz.....	135
4.6.5	Überprüfung des Beleuchtungseffekts auf die einzelnen Komponenten	137
4.6.5.1	Ergebnisse des Beleuchtungseffekts für den objektiven Datensatz	138
4.6.5.2	Ergebnisse des Beleuchtungseffekts für den subjektiven Datensatz.....	138
4.6.6	Einfluss des Anschnittsalters auf die Farbkomponenten.....	138
4.7	ERGEBNISSE DES MODELLVERSUCHS	139
5	DISKUSSION	140
5.1	EINFLÜSSE DER ROTLICHTLAMPEN IM VERGLEICH ZUM TAGESLICHT.....	142
5.1.1	Der objektive Datensatz	142
5.1.2	Der subjektive Datensatz.....	146
5.1.3	Vergleich objektiver und subjektiver Datensatz.....	152
5.2	BEURTEILUNG DES FARBABSTANDES ΔE (OBJEKTIV UND SUBJEKTIV).....	154
5.3	DIE RECHTLICHE SEITE.....	155
5.4	AUSBlick	158
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	159
6.1	FÜR DEN VERBRAUCHER	159
6.2	FÜR DIE LEBENSMITTELÜBERWACHUNG.....	160
6.3	FÜR DIE TECHNIK.....	161
6.4	FÜR DIE ZUKUNFT	162
7	ZUSAMMENFASSUNG	163
8	SUMMARY.....	166
9	ANHANG	169
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	223

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Wellenlängen der Farben	19
Tab. 2:	Zusammenhang der Begriffe Farbe, Farbreiz und Farbvalenz	22
Tab. 3/I:	Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen (HELLERICH et al.)	23
Tab. 3/II:	Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen (GALL, NEUBAUER).....	23
Tab. 3/III:	Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen (GIERLING)	24
Tab. 4:	Unterschiedliche Lichtquellen und Farbtemperaturen (modifiziert)	35
Tab. 5:	Myoglobingehalt und die visuelle Fleischfarbe bei einigen Tierarten.....	63
Tab. 6:	Einstellungen und technische Daten, Minolta Chroma-Meter CR-400	100
Tab. 7:	Durchschnittliche Kalibrierungswerte Minolta Chroma-Meter CR-400	100
Tab. 8:	Shapiro-Wilk-Test ohne Berücksichtigung des MHD (objektiv)	110
Tab. 9	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ohne Berücksichtigung des MHD (objektiv).....	111
Tab. 10:	p-Werte für die Differenzbetrachtungen der Stichproben, zeitpunktübergreifend	113
Tab. 11:	p-Werte für den Vergleich alter und frischer Anschnitt, MHD unabhängig	113
Tab. 12:	Shapiro-Wilk-Test ohne Berücksichtigung des MHD (subjektiv).....	118
Tab. 13:	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ohne Berücksichtigung des MHD (subjektiv)	119
Tab. 14:	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, Abweichungen von 0.....	120
Tab. 15:	Kontingenztafel, Differenzen Tageslicht und linkes Rotlicht	122
Tab. 16:	Kontingenztafel, Differenzen Tageslicht und rechtes Rotlicht	123
Tab. 17:	Korrelationskoeffizienten (Bravais-Pearson) nach Wurstsorten.....	126
Tab. 18:	Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Helligkeit	127
Tab. 19:	Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Sättigung.....	127
Tab. 20:	Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Buntton	128
Tab. 21:	p-Werte der objektiven Messungen für die Farbkomponenten.....	131
Tab. 22:	p-Werte der subjektiven Bewertungen für die Farbkomponenten	131
Tab. 23:	AIC- und BIC-Werte des Modellvergleichs für den objektiven Datensatz	132
Tab. 24:	AIC- und BIC-Werte des Modellvergleichs für den subjektiven Datensatz.....	133
Tab. 25:	Konfidenzintervalle und Bootstrap-Konfidenzintervalle (objektiv)	135
Tab. 26:	Konfidenzintervalle und Bootstrap-Konfidenzintervalle (subjektiv)	137
Tab. 27:	p-Werte für die Farbkomponenten (objektiv und subjektiv)	137
Tab. 28:	Parameterschätzer für die Rotlichtlampen (objektiv und subjektiv).....	137
Tab. 29:	p-Werte für die Variable „Anschnitt“	138
Tab. 30:	Parameterschätzer für die Variable „Anschnitt“	138
Tab. 31:	Codierungen für die sensorische Untersuchung (Wursttyp und Charge)	207

Tabellenverzeichnis

Tab. 32:	Codierungen für die sensorische Untersuchung (Zeitpunkt und Lichtart).....	207
Tab. 33:	Codierungen für die sensorische Untersuchung (Farbe und Helligkeit).....	207
Tab. 34:	Lampen mit festgelegtem R_{FF} und deren Erfüllung der DIN 10504.....	210
Tab. 35:	Lampen, unter denen keine signifikante Irreführung festgestellt wurde.....	211
Tab. 36:	Lampen, bei denen jeweils eine signifikante Irreführung festgestellt wurde.....	211
Tab. 37:	Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Narva	212
Tab. 38:	Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Philips Austria	212
Tab. 39:	Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Bära	213
Tab. 40:	Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Philips	213
Tab. 41:	Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests aus Kapitel 4.2.2.....	219
Tab. 42:	Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests aus Kapitel 4.4.2.....	220
Tab. 43:	Korrelationskoeffizienten nach Spearman, gesplittet nach Wurstsorten	221
Tab. 44:	Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Helligkeit	221
Tab. 45:	Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Sättigung	221
Tab. 46:	Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Buntton	221
Tab. 47:	Randomisierungsplan.....	222

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Brechung von weißem Licht, Entstehung der Spektralfarben	20
Abb. 2:	Die CIE-Normfarbtafel	22
Abb. 3:	Der Aufbau des menschlichen Auges	26
Abb. 4:	Der CIE L*a*b*-Farbkörper	30
Abb. 5:	Farbkörper des „RAL DESIGN“-Systems.....	33
Abb. 6:	Schematischer Aufbau des „RAL DESIGN“-Systems	33
Abb. 7:	Empfindungsregionen für Geschmacksstoffe auf der Zunge.....	47
Abb. 8:	Die Normlichtarten A und D ₆₅	55
Abb. 9:	Strukturformel des Häm.....	59
Abb. 10:	Schematische Darstellung der chemischen Reaktionen von Myoglobin	60
Abb. 11:	Vergleich der Produktfarbe mit den RAL-Farbfächerkarten	93
Abb. 12:	Übersicht über alle Arbeitsschritte des Versuchs	95
Abb. 13:	Untersuchungsmaterial unter der Tageslichtlampe.....	97
Abb. 14:	Versuchsanordnung der Leuchten mit Farbfilter	97
Abb. 15:	Boxplots der Differenzen der unter Rotlicht gemessenen Werte.....	106
Abb. 16:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Helligkeitskomponente (objektiv)	107
Abb. 17:	Differenzen der einzelnen Farbkomponenten nach Lampenart	114
Abb. 18:	Übersicht der Ergebnisse der persönlichen Helligkeitseinschätzungen.....	122
Abb. 19:	Grafische Darstellung der persönlichen Helligkeitsveränderungen.....	124
Abb. 20:	Boxplot-Darstellung des Farbabstandes ΔE (objektiv und subjektiv)	125
Abb. 21:	Q-Q-Plots für die standardisierten Residuen und die gefitteten Werte (objektiv).....	133
Abb. 22:	Q-Q-Plots für die Residuen und die Standardnormalverteilung (objektiv).....	134
Abb. 23:	Q-Q-Plots für die standardisierten Residuen und die gefitteten Werte (subjektiv)	136
Abb. 24:	Q-Q-Plots für die Residuen und die Standardnormalverteilung (subjektiv).....	136
Abb. 25:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Farbsättigung (objektiv).....	214
Abb. 26:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen des Bunttons (objektiv).....	215
Abb. 27:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Helligkeit (subjektiv)	216
Abb. 28:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Farbsättigung (subjektiv)	217
Abb. 29:	Wurstsortenvergleichende Abweichungen des Bunttons (subjektiv)	218

Abkürzungsverzeichnis

A	Normlichtart, entspricht dem Licht einer Glühlampe
a*	Farbmaßzahl für die Rot-Grün-Achse (Rotwert)
ALTS	Arbeitskreis Lebensmittelhygienischer Tierärztlicher Sachverständiger
ADP	Adenosindiphosphat
AIC	Akaike Information Criterion–Werte
AMP	Adenosinmonophosphat
AromV	Aromenverordnung
ATP	Adenosintriphosphat
AVV Rüb	Allgemeine Verwaltungsvorschrift der Rahmenüberwachung
a _w -Wert	Wasseraktivität
b*	Gelb-Blau-Achse (Gelbwert)
BAFF	Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
BgVV	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin
BIC	Bayes Information Criterion-Werte
C	„Chroma“, Sättigung bzw. Buntheit der Farbe
CIE	Commission Internationale d'Eclairage
CIE L*a*b*	Farbraum, der von der CIE 1976 festgelegt wurde
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
D ₆₅	„Daylight“, Normlichtart
d/0°	diffuse Beleuchtung, Messung unter 0° (senkrecht)
d/8°	diffuse Beleuchtung, Messung unter 8°
ΔE	euklidischer Farbabstand (Δ spricht: Delta)
DFD-Fleisch	Dark (dunkel), Firm (fest) and Dry (trocken)
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DLG	Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft
et al.	Abkürzung für et alii (Maskulinum) bzw. et aliae (Femininum), bedeutet „und andere“
EuGH GRUR	Gerichtsurteil des Europäischen Gerichtshofs

Abkürzungsverzeichnis

Fe ²⁺	Chemisches Zeichen für Eisen
Fe ³⁺	Chemisches Zeichen für oxidiertes Eisen
FDA-Regulationen	U. S. Food and Drug Administration, U. S. Department of Health and Human Services
GG	Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
GLP	Gute Laborpraxis
H	„Hue“, Buntton der Farbe
Hb	Hämoglobin
HbNO	Nitroso-Hämoglobin
HDPE	Polyethylen hoher Dichte
HKS-Farbsystem	Hostmann-Steinberg Druckfarben, Kast + Ehinger Druckfarben und H. Schmincke & Co.
HNO ₂	salpetrige Säure (Hydrogennitrit)
IMP	Inosinmonophosphat
ISO	International Organization for Standardization
K	Einheitenzeichen für Kelvin
KIN	KIN GmbH, Lebensmittelinstitut
L	„Lightness“, Helligkeit der Farbe
L*a*b*-System	Farbraumsystem mit empfindungsgemäßen Farbabständen
LFGB	Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuch
LCH-Farbraum	Mit dem CIE L*a*b*-Farbraum identisches Farbraumsystem, in dem die Zylinderkoordinaten C und H anstelle der kartesischen Koordinaten a* und b* angegeben werden
LMKV	Lebensmittelkennzeichnungsverordnung
lx	Lux
MAP-Verpackung	Modified Atmosphere Packaging
Mb	Myoglobin
MbO ₂	oxygeniertes Myoglobin
MetHb	Methämoglobin
MetMb	Metmyoglobin (auch MMb)
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
NaNO ₂	Natriumnitrit

Abkürzungsverzeichnis

NCS-Farbsystem	Natural Color System, vom Scandinavian Colour Institute entwickelt
nm	nanometer (10^{-9})
N. N.	nomen nescio
N	Stickstoff (lat. Nitrogenium)
N ₂	molekularer Stickstoff
NO	Stickoxid
NO ⁺	Nitrosyl
NO ₂	Stickstoffdioxid (Nitrit)
NO ₃	Nitrat
NOHb	Nitroso-Hämoglobin
NO-Häm	Nitroso-Häm
NOMb	Nitrosomyoglobin
NOMChr	Nitroso-Myochromogen
NOMetHb	Nitroso-Methämoglobin
NOMetMb	Nitroso-Metmyoglobin
NPS	Nitritpökelsalz
O ₂	Sauerstoff
OECD	Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OLG	Oberstes Landesgericht
p-Wert	Kennzahl zur Auswertung statistischer Tests; auch Überschreitungswahrscheinlichkeit genannt
QMS	Qualitätsmanagementsystem
Q-Q-Plots	Quantile-Quantile-Plots, eine grafische Darstellung, in der die Quantile (Streuungsmaß) zweier statistischer Variablen gegeneinander abgetragen werden
qs	lat. quantum satis (so viel wie nötig)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
pH-Wert	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
p. m.	post mortem
ppm	parts per million (10^{-6})
PSE	Pale (blass), Soft (weich), Exudative (wässrig)
PVC-Folie	Polyvinylchlorid

Abkürzungsverzeichnis

R _a	allgemeiner Farbwiedergabeindex
RAL	ursprünglich „Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen“, jetzt Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.
R _{FF}	spezieller Farbwiedergabeindex für Fleisch und Fleischerzeugnisse
RN-Allel	Rendement Napole-Allel, auch „acid meat gene“. Das Allel wird auch als Hampshire-Effekt bezeichnet
SCF	Scientific Committee on Food
SH-Gruppen	Schwefelwasserstoffgruppen
TierSchlV	Tierschutzschlachtverordnung
TierSchTrV	Tierschutztransportverordnung
T _n	Kennzeichen für die Lichtfarbe von Lampen
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
Vet. Med. Diss.	Veterinärmedizinische Dissertation
VO (EG)	Verordnung der Europäischen Gemeinschaft
X	Normfarbwert Rot
XYZ-System	Normvalenzsystem
x, y, z	Normfarbwertanteile
Y	Normfarbwert Grün
Z	Normfarbwert Blau
ZVerkV	Zusatzstoffverkehrsverordnung
ZZulV	Zusatzstoffzulassungsverordnung
0°/d	Beleuchtung bei 0°, das diffus reflektierte Licht wird an einer Stelle gemessen
45°/0°	Beleuchtung unter 45°, Messung unter 0° (senkrecht)

1 Einleitung

Befindet man sich vor der Theke eines Metzgers, wirken die ausgelegten Waren zumeist rosig, frisch und saftig. Der kaufwillige Betrachter wählt ein Produkt, das er aufgrund der appetitlichen Rotfärbung als frisch und qualitativ hochwertig einstuft. Wenn beim häuslichen Entfernen der Verpackung das aufgrund der ansprechenden roten Farbe ausgewählte Erzeugnis auf einmal eine gräuliche, nicht mehr ganz so wünschenswerte Farbe aufweist, stellt man die zuvor getroffene Kaufentscheidung in Frage und zweifelt an seinen Sinnen. Eine mögliche Erklärung für diese unterschiedlichen Farbausprägungen kann in der Beleuchtung der Kühltheke liegen. Für die Beleuchtung von Lebensmitteln gibt es spezielle Lampen und Lampensysteme, die die jeweiligen Produktfarben gezielt betonen. Für den Fleisch- und Wurstbereich werden z. B. farbbetonende Leuchten mit Rotfilter verwendet. Für Fisch, Backwaren, Blumen, Obst und vieles mehr existieren ebenfalls entsprechende Speziallampen, die die jeweilige Warenfarbe betonen. Dadurch kann einerseits die Ware (aus der Sicht des Verkäufers) optimal präsentiert werden, andererseits ist es für den Kunden beim bloßen Betrachten schwierig, den tatsächlichen Frischegrad zu beurteilen (HAMM, 1964; JEREMIAH et al., 1972; PCM, 2009; POTTHAST, 1987; SCHMIDT, 2004; STEVENSON et al., 1989). Auch andere Qualitätsmängel können durch den Beleuchtungseffekt kaschiert werden. Beispielsweise würde eine mit hohem Fettgewebsanteil hergestellte Brühwurst die Oberflächenfarbe genauso negativ beeinflussen, wie ein Farbverlust, der durch Alterung entstanden ist (ANHALT, 1998). Auch DFD- und PSE- Fleisch (siehe Kapitel 2.5.1) könnte so „gefärbt“ werden, dass es als solches nicht mehr ohne weiteres erkennbar ist. Da hier Käufer- und Verkäuferinteressen kollidieren, entbrennt immer wieder die Diskussion um die Beleuchtungslampen. Die Aktualität der Problematik wird durch ein beim Bundesministerium für Verbraucherschutz eingegangenes Beschwerdeschreiben aus dem Jahr 2009 unterstrichen. Die zentrale Frage dieser Arbeit dreht sich um die Rotfärbung der Fleischprodukte, die durch diese Lampen entsteht und deren weitere Bedeutung bezüglich einer eventuellen Täuschung bzw. Irreführung des Verbrauchers im Sinne des § 11 des Lebensmittel-, Bedarfsgegenstände- und Futtermittelgesetzbuches (LFGB) (LFGB, 2008). Aufgrund des bestehenden Regelungsbedarfs wurde 1996 eine DIN-Norm erarbeitet (DIN 10504), die sich speziell auf die Beleuchtung von Fleisch und Fleischwaren bezog. Die Norm wurde jedoch 2006 ersatzlos zurückgezogen, da gerade im Bereich der menschlichen Wahrnehmung subjektive Wertungen nicht auszuschließen sind und daher ein objektiver Empfehlungsrahmen im Sinne einer DIN-Norm schwerlich unumstritten bleiben konnte (siehe Kapitel 2.2.6.1) (DIN 10504, 1996; SCHMIDT, 2004).

Einleitung

Durch den Rückzug der DIN 10504 existiert über den eher allgemein gehaltenen Gesetzestext des § 11 LFGB hinaus keine weitere Empfehlung, Richtlinie oder Rechtsprechung, die es dem Verbraucher ermöglicht, sich vor einer „schönenden“ Beleuchtung der Lebensmittel zu schützen bzw. durch die amtliche Lebensmittelüberwachung geschützt zu werden.

Genau dieser Verbraucherschutz muss aber im Vordergrund stehen und der Verbraucher, der nach dem europäischen Gerichtshof als ein „normal informierter und angemessen aufmerksamer und verständiger“ Mensch definiert wird, muss die Möglichkeit erhalten, sich normal zu informieren und angemessen aufmerksam einzukaufen (EuGH GRUR, 2005). Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, ob der qualitätsbestimmende Faktor „Farbe“ bei Brühwurstzeugnissen objektiv messbar oder sensorisch erkennbar bzw. über die Beleuchtung beeinflussbar ist.

Nach einer Einführung in die Themen Warenpräsentation (siehe Kapitel 2.1) und Farbe (siehe Kapitel 2.2) werden die Grundlagen der sensorischen Farbbeurteilung (siehe Kapitel 2.3) und der physikalischen Farbmessung (siehe Kapitel 2.4) erläutert. Anschließend werden die technologischen Einflussfaktoren auf die Farbe dargestellt (siehe Kapitel 2.5 und 2.6), um die Diskussionsgrundlage für die Besprechung der Ergebnisse zu schaffen (siehe Kapitel 4 u. 5).

Als Untersuchungsobjekte wurden für diese Arbeit ausgewählte Brühwurstprodukte unter verschiedenen Beleuchtungen physikalischen Farbmessungen und sensorischen Farbbeurteilungen unterzogen. Durch die Versuchsreihen wird geprüft, ob eine „schönende“ Beleuchtung vorliegt. Mit der Versuchsanordnung verbunden ist die Fragestellung, ob der Einsatz eines Farbmessgerätes für die amtliche Lebensmittelüberwachung eine objektive und standardisierte Bewertungsmöglichkeit darstellen kann, mit deren Hilfe eine Täuschung durch den Einsatz schönender Lampen bei dem Verkauf von Fleischprodukten nachgewiesen werden kann, oder ob ein solcher Nachweis nur durch sensorische Beurteilung gelingt. Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um den dritten Teil eines umfassenden Projektes des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Der erste Teil befasste sich mit der Farbmessung an Rindfleisch als Qualitätsparameter (WAGNER, 2006). Der zweite Teil mit der Einsetzbarkeit der Farbmessung an Rinderschlachtkörpern unter Praxisbedingungen (JUNGE, 2008).

2 Literatur

2.1 Warenpräsentation

2.1.1 Allgemeine Warenpräsentation

Eine optimale Warenpräsentation wird von jedem Verkäufer angestrebt, da sie verkaufsfördernd und damit umsatzsteigernd wirkt. Die kaufmännische Wertigkeit der „richtigen“ Warenpräsentation haben auch Ausbildungsbetriebe erkannt, daher wurde sie inzwischen als Unterrichtsfach in Modellprojekten in Einzelhandelsschulen integriert. Wann und wodurch die Präsentation als optimal angesehen wird, ist von der verfolgten Zielrichtung und dem angebotenen Produkt abhängig. Ist die Zielrichtung erlebnisorientiert, soll eine gewünschte Zielgruppe angesprochen werden, wobei die größte Bedeutung auf dem Hervorrufen positiver Gefühle durch die Gestaltung des Verkaufsraums liegt. Als themenorientiert wird die Präsentation bezeichnet, wenn sich bestimmte Ereignisse (wie z. B. Weihnachten oder Ostern) in der Dekoration der Auslage wiederfinden. Unter convenienceorientiert wird das Eingehen auf die Bequemlichkeit der Kunden verstanden. Dieser Trend zeichnet sich vor allem im Lebensmittelhandel ab; der Kunde will sich schnell einen Überblick über die möglichst gut geordneten Waren verschaffen, und er kauft i. d. R. das, was er sieht. Bedarfsorientiert ist eine Präsentation, wenn Sortimentsgruppen, auch unterschiedlicher Art, zusammengefasst werden - der Verkäufer ist gehalten, aus der Sicht seiner Kunden zu denken. Der Kunde will Produkt A und Produkt B kaufen, ohne an anderer Stelle danach suchen zu müssen. Wird z. B. an der Theke warmer Leberkäse angeboten, sollten gleichzeitig auch Semmeln zu kaufen sein. Von einer preisorientierten Strategie spricht man, wenn gezielt Sonderangebote herausgestellt werden. Dadurch wird der Kunde von seiner oft selbst auferlegten Pflicht des Preisvergleichs entbunden (CARL et al., 2006; CARL et al., 2007; BEREKOVEN, 1995; KIESECKER, 2009; SCHINDLER, 1998).

In der Praxis wird keine dieser Auslagengestaltungen alleine angewandt, vielmehr zeichnet eine Kombination der o. g. Möglichkeiten eine professionelle Warenpräsentation aus. Im Lebensmittelbereich sind dies die Aspekte der convenience-, bedarfs- und preisorientierten Präsentation. Im Fleisch- und Wurstbereich liegt das Hauptaugenmerk der Verkäufer auf der Betonung der guten Qualität der angebotenen Lebensmittel. Der Begriff „Qualität“ ist in der DIN EN ISO 8402 als „Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“, definiert.

In der neuen Qualitätsnorm DIN EN ISO 9000 ist Qualität als „Vermögen einer Gesamtheit inhärenter (lat. innewohnender) Merkmale eines Produkts (...) zur Erfüllung von Forderungen der Kunden und anderen interessierten Parteien“, definiert. Beide Definitionen beschreiben, dass jedes einzelne Merkmal eines Produkts den Qualitätsanforderungen entsprechen muss. Gemeint sind die potentiell wahrnehmbaren Zustandsformen von Gegenständen, beziehungsweise in welchem Maß ein Produkt den jeweiligen Anforderungen entspricht. Der Begriff der Lebensmittelqualität meint die Summe aller Eigenschaften und Merkmale eines Produktes, die für seine Verwendung als Lebensmittel von Bedeutung sind (DIN EN ISO 8402, 1995; DIN EN ISO 9000, 2000; HAMM, 1964; HOFMANN, 1987; JEREMIAH et al., 1972; POTTHAST, 1987; STEVENSON et al., 1989).

Auch zählt zur Qualität die „Sicherheit“ des Lebensmittels, sie dürfen nicht gesundheitsschädlich oder für den Verzehr durch den Menschen ungeeignet sein (VO (EG) 178/2002). Für die weitere Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit wird von sicheren Lebensmitteln ausgegangen.

2.1.2 Präsentation von Fleisch und Fleischerzeugnissen

Umfragen zufolge essen 90 % der Bevölkerung regelmäßig Fleisch und Fleischerzeugnisse. Hauptauswahlkriterium der Verbraucher ist dabei die Frische, gefolgt vom Preis und der Herkunft (BRANSCHIED, 2008). Demzufolge ist für den Verkaufserfolg von Fleischerzeugnissen das Hervorheben der guten, frischen Qualität (durch die Präsentation) maßgeblich. Dabei gelten als Zeichen von Frische der Geruch, die Beschaffenheit der Oberfläche, eventuell vorhandene Gütezeichen und die ansprechende rote Farbe. Wählt der Verkäufer eine geeignete Warenanordnung (s. u.) und eine gute Beleuchtung, kann er gezielt die rote, frische Farbe der präsentierten Erzeugnisse betonen (BREWER und MC KEITH, 1999; BECKER, 2002; HAMM, 1964; KIESECKER, 2009; MC KINSEY, 2007; POTTHAST, 1987; SCHINDLER, 1998; SCHMIDT, 2004). Gut, weil kaufanregend, ist die Beleuchtung aus Sicht des Verkäufers dann, wenn sie die attraktive rote Farbe der Fleischware unterstreicht. Im Einzelhandel werden daher häufig spezielle Lampensysteme mit Farbfiltreinsatz (siehe Kapitel 2.2.5) verwendet (BARBUT, 2001; SCHMIDT, 2004).

Bei der Warenanordnung ist zunächst die Schichtdicke der ausgelegten Ware entscheidend. Ist sie dünn, kann aufgrund des durchscheinenden hellen oder dunklen Hintergrundes eine andere Farbe gesehen werden. Befinden sich einzelne Wurstscheiben in der Warenauslage, wird ein anderer Farbeindruck vermittelt als bei übereinander gelegten Scheiben (sog. Stapel- oder Fächeraufschnitt). Auch lässt sich die Farbigkeit einzelner Produkte dadurch hervorheben, dass man sie gegen ein kontrastierendes Umfeld absetzt. Das Erkennen auch geringer Farbunterschiede gelingt so am besten, da zwei direkt nebeneinander liegende Farben simultan verglichen werden können. Demnach erlaubt bereits die Warenanordnung, die Erkennbarkeit von Farbunterschieden zu stärken oder zu schwächen. Dadurch werden aber auch hier schon Möglichkeiten für Täuschungen geboten (GRÜNEWALD, 1979; HOFMANN, 1987; JEREMIAH et al., 1972; STIEBING und KLETTNER, 1980b; SCHMIDT, 2004).

Zur Wahl der richtigen Beleuchtung gehört ein gewisses Grundwissen über Farben und deren Wahrnehmung durch den Menschen, weswegen diese Aspekte im Folgenden näher beschrieben werden.

2.2 Farbe

Um Farben überhaupt wahrnehmen zu können, ist Licht erforderlich. Licht entsteht durch Änderungen in den Energieniveaus der Elektronenhülle von Atomen und ist in dem Wellenlängenbereich von 380 nm – 720 nm für den Menschen sichtbar (siehe Kapitel 2.2.2). Je nach Wellenlängenbereich wird dem Licht eine bestimmte Farbe zugeordnet (siehe Tab. 1). Das für den Menschen sichtbare Licht ist nur ein kleiner Ausschnitt (ca. 1 Oktave) des Spektrums elektromagnetischer Wellen. Weitere wichtige Bereiche der elektromagnetischen Wellen sind z. B. Röntgen- (bis 10^{-12} m), UV- (bis 10^{-8} m) und Infrarotstrahlen (bis 10^{-3} m). Diese optische Strahlung ist somit als physikalische Größe messbar und objektivierbar (LOOS, 1989; RICHTER, 1981).

Tab. 1: Wellenlängen der Farben

Farbname	Wellenlängenbereiche (nm)
Purpurblau	380–450
Blau	450–482
Grünlich-Blau	482–487
Cyan (Blau)	487–492
Bläulich-Grün	492–497
Grün	497–530
Gelblich-Grün	530–560
Gelb-Grün	560–570
Grünlich-Gelb	570–575
Gelb	575–580
Gelblich-Orange	580–585
Orange	585–595
Rötlich-Orange	595–620
Rot	620–780

(N. N., 2009c)

Alle bekannten und beschreibbaren Farben basieren auf verschiedenen Anteilen der drei Spektralfarben rot (700 nm), grün (546,1 nm) und blau (435,8 nm). Aus ihnen lassen sich nach der Drei-Farben-Theorie von YOUNG und HELMHOLTZ durch additive oder subtraktive Mischung alle anderen Farben darstellen (BERGER-SCHRUNN, 1994; VON HELMHOLTZ, 1896).

Spektralfarben entstehen, indem weißes Licht durch ein Prisma in seine Anteile zerlegt wird (siehe Abb. 1). Die Reinheit der jeweiligen Spektralfarbe ist dabei von der Breite des Wellenlängenintervalls abhängig. Je schmaler der Wellenlängenbereich, desto reiner ist die Farbe. Nicht alle Farben treten als Spektralfarben auf, z. B. Farben der „Purpurlinie“ (zwischen Violett und Rot) können nicht als Spektralfarbe auftreten (N. N., 1973; RICHTER, 1981; SCHULZE, 1975).

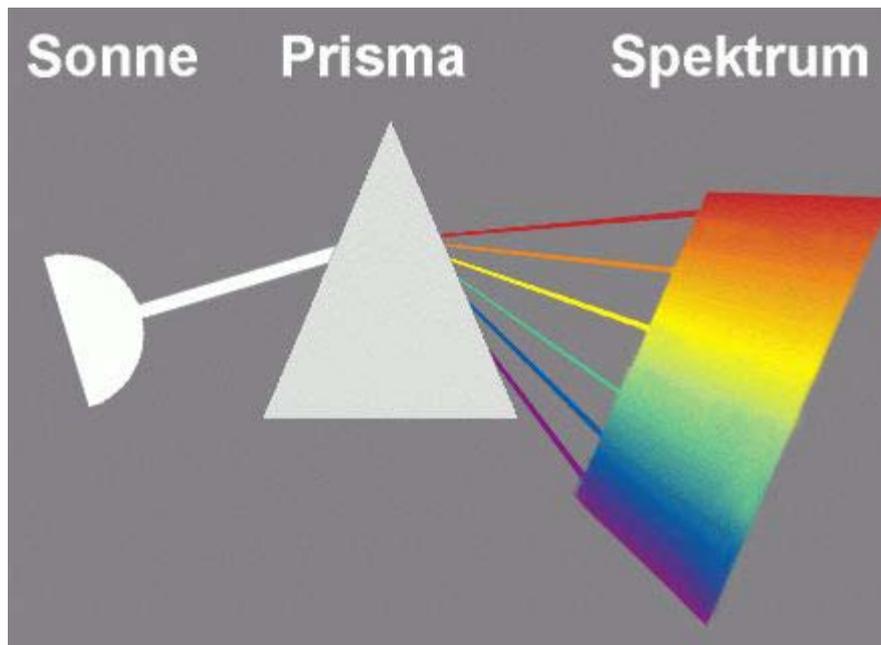


Abb. 1: Brechung von weißem Licht, Entstehung der Spektralfarben

Mit freundlicher Genehmigung der Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen (N. N., 2009d)

Physikalisch gesehen wird jede Farbe durch Buntton, Sättigung und Helligkeit gekennzeichnet, ist aber keine physikalische Größe und hat somit keine Einheit (MC DARRAH und MC DARRAH, 1999; DEETJEN und SPECKMANN, 1992).

Als Buntton wird die Eigenschaft, die eine unbunte (schwarz, weiß und grau) von einer bunten Farbe unterscheidet, bezeichnet. „Sättigung“ beschreibt das Verhältnis Buntheit zu Helligkeit, ist also bei den Spektralfarben maximal. Die Helligkeit wird durch den Schwarz-, bzw. Weißgehalt einer Farbe bestimmt (KLETTNER und STIEBING, 1980; LOOS, 1989).

Werden Farben nach Buntton und Sättigung bei verschiedener Helligkeit zusammengefasst, spricht man von „Farbart“. Der Begriff ist in der CIE 845-03-34 und in der DIN 5033-2 definiert (CIE, 1987; DIN 5033-2, 1992).

Nach DIN 5033-1 ist Farbe „diejenige Gesichtsempfindung eines dem Auge des Menschen strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen, angrenzenden Bezirk allein unterscheiden kann“. Licht- oder Schattenwirkungen, Glanzstufen oder Oberflächenrauigkeiten werden von dem Farbbegriff nach DIN demnach nicht erfasst (DIN 5033-1, 1979; RICHTER, 1981).

2.2.1 Begriffe der Farbenlehre: Farbreiz, Farbvalenz, Farbmeterik und Farbabstand

Als Farbreiz wird die Sinnesempfindung des Auges bezeichnet. Ausgehen kann der Farbreiz entweder von Selbstleuchtern (Lichtquellen, siehe Kapitel 2.2.4.2), dann wird die entstehende Farbe Lichtfarbe genannt. Oder er geht von Nichtselbstleuchtern (beleuchteten Körpern, siehe Kapitel 2.2.4.1) aus, dann wird die entstehende Farbe Körper- oder Objektfarbe genannt (LOOS, 1989). Gekennzeichnet wird der Farbreiz durch die spektrale Verteilung der Strahlung. Das heißt, er kann durch physikalische Messungen mit einem Spektralphotometer bestimmt werden (BERGER-SCHRUNN, 1994).

Der Farbreiz wiederum ist die Ursache für die Farbvalenz. Die Farbvalenz ist ein Maß für die Einwirkung der Farbe auf den Menschen, die Wirkung der Farbvalenz ist somit die Farbwahrnehmung (siehe Kapitel 2.2.2). Farbvalenzen sind entsprechend der Graßmannschen Gesetze dreidimensionale Größen (X , Y , Z) und werden daher mathematisch mit einem Vektor beschrieben (siehe Kapitel 2.2.3). Das grundlegende Farbsystem für die geometrische Darstellung der Farbvalenzen ist das international durch die CIE genormte Normvalenzsystem. Die definierte Farbvalenz wird darin als Farbort bezeichnet (RICHTER, 1981; PETSCHKE, 2005).

Durch die Farbmeterik können Farbvalenzen untereinander in Rechenbeziehungen gesetzt werden. Mit Hilfe der Farbmeterik wird Farbe objektiv messbar und durch Zahlen beschreibbar. Dadurch werden sie zu einem exakten naturwissenschaftlichen Begriff (BERGMANN und SCHAEFER, 1974). Zusammenfassend gesagt ist Farbmeterik jede Koordinatendarstellung einer Farbempfindung wie etwa die Normfarbtafel (siehe Abb. 2) oder das Farbdreieck. Das Farbdreieck stellt einen Querschnitt durch eine Ebene gleicher Helligkeit in einem dreidimensionalen Farbraum dar (RICHTER, 1981; N. N., 1997a).

Abgegrenzt wird die niedere (Farbvalenzmeterik) von der höheren Farbmeterik (Farbempfindungsmeterik). Erstere stellt die Gleichheit zweier Farbempfindungen aufgrund der optischen Wahrnehmung fest und bringt sie in einem Koordinatensystem zum Ausdruck.

Die durch Schrödinger begründete höhere Farbmeterik befasst sich mit Farbunterschieden. Es werden Aussagen über die Gleichheit zweier Farbempfindungen und über die Ähnlichkeit zweier verschiedener Farbempfindungen getroffen (RICHTER, 1981; LOOS, 1989; N. N., 1997a).

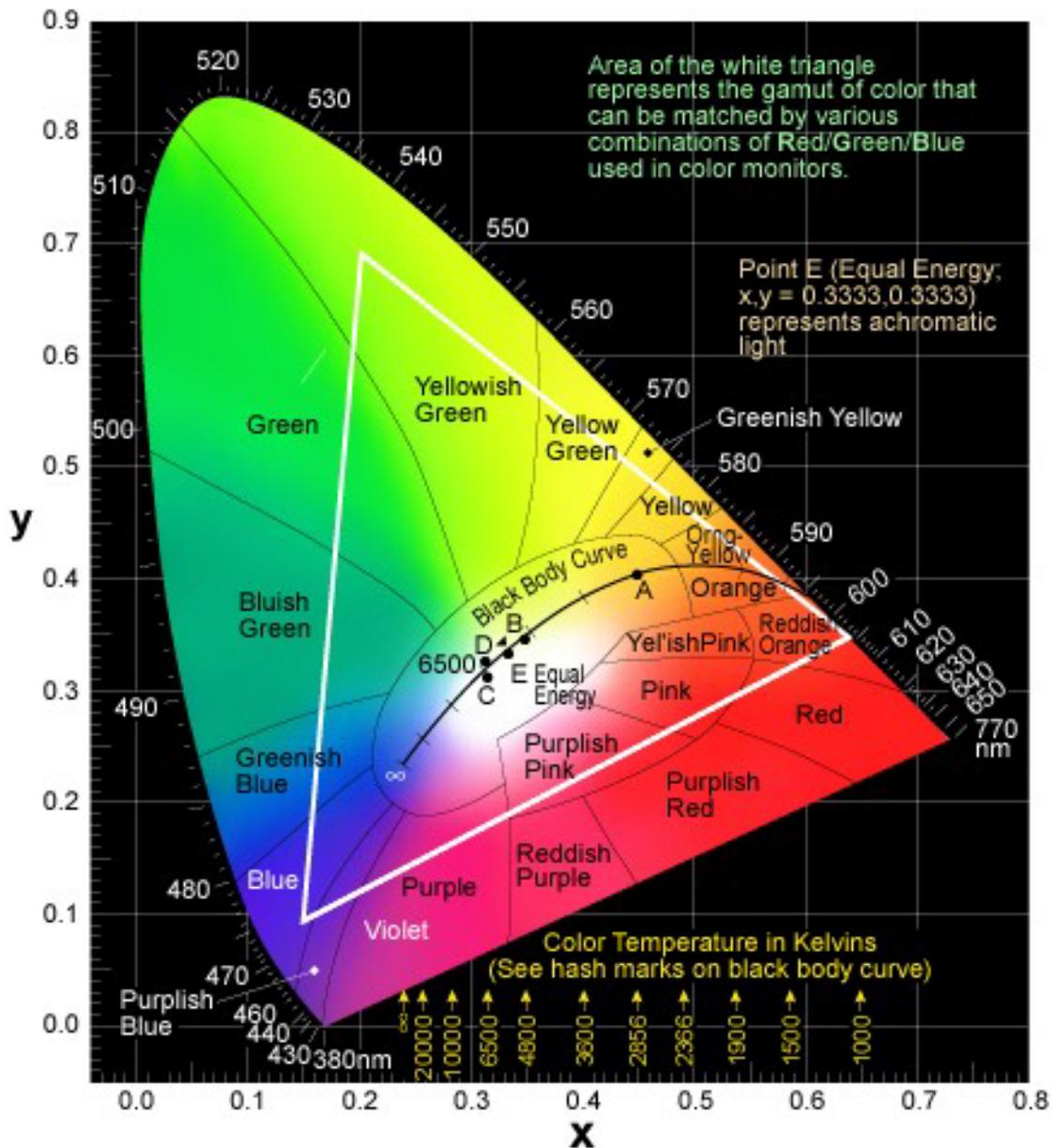


Abb. 2: Die CIE-Normfarbtafel

Die Normfarbtafel entspricht einem 2°-Gesichtsfeld. Hier dargestellt mit den entsprechenden Temperatur- und Wellenlängenbereichen (DIN 5033-2, 1992; N. N., 2009g; CIE, 1976).

In Tab. 2 sind die Beziehungen der Begriffe Farbe bzw. Farbempfindung, Farbreiz und Farbvalenz übersichtlich zusammengefasst.

Tab. 2: Zusammenhang der Begriffe Farbe, Farbreiz und Farbvalenz

Begriff	Wirkort	Wirkart	Fachgebiet
Farbreiz	Lichtquelle	Sichtbares Licht	Physik/Optik
Farbvalenz	Auge, insb. Zapfen	Wahrnehmung	Physiologie
Farbe/Farbempfindung	Gehirn	Erleben und Psyche	Psychologie

(RICHTER, 1981)

Literatur

Der Farbabstand (ΔE) gibt den Unterschied zwischen zwei Farben an. Mathematisch betrachtet ist der Farbabstand die im CIE-Farbraum vorhandene kürzeste Verbindung zwischen zwei Farborten (DIN 5033-2, 1992). Ein Farbort kann jeder Farbe mit Hilfe der Normfarbtafel (siehe Abb. 2) und einem Farbmaßsystem (siehe Kapitel 2.2.3 ff) zugeordnet werden. Berechnet wird der euklidische Farbabstand mit dem Satz des Pythagoras über folgende Formel (SCHULZE, 1975):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Ist der Farbabstand bekannt, kann eine eindeutige Aussage darüber getroffen werden, wie stark sich zwei Farben voneinander unterscheiden. Dabei gibt es nach HELLERICH et al. eine relativ exakte Einteilung, wie viele Einheitenabweichungen zwischen den Farben bestehen müssen, um vom Menschen als unterschiedlich wahrgenommen werden zu können (Tab. 3/I) (HELLERICH et al., 2004). Nach GALL, NEUBAUER und GIERLING sind Farbabstände erst ab Werten zwischen 2 und 3 als solche wahrnehmbar (Tab. 3/II und 3/III) (GALL, 2009; NEUBAUER, 2009; GIERLING, 2006).

Tab. 3/I: Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen

Farbabstand	Wahrnehmbarkeit
ΔE bis 0,2	nicht wahrnehmbar
ΔE 0,2 bis 0,5	sehr gering
ΔE 0,5 bis 1,5	gering
ΔE 1,5 bis 3,0	deutlich
ΔE 3,0 bis 6,0	stark

(HELLERICH et al., 2004)

Tab. 3/II: Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen

Farbabstand	Wahrnehmbarkeit
$\Delta E < 1$	nicht wahrnehmbar
ΔE 1 bis 2	sehr gering, fast nicht sichtbar
ΔE 2 bis 3	sehr gering, bedingt sichtbar
ΔE 3 bis 5	wahrnehmbar
ΔE 5 bis 10	deutlich
$\Delta E > 10$	zu stark

(GALL, 2009; NEUBAUER, 2009)

Tab. 3/III: Übersicht über die Wahrnehmbarkeit von Farbabständen

Farbabstand	Wahrnehmbarkeit
ΔE bis 1	nur für geübten Fachmann wahrnehmbar
$\Delta E < 2,5$	für Laien gleich
$\Delta E \geq 2,5$	für Laien wahrnehmbar
ΔE 6 bis 7	noch tolerierbar
$\Delta E > 10$	zu groß, nicht mehr tolerierbar

(GIERLING, 2006)

2.2.2 Farbwahrnehmung durch den Menschen

Unter Farbwahrnehmung ist das subjektive Empfinden von Licht im sichtbaren Bereich zu verstehen. Die Farbwahrnehmung ist somit individuell und physikalisch nicht messbar. Die in Kapitel 2.2 beschriebene optische Strahlung dagegen ist physikalisch messbar, wodurch sie objektivierbar wird. Aus diesem Grund ist die gemessene Farbe nicht immer mit der wahrgenommenen Farbe vergleichbar (LOOS, 1989; RICHTER, 1981; BERGERSCHRUNN, 1994; KLETTNER und STIEBING, 1980).

Das menschliche Auge ist in der Lage, etwa 7,5 Millionen Farbempfindungen zu unterscheiden. Unser Wortschatz kennt etwa 2.830 Farbbezeichnungen, ungefähr 280 davon sind in der Umgangssprache gebräuchlich, zwölf davon werden häufig benutzt. Einen sachgerechten Überblick über die Vielfalt der Farben kann die menschliche Sprache demnach nicht vermitteln, weswegen der reproduzierbaren, instrumentellen Farbmessung in der Praxis eine wesentliche Rolle zukommt (SCHMIDT und THEWS, 1993). Aufgrund der Komplexität des Zusammenspiels von Auge und Gehirn, das nachfolgend beschrieben wird, sieht kein Mensch Farbe wie ein anderer (HARPF, 2000).

2.2.2.1 Funktionsprinzip des menschlichen Auges

Einfallende Lichtstrahlen erreichen zuerst die konkav gewölbte Hornhaut. Dahinter liegt die ebenfalls gekrümmte Iris. Hornhaut und Iris bündeln durch ihre Krümmung das einfallende Licht, es wird auf die im hinteren Teil des Augapfels befindliche Netzhaut übertragen (Abb. 3). In der Netzhaut (Retina) befinden sich Rezeptoren, die von der einfallenden Strahlung im sichtbaren Bereich (zwischen 380 und 720 nm) erreicht werden müssen.

Diese Rezeptoren werden als „Stäbchen“ und „Zapfen“ bezeichnet. Deren Pigmente werden durch Licht chemisch verändert (EYSEL, 1996; LIEBICH und KÖNIG, 1999; SCHMIDT und THEWS, 1993). Durch diese chemische Veränderung entsteht ein Nervenimpuls, der an die nachgeschalteten Hirnstrukturen weitergeleitet und dort als „Farbe“ empfunden wird (RICHTER, 1981; HUBEL, 1990).

Dabei ist die Wahrnehmung der Farbe im Gehirn nicht immer unvoreingenommen - das Großhirn speichert Sinneseindrücke und verbindet sie mit dazu gehörigen Erinnerungen. In der Psychologie hat sich daher der Begriff „Gedächtnisfarben“ eingebürgert. Objekte mit einem typischen Farbton werden unter Rückgriff auf den im Gedächtnis gespeicherten prototypischen Farbton wahrgenommen. Die genaue Arbeitsweise dieses Zusammenspiels von visuellem System mit ZNS und Gehirn mit dem Gefühlszentrum ist aber in großen Teilen noch unerforscht (HUBEL, 1990; SCHMIDT und THEWS, 1993; SCHMIDT, 2004). Auch daraus wird ersichtlich, dass die Farbwahrnehmung individuell verschieden ist.

Im Detail erfolgt die Wahrnehmung von Farben über die Zapfen, über die Stäbchen die Hell-Dunkel-Wahrnehmung. Die Stelle des schärfsten Sehens im Bereich der Netzhaut liegt dabei in der sog. Sehgrube (Fovea centralis). Dort befinden sich nur Zapfen, die wiederum in drei Wahrnehmungsqualitäten existieren. Die kurzwelligen (Typ S, 420 nm) absorbieren blauviolette, die mittelwelligen (Typ M, 535 nm) grünes und die langwelligen (Typ L, 565 nm) gelbes bis rotes Licht. Das Verhältnis der unterschiedlichen Reizung der drei empfangenden Zapfenarten verursacht die Wahrnehmung eines Farbtons. Das Zusammenspiel dieser drei Rezeptorenarten ist aber nicht bei jedem Menschen gleich (LIEBICH, 1999; LIEBICH und KÖNIG, 1999; SCHMIDT und THEWS, 1993).

Aus diesen drei Farben lassen sich nach der Dreifarbentheorie von YOUNG und HELMHOLTZ durch additive oder subtraktive Mischung alle anderen Farben herstellen (VON HELMHOLTZ, 1896). Mit einem Kreis von paarweise gegenüberliegenden Gegenfarben (Rot-Blaugrün, Purpur-Grün, Blau-Orange, Violett-Gelb) erklärt HERING in der Vierfarben-Theorie die Farbwahrnehmung. Demzufolge ergibt jedes Gegenfarbenpaar in subtraktiver Mischung Schwarz, und in additiver Mischung Weiß (HERING, 2007). Beide Theorien werden von Johannes VON KRIES in der Kries-Zonentheorie zusammengeführt. Nach Kries gilt auf der Rezeptorebene die Dreifarbentheorie und bei der Verarbeitung im Zwischenhirn die Gegenfarbentheorie (RICHTER, 1981; SILVESTRINI und FISCHER, 1989; VON KRIES, 2007).

Literatur

Die Stäbchen sind lichtempfindlicher als die Zapfen. Lässt die Menge der Photonen pro Zeiteinheit nach, werden nur die Stäbchen erregt. Bei schwachen Lichtverhältnissen (Nachtsehen), in denen die Farbzapfen keinen Reiz auslösen, wird das Gehirn nur über die Beleuchtungsstärke informiert. Diese Informationen sind im ursprünglichen Wortsinn „farblos“ (dunkel). Es entsteht ein „grau“-Eindruck. Unterschreitet die Menge der einfallenden Photonen auch die Wahrnehmungsschwelle der Stäbchen-Zellen, entsteht der Eindruck „schwarz“ (Finsternis) (HUBEL, 1990).

Abb. 3 zeigt den Aufbau des menschlichen Auges im Detail.

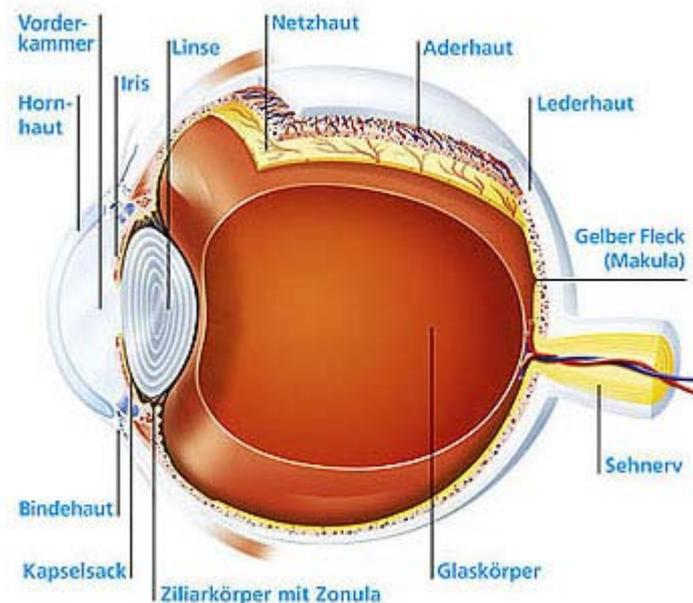


Abb. 3: Der Aufbau des menschlichen Auges

Mit freundlicher Genehmigung des Evangelischen und Johanniter Klinikums Niederrhein GmbH (N. N., 2009f)

2.2.2.2 Farbstimmung des Auges (chromatische Adaptation)

In der Physiologie versteht man unter chromatischer Adaptation den automatischen Weißabgleich des Auges. Möglich wird er durch die unter Kapitel 2.2.2.1 beschriebenen unterschiedlichen Zelltypen der Netzhaut des Auges. Adaptive Farbverschiebung ist der Unterschied in der wahrgenommenen Objektfarbe aufgrund einer Änderung der chromatischen Adaptation (DIN 5033-1, 1979; GRÜSSER und GRÜSSER-CORNEHLS, 1995; KING, 2005).

Aus diesem Grund ist der Betrachter eines Objekts schon nach wenigen Minuten auf die zur Beleuchtung dienende Lichtart eingestimmt. Wenn in der neuen Lichtsituation eine andere Farbtemperatur vorherrscht, z. B. durch einen verstärkten Rotanteil, dann werden die rotempfindlichen Zellen ihre Empfindlichkeit im Verhältnis zu den anderen verringern (KLINKE und SILBERNAGL, 1996; EYSEL, 1996; SCHMIDT, 2004).

Das bedeutet, die Lichtfarbe wird als unbunt bzw. unbunte Gegenstände auch als solche wahrgenommen. Eine weiße Fläche wird nach erfolgter Adaptation wieder als weiß empfunden, obwohl sie eine proportional erhöhte Menge roten Lichtes reflektiert (SCHMIDT, 2004). Das bedeutet, dass bei Farbabmusterungen unter verschiedenen Lichtarten simultane Vergleichsmethoden nicht angewandt werden dürfen. Vielmehr sind sukzessive Prüfungen durchzuführen (EBERBACH, 2001; KING, 2005).

Das Phänomen der Farbstimmung oder der Vorgang der ihr jeweils vorausgehenden Farbumstimmung beruht darauf, dass die Wahrnehmung der im Gesichtsfeld vorherrschenden Farbart gedämpft wird. Damit wird auch die Verstärkung des Rot-Eindrucks von Fleischwaren, die zunächst durch eine Erhöhung des Rot-Strahlungsanteils bewirkt wird, teilweise wieder kompensiert (DIN 5033-1, 1979; SCHMIDT, 2004).

2.2.3 Farbmaßsysteme

Um Farben nicht nur mit Worten beschreiben, sondern genau definieren zu können, wurden von den Gelehrten schon ab dem frühen 17. Jahrhundert Farbmaßsysteme entwickelt. Das erste Farbsystem stammt von dem nordischen Astronomen Aron Sigfrid Forsius. Er hatte erkannt, dass zu einer vollständigen Darstellung der Farben dreidimensionale Systeme notwendig sind. Auch Isaak Newton und Johann Wolfgang von Goethe haben sich zu der Zeit mit der Farbenlehre befasst. Heute gibt es Mustersammlungen, in denen Proben von definierten Farbtönen enthalten sind. Sie enthalten Abmischungen verschiedener Oberflächenpigmente (RICHTER, 1981; LOOS, 1989).

Die nachfolgend beschriebenen Systeme haben gemeinsam, dass sie Farben quantitativ (mit Hilfe von Zahlen) beschreiben (RICHTER, 1981; LOOS, 1989; SILVESTRINI und FISCHER, 1989).

2.2.3.1 Das X, Y, Z-System

Das CIE XYZ-System stellt die Verbindung zwischen dem auf der Netzhaut ausgelösten Farbreiz (siehe Kapitel 2.2.1) und den gemessenen Farbwerten dar (KONICA-MINOLTA, 2004). Es wurde auf internationaler Ebene 1931 von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) auf Grundlage der Normfarbtafel (siehe Abb. 2) als Normvalenzsystem geschaffen (siehe Kapitel 2.2.3.1) (CIE, 1971).

Die Normfarbtafel wurde auch geschaffen, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung und den physikalischen Ursachen des Farbreizes herstellen zu können. Die Normfarbtafel stellt einen zweidimensionalen Farbraum dar. Ebenso sind der Normfarbtafel die Wellenlängenbereiche der Farben und ihre jeweilige Farbtemperatur zu entnehmen (siehe Abb. 2). Im mittleren Bereich liegt der Unbuntpunkt, in dem die Farben Schwarz, Weiß und alle Grautöne liegen. Er wird als Unbuntpunkt bezeichnet, weil er eine Farbsättigung von 0 aufweist. Ganz außen auf der verformten parabelförmigen Begrenzungslinie liegen die Spektralfarben Rot (780 nm), Grün (520 nm) und Blau (380 nm). Als Purpurlinie wird die Verbindungslinie zwischen 380 nm und 780 nm bezeichnet. Dort liegen alle additiven Mischfarben aus Blau und Rot (CIE 1931; RICHTER, 1981; SILVESTRINI und FISCHER, 1989).

Mit Hilfe der Normfarbtafel, in der x die Abszisse und y die Ordinate darstellt, kann ein Farbort in der Farbtafel beschrieben werden (siehe Abb. 2). Diese Koordinaten (x und y) heißen Normfarbwertanteile oder Farbmaßzahlen. Sie können entweder direkt aus der Farbtafel abgelesen, durch Farbmessgeräte angezeigt oder mathematisch ermittelt werden. Zusammen ergeben sie die Information über den Farbton und dessen Sättigung. Der Normfarbwertanteil z entspricht der Helligkeit, muss aber nicht angegeben werden, da er aus x und y durch $z = 1 - x - y$ berechnet werden kann (DIN 5033-3, 1992; LOOS, 1989).

Um eine Aussage darüber treffen zu können, wie sich der Farbreiz aus den drei Primärfarben Rot, Grün und Blau zusammensetzt, wurden die Normfarbwerte X (= Rot), Y (= Grün) und Z (= Blau) definiert. Werden Farbmessgeräte verwendet, können diese so eingestellt werden, dass sie das Ergebnis in Form der X, Y und Z-Werte angeben. Andernfalls können sie über folgende Formeln berechnet werden:

$$X = F \times \sum S(\lambda) \times R(\lambda) \times x(\lambda)$$

$$Y = F \times \sum S(\lambda) \times R(\lambda) \times x(\lambda)$$

$$Z = F \times \sum S(\lambda) \times R(\lambda) \times x(\lambda)$$

F ist dabei ein Normierungsfaktor ($F = 100 / \sum S(\lambda) \times y(\lambda)$) im Vergleich zu Idealweiß, das alles auffallende Licht unabhängig von der Wellenlänge reflektiert (CIE, 1971; DIN, 1993; BERGER-SCHRUNN, 1994; N. N., 2009r).

Zur exakten Kennzeichnung der Farbart als Farbort in der Farbtabelle können die Normfarbwerte X, Y, Z nach folgenden Formeln wieder in die Normfarbwertanteile x, y, z zurückgerechnet werden (CIE, 1971; DIN, 1993):

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \qquad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \qquad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

2.2.3.2 Das L*a*b*-System

Im Folgenden werden zwei weitere Farbsysteme, das L*a*b*-System und in Kapitel 2.2.3.3 das LCH-System, näher beschrieben. Diese beiden Systeme stellen die Arbeitsgrundlage der eigenen Untersuchungen dieser Arbeit dar.

Das L*a*b*-System wurde 1976 durch die CIE eingeführt, da im XYZ-System alle Grautöne zwischen Schwarz und Weiß auf einem einzigen Punkt liegen. Zudem sind die Farbabstände im XYZ-System nicht gleich und entsprechen daher nicht der tatsächlichen menschlichen Farbwahrnehmung (CIE, 1976; SILVESTRINI und FISCHER, 1989). Unter Farbabstand ist der Abstand zweier Farben in einem Farbraum zu verstehen. Er wird mit ΔE (E) bezeichnet und errechnet sich aus den Koordinaten zweier Farborte. Viele Farbabstände haben ein gleich großes ΔE , wirken aber auf den Menschen nicht gleich groß – beispielsweise ist die Strecke der wahrgenommenen Farbänderung des Magenta vom Rand zur Mitte relativ kurz, die Strecke der Änderung des Grün dagegen relativ länger (siehe Abb. 2). Aus diesen Gründen war die Novellierung des XYZ-Systems erforderlich.

Nachgekommen wurde der Forderung der DIN 6174 nach Gleichabständigkeit durch Einführung des L*a*b*-Systems. In ihm sind alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben weitgehend gleichabständig enthalten, es baut statistisch auf der menschlichen Wahrnehmung auf. Das XYZ – System wird dazu mathematisch umgewandelt (s. u.). Da es das einzige System ist, das alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben enthält, wird es meistens als Referenzfarbraum verwendet, über den die anderen Farbräume definiert werden (BERGER-SCHRUNN, 1994, DIN 6174, 1979; KLETTNER und STIEBING, 1980; LOOS, 1989).

Literatur

Die Farbmaßzahl a^* beschreibt die Rot-Grün-Achse, wobei ein positiver Wert für Rot und ein negativer für Grün steht. Die Gelb-Blau-Achse wird durch b^* beschrieben. Ein positiver Wert steht für Gelb und ein negativer für Blau. a^* und b^* werden in einer Ebene aufgetragen, L^* verläuft dazu senkrecht. Durch L^* wird die Helligkeitsachse in Zahlen angegeben, ein L^* -Wert von 100 entspricht Weiß, ein L^* -Wert von 0 Schwarz. Die Lichtfarbe liegt im Koordinatenursprung. Aus a^* und b^* abgeleitete Farbmaßzahlen sind die Buntheit (= Sättigung) C^* und der Buntton (= Farbton) H^* (siehe Kapitel 2.2.3.3), die sich in dem CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkörper als konzentrische Kreise bzw. als radiale Linien darstellen lassen (siehe Abb. 4). Berechnet werden die Farbwerte L^* , a^* und b^* aus den Normfarbwerten X , Y und Z durch folgende Formeln:

$$L^* = 116 \times Y^* - 16$$

$$a^* = 500 \times (X^* - Y^*)$$

$$b^* = 200 \times (Y^* - X^*)$$

(BERGER-SCHRUNN, 1994; KLETTNER und STIEBING, 1980; LOOS, 1989).

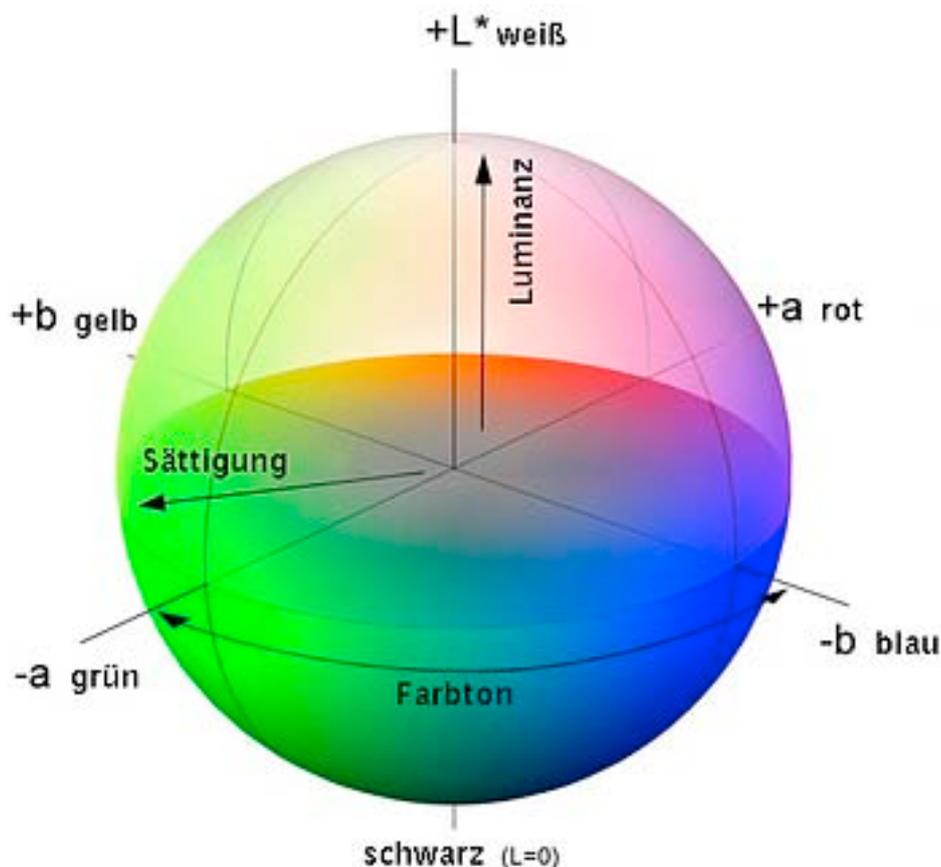


Abb. 4: Der CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkörper
(N. N., 2009h)

Die bloße Angabe eines $L^*a^*b^*$ -Wertes, z. B. $L^* = 75$, $a^* = 5$, $b^* = 33$ ruft jedoch keine Farbwahrnehmung hervor. Vielmehr ist ein Zusammenspiel von Licht, Auge und Gehirn erforderlich. Dazu kommt, dass zwei Farben nicht zwangsläufig von verschiedenen Personen gleich wahrgenommen werden, auch wenn die Messung denselben $L^*a^*b^*$ -Wert hat (siehe Kapitel 2.2 ff) (BERGER-SCHRUNN, 1994).

2.2.3.3 Der LCH-Farbraum

Der LCH-Farbraum wurde 1976 von der CIE festgelegt und ist identisch mit dem CIE $L^*a^*b^*$ -Farbraum. Einziger Unterschied ist die Angabe der Zylinderkoordinaten L (= Helligkeit, Lightness), C (= Sättigung, Chroma) und H (= Buntton, Hue) anstelle der kartesischen Koordinaten a^* und b^* (siehe Abb. 6). Die Helligkeit L^* bleibt in beiden Systemen unverändert bestehen, die Sättigung C wird durch b^* beschrieben und der Farbton H durch a^* . Die Farbabstände der einzelnen Farben sind durch die CIE $L^*a^*b^*$ -Farbabstandsformel definiert, die auch in der DIN 6174 verankert ist. H wird dabei als Winkel der Richtung der Entfernung vom Unbuntpunkt angegeben, C als Entfernung vom Unbuntpunkt und L als Ebene im Farbkörper (DIN 6174, 1979; HOMANN, 2007).

Dadurch, dass beide Systeme mit dem gleichen Farbraum arbeiten, können die aus dem CIE- $L^*a^*b^*$ -System stammenden Werte grundsätzlich in die LCH-Werte umgerechnet werden:

Die Umrechnung von Buntton H erfolgt über
$$H = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

Die Umrechnung von Sättigung C erfolgt über
$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Die Umrechnung von Helligkeit L ist, wie oben beschrieben, nicht erforderlich, da sie wie in der $L^*a^*b^*$ -Notation für den Helligkeitswert steht.

Der LCH-Farbraum stellt die Grundlage für den Aufbau vieler Farbsysteme dar, wie zum Beispiel des RAL-Farbsystems. Dieses wiederum diente als Grundlage für die sensorischen Farbuntersuchungen dieser Arbeit, weswegen im Folgenden darauf näher eingegangen wird.

Das RAL-Farbsystem (ursprünglich Reichsausschuss für Lieferbedingungen, jetzt Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.) besteht seit 1927 und enthielt in seinen Anfängen 40 Farben, heute umfasst es 2325 Farbtöne. Alle RAL-Farben erfüllen die Vorgaben von DIN-Normen.

Das Institut bietet eine Vielzahl von Farbkarten, Farbfächern und Farbbüchern an. In der „RAL-CLASSIC“ genannten Farbreihe mit vierstelligen Farbnummern, die 210 Farben umfasst, wird zwischen matten (RAL 840-HR Farbbregister) und glänzenden (RAL 841-GL Farbbregister) Farben unterschieden. Daneben gibt es das „RAL DESIGN-System“, das auch international verwendet wird, insgesamt 1625 Farbtöne enthält, übersichtlicher angeordnet ist und sich durch die größeren Farbfelder besser anwenden lässt. Daher wurde der Farbfächer „D2“, ein Exemplar des RAL-DESIGN-Systems, für die sensorischen Untersuchungen dieser Arbeit verwendet. Er weist die feinste Skalierung eines handelsüblichen Farbfächers auf und enthält die meisten Farbtöne.

Jede der mit einer siebenstelligen Farbnummer gekennzeichneten Farben ist eine definierte, eigenständige RAL-Farbe. Die Nummer ist, im Gegensatz zu den klassischen RAL-Farben, keine willkürlich zugeordnete Zahl, sondern gibt die messtechnisch ermittelten Werte für den Grundfarbton bzw. Buntton (H), die Helligkeit (L) sowie die Sättigung bzw. Buntheit (C) der Farbe an. Im RAL-DESIGN-System entspricht das erste Zahlentripel dem Buntton H, der CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkreis wird hier in 10° -Abständen durchlaufen, die Benennung erfolgt nach Winkelgraden (siehe Abb. 5). Dabei entspricht $H = 90$ einem Gelb, $H = 180$ einem Grün, $H = 270$ einem Blau und $H = 360$ (bzw. 0) einem Rot. Ein Hue von 0 bezeichnet einen Grauwert. Das erste Zahlenpaar nach dem Tripel entspricht der Helligkeit L (= Lightness). Theoretisch sind hier Werte bis 100 möglich. Die verschiedenen Helligkeiten, die bei einem Buntton möglich sind, werden in unterschiedlichen Ebenen angeordnet. Durch deren Zentrum verläuft die Unbuntachse, die zugleich den Maßstab für die Helligkeit bildet. Diese beginnt unten bei 0 mit Schwarz, verläuft über abgestufte Grautöne nach oben und endet bei 100 mit Weiß (siehe Abb. 5).

Das zweite Zahlenpaar entspricht der Sättigung C (= Chroma), dies ist die Buntheit einer Farbe oder ihre Sättigung. Sie reicht je nach Buntton von $C = 90$ (Gelb) bis $C = 50$ (Grün). So ist z. B. die RAL DESIGN-System Farbe 070 90 05 ein helles, wenig gesättigtes blasses Pastellgelb mit dem Buntton $H = 070$, der Helligkeit $L = 90$ und der Sättigung bzw. Buntheit $C = 05$.

Die führende(n) Null(en) dürfen bei der Bezeichnung der Farbe nicht entfallen, da hier die Angabe über den Grauton enthalten ist und die verbleibenden vier Ziffern zu Verwechslungen mit den „RAL CLASSIC“ Farbtönen führen würden (HOMANN, 2007; RAL, 2009; SILVESTRINI und FISCHER, 1989).

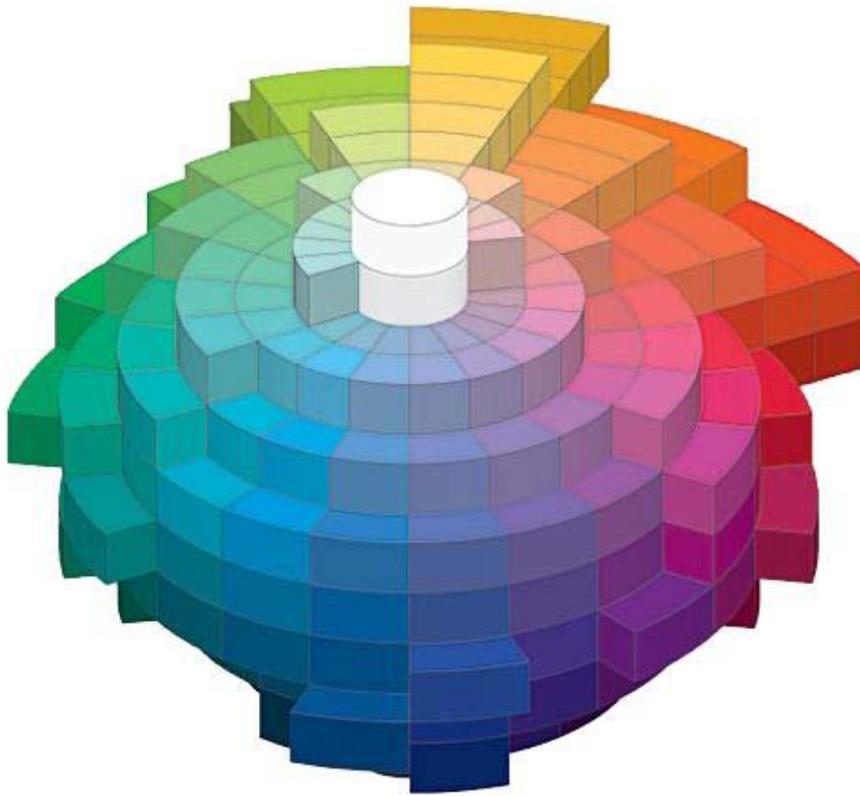


Abb. 5: Farbkörper des „RAL DESIGN“-Systems

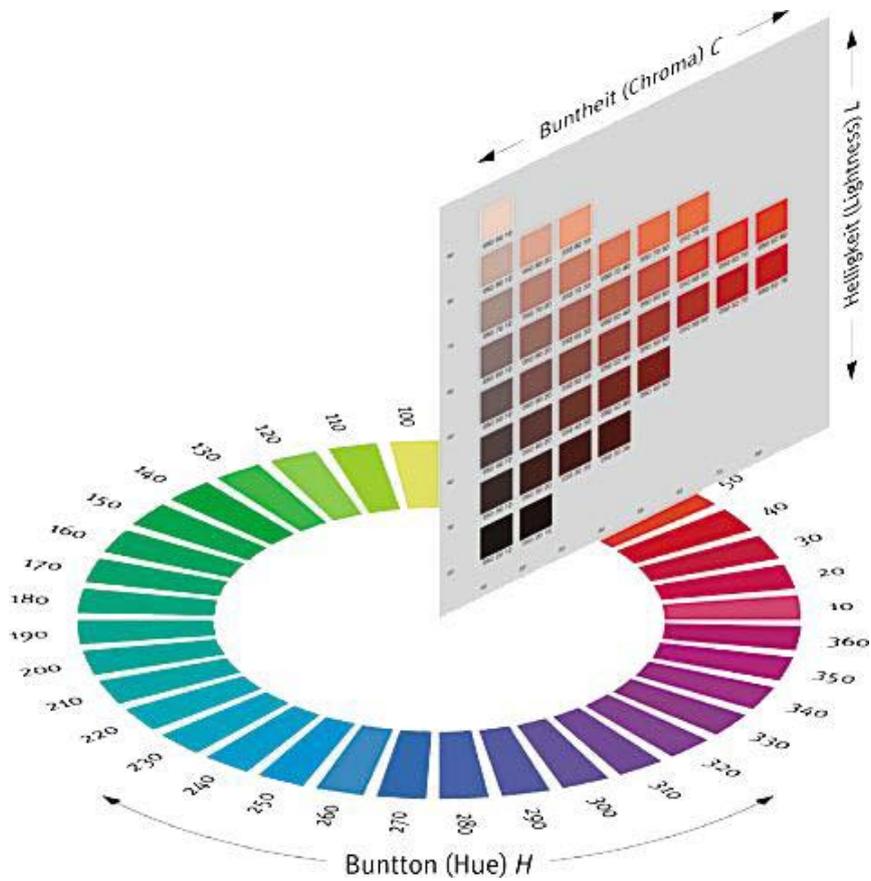


Abb. 6: Schematischer Aufbau des „RAL DESIGN“-Systems

Das LCH-Farbsystem stellt die Verbindung zwischen den farbphysikalischen Messungen und den sensorischen Untersuchungen dieser Arbeit dar. Für erstere wurde mit dem L*a*b*-System gearbeitet, für letztere mit dem LCH-System. Um beide Versuchsabschnitte vergleichend betrachten zu können, war eine einheitliche Notation erforderlich. Dazu wurden die Ergebnisse der physikalischen Messungen in das LCH-System umgerechnet, da letzteres besser interpretierbar erschien.

Darüber hinaus existieren noch weitere Farbsysteme, wie beispielsweise das HKS- (Hostmann-Steinberg Druckfarben, Kast + Ehinger Druckfarben und Schmincke & Co.), das Hexachrome- und das NCS-System (Natural Color System) (SCHULZE, 1975; LOOS, 1989). Auf diese Systeme wird jedoch nicht näher eingegangen, da sie keine Arbeitsgrundlage für die vorliegende Untersuchung bildeten.

2.2.4 Beleuchtungstechnik

Um Farben optimal herausstellen zu können, sind auch Grundkenntnisse über die Beleuchtungstechnik erforderlich. Lampen für Beleuchtungszwecke werden farbmetrisch durch ihre Lichtfarbe und ihre Farbwiedergabe-Eigenschaften beschrieben.

Die Lichtfarbe von Lampen wird mit der Farbtemperatur T_n gekennzeichnet. Die Lichtfarbe von Lampen mit $T_n < 3300$ K wird als warmweiß, die mit $T_n > 5000$ K als tageslichtweiß und die dazwischen als neutralweiß bezeichnet. Rot, Grün und Blau weisen ebenfalls unterschiedliche Farbtemperaturen auf, wobei allgemein gilt, je dunkler die Farbe, desto höher die Farbtemperatur (siehe Tab. 4) (DIN 5033-1, 1979; DIN 6169-2, 1976; SCHULZE, 1975). Die Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik und deren quantitative Kennzeichnung werden in Deutschland nach der DIN 6169-1 bestimmt. Die Farbwiedergabe von Lampen wird demnach mit dem allgemeinen Farbwiedergabe-Index R_a gekennzeichnet. Ein R_a von 1 entspricht dabei einer absoluten Farbneutralität. Für eine Glühbirne beispielsweise wird ein Maximalwert von $R_a = 100$ angegeben (DIN 6169-1, 1976). Da der R_a -Wert keine Aussage über den enthaltenen Rotanteil ermöglicht, ist die Angabe des R_a -Wertes für die spezielle Beleuchtung von Fleischwaren nicht zweckdienlich. Daher wurde im Rahmen der Entstehung der DIN 10504 für die Fleischwarenbeleuchtung der Farbwiedergabeindex R_{FF} geschaffen (siehe Kapitel 2.2.6.1) (EBERBACH, 2001; KLETTNER und TERSTIEGE, 1999; TERSTIEGE, KLETTNER, 1992; DIN 10504, 1996; DIN 6169-1, 1976; N. N., 1973; N. N., 2005a; STOLLE, 2001).

Tab. 4: Unterschiedliche Lichtquellen und Farbtemperaturen (modifiziert)

Farbtemperatur	Lichtquelle(n)
1000 K bis 1800 K	Kerzenlicht und/oder offenes Feuer
2450 K bis 2850 K	Glühlampen
3400 K	Halogenlampe
4150 K	Mondlicht
5500 K	Sonnenstand 30°
6500 K	mittleres Tageslicht, Normlichtart D ₆₅
7400 K	Himmel völlig bedeckt
8000 K bis 9000 K	Neonlampe
bis zu 16000 K	Sonneneinstrahlung im Gebirge (Schnee)

Mit freundlicher Genehmigung der Universität Regensburg (N. N., 2009e)

Wichtig für eine die Warenfarbe betonende gute Beleuchtungstechnik ist, zu wissen, dass das Aussehen von Fleisch und Fleischerzeugnissen sowohl von deren Reflexionseigenschaften (siehe Kapitel 2.2.4.1) als auch von der beleuchtenden Lichtquelle (siehe Kapitel 2.2.4.2) bestimmt wird (SCHMIDT, 2004; BERGER-SCHRUNN, 1994). Daher klären die folgenden Kapitel die Unterschiede zwischen den Begriffen Objekt- und Lichtfarbe.

2.2.4.1 Die Objektfarbe

Der Begriff der Objekt- oder Körperfarbe umschreibt den Farbeindruck, der von dem Objekt selbst ausgeht, egal, ob dieses fest, flüssig oder gasförmig ist. Das auftreffende Licht wird entsprechend der Oberflächenfärbung durch Absorption und Streuung in seiner spektralen Zusammensetzung verändert. Das heißt, der Farbeindruck wird durch die Selektivität des Reflexionsspektrums im sichtbaren Bereich zwischen 380 und 780 nm bestimmt.

Eine hohe Reflexion oberhalb von 600 nm kennzeichnet beispielsweise einen roten Farbeindruck. Zusätzliche Reflexionsanteile im Spektralbereich unterhalb von 480 nm bewirken einen purpurnen Farbeindruck (FREIER, 1992; SCHULZE, 1975; N. N., 1973).

Der spektrale Reflexionsgrad von Fleischwaren variiert je nach Sorte, Erzeugungsart und Lagerungsbedingungen (siehe Kapitel 2.5 und 2.6), bewegt sich aber dennoch in relativ engen Grenzen. Je enger die Grenzen für den Reflexionsgrad festgelegt werden können, umso leichter ist es, eine Leuchtstofflampe zu entwickeln, die ihre selektive Wirkung auf den Farbeindruck verstärkt (BODMANN, EBERBACH, 1976; SCHMIDT, 2004).

2.2.4.2 Die Lichtfarbe

Die Lichtfarbe bezeichnet das durch eine Lichtquelle abgestrahlte Licht. Unter einer Lichtquelle versteht man die zur Lichterzeugung dienende Lampe (z. B. Glühlampe) oder das beleuchtende Tageslicht. Definiert wird die Farbe des Lichtes über die Wellenlänge (siehe Tab. 1). Bei Betrachtung einer Lichtquelle erhält das Auge des Beobachters einen bestimmten Farbeindruck, gemeint ist demnach die eigentliche visuelle Qualität des Lichts. Die Farbe der Lichtquelle ist allerdings von der Farbwiedergabe-Eigenschaft der Lichtquelle nach DIN streng zu unterscheiden (DIN 6169-1, 1976; RICHTER, 1981).

Die Farbe einer Lichtquelle hängt einerseits von den Einflussgrößen elektrische Lampendaten, Brennlage und Umgebungstemperatur, andererseits von eventuell eingebauten Farbfiltern ab. Letztere werden ebenso wie Linsen, Reflektoren, Streuer, Abschlusscheiben oder Blenden als optische Mittel bezeichnet, die auf die Farbe des abgestrahlten Lichts Einfluss nehmen können. Farbfilter (siehe Kapitel 2.2.5) betonen bestimmte Wellenlängenbereiche. Die anderen optischen Mittel bündeln oder streuen das von der Lichtquelle abgestrahlte Licht, so dass beispielsweise in einem Raumwinkel wesentlich höhere oder niedrigere Lichtstärken als durch die Lichtquelle allein erzeugt werden können (N. N., 1973, N. N., 2009p; SCHULZE, 1975; SCHMIDT, 2004).

Die spektrale Strahlungsverteilung einer Lichtquelle bedingt u. a. die Farbe von Objekten, die mit dieser Lichtquelle beleuchtet werden. Beispielsweise werden der Glühlampe oft optimale Farbwiedergabe-Eigenschaften bescheinigt, obwohl in Praxistests festgestellt wurde, dass bei Glühlampenlicht Blautöne sehr schlecht und Rottöne außergewöhnlich gut wiedergegeben werden. Der langwellige Bereich ist demnach stark überrepräsentiert, so dass im langwelligen Spektralbereich reflektierende Objekte wie z. B. Fleischwaren bei Glühlampenlicht deutlich rötler erscheinen als bei Tageslicht. Die Beleuchtung mit Wolfram-Glühlampen bewirkt bei Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch die höchsten Rotwerte. Soll die Farbe Rot betont werden, ist Glühlampenlicht der Neonröhre vorzuziehen (BARBUT, 2001).

Im Gegensatz zur Glühbirne weist das natürliche Tageslicht in seinen verschiedenen Erscheinungsarten ein vollständiges, relativ ausgewogenes Spektrum mit einer Betonung des kurzwelligen Bereichs auf. Objekte, die vorwiegend im kurzwelligen Spektralbereich reflektieren, erscheinen im Tageslicht leuchtend blau, bei Glühlampenlicht dagegen weisen sie ein dunkles und stumpfes blau auf (EBERBACH, 2001).

Je nach Auswahl und Kombination der Einflussgrößen können nahezu alle Wünsche der Lichtenwender hinsichtlich der Lichtfarbe und Farbwiedergabe erfüllt werden. Für den Bereich der Fleischerzeugnisse ist dies gleichbedeutend damit, den repräsentativen spektralen Reflexionsgrad farblich zum Ausdruck zu bringen. Um Fleischwaren rot erscheinen zu lassen, muss die beleuchtende Lichtart im sichtbaren Spektrum oberhalb von 600 nm einen genügend hohen Strahlungsanteil aufweisen. Dies führt dazu, dass Fleischwaren unter Glühlampenlicht mit einem Rot-Strahlungsanteil von immerhin 70 % appetitlicher aussehen als unter natürlichem Tageslicht mit einem Rot-Strahlungsanteil von nur 34 % (EBERBACH, 2001; SCHMIDT, 2004).

Da die spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung entscheidenden Einfluss auf die Farbe eines Gegenstandes hat, müssen Lichtquellen hinsichtlich ihrer Farbe klassifiziert werden. Hierfür wird der Begriff der Farbtemperatur verwendet, da er nur mit einer einzigen Maßzahl annähernd die spektrale Energieverteilung und somit den Farbeindruck einer Lichtquelle beschreibt. Die Normlichtart D_{65} , mit der in den Messungen der vorliegenden Untersuchungen gearbeitet wurde, wurde von der CIE 1964 mit einer Farbtemperatur von 6500 K definiert (CIE, 1964). Sie hat eine dem Tageslicht entsprechende relative Strahlungsverteilung. Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben und entspricht der Temperatur eines schwarzen Körpers, bei der dieser Licht gleicher Farbe wie die zu kennzeichnende Lichtquelle aussendet. Unter „schwarzem Körper“ ist ein idealer Körper zu verstehen, der die elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen vollständig absorbiert und eine Temperaturstrahlung aussendet, deren spektrale Energieverteilung durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben wird. Dabei ist zu bemerken, dass Farben, die der Mensch als „warm“ empfindet, eine kalte Farbtemperatur haben und umgekehrt (siehe Tab. 4) (N. N., 1997a; N. N., 1997b; RICHTER, 1981).

Ab 01.09.09 gehört die Glühbirne jedoch mit Einführung der neuen EU-Vorschrift VO (EG) 244/2009 der Vergangenheit an. Nach einem festgelegten Stufenplan werden bis 2012 alle Glühlampen vom Markt genommen (VO (EG) 244/2009). Somit ist die appetitliche, die Farbe Rot betonende Beleuchtung von Fleischwaren mit Glühlampenlicht in absehbarer Zeit nicht mehr möglich. Verbraucher müssen auf Energiesparlampen, die den kurzwelligen (blauen) Bereich betonen, zurückgreifen. Da dieses Licht Rottöne ins Bräunliche verfärbt, ist es aber für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischwaren unerwünscht. Aus dieser EU-Vorschrift ergibt sich für die Herstellerfirmen spezieller Lebensmittelbeleuchtung ein neuer Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Farbwiedergabeeigenschaften von Energiesparlampen.

2.2.5 Leuchten, Leuchtsysteme und Farbfilter

Weltweit sind verschiedenste Leuchten und Leuchtsysteme speziell für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen entwickelt worden. Gemeinsame Zweckrichtung ist hier die Verkaufsförderung durch optimale Farbwiedergabe der beleuchteten Produkte.

Die Lampenhersteller bieten sowohl einzelne Komponenten der Leuchtmittel zur Zusammenstellung als auch ganze Systemlösungen an. Verwendet werden Einbau-, Aufbau- oder / und Pendelleuchten als Gehäuse, meistens in Verbindung mit sog. Leuchtstofflampen. Letztere erreichen die höchste Lichtausbeute für weißes Licht, haben eine hohe mittlere Lebensdauer und eignen sich besonders für eigenbeleuchtete Theken, Kühl- oder Wandregale. Ergänzt werden können diese Systeme je nach Wunsch und Zweckrichtung mit den entsprechenden Farbfiltern (BÄRO, 2009b; BÄRO, 2009c). Bei den unter dem Namen „SDW“ im Handel befindlichen Lampen handelt es sich um weiterentwickelte Natriumdampflampen. Deren Lichtfarbe besitzt einen Warmton (bei etwa 2500 K), wirkt aber gleichzeitig sehr hell und brillant (STEINER und SCHARNHORST, 2008).

Farbfilter werden gezielt eingesetzt, um nur einen bestimmten Bereich des Farbspektrums durchzulassen. Sie bestehen aus in Flüssigkeit gelösten Farbstoffen, gefärbten Gläsern, gefärbten Gelatine- oder Kunststofffolien. Vor allem in der Fotografie finden viele verschiedene Filter Verwendung. Beispielsweise kann ein Rotfilter in der Porträtfotografie Hautunreinheiten ausgleichen (SCHÜNGEL, 1999). Ebenso werden sie für die spezielle Beleuchtung von Fleisch bzw. Fleischerzeugnissen eingesetzt, um die attraktive rote Farbe zu unterstreichen. Möglich ist das, da die Grenze des Farbspektrums zu dem blauen Ende hin unscharf ist. Zu dem gelben oder roten Ende hin werden die Grenzen schärfer. Daher ist die scharfe Abtrennung des blauen und grünen Lichts von dem roten Ende des Spektrums möglich (CLAUSS und MEUSEL, 1962; N. N., 1973).

In Anhang E, Tab. 34 bis 40 sind beispielhaft einige der auf dem Markt befindlichen Leuchten und Leuchtsysteme aufgeführt, die einen Eindruck über die zum Kauf zur Verfügung stehenden Lampen vermitteln sollen. Diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.2.6 Rechtliche Anforderungen an die Beleuchtung

Da sich die vorliegende Arbeit mit dem Schutz des Verbrauchers vor Irreführung durch die Beleuchtung von Fleischwaren mit Farbfiltern beschäftigt, sollen im Folgenden die rechtlichen Anforderungen an die Beleuchtung im Lebensmittelbereich besprochen werden.

Zunächst müssen Farbfilter bezüglich des Verbraucherschutzes die Anforderungen des § 11 LFGB erfüllen. Demnach ist es verboten, Lebensmittel, die geeignet sind, den Anschein einer besseren als der tatsächlichen Beschaffenheit zu erwecken, ohne ausreichende Kenntlichmachung gewerbsmäßig in den Verkehr zu bringen (LFGB, 2008; SIMON, 1977; STOLLE, 2001). Nach der deutschen Rechtsprechung ist Irreführung gleichbedeutend mit „zur Täuschung geeignet“. Dabei genügt die bloße Eignung zur Täuschung; eine tatsächliche Täuschung oder gar eine Schädigung des Verbrauchers ist nicht vorausgesetzt. Wird der Eindruck erweckt, dass anscheinend eine bessere als die tatsächliche Beschaffenheit vorliegt, wird das auch mit „Verfälschen“ oder „Schönen“ bezeichnet. Um die Anforderungen des § 11 LFGB erfüllen zu können, darf der Einsatz von Farbfiltern im Lebensmittelbereich demzufolge keinen „schönenden“ Effekt haben (LFGB, 2008; PCM, 2009; SCHMIDT, 2004; SIMON, 1977; ZIPFEL und RATHKE, 2008).

Der eher allgemein gehaltene Inhalt des § 11 LFGB kann somit die Frage, wann die rote Beleuchtung von Fleisch bzw. Fleischerzeugnissen den Tatbestand der Irreführung des Verbrauchers erfüllt, nicht klären. Gleichzeitig war aber genau diese Frage jahrelang Diskussionspunkt, weswegen im Dezember 1987 durch die Berliner Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales und gleichzeitig durch die Fleischer-Innung Berlin Anträge zur Erarbeitung einer DIN-Norm gestellt wurden. Diese Norm sollte spezielle Empfehlungen für Lampen zur Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen beinhalten. Ergebnis war die DIN 10504, auf deren Entstehung und Inhalte in Kapitel 2.2.6.1 näher eingegangen wird. Sie stellte einen Versuch dar, ein Regelwerk zu schaffen, das sich detailliert mit der Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen befasst. Im Jahre 2006 wurde die DIN 10504 aus den in Kapitel 2.2.6.1 genannten Gründen jedoch wieder ersatzlos zurückgezogen. Momentan noch gültig ist die DIN 5035-2, durch die sich ein Missbrauch beim Einsatz von Lampen für die Beleuchtung von Fleischwaren aber nur annähernd ausschließen lässt (DIN 10504, 1996; DIN 5035-2, 1990). Auch auf EU-Ebene existieren keine genaueren Anforderungen an die Beleuchtung von Lebensmitteln – hier ist in der VO (EG) 852/2004 nur erwähnt, dass in Betriebsstätten, in denen mit Lebensmitteln umgegangen wird, eine angemessene natürliche und / oder künstliche Beleuchtung vorhanden sein muss (VO (EG) 852/2004). „Angemessen“ ist dabei nicht weiter definiert.

Abgesehen von den Anforderungen des LFGB und der VO (EG) 852/2004 gibt es noch einige genormte Empfehlungen bezüglich des Arbeitnehmerschutzes. Die Verkaufsraumbeleuchtung soll beispielsweise den Anforderungen der DIN EN 12464-1 entsprechen. Diese enthält spezielle Vorgaben für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen und Arbeitszonen in Metzgereien mit künstlichem Licht (DIN EN 12464-1, 2003; SCHMIDT, 2004). Auch in der Arbeitsstättenrichtlinie sind Empfehlungen für die künstliche Beleuchtung an Arbeitsplätzen enthalten, die aber keine Detailangaben über Thekenbeleuchtungen beinhalten (ASR, 1993). Die drei Letztgenannten beinhalten keine Regelungen zum Verbraucherschutz und werden daher nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Ausgangsüberlegungen betreffen allein die direkte Warenbeleuchtung und deren Zusammenhang mit § 11 LFGB.

2.2.6.1 Entstehung der DIN 10504

Den Auftrag zur Erarbeitung einer verbraucherschützenden DIN (siehe Kapitel 2.2.6) erhielt der Arbeitsausschuss „Lebensmittelhygiene“, der aus unterschiedlichen Sachverständigen (Veterinärmedizinern, Metzgern, Beleuchtungstechnikern, etc.) bestand. Festgestellt wurde, dass die Messung des allgemeinen Farbwiedergabe-Index R_a (vgl. Kapitel 2.2.4) zur Beurteilung einer Irreführung nicht geeignet war, da der R_a -Wert keine Aussage über den enthaltenen Rotanteil ermöglicht (DIN 6169-1, 1976). Daher sollte ein spezieller Kennwert für die Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen entwickelt werden. Umfangreiche praktische Untersuchungen des Arbeitskreises in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Fleischforschung (BAFF) ergaben den Farbwiedergabe-Index R_{FF} , der auf dem Reflexionsverhalten von Brühwurst beruht. Der Arbeitskreis wählte das Produkt Brühwurst, da es etwa die Hälfte aller in den Fleischtheken ausliegenden Produkte ausmacht und auch in anderen Untersuchungen als repräsentativ für die in Verkaufstheken ausgestellten Fleischprodukte befunden wurde (TERSTIEGE, KLETTNER, 1992; STOLLE, 2001). Gleichzeitig musste ein Grenzwert für R_{FF} gefunden werden, bei dessen Überschreitung von einer Verbrauchertäuschung gesprochen werden kann. Dazu wurden wiederholte visuelle Prüfungen durchgeführt, um eine Korrelation zwischen R_{FF} und visuellem Eindruck festzustellen. Bei der Einhaltung eines R_{FF} von ≥ 70 befand der Arbeitskreis zunächst, dass eine Irreführung mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, eine angemessene Warenpräsentation aber durchgeführt werden kann.

Im August 1995 wurde die Erstausgabe der DIN 10504 „Lebensmittelhygiene-Lampen für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen“ veröffentlicht. Ziel war es, den Einsatz von Lampen zu unterbinden, die Verbraucher über das Aussehen von Fleischwaren irreführen können (STOLLE, 2001; SCHMIDT, 2004).

Zwei Lampenhersteller erhoben Einspruch gegen die Normvorlage. Hauptkritikpunkte waren das zu widersprüchlichen Ergebnissen führende Bewertungsverfahren für auszuschließende Lampen, das auf dem Brühwurst-Index R_{FF} beruht, und die Methodik der sensorischen Untersuchungen, die die Farbanpassung des menschlichen Auges (siehe Kapitel 2.2.2.2) unberücksichtigt lassen. Als Sofortmaßnahme wurde daraufhin durch den einberufenen Schiedsausschuss der R_{FF} -Grenzwert von 70 auf 65 herabgesetzt und es folgten weitere Untersuchungen. Diese ergaben, dass Lichtquellen mit niedriger Farbtemperatur (unter 3000 K) öfter irreführend bewertet wurden als Lampen höherer Farbtemperaturen bei gleichem R_{FF} . Deshalb wurde als weiterer technischer Kennwert die Farbtemperatur aufgenommen. Zudem erfolgte die Erweiterung des Anwendungsbereiches auf sogenannte Beleuchtungssysteme. Dabei handelt es sich um Lichtsysteme, die eine Einheit aus Lampe und Leuchte darstellen und somit nicht nur der reinen Beleuchtung dienen, sondern gleichzeitig Ansprüche an Dekoration, Gestaltung, Energieeffizienz und Atmosphäre erfüllen. Auch werden Beleuchtungssysteme immer häufiger statt reiner Leuchtstofflampen in Fleischtheken verwendet (STOLLE, 2001; N. N., 2005a).

Um die in der Kritik stehende Entscheidung für das Modell „Brühwurst“ zu überprüfen, erfolgten alle weiteren Abmusterungen anhand eines Probensortiments bestehend aus Schweinefleisch, Rindfleisch, Rohwurst, Leberwurst und Brühwurst. Da nach Auswertung eindeutig festgestellt wurde, dass der Farbwiedergabe-Index R_{FF} engere Korrelationen zum visuellen Eindruck ergab als der allgemeine Farbwiedergabe-Index R_a , wurde das ursprünglich gewählte Brühwurst-Modell beibehalten (N. N., 2005b; STOLLE, 2001).

Im August 2001 wurde die überarbeitete Fassung der DIN veröffentlicht, die wiederum kritisiert wurde. PÖHLE und WIDELL vertraten die Meinung, die physikalischen Lampen-Kenndaten würden das tatsächliche Farbwahrnehmungsvermögen des Menschen nicht adäquat widerspiegeln können und wären daher zur Regelung des Einsatzes der Beleuchtung von Fleischwaren nicht geeignet (PÖHLE und WIDELL, 2001).

Zu dieser Ansicht gelangten sie nach einer ausführlichen Untersuchung, in der sie elf verschiedene Lichtarten auswählten, die ein großes Spektrum der häufig im Einsatz befindlichen Lichtquellen für die Beleuchtung von Fleisch- und Wurstwaren darstellen. Bewertet wurden Hackfleisch, Kochschinken und ein Brühwurstprodukt verschiedener Frischezustände und Qualitäten durch zwölf für die Sensorik geschulte Prüfpersonen.

Literatur

Die Farbanpassung des menschlichen Auges wurde dabei berücksichtigt. Es konnte nachgewiesen werden, dass vorgegebene, unter Tageslicht erkennbare geringe Farbunterschiede aller getesteten Fleischwaren auch bei allen untersuchten Lichtarten beim Parameter Farbe signifikant unterschiedlich bewertet wurden. Beim Vergleich der Ergebnisse der getesteten Lichtarten untereinander konnte hingegen nur für die tageslicht-ähnliche Lichtart mit sehr niedrigem Rot-Strahlungsanteil ein tendenzieller Einfluss auf die Einschätzung der Farbe ermittelt werden. Für die anderen zehn getesteten Lichtarten wurde die Farbe gleichartiger Fleischwaren im Rahmen der individuellen Streuung jeweils gleich bewertet. PÖHLE und WIDELL schlossen daher bei den getesteten Beleuchtungsvarianten eine Irreführung des Verbrauchers hinsichtlich der Erkennung von Farbunterschieden aus (DIN 10961, 1996; PÖHLE und WIDELL, 2001; DIN 10504, 1996).

Im Rahmen der Diskussion um die Inhalte der DIN 10504 wurden in den Jahren 2000 und 2001 in einer sensorischen Untersuchungsreihe an der Bundesanstalt für Fleischforschung (BAFF) Rindfleisch, Schweinefleisch, Rohwurst, Brühwurst und Kochwurst (Leberwurst) einer paarweisen Vergleichsprüfung (siehe Kapitel 2.3.4.1) unterzogen. In dem darüber erstellten Gutachten von BUSCH-STOCKFISCH sind die Ergebnisse auf die Frage, ob unterschiedlich rot beleuchtete Produkte unzulässig rot gegenüber der Referenzbeurteilung bei Tageslicht erscheinen, festgehalten. Die Ergebnisse sind in Anhang E in den Tabellen 34, 35 und 36 zusammengefasst (BUSCH-STOCKFISCH, 2002).

Im Ergebnis wurde die DIN 10504 zehn Jahre nach ihrer Erstveröffentlichung ersatzlos zurückgezogen, da einige Streitpunkte der Beleuchtungsproblematik durch ihre Inhalte nicht ausreichend geklärt werden konnten.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass alle Untersuchungen im Rahmen der Entstehung und / oder inhaltlichen Infragestellung der DIN 10504 die repräsentative Wertigkeit der Brühwurst als Untersuchungsobjekt für Farbmusterungen bestätigt. Ebenso wird die Bedeutung und Wertigkeit der Sensorik im Lebensmittelbereich hervorgehoben. Daher wurde in dem praktischen Teil dieser Arbeit auch eine sensorische Auswertung des Probenmaterials (siehe Kapitel 3.2.1.2) durchgeführt. In der Folge erschien es angebracht, einen Überblick über den Wissenschaftszweig „Sensorik“ zu vermitteln.

2.3 Sensorik als Grundlage der Lebensmittelprüfung

In diesem Kapitel sind wichtige, grundsätzliche Einsatzbereiche und Methoden der Sensorik, sowie Anforderungen an die Prüfpersonen und deren Arbeitsumfeld dargestellt.

Nach der DIN 10950-2 ist die Sensorik definiert als die Wissenschaft vom Einsatz menschlicher Sinnesorgane (Auge, Nase, Mund, Ohren und Hände) zu Prüf- und Messzwecken. Sie entwickelte sich seit ihren Anfängen in Skandinavien in den 40er-Jahren zu einer heute wissenschaftlich anerkannten, eigenständigen Analysemethode mit einheitlichen Prüfverfahren, die eine statistische Auswertung möglich machen. In vielen Bereichen stellt die Sensorik eine wertvolle Hilfe für die Ermittlung der Qualität von Lebensmitteln dar (BABEL, 2001; DIN 10950-2, 2000; FLIEDNER, WILHELMI, 1989; PAULUS, KOCH, 2000; FRICKER 1984; DÜRRSCHMID 2008).

Hierzu zählen beispielsweise die amtliche Lebensmittelüberwachung, Qualitätsvergleiche bei Wettbewerben, Qualitätskontrollen im betrieblichen Rahmen und dergleichen. Synonym werden die Begriffe Organoleptik und Sinnenprüfung verwendet (KRAUSSE und KOTTER 1989; MAHLER, 2004; PAULUS, KOCH, 2000).

Aufgrund der Wertigkeit der Sinnenprüfung erarbeitete der Arbeitskreis Sensorik, der dem Deutschen Institut für Normung (DIN) angehört, etliche Normen für diesen Bereich. Dazu gehören DIN-Normen über die Abläufe sensorischer Prüfverfahren sowie Anforderungen an die Prüfpersonen und Prüfräume. Teilweise flossen deren Inhalte auch in die Amtliche Sammlung von Verfahren zur Probenahme und Untersuchung von Lebensmitteln nach § 64 LFGB ein. Diese Methodensammlung über Untersuchungsverfahren wird jährlich aktualisiert und veröffentlicht (AMTLICHE SAMMLUNG, 2009).

Die Lebensmittelsensorik im speziellen wird als Teilgebiet der Psychologie gesehen. Sie beschäftigt sich mit dem Erleben und Verhalten von Menschen in Konfrontation mit einem Lebensmittel (DÜRRSCHMID, 2008). Grundsätzlich unterschieden wird die objektive Produktwahrnehmung, die durch geschulte Testpersonen in analytischen Tests ermittelt wird von den hedonischen Prüfungen, welche die subjektive Akzeptanz oder Präferenz von Produkten durch Konsumenten in Erfahrung bringen wollen (siehe Kapitel 2.3.4 ff) (DERNDORFER, 2006).

2.3.1 Prüfpersonen

Nur der Mensch ist in der Lage, unterschiedliche Ausprägungen von Eigenschaften eines Lebensmittels in ihrer Gesamtheit wahrzunehmen. Daher gewinnt die Lebensmittelsensorik vor allem in Fragen der Verbraucherakzeptanz zunehmend an Bedeutung (DÜRRSCHMID, 2008; DERNDORFER, 2006).

Sensorische Prüfungen sind unabhängig von Geschlecht, Bildungs- und Intelligenzgrad. Allerdings kann nicht jeder Mensch vorbehaltlos an sensorischen Untersuchungen teilnehmen. Da allein der Sinneseindruck zum Untersuchungsergebnis führt und die sensorischen Ergebnisse auf der individuellen Erfahrung des Beobachters beruhen, haben Zustände wie Hunger, Übersättigung und Durstgefühl großen Einfluss auf das sensorische Wahrnehmungsvermögen. Daher sollen derartige Einflussfaktoren weitgehend eliminiert werden (siehe Kapitel 2.3.2) (DÜRRSCHMID, 2008). Zusätzlich spielen psychische Dispositionen (z. B. Ausgeruhtheit, Stress) eine Rolle (FRICKER, 1984; PRÄNDL et al., 1988a). Um Prüfpersonen bestmöglich auf ihre Aufgaben vorzubereiten, können die sensorischen Fähigkeiten z. B. durch Schulungen gezielt gesteigert, die Konzentrationsfähigkeit erhöht, das Bewusstwerden von Geschmackseindrücken und die Fähigkeit zur Zerlegung eines Gesamteindrucks in einzelne Geschmackskomponenten verbessert werden (FRICKER, 1984; PRÄNDL et al., 1988a).

Dennoch bleiben die den Menschen grundsätzlich zur Verfügung stehenden Sinne (siehe Kapitel 2.2.2 und 2.3.3 ff) verschieden, ebenso wie die Fähigkeit, die Impressionen in Worte zu fassen. Sensorisch ermittelte Ergebnisse sind somit immer subjektiv.

Unter den Prüfpersonen oder Sensoren unterscheidet man Laien, Unterwiesene Laien, Prüfer, Sachverständige und Sensoriker. Laien sind ungeschulte, uneingewiesene Prüfpersonen. Unterwiesene Laien sind kurz in ihre Aufgabe eingewiesen, aber nicht speziell geschult worden. Ihr wahrgenommener Sinneseindruck stellt eine subjektive Aussage über die Prüfprobe dar, sie werden meist zur Ermittlung der Verbraucherakzeptanz herangezogen. Speziell geschulte Prüfer und Sachverständige führen komplexere Untersuchungen durch, da an sie aufgrund ihrer Qualifikationen höhere Anforderungen gestellt werden können. Sensorisch geschulte Prüfer haben mittels eines Prüferpasses der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) ihre Qualifikation nachgewiesen. Sachverständige sind nicht nur als Prüfer qualifiziert, sondern zusätzlich produktspezifisch geschult. Sie haben produktspezifische, technologische Kenntnisse und Erfahrungen und prüfen gleiche Produkte häufig (DIN 10950-1, 1999; DIN 10961, 1996; FLIEDNER, WILHELMI, 1989; NEUMANN, MOLNÁR, 1991).

2.3.2 Prüfbedingungen

Unabdingbar für analytische Tests sind sorgfältige Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Sinnenprüfung (PRÄNDL et al., 1988a; DÜRRSCHMID, 2008).

Die Probenvorbereitung erfolgt räumlich getrennt von der Durchführung der Prüfung. Die Proben werden neutral codiert und der üblichen Verzehrsgewohnheit entsprechend geprüft. Die Prüfpersonen können einzeln oder in Gruppen, mit oder ohne Gedankenaustausch prüfen. Die grundsätzlichen Fragestellungen müssen vor Beginn der Testreihe klar formuliert werden. Des Weiteren sollen Prüfpersonen nicht durch störende Geräusche und Gerüche abgelenkt werden und ihnen soll ausreichend Platz zur Verfügung stehen. Während der Prüfung soll ein Bericht gefertigt werden, aus dem die Prüfbedingungen und –ergebnisse ersichtlich sind (ALTS 1993; DIN 10962, 1997; PAULUS, KOCH, 2000).

Die Prüfung soll nicht unmittelbar nach einer Mahlzeit oder hungrig durchgeführt werden, die Prüfer dürfen zwei Stunden vor und während ihrer Prüfarbeit nicht rauchen. Zur Probenneutralisierung sollen Weißbrot und stilles Mineralwasser zur Verfügung stehen. Dadurch können Geschmacksstoffe aus den Geschmackspapillen der Zunge schneller und nachhaltiger gelöst werden. Die Papillen regenerieren so ihre Fähigkeiten für die Neuaufnahme eines Geschmacks. Ist die Probe außergewöhnlich fett, soll hochprozentiger Alkohol zur besseren Lösung des Fettes aus den Papillen gereicht werden. Das Tragen von Parfüm, Rasierwasser, Lippenstift o. ä. sollte unterbleiben, auch sollte die Prüfung nicht in übermüdetem Zustand durchgeführt werden (KRAUSSE und KOTTER, 1989; FLIEDNER, WILHELMI, 1989).

2.3.3 Die Sinneseindrücke

Die Eindrücke, die der Mensch über seine Sinne wahrnehmen kann, können untergliedert werden. Dabei läuft die sensorische Wahrnehmung jeden Sinnes über mehrere Stufen.

Zunächst müssen Sinneseindrücke empfangen bzw. aufgenommen werden. Anschließend muss ein Bewusstwerden des Eindrucks stattfinden und behalten werden bevor die Empfindung verglichen oder eingeordnet werden kann. Über ein folgendes Merken kann der Eindruck beschrieben bzw. wiedergegeben und so beurteilt / bewertet werden (DIN 10950-2, 2000; PRÄNDL et al., 1988a).

2.3.3.1 Die visuelle Wahrnehmung

Zunächst wird die vorgelegte Probe visuell wahrgenommen. Dabei werden Farbe, Form, Oberfläche, Größe, Glanz, Trübheit, Struktur und Gefüge mit den Augen erfasst (DEETJEN und SPECKMANN, 1992). Der genaue Ablauf ist in Kapitel 2.2.2 ausführlich beschrieben.

2.3.3.2 Die olfaktorische Wahrnehmung

Unter diesem Begriff werden Sinneseindrücke zusammengefasst, die durch das Riechepithel der oberen Nasenmuschel wahrgenommen werden. Es gibt ca. 30.000 unterschiedliche Riechstoffe, von denen der Mensch ca. 200 bis 4000 differenzieren kann (MAHLER, 2004). Dazu bedarf es einer Reizung der Geruchsnerve, die sich im Bereich der oberen Nasenmuschel befinden (Riechepithel). Die dort befindlichen Nervenfaserbündel führen durch das Siebbein in den Riechlappen und von dort zum Großhirn. Intensiviert werden kann die Geruchsempfindung durch mehrmaliges Schnüffeln, da beim normalen Atmen nur ca. 3 % der geruchstragenden Moleküle die Schleimhaut erreichen. Durch das Schnüffeln kann die Einatemluft, die das Riechepithel erreicht, auf bis zu 20 % gesteigert werden. Neben der direkten Geruchswahrnehmung durch die Nase werden zusätzlich während des Verzehrs eines Produktes Gerüche wahrgenommen, da zwischen Mundhöhle und Nasenhöhle eine direkte Verbindung besteht. Festgestellt werden kann diese Art der Geruchswahrnehmung mittels des Skramlik-Tests. Dabei werden einem Probanden die Augen verbunden, eine Nasenklemme aufgesetzt und nacheinander verschiedene Geschmacksstoffe in den Mund gegeben. Dies kann z. B. Apfel und Zwiebel sein. Zunächst wird nur durch den Mund kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Proben wahrgenommen, erst wenn ausgeatmet und die Nasenklemme entfernt wird, kann der Unterschied erkannt werden (FLIEDNER, WILHELMI, 1989; NEUMANN, MOLNÁR, 1991). Der Geruchssinn vermittelt auch einen Eindruck über den Frischezustand eines Lebensmittels und stellt dadurch einen Schutz vor dem Verzehr übelriechender oder verdorbener Nahrung dar (SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 2001). Als Geruchsqualitäten können fruchtig, blumig, aromatisch und würzig unterschieden werden. Der Sinneseindruck wird nach Art, Intensität und Ablauf angegeben. Beschrieben werden Aroma, Neben-, Fehl-, Anfangs-, Haupt und Nachgeruch. Unter Aroma ist die Gesamtheit von gustatorischer und olfaktorischer Wahrnehmung zu verstehen. Daher wird der Begriff auch in Kapitel 2.3.3.6 noch einmal angesprochen (PAULUS, KOCH, 2000; SCHMIDT und THEWS, 1993; PRÄNDL et al., 1988a).

2.3.3.3 Die gustatorische Wahrnehmung

Darunter versteht man alle geschmacklichen Eindrücke. Süße, saure, salzige und bittere Geschmacksstoffe reizen unterschiedliche Regionen der Zungenschleimhaut (siehe Abb. 7) Daneben gibt es noch die Geschmacksqualität umami, die so viel wie fleischig, herzhaft und wohlschmeckend bedeutet. Auf der Zunge befinden sich die Geschmackspapillen, welche die sog. Geschmacksknospen enthalten. Deren Sinneszellen leiten die über Nervenendigungen der Gehirnnerven (Nr. VII, IX, X) aufgenommenen Reize zum Gehirn weiter. Dort erst kann der Reiz wahrgenommen, verarbeitet und in Worte gefasst werden (NEUMANN, MOLNÁR, 1991).

Aus der unterschiedlichen Verteilung der Rezeptoren für süß, sauer, salzig und bitter auf der Zunge folgt für die sensorische Untersuchung die Pflicht, aufgenommene Lebensmittel gut zu zerkleinern und gleichmäßig im Mund zu zerteilen (FLIEDNER, WILHELMI, 1989).

Um die Aufnahme neuer Eindrücke zu ermöglichen, ist jede Papille an ihrer Basis von Spüldrüsen umgeben. Sie schwemmen regelmäßig die Geschmacksstoffe aus. Unterstützt wird diese Geschmacksneutralisierung durch das Kauen von Weißbrot oder dem Trinken von stillem Mineralwasser. Bei sehr fetthaltigen Proben wird die Aufnahme von Alkohol empfohlen, da Fett hierin besser lösbar ist. Die Neutralisierung der Zungenpapillen soll zwischen jedem Probiervorgang durchgeführt werden (SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 2001).

Diese Sinneseindrücke werden nicht isoliert empfunden, sondern stehen in Verbindung mit anderen Geruchs- und Aromaeindrücken. Differenziert werden Nach-, Fehl-, Anfangs-, Haupt- und Nachgeschmack sowie Aroma (FRICKER, 1984; SCHMIDT und THEWS, 1993).

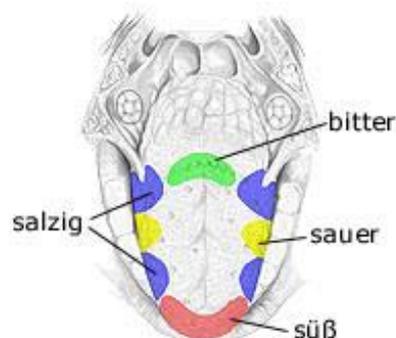


Abb. 7: Empfindungsregionen für Geschmacksstoffe auf der Zunge

Mit freundlicher Genehmigung von www.gesundheit.de (N. N., 2009m)

2.3.3.4 Die haptische Wahrnehmung

Unter haptischer Wahrnehmung ist das aktive Erfühlen von Sinneseindrücken zu verstehen. Sie werden durch die Schleimhäute des Mundes und der Hände vermittelt. Unterschieden werden Tast-, Temperatur- und Schmerzsinne. Verschiedene Rezeptoren sind für die Vermittlung dieser Eindrücke zuständig. Auf Druck reagieren die Merkel-Zellen und Tastscheiben. Für Berührung empfindlich sind die Meissnerschen Körperchen und Haarwurzelrezeptoren, Vibrationen werden von den Pacinischen Körperchen wahrgenommen. Daneben gibt es Thermorezeptoren, welche als Warm- ($> 36^{\circ}\text{C}$) und Kaltrezeptoren ($< 36^{\circ}\text{C}$) die Unterscheidung zwischen verschiedenen Temperaturen ermöglichen. Liegt die Temperatur über $+ 45^{\circ}\text{C}$ oder unter -17°C , geht die Temperatur- in die Schmerzempfindung über (ZIMMERMANN, 1995; SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 2001).

Darüber hinaus wird zwischen Tast- und kinästhetischem Sinn unterschieden. Ersterer befasst sich mit statischen Oberflächeneindrücken (rau, glatt, etc.), letzterer mit eher dynamischen Eigenschaften (zäh, sehnig, etc.) des Materials (NEUMANN, MOLNÁR, 1991).

Die angesprochenen Rezeptoren wirken bei der Wahrnehmung von Härte, Weichheit, Zartheit, Bindung, Bigsamkeit, Kaubarkeit, Konsistenz, Körnigkeit usw. eines Lebensmittels zusammen. Bei Zubereitung und Verzehr desselben führen diese Beurteilungsmerkmale zu Eindrücken beim Verbraucher, die mit zur Qualitätsbeurteilung herangezogen werden. Geschmacksreize gehören nicht dazu, sie fallen unter den Begriff der gustatorischen Wahrnehmung (FLIEDNER, WILHELMI, 1989; TILGNER, 1979; JELLINEK, 1981).

2.3.3.5 Die auditive Wahrnehmung

Die auditive Wahrnehmung erfolgt über die Ohren, wobei als Übertragungsmedium der Schall dient. Dieser wird zunächst vom Außenohr aufgenommen. Von dort wird er auf das Trommelfell, das sich im Mittelohr befindet, übertragen. Das Trommelfell wird dadurch in Schwingungen versetzt, die sich über die Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) in die Endolymphe des Gleichgewichtsorgans im Innenohr fortsetzen. Mit der schwingenden Membran verbundene Nervenfasern wandeln nun den Reiz in neuronale Impulse um. Diesen ersten Teil der Geräuschwahrnehmung mit den Ohren bezeichnet man als peripheres Hören. Das anschließende Weiterleiten der Impulse über den Hörnerv an das Gehirn bezeichnet man als zentrales Hören.

Zur sensorischen Beurteilung von Lebensmitteln ist das Gehör von Bedeutung, da die beim Zerkauen entstehenden Geräusche (knackig, knusprig, etc.) wahrgenommen werden können. Dasselbe gilt für Geräuschvorgänge, die außerhalb des Kauens entstehen – z. B. das Drücken auf eine Semmel oder das Brechen eines Würstchens (FLIEDNER, WILHELMI, 1989; KLINKE und SILBERNAGL, 1996; NEUMANN, MOLNÁR, 1991; SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 2001).

2.3.3.6 Flavour

Der Begriff Flavour bezeichnet den Gesamtsinnesindruck von olfaktorischen, gustatorischen und haptischen Empfindungen beim Schmecken. Im deutschsprachigen Raum wird für Flavour des Öfteren der Begriff „Gesamtgeschmack“ benutzt, der jedoch nicht korrekt ist, weil er nur auf die gustatorischen Eindrücke hinweist (FLIEDNER, WILHELMI, 1989; DIN 10950-2, 2000).

2.3.4 Sensorische Untersuchungsmethoden

Da sensorische Untersuchungsmethoden in vielen Aufgabenbereichen (z. B. Akzeptanztests, Qualitätsbeurteilungen, etc.) angewendet werden können, wurden verschiedene Prüfverfahren entwickelt. Grundsätzlich unterschieden wird zwischen analytischen (siehe Kapitel 2.3.4.1 bis Kapitel 2.3.4.3) und hedonischen (siehe Kapitel 2.3.4.4) Verfahren. Analytische Prüfungen werden von Prüfern oder Sachverständigen möglichst objektiv nach vorgegebenen Kriterien durchgeführt. Hedonische Prüfungen sind Beliebtheitsprüfungen. Sie werden vorrangig zu Marktforschungszwecken oder Verbraucherbefragungen eingesetzt (PAULUS, KOCH, 2000).

2.3.4.1 Unterschiedsprüfungen (Diskriminierende Prüfung)

Bei der Paarmethode (Duo Test) soll beim direkten Vergleich zweier Proben herausgefunden werden, ob ein Unterschied vorhanden ist und wenn ja, in welchem Kriterium (DIN 10954, 1997; FLIEDNER, WILHELMI, 1989). Diese Methode wurde bei den sensorischen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit in Kombination mit einer einfach beschreibenden Prüfung angewandt und wird in Kapitel 3.2.1.2 detailliert beschrieben.

Bei der Dreiecksprüfung (Triangel Test) werden die Proben in Dreiergruppen geprüft, wobei jede Dreiergruppe zwei identische und eine abweichende Probe enthält. Die abweichende Probe soll ermittelt werden (KIERMEIER, HAEVECKER, 1972; DIN ISO 4120, 2005).

Die Duo-Trio-Prüfung ist eine Mischung aus Duo- und Triangel-Test, hier werden ebenfalls drei Proben vorgelegt, wovon eine den Standard darstellt. Durch einen direkten Vergleich der beiden anderen Proben sollen Übereinstimmungen oder Unterschiede festgestellt werden (DIN 10971, 2003). Als Erweiterung von Dreiecks- und Duo-Trio-Prüfung ist die Tetradenmethode entwickelt worden. Die Prüfperson erhält vier Proben, wovon zwei jeweils identisch sind. Die abweichende Probe ist durch Vorlage unterschiedlicher Dreierkombinationen herauszustellen (NEUMANN, MOLNÁR, 1991).

2.3.4.2 Beschreibende Prüfungen (Deskriptive Prüfungen)

Mit diesen Verfahren werden einzelne Merkmale oder der Gesamteindruck in Bezug auf sensorische Standards beschrieben. Dadurch können Einflussfaktoren bei der Herstellung, Lagerung, Zubereitung usw. festgestellt werden. Die Beschreibung soll möglichst wertneutral erfolgen, denn beschreibende Prüfungen werden vor allem zur Erstellung von Spezifikationen eingesetzt (FLIEDNER, WILHELMI, 1989).

Zunächst ist hier die einfach beschreibende Prüfung (DIN 10964, 1996) zu nennen, die zusammen mit der Paarmethode Grundlage für die Sensorik dieser Arbeit war. Eine genaue Beschreibung erfolgt daher in Kapitel 3.2.1.2. Daneben gibt es die Profil-Prüfung, bei der die Merkmale in der Reihenfolge ihres Auftretens und nach ihrer Intensität beschrieben werden. Dieses Prüfverfahren findet besonders bei der Produktentwicklung und bei der Erstellung von Bewertungsschemata Anwendung (FRICKER, 1984; DIN 10967-1, 1999).

Verdünnungsprüfungen werden zur Ergänzung von Profil-Analysen, bei Rezepturfragen, einer Fehlersuche, zur Feststellung von Einflussfaktoren und zur Schulung und Auslese von Prüfpersonen eingesetzt (KIERMEIER, HAEVECKER, 1972). Hier soll durch das Herstellen einer Verdünnungsreihe ein Schwellenwert ermittelt werden, bei dem die hauptsächlichen Geruchs- und Geschmackskomponenten gerade noch erfassbar sind, oder anders gesagt, die Intensitätsunterschiede des zu prüfenden Merkmals messbar werden. Der Schwellenwert beruht darauf, dass ca. 50 % einer beliebig zusammengesetzten Gruppe von Prüfpersonen das betreffende Merkmal erkennen (JELLINEK, 1981). Als Reizschwelle bezeichnet man die niedrigste Konzentration eines Merkmals, bei der eine Veränderung, nicht aber das Merkmal selbst, erkannt wird. Bei der Erkennungsschwelle wird das Merkmal erstmals erkannt.

Nach Überschreitung der Sättigungsschwelle führt eine weitere Erhöhung der Konzentration zu keiner Verstärkung des sensorischen Eindrucks. Der kleinste noch wahrnehmbare Unterschied ist die Unterschiedsschwelle (KRAUSSE und KOTTER, 1989; PRÄNDL et al., 1988a).

Eine Kombination der beiden letztgenannten Methoden ist die Verdünnungsprofilmethode. In jeder Verdünnungsstufe wird das Profil ermittelt. Einzelne Noten treten dabei nur in bestimmten Verdünnungen auf (FRICKER, 1984; JELLINEK, 1981).

2.3.4.3 Bewertende Prüfungen

Die Anforderung an bewertende Prüfungen ist, die produktspezifischen Eigenschaften oder allgemeinen Qualitätsbegriffe eines Produktes anzugeben, indem Abweichungen bewertet werden. Bei der Rangordnungsprüfung werden mehrere Proben (max. 12) nach der Intensität in einem oder mehreren Merkmalen auf- oder absteigend geordnet. Vereinfacht kann diese Prüfung auch als Unterschiedsprüfung durchgeführt werden. Dieses Verfahren wird vor allem dann empfohlen, wenn eine bewertende Prüfung mit Skale zu aufwendig ist (KIERMEIER, HAEVECKER, 1972; DIN 10963, 1997; ISO 8587, 2003).

Bei der bewertenden Prüfung mit Skale wird die Bewertung verschiedener Merkmale nach einer zuvor festgelegten Notenskala von 1 – 9 (wobei die höheren Zahlen eine bessere Qualität bezeichnen), vorgenommen (FLIEDNER, WILHELMI, 1989). Dieses Verfahren wird am häufigsten zur Qualitätsbeurteilung oder Bewertung von technologischen Verfahren, sowie bei Prämierungen usw. angewandt. So bedient sich auch die DLG bei ihren Qualitätswettbewerben einer 5-Punkte-Skala (5 = sehr gut, 0 = ungenügend) (DLG, 2002).

2.3.4.4 Hedonische Prüfung

Sie wird im Sensoriklabor von ungeschulten, normalen Konsumenten durchgeführt und ist auch als „affektive Prüfung“ bekannt. Da die Laborumgebung für Laien immer ein ungewohntes Ambiente darstellt, soll die Gruppe der Testpersonen ausreichend groß gewählt werden, um wissenschaftlich und statistisch signifikante Ergebnisse zu erzielen. Die Ergebnisse dienen der Feststellung der Beliebtheit und Akzeptanz von Produkten und werden daher besonders in den Bereichen Marktforschung und Verbraucherbefragungen angewandt (PRÄNDL et al., 1988a; PAULUS, KOCH, 2000) (siehe auch Kapitel 2.3).

2.3.4.5 Elektronische Sensorik

Alternativ zu menschlichen Prüfern wird seit 2002 die „elektronische Nase“ in der Routinekontrolle von Geruch und Aroma von Nahrungsmitteln eingesetzt. Sie besteht aus einem System von Sensoren, die für verschiedene flüchtige chemische Verbindungen eine Empfindlichkeit aufweisen und diese in elektrische Signale umsetzen. Die Impulse werden im Computer nach der Hauptkomponentenanalyse (einem mathematischen Modell) verarbeitet (KÜHNE, 2002). In einer Veröffentlichung von TAN et al. ist beschrieben, dass flüchtige Aromastoffe und Substanzsysteme, die mit unseren Geschmacksorganen in Wechselwirkung treten, erfasst werden können. Die Begriffe „Substanzsysteme“ und „Geschmacksorgane“ sind nicht näher definiert. Bei Bier und Sirup-Konzentraten in Fruchtsäften wurden sehr gute Ergebnisse erzielt. Wie weit sich derartige Systeme im Fleischbereich einsetzen lassen, muss abgewartet werden. Die eventuell zu erwartenden Probleme sind ähnlich dem Menschen. Werden sie von Eindrücken überflutet, besteht die Gefahr der Übersättigung. Das Ergebnis ist nicht verwertbar (TAN et al., 2001).

2.4 Grundlagen für die physikalische Farbmessung

Im zweiten Teil der vorliegenden Versuchsreihe wurde das zuvor sensorisch bewertete Untersuchungsmaterial zusätzlich physikalischen Farbmessungen unterzogen. Daher sollen im Folgenden Grundlagen der physikalischen Messverfahren vermittelt werden.

2.4.1 Messverfahren

Messverfahren dienen der objektiven Farbbeschreibung. Mit Hilfe der Ergebnisse werden Koordinatensysteme erstellt, durch welche die Normfarbwertanteile x , y und z bestimmt werden können. Farbe wird dadurch zu einer mathematischen Größe (BERGMANN und SCHAEFER, 1974; RICHTER, 1981). Verschiedene Möglichkeiten der objektiven Farbbeschreibung sind in der Literatur beschrieben. FIGURA beschreibt die Mikroskopie von Lebensmitteln, die mit automatischen Bildanalysesystemen gekoppelt wird (FIGURA, 2004). LU et al. und O’SULLIVAN et al. stellen die Verwendung einer Kamera mit angeschlossenem Computer dar. Die Kamera nimmt ein Bild von der Messposition auf, der Computer errechnet aus dem Photo die Farbmaßzahlen.

Die Auswertung erfolgt hier über eine größere Fläche als bei den Farbmesskameras der Firma Minolta (siehe Kapitel 2.4.3), dadurch werden Inhomogenitäten besser berücksichtigt (LU et al., 2000; O'SULLIVAN et al., 2003). Ein anderer Weg, Farbmaßzahlen zu ermitteln, ist das Spektralverfahren. Hier wird Licht durch ein Prisma in seine Wellenlängen zerlegt (siehe Abb. 1) und anschließend in 5 nm- bis 10 nm-Schritten abgetastet (BERGMANN und SCHAEFER, 1974; SIMON, 2007).

Die beiden o. g. Verfahren werden nur der Vollständigkeit halber angeführt. Als Grundlage für die Versuchsreihe dieser Arbeit dienten die beiden nachfolgend beschriebenen Verfahren.

2.4.1.1 Gleichheitsverfahren

Bei dem Gleichheitsverfahren dient das menschliche Auge als Messgerät. Die Farbe eines vorgelegten Gegenstands wird mit dem bloßen Auge mit der Farbe eines genormten Farbatlas (z. B. nach RAL, siehe Kapitel 2.2.3.3) verglichen. Der Farbatlas muss genormt sein, da die Farbmaßzahlen der Vergleichsfarben bekannt sein müssen. Ist die gesuchte Farbe im Atlas nicht vorhanden, muss eine Entscheidung zwischen zwei Farben getroffen werden. Die Prüfung darf nur von farbnormalsichtigen Menschen bei neutraler Beleuchtung durchgeführt werden. Es sollte immer von mehreren Personen gleichzeitig durchgeführt werden, um subjektive Wertungen möglichst auszugleichen (BERGMANN und SCHAEFER, 1974; DIN, 1993; PRÄNDL et al., 1988a). Das Gleichheitsverfahren wurde bei den sensorischen Untersuchungen dieser Arbeit angewendet.

2.4.1.2 Dreibereichsverfahren

Von einem Dreibereichsverfahren spricht man, wenn die Farbmaßzahlen über eine fotometrische Messung ermittelt werden. Die Farbmessung wird dabei durch drei getrennte Empfänger durchgeführt, die drei Signale liefern, die den Größen X, Y und Z entsprechen. So kann der Farbort in der Normfarbtabelle (siehe Abb. 2) bestimmt werden. Sollen die gewonnenen Messwerte mit dem menschlichen Auge bestätigt werden, muss die spektrale Empfindlichkeit dieser Empfänger mit den für das Auge des Normalbeobachters ermittelten Spektralwertkurven $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ in Übereinstimmung gebracht werden. Dem Strahlungsempfänger werden dazu austauschbare Farbfilterkombinationen (rot, grün, blau) vorgeschaltet.

Dadurch wird die spektrale Empfindlichkeit dem Normalbeobachter (siehe Kapitel 2.4.2.3) angepasst (BERGMANN und SCHAEFER, 1974; DIN, 1993; GEUTLER, 1974). Die Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera, die für die physikalischen Farbmessungen dieser Arbeit verwendet wurde, arbeitet mit dem Dreibereichsverfahren (siehe auch Kapitel 2.4.3).

2.4.2 Voraussetzungen für vergleichbare Farbmessungen

Für jeden physikalischen Messvorgang müssen einheitliche Kriterien festgelegt werden, damit die Farbmessungen vergleichbar werden. Nur durch diese Standardisierung ist ein Vergleich auch zwischen verschiedenen Forschungen und eine Qualitätssicherung möglich (HONIKEL, 2000; HONIKEL, 2007a).

2.4.2.1 Die Lichtart

Zunächst muss die Messung bei einer definierten Lichtart erfolgen. Die Lichtart ist dann definiert, wenn ihre spektrale Verteilung bekannt ist. Ist die Lichtart definiert und erfüllt sie die weiteren Kriterien, die für Normlicht in der ISO 3664 gefordert werden, wird sie als „Normlichtart“ durch die CIE geführt (CIE, 1971; ISO 3664, 2000; KLETTNER und STIEBING, 1980).

- Für die meisten Farbmessungen wird die Normlichtart D_{65} ($D = \text{Daylight}$) empfohlen. Diese ist definiert als eine dem mittleren natürlichen Tageslicht inklusive dem UV-Anteil entsprechende Lichtart mit einer Temperatur von ungefähr 6500 K (siehe Tab. 4 und Abb. 8) (BERGER-SCHRUNN, 1994; DIN 1993) Die in Kapitel 3.2.1.1 beschriebenen physikalischen Untersuchungen dieser Arbeit wurden ebenfalls mit der Normlichtart D_{65} durchgeführt
- Weiterhin gibt es die Normlichtarten A, B, C und E. Die Lichtart A (Farbtemperatur ca. 2856° K, siehe Tab. 4 und Abb. 8) entspricht in etwa dem Licht einer handelsüblichen Glühbirne. Die anderen Lichtarten finden heute keine Anwendung mehr
- Die ebenfalls genormten Lichtarten D_{50} , D_{55} , D_{75} , F, G, P und Xe sollen nach DIN 1993 nicht zur Farbmessung verwendet werden (BERGER-SCHRUNN, 1994; CIE, 1971, DIN 1993).

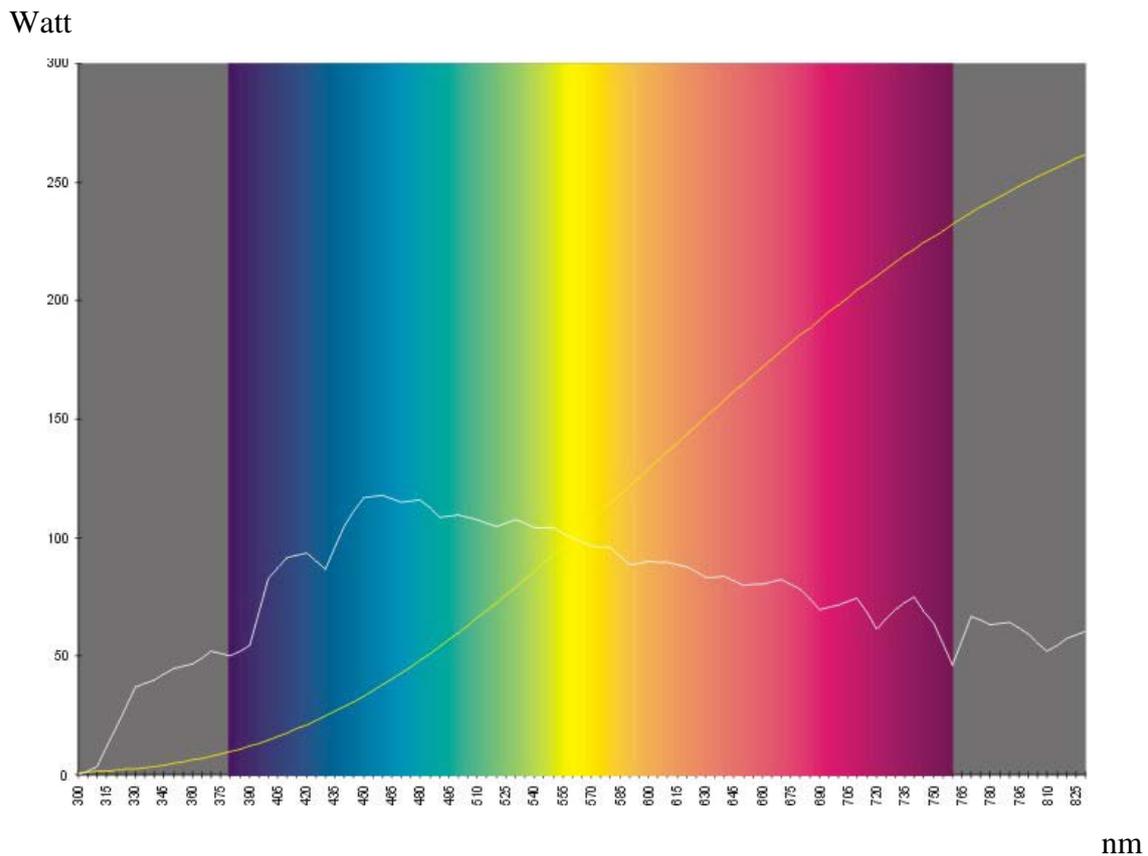


Abb. 8: Die Normlichtarten A und D₆₅

Die gelbe (kontinuierliche) Kurve entspricht der Normlichtart A, die weiße (zackige) der Normlichtart D₆₅ (N. N., 2009e). Mit freundlicher Genehmigung der Universität Regensburg

2.4.2.2 Die Messgeometrie

Weiterhin ist die Messgeometrie zu vereinheitlichen, da je nach angewandtem Verfahren die Ergebnisse der Farbmessung variieren. Man versteht darunter die Winkel, unter denen eine Probe beleuchtet und betrachtet wird (KLETTNER und STIEBING, 1980). Es gibt drei genormte Messgeometrien:

- Bei 45°/0° erfolgt die Beleuchtung im 45° Winkel und die Betrachtung erfolgt bei 0°
- Bei 0°/d erfolgt die Beleuchtung bei 0° (senkrecht), das über eine Photometerkugel (Ulbricht` Kugel) diffus reflektierte Licht wird an einer Stelle gemessen
- Bei d/8° bzw. d/0° wird diffus über eine Photometerkugel beleuchtet und unter 8° bzw. 0° das von der Probe zurück geworfene Licht gemessen (KLETTNER und STIEBING, 1980; CIE, 1971; DIN, 1993)

2.4.2.3 Der Beobachter

Auch ist zu entscheiden, welcher Normalbeobachter die Probe betrachtet. Die CIE entwickelte 1931 und 1964 zwei verschiedene Normvalenzsysteme, denen Messwerte eines Normalbeobachters zugrunde gelegt sind (CIE, 1971):

- Bei dem 2° Normalbeobachter, den die CIE 1931 einführte, wird von einem Kleinfeld ausgegangen, wodurch das Farbsehen nur durch die Zapfen erfolgt und auf der Netzhaut im Auge nur die Fovea beansprucht wird. Dies entspricht etwa dem Sichtfeld der Größe einer 1 Euro Münze, die man mit ausgestrecktem Arm vor sich hält (CIE, 1971; LOOS, 1989; RICHTER, 1981).
- 1964 führte die CIE den Begriff des Weitwinkel, Großfeld- oder 10° Normalbeobachters ein, da das normale Sichtfeld größer ist als der 2°-Bereich. Hier sind neben den Zapfen auch einige wenige Stäbchen am Sehen beteiligt. Dies entspricht etwa dem Sichtfeld der Größe eines DIN A 4 Blattes, das aus 30 cm Abstand betrachtet wird (CIE, 1964; BERGER-SCHRUNN, 1994).

Da die Verteilung der rot-, grün- und blauempfindlichen Zapfen in der Fovea eine andere ist als auf der übrigen Netzhaut (siehe Kapitel 2.2.2.1), führt die farbmetrische Auswertung bei beiden Normalbeobachtern zu unterschiedlichen Normfarbwerten X, Y, Z. Eine Umrechnung zwischen 2° Normalbeobachter und 10° Normalbeobachter ist somit nicht möglich (CIE, 1971; BERGER-SCHRUNN, 1994; LOOS, 1989; RICHTER, 1981).

2.4.3 Messgeräte

Um eine Entscheidung darüber zu treffen, mit welchem Farbmessgerät die physikalischen Messungen dieser Arbeit durchgeführt werden sollen, wurden zahlreiche Veröffentlichungen zu Rate gezogen.

In der Literatur ist die Verwendung unterschiedlicher Messgeräte zu finden, STIEBING und KLETTNER verwendeten z. B. den Dreibereichsfilterphotometer „Elrephomat DFC 5“ von Zeiss (STIEBING und KLETTNER, 1980a). VAN OECKEL et al. beschreiben Versuche mit dem Zweistrahl-Dreibereichsfilterphotometer „HunterLab“ (VAN OECKEL et al., 1999). Über die Verwendung des Farbhelligkeitsmessgerätes „Göttinger Fotometer“ schreiben von STEINHAUF et al. sowie STOLLE (STEINHAUF et al., 1964; STOLLE, 1987).

Das Gerät „Opto-Star“, ebenfalls ein Helligkeitsmessgerät, wurde von HÖRETH und DOBROWOLSKI getestet, konnte sich aber nicht durchsetzen (HÖRETH und DOBROWOLSKI, 1994). Die Firma Konica-Minolta bietet mit dem Minolta CM-2002 auch ein Spektralphotometer an, dessen Einsatz in der Lebensmittelfarbbestimmung in der Literatur aber nach MUCK nicht erwähnt ist (MUCK, 2000).

Die neueste Generation von Farbmessgeräten stellt die Firma Karg Industrietechnik mit den Geräten „spectro-guide sphere gloss“ und „spectro-guide 45/0 gloss“ her. Laut Hersteller sind sie in der Lage, die Farbe und den Oberflächenglanz des Gegenstandes gleichzeitig zu messen (KARG, 2009). Erfahrungen über diese Geräte zur Farbmessung im Lebensmittelbereich sind in der Literatur jedoch nicht beschrieben.

Die umfassendsten Versuche zur Messung der Fleischfarbe wurden mit verschiedenen Chroma-Meter-Geräten (CR-100 bis CR-400) der Firma Konica-Minolta durchgeführt. Zur Farbmessung in der Praxis haben sich diese einfachen, robusten Geräte durchgesetzt. Sie arbeiten nach dem CIE $L^*a^*b^*$ -System und die allgemeinen Messbedingungen Lichtart, Beobachter und Messwinkel sind bereits festgelegt (FELDHUSEN et al., 1987; HIEGEMANN, 2002; HULSEGG et al., 2001; MUCK, 2000; OSTER und FEWSON, 1990; RÖDEL, 1991b; MATZKE et al., 1992).

Aus diesen Gründen fiel die Wahl für die physikalischen Messungen dieser Arbeit auf die einfach zu bedienenden und robusten Geräte der Firma Konica-Minolta, genauer gesagt, auf die Chroma-Meter CR-400-Kamera.

Diese Kamera kann aber entsprechend dem Benutzerhandbuch nur ordnungsgemäß angewendet werden, wenn sie mit ihrem Messkopf direkt auf das Produkt aufgesetzt wird.

Um bei der Farbmessung von Fleisch und Fleischerzeugnissen unter Beleuchtung mit Farbfiltern die Effekte des gefärbten Umgebungslichtes auf die Waren einbeziehen zu können, muss die Messung aber wahrscheinlich berührungslos durchgeführt werden.

Dies scheint nach einer Publikation von SEBASTIÁN et al. inzwischen möglich zu sein. In dieser Arbeit wird die Farbmessung an Trutenbrustfleisch aus 40 cm Entfernung mit einem Video-Farbanalysegerät der Firma X-Rite erwähnt. Weiterer Vorteil des Einsatzes eines solchen Gerätes ist die Vermeidung einer Kontamination jedweder Art des zu messenden Lebensmittels (X-Rite; SEBASTIÁN et al., 2003).

2.5 Fleischerzeugnisse: Herstellung, Konservierung und Farbentstehung

Da als Untersuchungsmaterial dieser Arbeit Fleischerzeugnisse mit verschiedenen Farbausprägungen dienten, soll in diesem Kapitel ein Überblick über die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Erzeugnisfarbe gegeben werden. Sowohl die Wahl des Ausgangsmaterials Fleisch (siehe Kapitel 2.5.1) als auch die jeweilige Verarbeitungstechnologie (siehe Kapitel 2.5.3 ff) und die Lagerung (siehe Kapitel 2.6 ff) haben entscheidenden Einfluss auf die Farbe des Endproduktes (MIELNIK, 1982).

2.5.1 Einflüsse auf die Farbe des Ausgangsproduktes Fleisch

Zunächst stellt das Verarbeitungsfleisch die Grundlage für die Qualität (Aussehen, Farbe, Konsistenz, Geruch, Geschmack, Frische, Haltbarkeit) der herzustellenden Wurstwaren dar. Alle Faktoren, die Einfluss auf die Farbbildung von Fleisch haben, beeinflussen auch die Farbbildung und Farbhaltung der Fleischerzeugnisse (BRAUER 2004b; HACK et al., 1976; STEINHAUF et al., 1965). Gewonnen wird das Fleisch von Tieren, die von dem Menschen gezielt zur Gewinnung von Fleisch gehalten werden. In Europa zählen dazu vorrangig Schwein, Rind und Geflügel. Nach einer Veröffentlichung des Statistischen Bundesamtes wurden im ersten Quartal 2009 insgesamt 1,325 Mio. t Schweinefleisch, 291 600 t Rind- und Kalbfleisch und 300 700 t Geflügelfleisch produziert (N. N., 2009n; VO (EG) 853/2004, 2004b). Das Untersuchungsmaterial dieser Arbeit bestand überwiegend aus Rind- und / oder Schweinefleisch, in einem Fall aus Geflügelfleisch.

Die Farbe des Ausgangsproduktes Fleisch wird hauptsächlich (zu 95 %) durch die Farbe des Myoglobins (Mb) bestimmt. Myoglobin ist wasserlöslich und befindet sich in der Muskelzelle. Daneben (zu 5 %) wirkt das Hämoglobin (Hb), das extrazellulär vorliegt, farbgebend. Die Hauptaufgabe des Hämoglobins *intra vitam* ist der Transport des Sauerstoffs im Blut. Das Hämoglobin des Schlachttierblutes wird in einigen Ländern als natürlicher Farbstoff in Fleischerzeugnissen verwendet, seine Gewinnung ist jedoch aufwendig. In Deutschland ist das nicht der Fall (PETTE und STARON, 1990; SAKATA und HONIKEL, 2001; SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 1991; STEINHAUF et al., 1965)

Myoglobin und Hämoglobin sind Chromoproteide. Es handelt sich um niedermolekulare Verbindungen mit einem Molekulargewicht von 200 bis 550 Dalton. Sie bestehen aus einem großen Anteil Eiweiß (Globin) und der farbgebenden Komponente „Häm“.

Literatur

Das Häm besteht aus vier Pyrrolkernen (stickstoffhaltige Ringsysteme), die über Kohlenstoffbrücken um ein zentral gelagertes Eisenatom gelagert sind (siehe Abb. 9). Beim sechsbindigen Eisenatom sind vier Stellen durch die Stickstoffatome der Pyrrolkerne gebunden. Ein Eisenatom geht eine Bindung mit Globin ein und die letzte freie Bindungsstelle kann durch Sauerstoff, Stickoxid, Kohlenmonoxid oder andere Stoffe unterschiedlich fest besetzt werden. Mit diesen Bindungsvariablen sind deutliche Farbunterschiede verbunden (HAMM, 1975; NEUMÜLLER, 1972; PETTE und STARON, 1990; SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 1991; N. N., 1991; MILTENBURG et al., 1992).

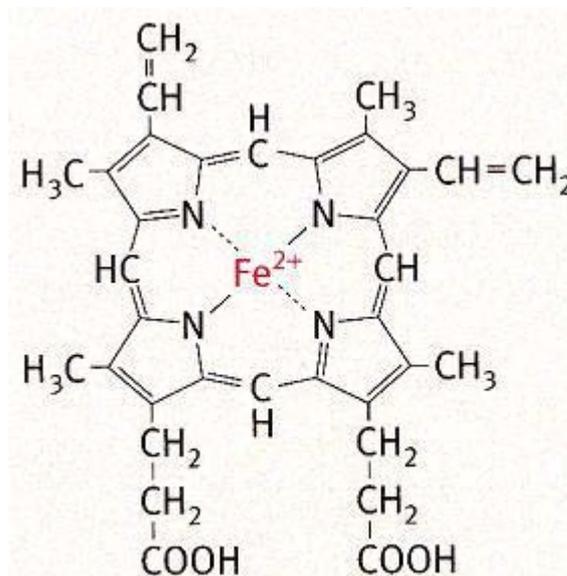


Abb. 9: Strukturformel des Häm

Das zentrale Eisenatom bindet den Sauerstoff (CHRISTIAN et al., 2006)

Grundsätzlich wird die Myoglobinbildung durch die Menge des vorhandenen Eisens beeinflusst. Das Eisenion im Cofaktor Häm, das dem Myoglobin seine Farbe verleiht, kann oxidiert bzw. reduziert werden. Je mehr Eisen vorhanden ist, desto mehr Umwandlungsprozesse können stattfinden. Dadurch ändert sich die Farbe. Das reduzierte Myoglobin, kurz Mb genannt, zeigt eine dunkle purpurrote Farbe, das oxygenierte Myoglobin (MbO₂) eine hellrote bis kirschrote Farbe. Wird Fleisch erhitzt oder der Einwirkung von Sauerstoff ausgesetzt, oxidiert das zentrale Eisenatom (von Fe²⁺ zu Fe³⁺) und Metmyoglobin (MetMb) wird gebildet. Das MetMb mit einem dreiwertigen Eisenatom, an dessen sechste Bindungsstelle sich Wasser angelagert hat, zeigt eine graubraune Farbe (siehe Abb. 10).

Literatur

Durch die Verfärbung des Fleisches ins grünliche wird dem Verbraucher beginnender Verderb signalisiert. Der Grünstich entsteht durch „altes“ Myoglobin, das schwefelhaltige Verbindungen bindet.

Legt man Frischfleisch in Wasser, verliert es seine rote Farbe (STIEBING und ARNETH, 1998; HAMM, 1975; RENERRE, 1990; POTTHAST, 1987; HONIKEL, 2007a; SEIDEMANN et al., 1984; N. N., 1991; MILTENBURG et al., 1992).

Zusammenfassend gesagt, ist die Fleischfarbe von der Myoglobinkonzentration und der Zustandsform Mb, MbO₂ bzw. MetMb abhängig. Daneben ist der Grad der Ausblutung entscheidend, denn danach richtet sich die vorhandene Menge an Hämoglobin (HAMM, 1975; POTTHAST, 1987; HONIKEL, 2007b; MILTENBURG et al., 1992).

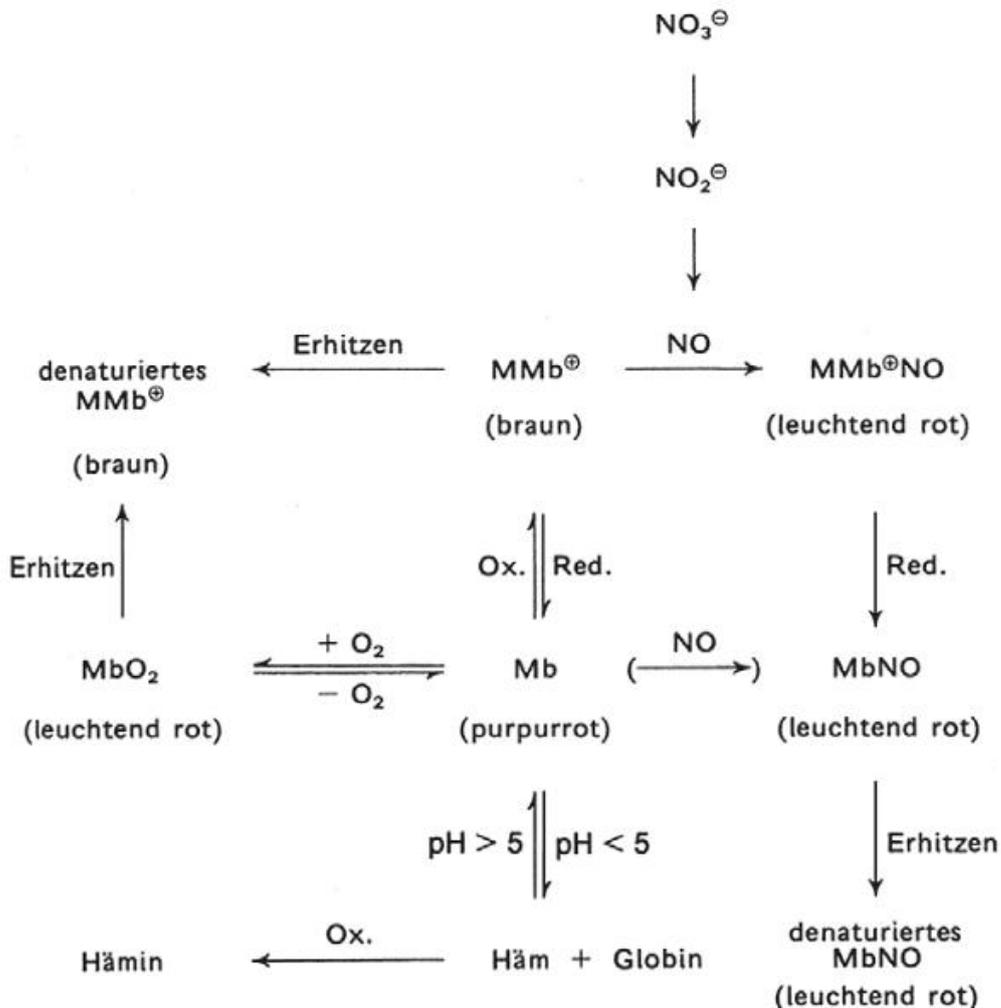


Abb. 10: Schematische Darstellung der chemischen Reaktionen von Myoglobin (BELITZ et al., 2001)

Literatur

In der Literatur ist vielfach die Abhängigkeit der Farbgebung des Fleisches von Tierart, Muskelaktivität, Geschlecht, Alter und Fütterung beschrieben, da diese Faktoren wiederum die Myoglobinkonzentration beeinflussen (JUNGE, 2008).

Rindfleisch weist grundsätzlich eine tiefere rote Farbe auf als Schweinefleisch. Grund hierfür ist, dass sich Rinder Angriffen durch Flucht entziehen, Schweine begegnen einer Gefahr durch Angriff. Die für den Fluchtvorgang erforderliche „rote“ Muskulatur ist daher beim Schwein weniger zahlreich vorhanden (HONIKEL, 2007a; JUNGE, 2008).

Bei Rindfleisch wird aufgrund der höheren Myoglobinwerte bei Bullen das dunkelste Fleisch beobachtet. Das Fleisch von Ochsen ist heller und das Färsenfleisch liegt dazwischen. (AUGUSTINI, 1995a; AUGUSTINI und TROEGER, 2000; ENDER und AUGUSTINI 2007; FRICKH et al., 2002; KIM et al. 2003; PAGE et al., 2001; SEIDEMANN et al., 1984).

Bei Schweinefleisch sind die Verhältnisse umgekehrt. Weibliche Tiere besitzen im Vergleich zu männlichen einen höheren Rotanteil (a^* -Wert) im Fleisch (HIEGEMANN, 2002). Zudem ist bei Schweinen bekannt, dass genetische Komponenten (z. B. Stressanfälligkeit: Halothan-Gen; Hampshire-Effekt (= RN-Allel); Zucht auf mehr Muskelmasse) Qualität und Farbe des Fleisches maßgeblich beeinflussen können. Sowohl der Transport zum Schlachthof als auch die damit verbundene Ortsveränderung führt beim Schwein zu Stress. Ist der ohnehin vorhandene Stress mit einer genetisch erhöhten Stressanfälligkeit gekoppelt, potenzieren sich die negativen Ausprägungen auf die Fleischfarbe. Ergebnis eines intra mortem gestressten Schweines ist die Entstehung von PSE-Fleisch. PSE bedeutet blass (**P**ale), weich (**S**oft) und wässrig (**E**xudative). Es ist demzufolge mangelhaft aber gesundheitlich unbedenklich. PSE-Fleisch tritt vor allem bei Schweinen, aber auch bei Truten und selten beim Rind auf (ABRAHAM et al., 1989; BARBUT, 1993).

Stress führt zu erhöhter Adrenalin- und in der Folge zu erhöhter Milchsäureproduktion. Nach der Schlachtung kann die überschüssige Milchsäure nicht mehr über die Blutbahn aus dem Muskel abtransportiert werden. Das Gewebe wird sauer, der pH-Wert sinkt unter 5,8 (innerhalb von 45 min.). Gleichzeitig verringert sich aufgrund der teilweisen Denaturierung der Muskelproteine das Wasserbindungsvermögen des Fleisches. Dadurch kommt es beim Erhitzen zu einer erhöhten Wasserabgabe die zur Zähigkeit führt. Die blasse Farbe liegt an der veränderten Wechselwirkung zwischen den Häm pigmenten und Myofibrillen. Dadurch verändert sich die Lichtbrechung der denaturierten Muskelproteine. Zusätzlich befindet sich mehr freies Wasser im Gewebe, wodurch ein größerer Teil des Lichts reflektiert wird. Wegen der schlechten Wasserbindungsfähigkeit ist die Feuchtigkeit erhöht und dadurch die Haltbarkeit herabgesetzt. Die Ausprägung von PSE-Fleisch kann durch eine Reduzierung der Belastung der Tiere vor und während der Schlachtung weitgehend verhindert werden.

Literatur

Werden die Vorgaben der Tierschutztransportverordnung (TierSchTrV), der VO (EG) 1/2005, der Tierschutzschlachtverordnung (TierSchlV) und der Richtlinie 93/119 EG eingehalten, ist ein schonender Umgang mit den Tieren möglich. Auch ist bei der genetischen Auswahl der Zuchtschweine auf geringe Stressanfälligkeit zu achten (HAMM, 1975; HAMBRECHT et al., 2005; MUCK und SCHARNER, 1998; SCHARNER, SCHIEFER, 1996; TierSchTrV, 2009; VO (EG) 1/2005, TierSchlV, 1997; RL 93/119 EG).

Länger dauernder Stress vor der Schlachtung, der z. B. durch lange Nüchterung, einen langen Transport bzw. einen Transport von Jungtieren aus Freilandhaltung entstehen kann, wirkt sich beim Rind in der Ausprägung von DFD-Fleisch aus. DFD bedeutet trocken (**D**ry), fest (**F**irm) und dunkel (**D**ark). Auch DFD-Fleisch ist mangelhaft aber ebenso gesundheitlich unbedenklich. Grund hierfür ist das Gegenteil des oben beschriebenen Mechanismus zur Ausprägung von PSE-Fleisch; die Glykogenreserven sind bereits bei der Schlachtung stark reduziert, wodurch die Milchsäurebildung vermindert wird und der pH-Wert langsamer sinkt, bzw. beim Rind bei $\geq 6,0$ verbleibt. Um die optimale Fleischqualität zu erzielen, sollte er innerhalb von 24 Stunden idealerweise auf 5,5 sinken. Durch den zu hohen pH-Wert wird die Proteindenaturierung bei der Fleischreifung verlangsamt, die Quellfähigkeit und damit die Wassereinlagerung bleiben erhöht. Das Fleisch wird dunkler und zäher (FERREIRA et al., 2006; KAZAROV, 1979; STIEBING und ARNETH, 1998; PRÄNDL et al., 1988a; RENERRE, 1990; ROSENVOLD und ANDERSEN, 2003; VAN DE WATER et al., 2003).

Werden Rinder extensiv gehalten oder wird ihnen Gras zugefüttert, verursacht das in dem Gras enthaltene β -Carotin eine Gelbfärbung des Fettes. Gleichzeitig begünstigt die Mehraufnahme von Eisen in die Muskulatur durch die Fütterung von eisenhaltigem Futter (z. B. Grünfutter oder Heu) die Myoglobinbildung. Es kann also sowohl über die Fütterungsmenge als auch über die Dauer der Gabe die Fleischfarbe beeinflusst werden. Je mehr davon gegeben wird und / oder je länger dies geschieht, umso dunkler wird das Fleisch, die a^* -Werte nehmen zu, die L^* -Werte nehmen ab. Werden Kälber mit Milch oder eisenarmem Futter aufgezogen, bleibt deren Fleisch sehr hell, es wird von „weißem“ Kalbfleisch gesprochen. Allerdings ist in Europa eine minimale Versorgung von Kälbern mit Eisen vorgeschrieben, um eine Eisenmangelanämie zu verhindern. Dadurch ist Kalbfleisch zwar heller als Rindfleisch, die Farbgebung aber eher rosa-bräunlich als weiß (siehe Tab. 5) (CERDEÑO et al., 2006; AUGUSTINI und TROEGER, 2000; ENDER und AUGUSTINI, 2007; FRICKH et al., 2002; HEITING, 1989; HAMM, 1975; HONIKEL, 2007b; HULSEGGE et al., 2001; POTTHAST, 1987; JUNGE, 2008).

Literatur

Nicht zuletzt schlägt sich auch die Aktivität der Tiere in der Fleischfarbe nieder. Für Bewegungsvorgänge ist die sogenannte „rote“ Muskulatur verantwortlich, sie weist den höchsten Myoglobingehalt auf, da sie über einen oxidativen Stoffwechsel verfügt. Daneben gibt es die sogenannte „weiße“ Muskulatur, die weniger beansprucht wird. Je mehr die Muskulatur beansprucht wird, desto mehr Myoglobin enthält sie, desto dunkler wird das Fleisch. Besonders hohe Myoglobingehalte wurden z. B. in der Herzmuskulatur und der Diaphragma-Muskulatur des Rindes nachgewiesen (AUGUSTINI, 2000; AUGUSTINI und FLACHOWSKY, 1992; CROSS et al., 1986; DUNNE et al., 2005a; DUNNE et al., 2005b; HAMM, 1975; HONIKEL, 2007a).

Auch rassebedingte Unterschiede der Rindfleischfarbe wurden beschrieben, so hatten Galloway-Rinder das dunkelste Fleisch, Pinzgauer einen mittleren Ton und Salers mit Abstand das hellste Fleisch. Auch bei den Rassen Weiß-Blaue Belgier und Deutsche Angus traten Unterschiede in der Farbhelligkeit auf (AUGUSTINI, 1995b; AUGUSTINI und TROEGER, 2000; ENDER und AUGUSTINI, 2007; FRICKH und SÖLKNER, 1997; GERHARDY, 1994; PAGE et al., 2001; JUNGE, 2008; REICHARDT et al., 1997).

Beim Huhn finden vor allem innerhalb der ersten sechs Stunden nach der Schlachtung die stärksten Farbveränderungen statt. Während der Lagerung ändert sich die Farbe weniger (PETRACCI und FLETCHER, 2002).

Tab. 5: Myoglobingehalt und die visuelle Fleischfarbe bei einigen Tierarten

Tierart (Alter)	Myoglobingehalt (mg/g)	Visuelle Farbe
Kalb (12 Tage)	0,7	bräunlich, rosa
Rind (3 Jahre)	4,6	rot
Kuh (>10 Jahre)	16 – 20	dunkelrot
Schaf (jung)	2,5	rot
Schwein (5 Monate)	0,3	rosa, gräulich
Geflügel (8 Wochen)	0,01	weiß, grau
Geflügel (26 Wochen)	0,08 – 0,1	weiß, grau
Truthahn (14 – 26 Wochen)	0,12 – 0,37	schwaches rot
Fisch	0,3 – 1,0	weiß, grau

(MILLER, 2002)

2.5.2 Fleischerzeugnisse

Nach den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Deutschen Lebensmittelbuches sind Fleischerzeugnisse Produkte, die überwiegend aus Fleisch bestehen. Daher nehmen die genannten Faktoren deutlich Einfluss auf die Farbe der Fleischprodukte. Das für die gewerbsmäßige Herstellung verwendete Fleisch muss dabei den Anforderungen der Leitsätze genügen (LEITSÄTZE, 2008a; LEITSÄTZE, 2008b).

Die VO (EG) 853/2004 definiert Fleischerzeugnisse als Erzeugnisse, die aus der Verarbeitung von Fleisch oder der Weiterverarbeitung solcher Erzeugnisse derart gewonnen werden, dass bei einem Schnitt durch den Kern die Schnittfläche die Feststellung erlaubt, dass die Merkmale von frischem Fleisch nicht mehr vorhanden sind (VO (EG) 853/2004, 2004c).

Fleischerzeugnisse werden auch als Verarbeitungserzeugnisse bezeichnet, die wiederum gewonnen werden, indem Rohstoffe einem Verfahren wie Erhitzen, Räuchern, Pökeln, Reifen, Trocknen usw. unterzogen werden (VO (EG) 853/2004; 2004g).

Daraus ergibt sich die im Folgenden beschriebene Systematik der Fleischerzeugnisse.

2.5.2.1 Systematik der Fleischerzeugnisse

Entsprechend den Leitsätzen für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Deutschen Lebensmittelbuches werden unterschieden:

- a) spezielle Fleischteilstücke und spezielle Fleischgerichte aus gestückeltem und / oder gewolftem Fleisch sowie Erzeugnisse daraus (z. B. Filet, Kotelett, Steak, Frikassee, Gulasch, Schaschlik, Döner Kebab)
- b) Wurstwaren (z. B. Koch- Roh- und Brühwürste) und
- c) Pökelfleischerzeugnisse (roh oder gegart)

(LEITSÄTZE, 2008e)

Die Gruppen a) und c) werden in der weiteren Betrachtung nicht erwähnt, da sie für diese Arbeit nicht von Bedeutung sind. Aus der Gruppe der Wurstwaren (b) wird nur die Technologie der Brühwurstherstellung genauer beschrieben, da Produkte aus dieser Gruppe das Untersuchungsmaterial für diese Arbeit darstellten. Zunächst ist in Kapitel 2.5.3 der allgemeine Ablauf der Wurstherstellung beschrieben. Nachfolgend wird speziell auf die Herstellung der Brühwurst (siehe Kapitel 2.5.3.1) und damit zusammenhängende technologische Einflüsse auf die Farbausprägung eingegangen.

2.5.3 Allgemeine Technologie der Wurstherstellung

Wurstwaren sind definitionsgemäß „bestimmte, unter Verwendung von geschmackgebenden und / oder technologisch begründeten Zutaten, schnittfeste oder streichfähige Gemenge aus zerkleinertem Fleisch, Fettgewebe sowie sortenbezogen auch Innereien (z. B. Leber, Herz) sowie bei besonderen Erzeugnissen sonstigen Tierkörperteilen (z. B. Niere, Magen). Sie gelangen geräuchert oder ungeräuchert in Hüllen oder Behältnisse oder ohne Hüllen in den Verkehr“ (LEITSÄTZE, 2008c).

Daraus wird ersichtlich, dass auch die verwendete Verarbeitungstechnologie neben der Auswahl des Ausgangsmaterials (siehe Kapitel 2.5.1), der Gütezusätze und der mikrobiologisch-hygienischen Aspekte entscheidend an der Qualität, der Farbe und der Farbhaltung des Endprodukts beteiligt ist (AUGUSTINI und FISCHER, 1999; BRAUER, 2004b; HAMM, 1975).

Für die Produktion von gröberen Wurstwaren wird Fleisch nur durch einen Fleischwolf gedreht, für feinere Erzeugnisse wird es zusätzlich gekuttert. Der Kutter ist eine Maschine mit Sichelmessern im Inneren. Dort wird das Fleisch unter Zugabe von Salz zerkleinert, die Zellstruktur der Muskulatur wird zerstört. Das Salz bringt das Eiweiß zum Quellen und gequollenes Eiweiß bindet das Fett, das später ebenfalls zu der Masse gegeben wird. Die in dem Kutter aus Magerfleisch und Fettgewebe entstehende feine und klebrige Masse wird Brät genannt. Bei den mechanischen Zerkleinerungs-, Misch- und Emulgiervorgängen entsteht durch die Reibe- und Schneidarbeit Wärme im Brät. Um die Wärmebildung in Grenzen zu halten, wird dem Fleisch beim Kuttern Eis als sog. „Schüttung“ zugesetzt. Das entstehende Wasser dient ebenfalls als Quell- und Lösungsmittel für das Eiweiß. Das Muskeleiweiß soll während des Kutterns zu einem möglichst großen Anteil in einen gequollenen und gelösten Zustand überführt, „aktiviert“, werden. Dadurch bildet sich bei der nachfolgenden Erhitzung eine zusammenhängende Struktur. Auch Gewürze wie Pfeffer, Muskat, Ingwer und Koriander werden zu dem Brät gemischt, wobei deren Zusatz weder auf den Ablauf des Pökelvorgangs noch auf die Farbgebung einen maßgeblichen Einfluss hat (PRÄNDL et al., 1988a; BRAUER, 2004b; STIEBING und ARNETH, 1998; FISCHER, 1988). Nach dem Wolfen bzw. Kuttern wird das Brät durch den sog. Füller luftdicht in die Hüllen gepresst. Danach wird die Hülle entweder nach jeder einzelnen Wurst abgebunden oder es wird eine lange Wurst erzeugt, die dann abschnittsweise abgedreht wird. Als Hüllen finden Blasen, Mägen und Därme Verwendung, bei industrieller Herstellung auch Kunstdärme, Gläser und Konservendosen.

Je nach Sorte werden die Erzeugnisse durch Backen oder Kochen gegart bzw. durch Trocknen und/oder Räuchern konserviert. Je nach angewandtem Herstellungsverfahren unterscheidet man Koch-, Roh- und Brühwürste (BRAUER, 2004b; TERPLAN, 1969; PRÄNDL et al., 1988a).

Da für die Untersuchungen dieser Arbeit nur Brühwürste verwendet wurden, wird im Folgenden nur auf diese Produktgruppe näher eingegangen.

2.5.3.1 Spezielle Brühwursttechnologie

Brühwürste sind durch Brühen, Backen, Braten oder auf andere Weise hitzebehandelte Wurstwaren, bei denen zerkleinertes rohes Fleisch mit Kochsalz und ggf. anderen technologisch notwendigen Salzen meist unter Zusatz von Trinkwasser (oder Eis) ganz oder teilweise aufgeschlossen wurde. Die Erzeugnisse bleiben bei etwaigem erneutem Erhitzen schnittfest, da deren Muskeleiweiß bei der Hitzebehandlung mehr oder weniger zusammenhängend koaguliert ist (LEITSÄTZE, 2008d; DOLATA und RYWOTYCKI, 1984).

Zur Herstellung von Brühwurst kann Fleisch in schlachtwarmem Zustand (bis ca. 3 Std. p. m. bei Schweinefleisch, bis ca. 6 Std. p. m. bei Rindfleisch), Fleisch nach Kühlagerung (bis ca. 7 Tage bei Schweinefleisch, bis ca. 14 Tage bei Rindfleisch) oder gefriergelagertes Fleisch verwendet werden. Das schlachtwarmer (vor Eintritt des Rigor mortis) Fleisch hat besonders günstige Verarbeitungseigenschaften. Überwiegend gelangt jedoch abgehangenes oder Gefrierfleisch zur Verarbeitung. Schlachtfrisches Fettgewebe ergibt geschmackliche Vorteile, ist aber nicht üblich. Meist wird kühl- oder gefriergelagertes Fett verwendet (BRAUER, 2004b; LEISTNER et al., 1979; STIEBING und ARNETH, 1998). Erzeugnisse, die gewerbeüblich in gehobener Qualität hergestellt werden und als solche gekennzeichnet sind („1a“, „extra“ etc.) unterscheiden sich von anderen Produkten durch eine besondere Auswahl des Ausgangsmaterials, insbesondere durch höhere Anteile an Skelettmuskulatur (LEITSÄTZE, 2008f). Nur bei richtigem Temperaturverlauf während des Kutters kann das Brät die optimalen Werte in Bezug auf Wasserbindung, Fettstabilisierung und Strukturbildung erhalten. Die Meinungen über die ideale Temperatur gehen auseinander, sie reichen von 8° C und darunter bis 16° C und darüber. Ebenso spielen Schiffswinkel und Messeranordnung im Kutter eine qualitätsbestimmende Rolle (BRAUER, 2004b; GRABEIN und RAEUBER, 1989; DOLATA und RYWOTYCKI, 1984; DOLATA, 1997; DOLATA, 1998; DOLATA, 1999; HONIKEL und EGGINGER, 1984; BRAUER, 1994).

Literatur

Das zerkleinerte Fleisch wird mit Kochsalz oder Nitritpökelsalz (NPS, 2,0 % bis 2,4 %) zur Geschmacksgebung und Haltbarkeitsverbesserung versetzt. Dadurch und durch die eventuelle Zugabe anderer Kuttersalze wird das Fleisch aufgeschlossen. Zugelassen als sog. Genussäuresalze sind Na-, K- und Ca-Salze der Essig-, Milch-, Wein- und Citronensäure bis zu 0,3 % als sog. Kutterhilfsmittel. Sie sind geschmacklich nahezu neutral, erhöhen aber die Gesamtsalzkonzentration (GRACEY, COLLINS, 1999; KLETTNER und TROEGER, 2000; PRÄNDL et al., 1988a; ZZuIV, 2008c; LEITSÄTZE, 2008g).

Für die Erhöhung des Wasserbindungsvermögens und des pH-Wertes sind Phosphatzusätze erlaubt. Zugelassen ist nur Dinatriumdiphosphat bis 5 g / kg (ZZuIV, 2008b). Ihre Wirkung ist eine Übernahme der „Weichmacherfunktion“ des Adenosintriphosphats (ATP). Durch ihre Anwesenheit entsteht ein engkalibriges und stabiles Eiweißgerüst. Weiterhin können sog. Emulgatoren zur Anwendung kommen. Zugelassen sind nur Mono- und Diglyceride von Speisefettsäuren, verestert mit Milch-, Essig- oder Citronensäure quantum satis (qs, lat. so viel wie nötig). Meist werden nur 0,3 % zugesetzt, weil sie einen starken Eigengeschmack aufweisen (BRAUER, 2004b; ZZuIV, 2008a; ZZuIV, 2008d).

Fremdeiweiß stammt nicht von Schlachttieren (z. B. Milcheiweiß) und ist unter bestimmten Voraussetzungen zugelassen. Pflanzliche Eiweiße (z. B. Soja) sind grundsätzlich verboten. Blutplasma, Blutserum und in Wasser aufgelöstes Trockenblutplasma (in einem Verhältnis von 1:10) darf Brühwürsten bis zu 10 % zugesetzt werden (LEITSÄTZE, 2008h; LEITSÄTZE, 2008i; BRAUER, 2004b). Umrötehilfsmittel wie Zucker oder Trockenstärkesirup werden Brühwürsten im Gegensatz zu Rohwürsten nicht zugesetzt (JAKOB, OMLOR, 2005; STIEBING und ARNETH, 1998). Zugesetzte Ascorbinsäure wirkt unterstützend, indem sie die Bildung des Pökelfarbstoffes beschleunigt, intensiviert und stabilisiert, besonders gegenüber oxidativen Einflüssen. Wurst- und Schinkenanschnitte behalten bei Pökeln mit Ascorbatzusätzen länger die frische rote Farbe. Ascorbinsäure wirkt auch der Bildung von Nitrosaminen entgegen. Ascorbinsäure wird Brühwürsten erst gegen Ende des Kuttervorgangs zugesetzt, weil sie Nitrit sofort reduziert und Pökelsalz ohne Nitrit nicht mehr umrötet. Eine Zugabemenge von 5 g / kg Fleisch und Fett sollte dabei nicht überschritten werden (BRAUER, 2004b; JAKOB, OMLOR, 2005; TERPLAN, 1969).

Nachdem die Grundbestandteile vermischt und gekuttert wurden, erfolgt die Abfüllung in Hüllen. Danach werden die Erzeugnisse einer Hitzebehandlung unterzogen, wodurch das Muskeleiweiß koaguliert. Je nach Kaliber wird 20 min bis 2 h bei 75° C bis 80° C gegart. Liegt die Kerntemperatur über 72° C, kommt es zu einer gleichmäßigen Koagulation des Brätes. Es entsteht die erwünschte Biss- und Schnitffestigkeit sowie die prallelastische Konsistenz.

Gleichzeitig werden durch das Garverfahren Mikroorganismen weitgehend inaktiviert und so Rückschlüsse auf die Haltbarkeit möglich. Die Erzeugnisse bleiben bei etwaigem erneutem Erhitzen schnittfest, weil sich die Bestandteile nicht entmischen. Im Gegensatz dazu sind Kochwürste nur in erkaltetem Zustand schnittfähig (BRAUER, 2004b; BRAUER, 2006; STIEBING und ARNETH, 1998, GRAU, 2001; LEITSÄTZE, 2008e).

Brühwürste werden aufgeteilt in Erzeugnisgruppen: Brühwürstchen, meist für den Warmverzehr (z. B. Wiener Würstchen, Pfälzer, Münchner Weißwurst), fein gekutterte Brühwürste (z. B. Lyoner, Fleischwurst, Gelbwurst, Leberkäse), grobe Brühwürste (z. B. Bierwurst, Jagdwurst, grober Leberkäse) und Brühwürste mit Einlagen (z. B. Bierschinken, Zungenwurst) (BRAUER, 2004b; LEITSÄTZE, 2008d; PRÄNDL et al., 1988a).

2.5.4 Technologisch bedingte Einflüsse auf die Farbe von Brühwürsten

Um die Brühwurst in ihrer Farbausprägung und –stabilität zu optimieren, werden haltbarmachende Verfahren angewandt. Ziel der Konservierung ist, die Oxidation des Muskelfarbstoffs Myoglobin zu verlangsamen. Würde diese chemische Reaktion unbeeinflusst ablaufen können, würde das Fleisch einerseits schnell blass, andererseits würde der Besatz von unerwünschten Mikroorganismen (z. B. Pseudomonaden) das Fleisch schnell verderben lassen. Die zwei wichtigsten Konservierungsverfahren sind das Pökeln und das Räuchern (siehe Kapitel 2.5.4.1 und 2.5.4.2). Durch sie wird nicht nur die Farbe der Erzeugnisse beeinflusst, auch die Verderblichkeit wird verzögert (STIEBING und ARNETH, 1998; PRÄNDL et al., 1988a; BRAUER, 2004b; PICHNER, 2005).

2.5.4.1 Pökeln

Das Salzen und Pökeln von Fleisch und Fleischwaren zählt zu den ältesten Konservierungsverfahren für Lebensmittel überhaupt (China, 2200 v. Chr.) und war jahrhundertlang auch in Europa die einzige Möglichkeit, Fleisch über längere Zeit hinweg haltbar zu machen. In der Fachsprache wird synonym auch der Begriff „Umröten“ verwendet, als „Suren“ wird das Verfahren in Österreich bezeichnet. Man versteht unter Pökeln die Behandlung von Fleisch mit einer Mischung aus Kochsalz und mindestens 0,4 % und höchstens 0,5 % Natriumnitrit (NaNO_2) als Nitritpökelsalz (NPS) (FELDKAMP, 2004; MÖHLER, 1980; N. N., 2009a; ZZuIV, 2008c).

NPS darf ausschließlich für die Herstellung von Fleischerzeugnissen als Zusatzstoff verwendet werden und muss entsprechend der Zusatzstoffverkehrsverordnung (ZVerkV) kenntlich gemacht werden. Brühwürsten werden gewöhnlich 1,5 % - 2,0 % NPS zugesetzt (ZVerkV, 1998; RL 2008/84/EG, 2008; RL 95/2/EG, 1995; WAGNER, 2008; STIEBING und ARNETH, 1998).

Diese strenge rechtliche Regelung beruht darauf, dass bei Einwirkungen von hohen Temperaturen (über 160° C, z. B. beim Grillen gepökelter Ware) in dem Produkt aus dem NPS cancerogene Nitrosamine entstehen können (PRÄNDL et al., 1988a; WAGNER, 2008).

Ein weiteres Risiko der Nitrosaminbildung sind die oft deutlich über der zur Umwandlung des Myoglobins in NOMb rechnerisch erforderlichen Mindestmengen an Nitrit und Nitrat. Ein Teil des Überschusses setzt sich mit Schwefelwasserstoff (-SH)-Gruppen unter Bildung von Nitrosothiolen um. Auch bei Anwesenheit von sekundären Aminen können toxische Nitrosamine entstehen. Sekundäre Amine werden auch in Fleisch, das nicht mehr ganz frisch ist, im Zusammenhang mit dem Eiweißabbau gebildet (BRAUER, 2004b; MÜLLER und WEBER, 1996; GRACEY, COLLINS, 1999).

Die toxische Wirkung des außerordentlich reaktionsfreudigen NO besteht in der Anlagerung an das Häm. Der Nitrit- bzw. Stickoxidvergiftete erleidet eine innere Erstickung, da Nitroso-Hämoglobin (HbNO) für den Sauerstoff (O₂)-Transfer untauglich ist und in MetHb bzw. NO-MetHb umgewandelt wird (SILBERNAGL und DESPOPOULOS, 1991).

2.5.4.1.1 Wirkprinzip

Durch das Pökelsalz wird dem Fleisch Flüssigkeit entzogen. Ergebnis ist ein haltbares Erzeugnis, das die typische, hitzestabile rote Farbe aufweist. Sie entsteht durch die Wechselwirkung des Nitrits mit dem Muskelfarbstoff Myoglobin. Gleichzeitig bildet sich das „Pökelaroma“ aus (LÜCKE, 2008; MÖHLER, 1980; PRÄNDL et al., 1988a). Haltbar wird das Erzeugnis, weil die Vermehrung der von Natur aus in dem Fleisch vorhandenen Mikroorganismen durch den Flüssigkeitsentzug beeinträchtigt wird. Wirksubstanz ist immer das Nitrit, egal ob Nitrat oder Nitrit zugefügt wird, da Nitrat durch Bakterien in dem Fleisch in Nitrit umgewandelt wird. Um den Pökelprozess besser kontrollieren zu können, wird den Wurstwaren heute überwiegend nur Nitrit zugesetzt. Die Nitratpökellung ist nur noch bei manchen Rohwürsten zugelassen. Da bei Brühwürsten durch die baldige Erhitzung des Bräts die ausreichende bakterielle Reduktion des Nitrats zu Nitrit verhindert werden würde, wird Brühwürsten nur Nitrit zugefügt.

Die kombinierte Verwendung von Nitrit und Nitrat ist bei Fleischerzeugnissen verboten (MÜLLER und WEBER, 1996; BRAUER, 2004b; STIEBING und ARNETH, 1998). Die Umrötung erfolgt bei Temperaturen von 40° C – 50° C. Die Erwärmung darf nicht zu schnell erfolgen, da sonst erhebliche Anteile des zur Verfügung stehenden Myoglobins irreversibel in die graue Form (Metmyoglobin) überführt werden und für die Umrötung nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Bildung der Pökelfarbe ist demzufolge abhängig von der Temperatur, der Zeit und dem pH-Wert, bei denen die Reaktion abläuft. Bei niedrigeren pH-Werten läuft die Reaktion schneller ab (STIEBING und ARNETH, 1998; VÖSGEN, 1992). Das Ausmaß der erfolgten Umrötung kann nach HORNSEY chemisch-physikalisch bestimmt werden. Dadurch ist eine Aussage darüber möglich, wie und ob der Farbeindruck des Produktes mit dem Gehalt an Pökelfarbstoff bzw. anderen Myoglobinformen zusammenhängt (HORNSEY, 1956).

Brühwürste haben bei der Verwendung von NPS einen blass- bis dunkelrosafarbenen oder dunkelroten Anschnitt (Abhängig von Tierart, Höhe des Magerfleischanteils und der Fettmenge). Erzeugnisse mit einem weißen bis weißgrauen Anschnitt (sog. „weiße Ware“ wie z. B. Gelbwurst, Kalbskäse, Weißwurst) werden nicht mit umrötenden Salzen, sondern mit Kochsalz hergestellt. Weiße Ware, deren Magerfleischanteil ausschließlich oder überwiegend aus Rindfleisch besteht bzw. eine ungenügende Fettverteilung aufweist, hat eher eine gräuliche Farbe. Gegenüber der umgeröteten Ware hat weiße Ware eine geringere Haltbarkeit, weil das keimhemmende Nitrit und bei Produkten im Naturdarm auch die Räucherung fehlt (HONIKEL, 2007b; BRAUER, 2004b; WEBER, 2003; N. N., 2009b).

2.5.4.1.2 Chemische Vorgänge

Chemisch betrachtet laufen bei der Umrötung folgende Schritte ab:

1. Durch die Einwirkung des Nitrit in Form von Nitritpökelsalz (NPS) oder Salpeter wird der Muskelfarbstoff Myoglobin zu Metmyoglobin (MetMb) oxidiert
2. Stickoxid (NO) lagert sich an das MetMb unter Verdrängung eines Wasserrestes an und bildet das Nitrosometmyoglobin (NOMetMb)
3. Durch Erhitzen über + 75° C denaturiert der Eiweißanteil des Myoglobins irreversibel, die submikroskopische Struktur ändert sich und damit auch das optische Verhalten. Das Fleisch nimmt eine hellere Farbe an, es zeigt das stabile Pökelfarbstoff hitzebehandelter Fleischerzeugnisse, das Nitroso-Myochromogen (NOMChr) (FELDKAMP, 2004; NEUMÜLLER, 1972; PRÄNDL et al., 1988a)

Ist der Prozess der Umrötung abgelaufen, behält das Fleisch beim Erhitzen seine Farbe, weil Nitrosomyoglobin und das hitzedenaturierte Nitrosohämochrom ihre Absorptionsspektren jeweils bei 395 nm haben. Auch verliert gepökelttes Fleisch im Gegensatz zu frischem Fleisch seine rote Farbe kaum, wenn man es in Wasser einlegt (BRAUER, 2004b; NEUMÜLLER, 1972). Die alleinige Zugabe von Kochsalz dagegen bewirkt unter aeroben Bedingungen eine Anhäufung von Peroxiden im Produkt und dadurch eine Abnahme der Häm pigmente. In der Folge ist eine Verfärbung des Fleisches während der Lagerung zu beobachten, da die Peroxide die Häm pigmente abbauen.

2.5.4.1.3 Alternativen zur Umrötung mit Nitrit und deren Auswirkungen auf die Farbe

Aufgrund der gefürchteten kanzerogenen Wirkung der Nitrosamine wurden seit den 70er-Jahren viele Versuche unternommen, den Einsatz von Nitrat und Nitrit in der Nahrung zu reduzieren.

Durch den Einsatz verschiedener Farbstoffe (z. B. Karmin, β -Carotin, Paprikaextrakt u. v. m.) versuchten STÜMPEL, SALOMON und KARRER, SESSELMANN et al. und SHAHIDI and PEGG, das Nitrat in den Produkten zu ersetzen bzw. zu ergänzen. Die Farbausprägung konnte annähernd erreicht werden, die Aromabildung jedoch nicht (STÜMPEL, 1997; SALOMON und KARRER, 1932; SESSELMANN et al., 1995; SHAHIDI and PEGG, 1991). Auch die Beimpfung von poliertem Reis mit dem Schimmelpilz *Monascus purpureus* (Angkak) sowie der pure Einsatz von *Monascus purpureus* wurde bezüglich seiner nitritsenkenden Wirkung untersucht – diese Erwartung konnten beide Versuchsansätze erfüllen, die Geschmackgebung der mit NPS behandelten Produkte konnte nicht erreicht werden (SALOMON und KARRER, 1932; SESSELMANN et al., 1995; FINK-GREMMELS et al., 1990).

Darüberhinaus existieren verschiedene Patente zur Umrötung von Fleisch oder Brät durch die Anwendung von Gas oder Gasgemischen. THIEMIG et al. führten die Umrötung direkt mit einem NO/N₂-Wirkgasgemisch herbei (CRANSTON, 1997; THIEMIG et al., 2000; THIEMIG et al., 2001; RANKEN, 1973). SORHEIM et al. überprüften die Wirkung des Kohlenmonoxid (CO) an Modellbräten (SORHEIM et al., 2004). Die Überlegung, mit Vakuumkutterung bzw. mit einer Kombination aus Vakuumkutterung und Stickstoff-Zugabe die Einwirkung des Sauerstoffs (O₂) zu unterbinden, führte zu farblich befriedigenden aber geschmacklich unbefriedigenden Ergebnissen (STROMSTAD et al., 1993; FISCHER et al., 2005; MÖHLER, 1980; KLETTNER und TROEGER, 2000).

PETÄJÄ und WEBER prüften den Einsatz verschiedener Starterkulturen (*Staphylococcus carnosus* ssp. *utilis*, *Vibrio costicolus* und Mikrokokken („Bactoferment 61“), „SSHK 76“) (PETÄJÄ, 1977; WEBER, 2003; PROBST et al., 1998; SCHIEFER und SCHÖNE, 1981).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass keine der Alternativen alle Eigenschaften der Pökellung mit Nitritpökelsalz bezüglich Umrötung, Haltbarkeitsverlängerung, Geschmackgebung, Farbstabilität und Aromabildung erfüllen konnte. Durch die Reduktion der Nitritzugabe konnte teilweise nicht nur ein Nachlassen der Farbstabilität sondern sogar eine Gelbverfärbung beobachtet werden (FISCHER et al., 2005; WIRTH, 1985; 1991).

2.5.4.2 Räuchern

Auch das Räuchern ist eine Form der Konservierung. In Bayern und Österreich wird dafür auch die Bezeichnung „Selchen“ verwendet. Grundsätzlich unterscheidet man Kalt-, Warm- und Heißräucherung. Die Kalträucherung (22° C bis 28° C) wird bei Waren angewendet, die länger haltbar gemacht werden sollen, wie z. B. Rohwürste und Schinken. Als Zwischenstufe zum Heißräuchern kann das Warmräuchern (40° C bis 60° C) gesehen werden. Die Produkte, wie z. B. das Lachsrauchfleisch, sind im Inneren nicht gegart. Die Heißräucherung (60° C bis 85° C) erfolgt über wenige Stunden und wird bei Erzeugnissen angewendet, die am besten frisch verzehrt werden, wie z. B. Brühwürste (FELDKAMP, 2004; PRÄNDL et al., 1988a; FISCHER, 1988; JIRA, 2004).

Während des Räuchervorgangs werden die Fabrikate nebeneinander aufgehängt. An die Stellen, wo sie auf den hölzernen Räucherspießen aufliegen, kann kein Rauch dringen. Diese hellen Flecken werden „Sattelstellen“ genannt, die zum Beispiel bei Wiener Würstchen gut sichtbar sind. Durch die Rauchabschirmung weisen die Würstchen an diesen Stellen erhöhte Feuchtigkeitsgehalte auf, sind dadurch weniger gut konserviert und anfälliger gegenüber mikrobieller Zersetzung. Ab und zu weisen geräucherte Produkte auch deutlich dunklere Flächen auf, die als „Tropfstellen“ bezeichnet werden. Hier ist entweder von einer darüber hängenden Wurst Rauch abgetropft oder die Feuchtigkeit auf der Wurst war vor Einwirkung des Rauchs noch nicht vollständig verdunstet. Dann bilden sich am Ende der Würste Tropfen, in denen sich viele, auch schädliche, Rauchbestandteile konzentrieren (BRAUER, 2004b; FELDKAMP, 2004; PRÄNDL et al., 1988a; WAGNER, 2008).

2.5.4.2.1 Wirkprinzip

Das Räuchern dient der Geschmackgebung, der Geruchs- und Farbintensivierung, der Haltbarmachung und bei bestimmten Erzeugnissen der Garung. Bei den Brühwürsten, die mit Rauch behandelt werden, steht dabei die Aromatisierung und Färbung der Produkte im Vordergrund. Nach der Aromenverordnung darf zum Räuchern von Lebensmitteln nur frisch entwickelter Rauch aus naturbelassenen Hölzern und Zweigen verwendet werden, meist sind dies Buche oder Erle (AromV, 2008; BRAUER, 2004b; PRÄNDL et al., 1988a; WAGNER, 2008; STIEBING und ARNETH, 1998).

Rauch besteht aus zahlreichen flüchtigen Stoffen, die das Eiweiß gerinnen lassen und so konservierend wirken. Dazu gehören die Phenole (Guajacol, Kreosol, Brenzkatechin u. a.), die giftig sind und in höheren Konzentrationen sogar zu Lähmungen führen können. Die ebenfalls flüchtigen Carbonyle (z. B. Formaldehyd) wirken keimvermindernd bzw. – hemmend und zum Teil antioxidativ. Für die Farbe sind neben den Carbonylverbindungen im Wesentlichen die Stickstoff- (N)-Heterocyclen verantwortlich. Die Carbonsäuren, wie Ameisen- und Essigsäure, tragen zur Aromabildung bei. Dazu gehören auch die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) wie das Benzo(a)pyren (MÜLLER und WEBER, 1996; NEUMÜLLER, 1972; WEBER, 2003; WITTKOWSKI, 1985; FELDKAMP, 2004). Die Gruppe der PAK (mit 4 bis 7 Ringen) sind die wichtigsten und gefährlichsten Inhaltsstoffe des Räucherrauches. Im Jahr 2002 hat das Scientific Committee of Food (SCF) in einer Literaturstudie wissenschaftliche Erkenntnisse über die Belastung der Lebensmittel mit PAKs in der EU zusammengetragen. Demnach erfolgt für Nichtraucher die PAK-Aufnahme zu mehr als 95 % über die Nahrung. Insgesamt sind 250 PAK-Verbindungen bekannt, 16 davon werden von der amerikanischen Umweltbehörde (US-EPA) als umweltrelevant angesehen, sechs besitzen kanzerogenes Potential. Dazu gehört das 3,4-Benzopyren. Es ist am besten erforscht und wird daher als Leitsubstanz für den Gehalt an kanzerogenen Substanzen in geräucherten Lebensmitteln angesehen (SCF, 2002; GRIMMER, 1983; TILGNER, 1979; STIEBING und ARNETH, 1998; DENNIS et al., 1983; JIRA, 2003). Die PAK entstehen bei Verschwelungstemperaturen des zerkleinerten Holzes (= „Schmok“) über 500° C, also vor allem bei dem üblicheren Räucherverfahren mit Endothermrauch (Pyrolyserauch), bei dem Temperaturen von 400° C bis 900° C entstehen (PRÄNDL et al., 1988a). Aus diesen Gründen ist, ähnlich der Vorgaben des Pökeln, der Benzo(a)pyrengehalt in Lebensmitteln gesetzlichen Beschränkungen unterworfen. Eine EU-Verordnung legt den Grenzwert für Fleisch und Fleischprodukte auf 5 µg/kg fest (VO (EG) 208/2005).

2.5.4.3 Wasseraktivität und pH-Wert

Die Wasseraktivität (a_w -Wert) bezeichnet die Menge des frei verfügbaren Wassers in dem Lebensmittel. Dieser Wert ist wichtig für die Haltbarkeit des Erzeugnisses, denn Mikroorganismen benötigen Wasser für ihre Stoffwechselaktivität. Je weniger freies Wasser vorhanden ist, desto schlechter können sich potentielle Verderbniserreger vermehren, umso länger ist die Ware haltbar. Das Wachstumsoptimum der meisten Mikroorganismen liegt bei einem a_w -Wert von ca. 1. Der a_w -Wert kann durch Pökeln und Räuchern (s. o.) auf ein Niveau unter 1 gesenkt werden, so dass für die meisten Mikroorganismen kein Wachstum mehr möglich ist. Wird der Verderb der Ware verzögert, wird gleichzeitig die Farbausprägung länger aufrecht erhalten (WAGNER, 2008; BRAUER, 2004b; PRÄNDL et al., 1988a).

Ebenso ist der pH-Wert von großer Bedeutung für die Untersuchungsparameter Festigkeit und Farbe. Eine schnelle pH-Wert Senkung erniedrigt das Wasserbindungsvermögen, das Fleisch erscheint hell und blass (PSE-Fleisch, siehe Kapitel 2.5.1). Durch die rasche pH-Wert-Senkung denaturieren die Myoglobinmoleküle und die Proteine fallen aus (HONIKEL, 2007a). Ein hoher pH-Wert liegt bei DFD-Fleisch (siehe Kapitel 2.5.1) vor. Einerseits wird dadurch die Wasserbindung positiv beeinflusst, wodurch geringere Geleeabsätze entstehen, andererseits ist eine bessere Bindung des Sauerstoffs an das Myoglobin möglich. Ein hoher pH-Wert führt daher zu einer guten Festigkeit und einer roten Farbe (FISCHER, 1981; KLETTNER, 2002; SCHWÄGELE, 1999; HONIKEL, 2007a). Nach WULF et al. und PAGE et al. wird zur Eingangskontrolle wie zur Kontrolle der Weiterverarbeitung von Fleisch (PSE- bzw. DFD-Fleisch) oft der pH-Wert gemessen. Untersuchungen haben ergeben, dass der pH-Wert und die Farbe signifikant miteinander korrelieren (WULF et al., 1997; PAGE et al., 2001).

2.6 Einflüsse auf die Haltbarkeit und Farbstabilität

Nachdem die oben beschriebenen Faktoren die Farbgebung der Produkte beeinflussen, sollen im Folgenden die Einflüsse auf die Farbstabilität dargestellt werden.

Unter Farbstabilität wird die Erhaltung der ansprechenden roten Farbe unter Lager- und Verkaufsbedingungen verstanden. Faktoren, die die Farbstabilität beeinflussen, sind gleichzeitig Faktoren, die die Haltbarkeit des Lebensmittels beeinflussen. Umgekehrt sind Reife- und Alterungsprozesse auch immer mit Farbveränderungen verbunden. Daher werden hier beide Parameter im Zusammenhang betrachtet (MIELNIK, 1982).

Die ablaufenden Vorgänge sind produktspezifisch und abhängig von der angewandten Technologie (siehe Kapitel 2.5.3 ff), dem pH-Wert, der Wasseraktivität des Produkts (siehe Kapitel 2.5.4.3), den hygienischen Bedingungen, der Temperatur, dem einwirkenden Sauerstoff, der Lagerungsdauer, den Verpackungsbedingungen und der Beleuchtung (BRAUER, 2004b; POTTHAST, 1987; MIELNIK, 1982).

Da je nach Alterungszustand die Ware als frisch oder verdorben gilt, muss für jedes Lebensmittel ein Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) ausgewiesen werden. Nach § 7 der Lebensmittelkennzeichnungsverordnung (LMKV) handelt es sich hierbei um „das Datum, bis zu dem das Lebensmittel unter angemessenen Aufbewahrungsbedingungen seine spezifischen Eigenschaften behält“ (LMKV, 2007). Das MHD bezieht sich demnach nur auf die Erhaltung der sensorischen, mikrobiologischen und wertbestimmenden Eigenschaften des Produkts. Es ist nicht mit dem Verfallsdatum oder dem Verbrauchsdatum zu verwechseln oder gleichzusetzen.

Nach § 3 Abs. 1 Nr. 4 der LMKV ist auf der Verpackung eines Lebensmittels das MHD anzugeben. Die Deklaration der jeweiligen Haltbarkeitsfristen erfolgt im Allgemeinen aufgrund betriebsbezogener Lagerungsversuche im Rahmen des redlichen Herstellungsverbrauchs (LMKV, 2007; BRAUER, 2004b). Die Festlegung des MHDs liegt somit in der Verantwortung des Herstellers, eine gesetzliche Regelung über den genauen Ablauf der Festlegung des MHDs existiert nicht.

2.6.1 Produktspezifität

Die Art und Weise der Einflussnahme ist unterschiedlich, je nachdem, ob es sich um ein biologisches Rohprodukt wie Obst oder ein aufbereitetes Produkt wie Fleisch, Fisch oder Wurst handelt. Biologische Rohprodukte altern langsamer, da deren Prozessabläufe noch weitgehend intakt sind. Bei Fleisch und Wurst gehen die Reife- und Zersetzungsprozesse von den lokalen Schnittstellen aus. So altert beispielsweise die lichtzugewandte Seite einer Fleisch- oder Wurstscheibe schneller als die lichtabgekehrte Seite. Grund ist, dass die absorbierte Strahlungsenergie nur lokal umgesetzt wird und nicht ganzheitlich verarbeitet werden kann (SCHMIDT, 2004).

2.6.2 Kühlung

Skelettmuskulatur besteht aus regelmäßig angeordneten Myosin- und Aktinfilamenten, welche die Kontraktion und Relaxation und damit eine aktive Bewegung ermöglichen. Für diese Muskelarbeit ist Energie erforderlich, die in der Zelle in Form von Glykogen vorliegt (KLINKE und SILBERNAGL, 1996). Durch das Entbluten während der Schlachtung wird dem Muskel Energie (= Glykogen) und Sauerstoff entzogen, der Muskel kann nicht mehr kontrahieren und relaxieren. Zurück bleibt die Milchsäure und je mehr Milchsäure vorhanden ist, desto tiefer sinkt der pH-Wert. Die Geschwindigkeit der pH-Wert-Abnahme ist temperaturabhängig. Wird zu schnell bei noch zu hohen pH-Werten (über 6,0) gekühlt, verkleben die Filamente irreversibel miteinander, es kommt zum unerwünschten sog. cold shortening. Unter „cold shortening“ ist der Vorgang der Kälteverkürzung des Muskels vor Eintritt der Totenstarre zu verstehen. „Cold shortening“ kann zwischen 20 % und 60 % betragen und führt zu Tropfsaftverlust, einer dunkleren Farbe des Fleisches und Zähigkeit (BRAUER, 2004b; PRÄNDL et al., 1988b).

So wird verständlich, dass sich sowohl zu niedrige Temperaturen als auch eine zu schnelle Kühlung negativ auf Farbe und Zartheit auswirken. Dies tritt vor allem bei Tierarten mit verlangsamter Glykolyse wie Schaf und Rind auf. Durch eine Absenkung der Kühltemperatur vier Stunden p. m. wird die postmortale Glykolyse nach der Schlachtung verlangsamt. Aus diesen Gründen wird für Rindfleisch eine Kerntemperatur von nicht weniger als + 10° C bis zehn Stunden post mortem empfohlen. In Farbmessungsversuchen konnte gezeigt werden, dass bei Rindfleisch die L*- und a*-Werte bis Tag 16 anstiegen, wobei die Helligkeit schon ab dem Tag der Schlachtung anstieg. Rot- und Gelbwert dagegen stiegen erst ab Tag 12 an. Die Vakuumreifung führte insgesamt zu hellerem Fleisch als die Reifung im Viertel (MARSH and CARSE, 1974; SCHWÄGELE, 1999).

Bei Schweinefleisch führt eine konventionelle Kühlung (in Verbindung mit einer CO₂-Betäubung) zu blasserem (L* erhöht), gelberem (b* erhöht) und weniger rotem (a* erniedrigt) Fleisch. Daher wird für Schweinefleisch ein Absenken der Kerntemperatur auf +10° C bis 12 Stunden nach Eintritt des Todes bzw. auf + 2° C bis + 4° C bis 24 Stunden post mortem empfohlen. Durch diese Form der Kühlung wird die Ausbildung von PSE-Fleisch (siehe Kapitel 2.5.1) weitgehend verhindert (PRÄNDL et al., 1988b).

Bei Hirschfleisch zeigte sich, dass eine langsame oder gar nicht vorhandene Kühlung (bei 35° C bzw. 42° C) keinen großen Einfluss auf die Parameter Farbe, Zartheit und Saftverlust hat. End-pH-Wert und Totenstarre traten bei einer Erhöhung der Raumtemperatur nur früher ein (BEKHIT et al., 2007).

Fleischerzeugnisse werden während der Verkaufszeiten in Bedienungskühltheken präsentiert. Diese Theken sollen vor allem stabile Kühltemperaturen aufrechterhalten. Der größte Teil der im Handel eingesetzten Theken arbeitet mit erzwungener Konvektion. Das heißt, die Luft wird mit Hilfe von Ventilatoren in einem Kreislauf befördert. Ein eingebauter Verdampfer kühlt die Luft ab und diese wird über die am Auslagenboden angeordneten Waren geführt. Zusätzlich wird durch den leichten Überdruck das Eindringen der warmen Umgebungsluft verhindert. Dadurch wird die Kühlkette während der Verkaufspräsentation nicht unterbrochen. Farbveränderungen durch einen frühzeitigen Verderb der Ware können so verhindert werden.

Ein schnelleres Austrocknen der Ware durch die Luftströmung, vor allem bei empfindlichen Brühwurstprodukten, kann jedoch eintreten und dadurch Verfärbungen verursachen (siehe Kapitel 2.6.4). Wirkt man der Austrocknung durch den Einsatz von Befeuchtungssystemen entgegen (z. B. durch Vernebelung oder Versprühen von Wasser im Luftkreislauf), kann die Austrocknung zwar weitgehend verhindert werden, gleichzeitig gilt es aber zu bedenken, dass durch die feuchte Oberfläche bessere Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen geschaffen werden. Diese wiederum führen über einen schnelleren Lebensmittelverderb ebenfalls zu Farbveränderungen (siehe Kapitel 2.6.3) (BÖHME et al., 2001).

Auch die Farbveränderungen im Zusammenhang mit dem Gefriervorgang wurden untersucht. Rindfleisch, das vakuumverpackt, tiefgefroren (-25°C bis -30°C) und nach einem Monat Lagerung wieder aufgetaut wurde, zeigte zu 43 % Metmyoglobinbildung (BOAKYE und MITTAL, 1996). Eine weitere Untersuchung wurde mit bei -19°C gelagertem Schweinefleisch durchgeführt. Die aus diesem Fleisch hergestellten Wurstwaren zeigten verringerte Farbbildungseigenschaften.

2.6.3 Lagerung und Keimwachstum

Mikroorganismen haben einen großen Einfluss auf das Produkt. Die Ware bleibt länger frisch und farbstabil, wenn sie nur in geringer Zahl vorhanden sind und sich im Laufe der Verarbeitung nur in geringer Zahl vermehren können. Art und Umfang der bakteriellen Besiedelung sind demnach abhängig von den hygienischen Bedingungen der Schlachtung, des Personals und des Tieres selbst. Daneben ist die Verarbeitungstechnologie entscheidend, bevor über das Kühlungsmanagement Einfluss auf das Bakterienwachstum genommen werden kann. Das Keimwachstum ist umso geringer, je schneller der Kühlerfolg eintritt.

Literatur

Ideale Wachstumsbedingungen finden Keime bei Temperaturen zwischen 25° C und 40° C vor, daher ist dieser Bereich möglichst schnell zu durchlaufen. Bei einer Temperatur von 0° C bis + 4° C ist das Wachstum am langsamsten. Diese Temperaturen können durch die Zugabe von flüssigem Stickstoff (- 196° C), die auch in den Kutter möglich ist, am schnellsten erreicht werden (BRAUER 2004b; POTTHAST, 1987; SCHWÄGELE, 1999; REUTER, 1996).

Brühwurstprodukte sind eher anfällig gegen mikrobiellen Verderb und daher nur begrenzt haltbar. Der Grund dafür ist, dass Hürden wie pH-Wert, a_w -Wert und Nitritpökelsalz (NPS) verhältnismäßig schwach ausgeprägt sind (BRAUER, 2004a). Aufgeschnitten und gekühlt bei + 2° C bis + 6° C sind sie zwischen 3 und 6 Tagen haltbar, Würste im verschlossenen Darm wie Wiener Würstchen können bis zu 10 Tagen gelagert werden. Bei abgepackter Wurst sind die empfohlenen Kühltemperaturen und das aufgedruckte MHD zu beachten (N. N. 2009i). Wurde bei der Herstellung das keimhemmende Nitrit (im NPS) in einer Menge von 20 g/kg verwendet, bleibt der Keimgehalt über fünf Tage stabil (BRAUER, 2004a).

Wird das Fleisch tiefgefroren (- 18° C) gelagert, vermehren sich die Mikroorganismen praktisch nicht mehr, das Fleisch kann deutlich länger, aber aufgrund von Fettveränderungen auch nicht unbegrenzt gelagert werden (BRAUER 2004b; POTTHAST, 1987; SCHWÄGELE, 1999).

Diese Fettveränderungen (Lipidoxidation) laufen umso schneller ab, je höher die Lagertemperatur ist. Denn bei höheren Temperaturen sind auch die sauerstoffverbrauchenden Enzyme aktiver. Durch die Lipidoxidation und den geringen Anteil des für die Oxymyoglobinbildung zur Verfügung stehenden Sauerstoffes wird das Fleisch dunkler. Bei Temperaturen von + 5° C bis + 6° C treten vor allem bei Rindfleisch Farbveränderungen bereits nach drei Tagen auf, dagegen ist bei - 1° C die Farbe auch nach 10 Tagen noch stabil. Zur Erhaltung der Fleischfarbe und zur Einschränkung der Lipidoxidation wird eine Lagertemperatur von + 4° C empfohlen (FELDHUSEN, 1994; FELDHUSEN et al., 1995; JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000; POTTHAST, 1987; RENERRE, 1990; REUTER, 1996). ZHU und BREWER untersuchten Schweinefleisch während einer siebentägigen Auslage in der Theke. Bei + 4° C zeigte es keine Veränderungen der Helligkeit. Die Rot- und Gelbwerte stiegen am ersten Auslagentag an und fielen dann wieder ab. Der Rotwert fiel deutlich schneller als der Gelbwert (ZHU und BREWER, 2007).

Durch den Abbau von Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten durch die Mikroorganismen entstehen gleichzeitig Stoffwechselprodukte, die Geruch und Geschmack beeinflussen.

Der Geschmack der Brühwurst wechselt mit steigendem Keimgehalt von „frisch“ zu „muffig“, gleichzeitig bildet sich ein Schmierfilm aus. Kurze Zeit danach gilt die Wurst als verdorben. Der Geschmack wird säuerlich, faulig oder süßlich, je nachdem, welche Mikroorganismen sich vermehrt haben (BRAUER 2004b; GRACEY, COLLINS, 1999; HAMM, 1964).

Eine intensive Gelbverfärbung kann durch die Vermehrung von Milchsäurebakterien (*Leuconostoc gelidum*) entstehen. Dies ist beispielsweise bei vorverpackter und kühl gelagerter Weißwurst oder nicht gepökeltem Kochschinken zu beobachten (KRÖCKEL, 2007).

Fleisch und Fleischerzeugnisse zeigen auf ihrer Oberfläche eine (unerwünschte) Grünverfärbung, wenn Katalase-positive Bakterien (z. B. Staphylokokken) über die Anreicherung von Peroxiden Veränderungen am Porphyrinring des Häm bewirkt haben (HAMM, 1975). Erfolgt eine Oxidation des Myoglobins in Anwesenheit von Sulfhydryl-Gruppen (v. a. in Schwarten vorhanden) und Sauerstoff, wird Sulfmyoglobin, ein ebenfalls grünes Pigment, gebildet (PRICE und SCHWEIGERT, 1971; LAWRIE, 1985; STIEBING und ARNETH, 1998).

Zum grau-braunen Metmyoglobin wird das für die Fleischfarbe verantwortliche Myoglobin oxidiert, wenn aerobe Bakterien (z. B. Pseudomonaden) die Myoglobin-Proteine denaturieren. Dadurch kann Sauerstoff nicht mehr an das Häm angelagert werden (CROSS, 1986; FELDHUSEN et al., 1995; RENERRE, 1990).

In neueren Literaturstudien wird beschrieben, dass mit Hochdrucktechnologie versucht wird, eine keimreduzierende Wirkung zu erzielen. Durch den hohen Druck wird Myoglobin aber in Metmyoglobin umgewandelt, das Produkt verfärbt gräulich (DE LAMBELLERIE-ANTON et al., 2002)

2.6.4 Sauerstoff und Verpackung

Wie in Kapitel 2.5.1 ausgeführt, ist die Fleischfarbe grundsätzlich von der Zustandsform des Myoglobins abhängig. Fleischerzeugnisse vergrauen schnell, wenn Sauerstoff und Licht vorhanden sind. Das Vergrauen von Fleischerzeugnissen stellt eine optisch nicht hinnehmbare Qualitätsminderung dar. Die zugrundeliegende und zur Vergrauerung führende chemische Reaktion ist die Oxidation des Myoglobins zum Metmyoglobin, die nur bei Anwesenheit von Sauerstoff ablaufen kann (RIEBLINGER, SANDMEIER, 2005; HOOD, 1980).

Literatur

Um den umgekehrten Weg, die Reduktion von Metmyoglobin zu Myoglobin beeinflussen zu können, werden in der Literatur verschiedene enzymatische oder nicht-enzymatische Systeme diskutiert. Da die biochemischen Vorgänge jedoch sehr komplex und das Ausmaß auf die Farbstabilität von Frischfleisch während der Lagerung bei dem Einsatz solcher Systeme nicht endgültig geklärt sind, besteht hier noch Forschungsbedarf, weswegen nicht weiter darauf eingegangen werden soll (BEKHIT und FAUSTMAN, 2005).

MAC DOUGALL, WALSH und KERRY haben festgestellt, dass das Verhältnis Oxy-myoglobin zu Metmyoglobin für die Farbgebung an der dem Sauerstoff ausgesetzten Fleischoberfläche verantwortlich ist. Sie beobachteten, dass bei 30 % Metmyoglobinanteil (in % des Gesamtpigments) das Fleisch noch intensiv hellrot ist. Ab einem Prozentanteil von 50 bis 60 erscheint die Oberfläche bräunlich-rot, in dem Bereich 60 % bis 70 % wirkt das Fleisch rötlich-braun. Dabei sinkt die Farb-Akzeptanz des Verbrauchers bereits ab 20 % – 40 % Metmyoglobinanteil (MC DOUGALL, 2002a; WALSH and KERRY, 2002).

Für den Qualitätserhalt wichtig ist daher der weitgehende Ausschluss von Sauerstoff. Farbveränderungen können demnach teilweise durch den Gebrauch bestimmter Verpackungsmaterialien kontrolliert werden. Unter Umständen bietet sich hier für aktive, sauerstoffzehrende Verpackungsmaterialien ein neues Anwendungsfeld (RIEBLINGER, SANDMEIER, 2005). Wird dem Fleischerzeugnis der Sauerstoff durch Vakuum entzogen und liegt eine entsprechende O₂-dichte Verpackung vor, so ist das Erzeugnis über Wochen gegenüber Lichteinfluss farbstabil. Das Fleisch geht entweder in den desoxygenierten Zustand des Myoglobins über, oder ein Teil des Myoglobins wird zum MetMb oxidiert. Daher sieht vakuumiertes Fleisch in der Regel nicht besonders attraktiv aus. So gelagertes Fleisch sollte vor dem Verkauf aus der Verpackung genommen werden um an der Luft die Möglichkeit zur Aufsättigung mit Sauerstoff (= „blooming“) zu erhalten (HONIKEL, 2007a).

Wird PVC-Folie verwendet, die für Sauerstoff durchlässig ist, wird Fleisch nach wenigen Tagen unansehnlich braun. Gleichzeitig können Verderbniskeime in das Produkt gelangen. Die Zahl der aeroben und anaeroben Keime stieg bei PVC-verpackten Waren innerhalb von zwei Wochen bei einer Lagertemperatur von + 2° C auf 10⁶ an (BRAUER, 2004b; JAKOBSEN und BERTELSEN, 2000; LAWRIE, 1998).

Die Verpackung von Fleischwaren in luftundurchlässigen Materialien und deren anschließendes Rückbegasen mit hohen Sauerstoffgehalten ist möglich und zulässig, das Fleisch erscheint dann intensiv rot. Der verwendete Sauerstoff ist in diesem Fall als Zusatzstoff auf der Verpackung anzugeben (HONIKEL, 2007a; ZZulV, 2008e).

Wird die Zusammensetzung des Gases, das in direktem Kontakt mit dem Lebensmittel steht, verändert, spricht man von „MAP-Verpackungen“ (Modified Atmosphere Packaging) oder „Schutzgasverpackung“. Je nach verpacktem Produkt und Hersteller variiert die Zusammensetzung der einzelnen Gase, i. d. R. besteht es aus 70 bis 80 % Sauerstoff (O₂) und 30 bis 20 % Kohlendioxid (CO₂). Ziel ist, den Sauerstoffanteil so zu senken, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Fleisches weitgehend erhalten wird. Denn wenn die Fleischoberfläche abtrocknet, wird vermehrt Metmyoglobin gebildet, wodurch das Fleisch ebenfalls dunkler wird und vergraut (siehe Kapitel 2.6.2). Gleichzeitig soll durch die Sauerstoffreduzierung das Wachstum der aeroben Verderbniserreger verringert und so die Haltbarkeit des Lebensmittels verlängert werden (FELDHUSEN und REINHARD, 1994; BEHRENDTS et al., 2003). TAUSCHITZ et al. beschreiben allerdings, dass ein Drittel der im Handel befindlichen MAP-Verpackungen bezüglich ihrer qualitätsbewahrenden Eigenschaften nicht optimal sind (TAUSCHITZ et al., 2003).

Mit einer Gaskombination von Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff in der Verpackung lässt sich eine Farbstabilität über 21 Tage erreichen. Gleichzeitig ist das Keimwachstum verringert. Bei einer Verpackung, der 0,5 % CO₂ zugesetzt wurden, stieg die Zahl der aeroben Keime beispielsweise erst nach drei, die Zahl der anaeroben Keime sogar erst nach fünf Wochen auf 10⁶ an. Trotz frischer Farbe bis zur achten Woche war hier aber bereits nach fünf Wochen Verderbnis festzustellen (JAYASINGH et al., 2001).

Wird der Verpackungsatmosphäre Kohlenmonoxid (CO) zugesetzt, lagert sich das CO an das Häm pigment, das Fleisch wird röter als das nur unter Sauerstoffatmosphäre verpackte (a*-Wert erhöht und b*-Wert erniedrigt). Die durch die Ausbildung eines stabilen Komplexes zwischen CO und Mb entstandene Farbe ist wie auch das Nitrosomyoglobin hitzestabil. Gleichzeitig kann aber bereits Verderbnis eingesetzt haben, während durch die Farbe Frische signalisiert wird. Der Einsatz von CO ist in Europa daher aus Gründen des Verbraucherschutzes nicht zulässig (NAM und AHN, 2002; HONIKEL, 2007c).

In Japan wird eine Folie bei Lebensmitteln eingesetzt, die Glycerin enthält. Zugrundeliegende Beobachtung war, dass durch das Glycerin der Abbau des Inosinmonophosphats (IMP, postmortales Umwandlungsprodukt von ATP, ADP und AMP) langsamer verlief und daher weniger Metmyoglobin gebildet wurde. Rindfleisch zeigte nach Einlagerung (7 Tage bei + 4° C) in einer derartigen Folie eine frischere rote Farbe als die Vergleichsprobe ohne glycerinhaltige Folie. Die Messungen der L*a*b*-Werte am Ende der Lagerung ergaben eine Abweichung von 2 Einheiten (HONIKEL, 2007b; SAITO et al., 2007).

Fleisch, das im Anschnitt einen breiten, intensiv kirschroten Rand um einen scharf begrenzten, dunkleren Kern aufweist, ist oxygeniert worden. Darunter ist das Behandeln mit Sauerstoff in hohen Konzentrationen und hohen Drücken zu verstehen. Hauptgrund für die Anwendung des Hochdruckverfahrens ist die Inaktivierung von Mikroorganismen. Weitere Folge ist eine Sättigung des Mb mit O_2 , das dadurch zum Oxymyoglobin wird und die sich daraus ergebende ziegelrote Farbe. „Äußerlich“ erscheint so behandeltes, „aufgerötetes“ Fleisch deutlich röter (NITSCH, 2008). Dieses Verfahren findet inzwischen auch bei Fleischerzeugnissen Eingang, allerdings in sehr untergeordnetem Maße (HONIKEL, 2007c).

2.6.5 Beleuchtung und Verpackung

Die Verkaufsbeleuchtung führt über die energetischen Reaktionen automatisch zu einer Beschleunigung der Alterungsprozesse. Nur ein kleiner Teil des auffallenden Lichts wird von dem Objekt reflektiert, der größere Teil wird durch das beleuchtete Lebensmittel absorbiert bzw. verarbeitet. Dieser Teil der Strahlungsenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt und durch Konvektion an die Umgebungsluft wieder abgegeben. Dunklere Objekte absorbieren mehr Licht, erwärmen sich daher stärker und verderben schneller. Die Einwirkung des Lichts fördert auf diese Weise die Lipidoxidation, das „Ranzigwerden“ der Fleischprodukte (SCHMIDT, 2004; SIMON, 1977; MIELNIK, 1982). Die farbgebenden Komponenten Myoglobin und Oxymyoglobin sind gegen UV-Licht stark anfällig. Es kommt relativ schnell durch Metmyoglobinbildung zu einer Grau-braunverfärbung des Fleisches. Wird das UV-Licht ausgeschaltet, wird die Verfärbung nicht verhindert sondern höchstens verlangsamt. Der Grund hierfür ist, dass auch sichtbares Licht einen Einfluss auf die Farbänderung durch MetMb-Bildung hat, wenn auch etwas geringer. Positiver Effekt der UV-Licht-Ausschaltung ist jedoch die Verringerung der Oxidationsreaktionen an Fetten und Vitaminen (STEINER und SCHARNHORST, 2008; LETTNER, 1982).

Es gilt daher, den Anteil der Strahlungsenergie möglichst gering zu halten. Dies ist beispielsweise möglich, indem die Verkaufsbeleuchtung streng auf die Verkaufszeit beschränkt wird. Befindet sich ein Fleischerzeugnis im Dunkeln, kann nur der Sauerstoff (O_2) wirken und das Erzeugnis bleibt über Stunden farbstabil (SCHMIDT, 2004).

Vergrauungen entstehen auch umso schneller, je heller die Fleischtheke ausgeleuchtet wird. Das Licht wirkt dabei als Katalysator, weswegen sich die Benutzung von Niederdruck-Leuchtstofflampen empfiehlt. Energiesparlampen sind beispielsweise deutlich heller und wirken sich deshalb negativ auf die Farbhaltung aus.

Literatur

Lösungsmöglichkeiten sind auch das Reduzieren der Verkaufsbeleuchtung (< 1000 lux) insgesamt, oder das gezielte Auswählen von Lampen, die in ihren spektralen Strahlungsanteilen weitestgehend nur die von den Waren nicht absorbierten Spektralanteile bedienen. Eine Glühbirne ist nicht so hell wie eine Energiesparlampe, allerdings ist die Wärmeentwicklung der Glühbirne höher, so dass das unerwünschte Bakterienwachstum gefördert wird (KLETTNER und TERSTIEGE, 1999; RÖDEL, 1991a; RÖDEL, 1991b; SCHMIDT, 2004; KLETTNER, 1982).

Durch eine gezielte zusätzliche Luftströmung in Form einer Raumklimatisierung kann der Anteil der an die Umgebung abgegebenen Energie erhöht werden. Damit wird die Wärmebelastung der Ware durch die Lichtstrahlung reduziert. Diese Luftströmung führt jedoch auch zu einer oberflächlichen Abtrocknung der Ware. Wird die Ware feucht gehalten, wird dem entgegengewirkt und gleichzeitig die konvektive Oberflächenkühlung gefördert. Damit können Reife- und Alterungsprozesse verlangsamt werden (BODMANN, EBERBACH, 1976; KLETTNER, 1982; SCHMIDT, 2004).

Unverpackte Wurstwaren sind der einwirkenden Beleuchtung schutzlos ausgesetzt, so dass hier durch die Lampenwirkung die stärksten negativen Auswirkungen entstehen. Selektiv (molekular) durchlässige Verpackungsfolien und Schutzgasfüllungen können daher für eine Minderung der Alterungsbeschleunigung durch die Beleuchtung sorgen. In Sperrschichtfolien abgepackte Ware unterliegt einer deutlich höheren Belastung, da nur ein geringer Anteil der absorbierten Strahlungsleistung weitergeleitet werden kann. Die Konvektion der Luft findet nur innerhalb des Volumens der Verpackung statt und führt zu einem anderen Mikroklima (SCHMIDT, 2004; KLETTNER, 1982)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die richtige Wahl der Verpackung maßgeblich Einfluss auf das Einwirken von Sauerstoff, die Wechselwirkungen mit Licht und die Wasseraktivität des Produktes genommen werden kann. Auch ein sorgfältiges Kühlungsmanagement ist unumgänglich um Qualitätsparameter wie Frische, Aroma und Farbgebung positiv zu beeinflussen. Mit unverpackter Ware muss umso verantwortungsbewusster umgegangen werden. Durch äußere Einwirkungen bereits eingetretene Farbveränderungen können ein Hinweis auf einen beginnenden Verderb sein und dürfen keinesfalls „weggeleuchtet“ werden.

3 Material und Methoden

3.1 Material

3.1.1 Auswahl

Die eigenen Untersuchungen wurden an insgesamt 30 Brühwurstprodukten im Hinblick auf ihre sensorischen und farblichen Eigenschaften durchgeführt. Die Gruppe der Brühwürste wurde bereits in anderen Untersuchungen für Farbmessungen als repräsentativ befunden und als Modell für die Farbwiedergabeeigenschaften von Fleischerzeugnissen herangezogen (KLETTNER, 1995; TERSTIEGE, KLETTNER, 1992; STOLLE, 2001). Aus diesem Grund wurde das Untersuchungsmaterial für die vorliegende Arbeit ebenfalls aus dieser Gruppe zusammengestellt.

Aus der Produktionspalette der Brühwürste wurden nur Waren mit annähernd farbhomogener Grundmasse ausgewählt: Leberkäse, Gelbwurst, Stangenlyoner, Kalbfleischwurst, Wiener Würstchen aus Putenfleisch und Wiener Würstchen aus Schweinefleisch. Diese Auswahl wurde aufgrund zweier Überlegungen getroffen. Einerseits schien dadurch der in Kapitel 3.2.1.2 beschriebene sensorische Farbvergleich bei farbhomogener Schnittfläche eindeutiger möglich. Andererseits ist die verwendete Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera nicht in der Lage, Farben gegeneinander abzugrenzen. Vielmehr errechnet sie einen Mittelwert aus drei gemessenen Ergebnissen (siehe Kapitel 3.2.2). Dadurch scheinen Ergebnisse aus Messungen an oberflächenfarbhomogenen Produkten aussagekräftiger als bei Produkten mit Einlagen (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Die konkrete Auswahl des Testmaterials orientierte sich an der Produktionspalette des Unternehmens, das die Waren zur Verfügung stellte. Die Produkte stammten aus einem klein- bis mittelständischen Unternehmen mit rund 60 Angestellten. Es handelt sich um einen Familienbetrieb, dessen Umsatz zu 95 % aus dem Verkauf von Wurstwaren und zu 5 % aus dem Verkauf von Fleisch stammt.

3.1.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte durch den Metzgermeister und Inhaber des o. g. Unternehmens nach Festlegung des Verfahrens durch die Erstellerin dieser Arbeit. Die Wurstwaren wurden am Vortag des ersten Probenahmetags frisch hergestellt und befanden sich zunächst in unangeschnittenem Zustand. Gelbwurst, Stangenlyoner, Kalbfleischwurst und Leberkäse wurden bei Abholung im Beisein der Erstellerin dieser Arbeit frisch angeschnitten. Der Anschnitt erfolgte derart, dass Endstücke entstanden. Bei diesen Produkten wurden ausschließlich Endstücke in die Untersuchung einbezogen. Dadurch sollte die negative Auswirkung eines früher einsetzenden mikrobiellen Verderbs auf die Farbhaltung durch eine beidseitige Einwirkung von Licht und Sauerstoff auf die Wurstware verhindert werden. Gleichzeitig konnte so gewährleistet werden, dass die Farbe eines eventuell durchscheinenden Hintergrunds den wahrgenommenen Farbeindruck nicht verfälschte.

Zudem werden Endstücke gewöhnlich länger im Betrieb vorrätig gehalten und nach Durchführung eines frischen, ca. 1 bis 2 cm starken, Anschnitts neuerlich zum Verkauf angeboten.

Die Puten- und Schweinewiener wurden nicht angeschnitten, sondern im Ganzen zur Untersuchung vorgelegt.

Anschließend wurden die Waren in einer Kühlbox zu dem Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Ludwig-Maximilians-Universität München transportiert. Die Erzeugnisse wurden in eine Folie eingeschlagen befördert. Bei dem verwendeten Einschlagpapier „allfolin cell“ handelt es sich um lichtabhaltende Produkte der Firma Perga Plastic, das durch die Firma Werner Niederberger GmbH vertrieben wird. Die Rohstoffbasis dieses Einschlagpapiers ist Polyethylen hoher Dichte (HDPE) mit mineralischen Füllstoffen. Die verwendeten Rohstoffe sind unter Beachtung der Grundsätze zur Verpackung von Lebensmitteln im Sinne der Vorschrift der §§ 30 Abs. 3 und 31 Abs. 1 des LFGB geeignet und entsprechen den derzeit geltenden BfR oder BgVV Empfehlungen und / oder der EG Richtlinie 2002/72/EG und / oder den FDA-Regulationen (LFGB, 2008; RL 2002/72, 2002). Ebenso erfüllen die eingesetzten Druckfarben die gesetzlichen Bestimmungen bzw. lebensmittelrechtlichen Anforderungen (siehe Unbedenklichkeitsbestätigung des Herstellers).

Die Abgabe der Waren an den Verbraucher erfolgt gewöhnlich in demselben Einschlagpapier.

Nach der VO (EG) 853/2004 muss der Lebensmittelunternehmer bei der Lagerung und Beförderung sicherstellen, dass Fleisch und Fleischerzeugnisse auf + 7° C gekühlt und keine höheren Werte erreicht werden (VO (EG) 853/2004, 2004d). Die Proben wiesen sowohl bei der Abholung in dem Betrieb sowie bei ihrer Ankunft im o. g. Institut eine Temperatur von maximal + 3° C auf und erfüllten damit die gesetzlichen Anforderungen.

Nach Durchführung der Untersuchungen wurden die Proben in der Kühlbox wieder in den Betrieb verbracht. Dort wurden sie bis zur nächsten Untersuchung unter den in dem Betrieb üblichen Lagerungs- und Verkaufsbedingungen (siehe Kapitel 3.1.3) vorrätig gehalten. Da es sich um Teilabgaben bzw. lose Ware handelte, wurde das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) mündlich mitgeteilt. Für die abgegebenen unangeschnittenen Putenwiener bzw. Schweinewiener lag das MHD bei sechs Tagen, für die angeschnittene Gelbwurst und den Leberkäse bei acht Tagen und für die Stangenlyoner und die Fleischwurst bei 14 Tagen.

3.1.3 Lagerungsbedingungen

Das Probenmaterial wurde, wie oben beschrieben, am Tag nach der Herstellung für die erste Untersuchung entnommen. In den dazwischen liegenden Zeiträumen bis zur zweiten und dritten Untersuchung wurden die Wurstwaren während der Verkaufszeiten des o. g. Betriebs (Montag bis Freitag von 06.30 Uhr bis 14.30 Uhr) in der gekühlten und beleuchteten Verkaufstheke neben den anderen Waren aufbewahrt. Während der Verkaufszeiten erfolgte die Präsentation der Ware unverpackt. Diese Art der Thekenlagerung ist in dem Betrieb unter Verkaufsbedingungen üblich. Um Verwechslungen mit der eigentlichen Verkaufsware zu vermeiden, wurde das Probenmaterial durch rote Banderolen gekennzeichnet.

Die Einhaltung der Anforderungen der VO (EG) 853/2004 konnte der Inhaber des Betriebs aufgrund seines betriebseigenen Qualitäts-Management-Systems (QMS) gewährleisten. Demnach ist die Kühlung von Fleischerzeugnissen während und nach der Herstellung ebenso vorgeschrieben wie die Einhaltung der Kühlkette (VO (EG) 853/2004, 2004a; VO (EG) 853/2004, 2004e). Die Temperaturen, bei denen die Lagerung von Fleischerzeugnissen zu erfolgen hat, sind in der VO (EG) 853/2004 exakt definiert: bis + 4° C bei Geflügel und bis + 7° C bei anderem Fleisch (VO (EG) 853/2004, 2004e). Die Temperatur der Kühltheke wird täglich mehrmals von der Überwachungsbeauftragten des Betriebs kontrolliert und bewegte sich immer in dem Bereich + 2° C und + 4° C.

Die Lagerung außerhalb der Verkaufszeiten erfolgte verpackt und bei Dunkelheit in Räumen, die so ausgerüstet waren, dass die Temperaturanforderungen nach der VO (EG) 853/2004 eingehalten werden konnten (VO (EG) 853/2004, 2004f). Die nach der VO (EG) 853/2004 geforderte Vermeidung einer Kontamination durch eine Trennung von verpacktem und unverpacktem Fleisch und Fleischerzeugnissen während der Lagerung war zu jeder Zeit gewährleistet (VO (EG) 853/2004, 2004h).

3.1.4 Modellversuch

Da das Untersuchungsmaterial insgesamt eher helle Anschnittflächen aufwies, sollte in einem nachgeschalteten Modellversuch geklärt werden, ob Produkte mit dunkleren Oberflächenfarben ein anderes Abweichungsverhalten unter roter Beleuchtung zeigen. Die aus diesem Modellversuch gewonnen Erkenntnisse hätten im positiven Fall zu einer Erweiterung der Palette des Probenmaterials geführt.

Für die Durchführung des Versuchs wurden im Technikum des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der Ludwig-Maximilians-Universität „Modellwürste“ produziert. Die Grundrezeptur für diese Würste entsprach der des Leberkäses des o. g. Betriebes und wurde nach eigener Vorstellung modifiziert. Das hergestellte Brät wurde in drei Teile geteilt, wobei der erste Teil nicht verändert wurde. Dem zweiten Teil des Bräts wurden 0,5 % und dem dritten Teil 1,5 % Schweineblut zugefügt. Dadurch entstanden deutlich dunklere Würste, was sich auch in den gemessenen Ergebnissen widerspiegelt (siehe Kapitel 4.7).

3.2 Methoden

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen fanden in einem für den Bereich der Sensorik von einer unabhängigen staatlichen Stelle nach DIN EN ISO 17025 akkreditierten Prüflaboratorium statt. Die Raumtemperatur lag konstant bei ca. + 21° C (plus/minus 1° C). Die sonstigen Qualitätssicherungsvorschriften nach der VO (EG) 882/2004 wurden von dem Labor ebenfalls erfüllt (VO (EG) 882/2004; DIN EN ISO 17025, 2007).

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) für die Gute Laborpraxis (GLP) schreibt in den Nummern 2 und 7 vor, dass ein Qualitätsmanagementbeauftragter die Einhaltung dieser Vorschriften überwacht und durch Stichproben die Einhaltung der Richtlinie 93/99/EWG prüft. Dies ist in dem erwähnten Labor der Fall (DIN EN ISO 17025, 2007; Richtlinie 93/99/EWG, 1993; VO (EG) 882/2004).

Damit waren die Vorgaben der Verordnung der Europäischen Gemeinschaft VO (EG) 882/2004 und § 4 der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift der Rahmenüberwachung (AVV Rüb) erfüllt (AVV Rüb, 2008).

Während der gesamten Untersuchungszeit herrschten Tageslichtverhältnisse, da in das Laboratorium durch große Fenster ausreichend Licht einfallen konnte und die vorhandene unten beschriebene Tageslichtlampe während des Versuchs eingeschaltet blieb.

Mikrobiologische Untersuchungen der Produkte wurden parallel nicht durchgeführt, da an dem Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs eine Dissertationsschrift in Vorbereitung ist, deren Ergebnis zufolge mikrobiologische Befunde und sensorischer Untersuchungen nicht korrelieren (RUDOLPH, 2010).

3.2.1 Versuchsdurchführung

Die eigenen Untersuchungen wurden in zwei getrennten Durchgängen durchgeführt. Zuerst erfolgten die physikalischen Farbmessungen, danach die sensorischen Untersuchungen. Unterschieden wird daher im weiteren Verlauf zwischen farbphysikalischen (= „objektiven“, siehe Kapitel 3.2.1.1) und sensorischen (= „subjektiven“, siehe Kapitel 3.2.1.2) Untersuchungen. Darauf aufbauend werden die Ergebnisse der farbphysikalischen Untersuchungen als „objektiver Datensatz“, die der sensorischen Farbbeurteilung als

„subjektiver Datensatz“ bezeichnet. Die einzelnen Arbeitsschritte der Versuchsreihen sind in Abb. 11 übersichtlich dargestellt. Die Codierung der Würste entspricht Tab. 31 (Anhang C).

Sowohl die sensorischen als auch die farbphysikalischen Untersuchungen erfolgten

- an sechs ausgewählten, verschiedenen Brühwurstprodukten (siehe Kapitel 3.1.1)
- an fünf Chargen jedes Produktes
- zu je drei Zeitpunkten: am Herstellungstag (= „Eingang Mindesthaltbarkeit“), in der Mitte (= „Mitte Mindesthaltbarkeit“), und am Ende der Haltbarkeitsdauer (= „Ende Mindesthaltbarkeit“)
- unter je drei unterschiedlichen Beleuchtungen (Tageslicht, Rotlicht mit einfachem Patentfilter, Rotlicht mit doppeltem Patentfilter)

nach den Vorgaben der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 Abs. 1 LFGB (LFGB, 2008).

Die Kalbfleischwurst, die Gelbwurst und die Stangenlyoner wurden in Kunstdärmen vorgelegt, die von Seiten des Herstellers mit einem Metallclip verschlossen waren. Da nur die Farbausprägung der Anschnittflächen für die Arbeit von Bedeutung war, wurden die Kunstdärme nicht in die sensorische Farbbeurteilung und nicht in die physikalischen Farbmessungen mit einbezogen. Die Puten- und die Schweinewiener wurden in einem Schafsaitling, Kaliber 22, der Firma Münchner Naturdarm vorgelegt. Bei diesen beiden Produkten wurde die Farbausprägung sowohl in der Hülle als auch angeschnitten beurteilt. Für alle verwendeten Hüllen lagen die nach § 30 LFGB erforderlichen Unbedenklichkeitsbescheinigungen im Betrieb vor (LFGB, 2008).

Die Farbe wurde bei allen Produkten jeweils an einem frischen Anschnitt beurteilt und gemessen. Im Falle der Kalbfleischwurst, der Gelbwurst, des Leberkäses und der Stangenlyoner wurde, um einen frischen Anschnitt zu erhalten, eine ca. 0,5 bis 1,0 cm starke Scheibe vom Endstück entfernt. Das abgeschnittene Stück wurde nur in die physikalischen Messungen, nicht in die sensorischen Untersuchungen einbezogen. Die Gründe hierfür werden in den Kapiteln 3.2.1.1 und 3.2.1.2 erläutert. Die Methode der Durchführung des frischen Anschnitts entspricht dem Ablauf in dem Betrieb, der für diese Untersuchung seine Waren zur Verfügung stellte. Der Anschnitt wurde mit einem glatten Fleischmesser durchgeführt, um keinen falschen Farbeindruck durch eine eventuelle messerbedingte Riffelung der Schnittfläche herbeizuführen. Die genauen Erfordernisse an den physikalischen Versuchsteil sowie die konkrete Aufgabenstellung an die sensorischen Untersuchungen werden in den Kapiteln 3.2.1.1 und 3.2.1.2 dargestellt. In Kapitel 3.2.3 werden die verwendeten technischen Hilfsmittel beschrieben.

3.2.1.1 Physikalische Untersuchungen

Im ersten Durchgang des Versuchs wurden die Farben der Würste mit einer speziellen Farbmesskamera der Firma Konica Minolta, Typ Minolta Chroma-Meter CR-400 gemessen.

Da die Kamera, wie in Kapitel 3.1.1 erwähnt und in Kapitel 3.2.3 im Detail beschrieben, im Gegensatz zum menschlichen Auge nicht in der Lage ist, Farben gegeneinander abzugrenzen, errechnet das Gerät selbst bereits aus drei gemessenen Werten einen Mittelwert über die Messfläche. Um eine möglichst detailgetreue Aussage über die durchschnittliche Gesamtoberflächenfarbe treffen zu können, wurde zusätzlich jede zu messende Oberfläche bzw. jeder zu messende Anschnitt (nach o. g. Ablaufschema, siehe Abb. 11) an je drei unterschiedlichen Stellen gemessen. Über die Berechnung eines Mittelwertes sollte ein aussagekräftiger Farbwert erreicht werden.

Für den Untersuchungsabschnitt „sensorische Untersuchung“ erübrigte sich eine derartige Vorgehensweise, weil das menschliche Auge in der Lage ist, einen Durchschnittswert über die gesehene Farbe zu bilden.

Für die Farbmessungen wurde jede Wurst zunächst unter einer Tageslichtlampe gemessen. Dazu wurde jede Wurst einzeln auf einem weißen Einwegteller vorgelegt. Die Minolta Chroma-Meter CR-400-Kamera wurde, wie oben erklärt, an drei verschiedenen Stellen aufgesetzt. So entstanden pro Beleuchtungsart drei Messergebnisse. Anschließend wurde das Probenmaterial unter der Speziallampe mit einfachem Farbfilter an drei verschiedenen Stellen der Anschnittsfläche, bzw. im Falle der Wiener Würstchen auch der Hülle, gemessen. Zuletzt erfolgte der gleiche Messvorgang unter der Lampe mit doppeltem Farbfiltereinsatz. Jede Lichtart wurde dabei eigens und für sich alleine dargeboten.

Bei dem Leberkäse, der Gelbwurst, der Stangenlyoner und der Kalbfleischwurst wurde ab dem Untersuchungszeitpunkt „Mitte MHD“ folgendermaßen differenziert: zum Zeitpunkt der ersten Probenvorlage („Eingang MHD“) wurde nur der frische Anschnitt bewertet. Ab dem zweiten Untersuchungstag („Mitte MHD“ und „Ende MHD“) wurde jeweils die Farbe des alten und des frischen Anschnitts gemessen. Als „alter Anschnitt“ wurde jeweils die Schnittfläche der vorhergehenden Untersuchung angesehen. Zum Beispiel bei der Vorlage der Gelbwurst zur Mitte des MHD wurde der Anschnitt des Untersuchungstages „Eingang MHD“ als „alter Anschnitt“ gemessen.

Danach wurde ein frischer Anschnitt durchgeführt und dieser ebenfalls gemessen. Dieser zu diesem Zeitpunkt „frische Anschnitt“ wurde bei der Vorlage des Produktes am Ende des MHD dann neuerlich als „alter Anschnitt“ gemessen, bevor auch hier ein „frischer Anschnitt“ durchgeführt wurde.

Material und Methoden

Für diesen Teilbereich des Versuchs wurde demnach das 0,5 bis 1,0 cm starke Abschnittsstück, das bei der Durchführung des frischen Anschnitts am jeweiligen Untersuchungstag entstand, in die Untersuchungen mit einbezogen (siehe Kapitel 3.2.1). Die gemessene Farbe wurde in der Ergebnisauswertung mit „alter Anschnitt“ bezeichnet.

Diese Unterscheidung war von wissenschaftlichem Interesse, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob ein „alter Anschnitt“, also ein Anschnitt der zum vorhergehenden Untersuchungszeitpunkt bereits durchgeführt wurde, unter Tageslicht als „alter Anschnitt“ und unter Rotlichtbeleuchtung als „frischer Anschnitt“ messbar war. Daher werden die Ausführungen im Ergebnisteil (siehe Kapitel 4) bezüglich der objektiven Untersuchungen nach den Ergebnissen „alter Anschnitt“ und „frischer Anschnitt“ gesplittet. Auch wird geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen Beleuchtungsart und Anschnittsfarbe besteht.

Bezüglich der subjektiven Farbbestimmung erschien eine solche Vorgehensweise irrelevant, da ein „alter Anschnitt“, der einige Tage Licht und Luft (siehe auch Kapitel 2.6 ff) ausgesetzt war, sensorisch in jedem Fall als solcher zu erkennen ist.

Die grundlegende Funktionsweise der Minolta Chroma-Meter CR-400-Kamera und die exakten Einstellungen für die Versuchsreihe sind Kapitel 3.2.3 und Tab. 6 zu entnehmen.

Darüberhinaus wurde die Kamera entsprechend dem Benutzerhandbuch verwendet. Sie wurde während der Messvorgänge direkt auf die Erzeugnisse aufgesetzt. Nur mit dieser Vorgehensweise können gültige Messungen erzielt werden. Weiter wurde an jedem Messtag mittels eines Weißstandards unter jeder der Lampen eine Kalibrierung des Messgerätes zur Kompensation von Bauteilabweichungen und Verschleißerscheinungen vorgenommen. Zwischen den einzelnen Messungen erfolgte eine Reinigung der Auflagefläche des Messkopfes mit Ethanol (KONICA-MINOLTA, 2002).

3.2.1.2 Sensorische Untersuchungen

Die Aufgaben der sensorischen Untersuchungen wurden an jeweils drei bis vier Prüfpersonen gestellt. Mindestens eine Person war im Besitz eines Prüferpasses der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). Dadurch wurde sichergestellt, dass die subjektiv ermittelten Ergebnisse valide sind. Die Prüfpersonen waren nicht gleichbleibend, vielmehr handelte es sich um einen Prüfer-Pool, der von Untersuchungstag zu Untersuchungstag wechselte. Alle Prüfungen wurden zusätzlich von einem unterwiesenen Laien (hier die Verfasserin der Arbeit) durchgeführt, der gleichzeitig als Protokollführer fungierte. Durch die Sichtweise des Laien sollte auch eine Aussage über die Verbraucherakzeptanz getroffen werden können. Die Untersuchungen wurden als Gruppenprüfung durchgeführt, die Beschreibungen gemeinsam erarbeitet.

Für die sensorischen Untersuchungen wurden die ausgewählten Fleischerzeugnisse den DLG-Sensorikerinnen des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der LMU München zunächst unter einer Tageslichtlampe (siehe Kapitel 3.2.3) präsentiert. Für die zuerst durchzuführende sensorische („einfach beschreibende“) Prüfung (siehe Kapitel 2.3.4.2) wurden die Produkte insgesamt gleichzeitig, aber jedes Erzeugnis separat auf je einem weißen Einwegteller, vorgelegt (siehe Abb. 13). Für jede Probe wurde ein Formblatt „einfach beschreibende Prüfung“, das durch die QM-Beauftragte des Instituts für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs der LMU München erstellt wurde, verwendet (siehe Anhang C). Sie erfolgte nach der Methode L 00.90-6, deren Grundsätze in der DIN 10964 verankert sind (DIN 10964; 1996). Bei allen Produkten wurden die Rahmenparameter Verkehrsbezeichnung, Gewicht, Datum und Prüfpersonen festgehalten. Die Merkmalsbeschreibungen umfassten allgemeine Kennzeichen (Verpackung, Abmessung, etc.), äußere Beschaffenheit (Farbe, Hülle, etc.), Konsistenz auf Druck und im Biss, Anschnittfläche (Einlagerungen, Farbe, etc.), Geruch und Geschmack.

Danach sollte die unter Tageslichtbedingungen wahrgenommene Farbe des Untersuchungsmaterials mit dem vorliegenden RAL-Farbfächer „D2“ verglichen und eine Farbnummer zugeordnet werden (siehe Abb. 11). Bei dem RAL-Farbfächer „D2“ handelt es sich um ein handelsübliches Exemplar des „RAL DESIGN-System“, das insgesamt 1625 fein skalierte Farbtöne enthält, übersichtlich angeordnet ist und sich durch die großen Farbfelder gut anwenden lässt (siehe Kapitel 2.2.3.3). Der RAL-Farbfächer „D2“ wurde gewählt, da sich das zugrundeliegende LCH-System auf das CIE L*a*b*-System bezieht (siehe Kapitel 2.2.3.2 und 2.2.3.3), beide Systeme ineinander umrechenbar sind und so ein mathematischer Vergleich zwischen der objektiven Messung und dem subjektiven Farbeindruck möglich war.

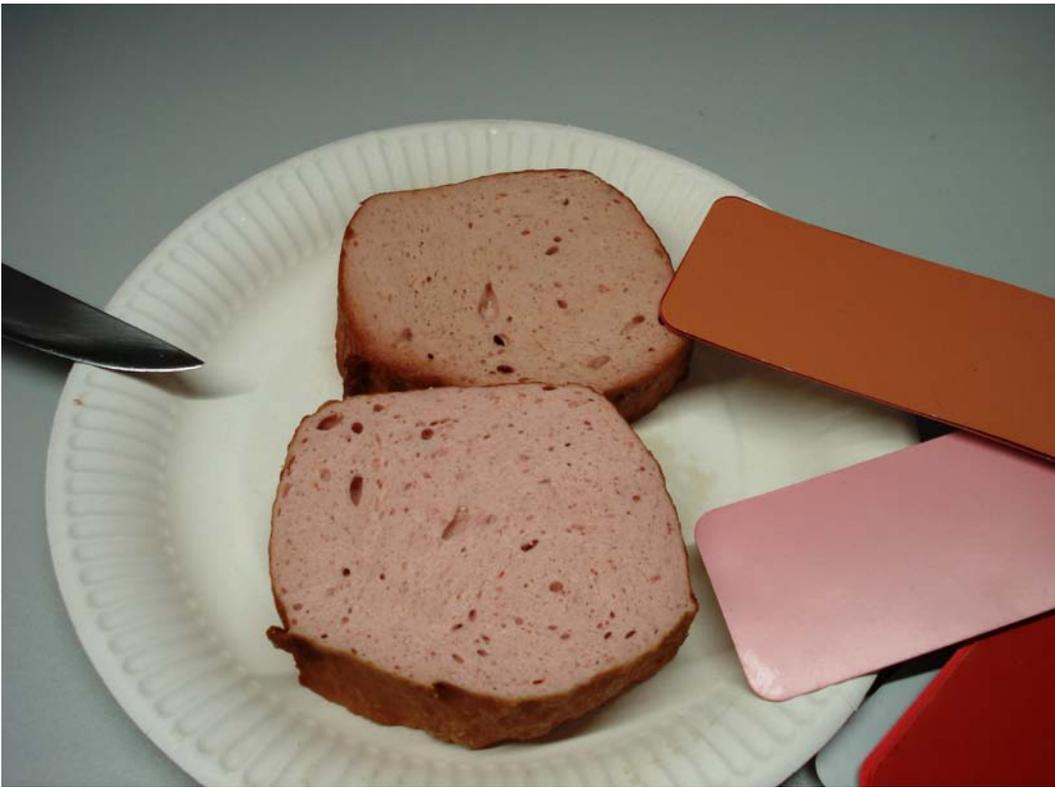


Abb. 11: Vergleich der Produktfarbe mit den RAL-Farbfächerkarten

Im Anschluss wurden die Würste unter die Speziallampe mit einfachem Farbfilter gelegt. Hier sollten die Sensorikerinnen ihre Eindrücke der Farbänderung der Würste im Vergleich zu der Tageslichtbeleuchtung formulieren und dem Untersuchungsmaterial mittels des RAL-Farbfächers ebenfalls eine Farbnummer zuordnen. Die Möglichkeiten für die Formulierung der subjektiv wahrgenommenen Farb- und Helligkeitsveränderungen der Produkte im Vergleich zu der Tageslichtbeleuchtung waren dabei eingeschränkt. Die zu verwendenden Begriffe (siehe Tab. 31) wurden bereits im Vorfeld festgelegt, um eine anschließende statistische Auswertung möglich zu machen.

Die dritte Aufgabe war prinzipiell gleich, nur dass die Beleuchtungseinheit nun mit einem doppelten Farbfilter ausgestattet war.

Für den Farbvergleich wurde die Probe unmittelbar neben die Farbkarten des RAL-Farbfächers gehalten (siehe Abb. 11). Nur für die Darstellung in Abb. 11 wurde ein alter Anschnitt eines Leberkäses neben einem frischen präsentiert. Während des Versuchs wurden die Erzeugnisse separat vorgelegt. Die Gutachterinnen sollten sich dabei auf eine Farbnummer des Vergleichsfächers einigen. War eine Einigung nicht möglich, konnte eine zweite Farbe als „Mischfarbe“ angegeben werden. Um verwertbare Ergebnisse zu bekommen, wurde in diesen Fällen bei der Ergebnisauswertung aus Erst- und Zweitfarbe (durch Addition und anschließende Division durch zwei) eine mittlere Farbe berechnet.

Material und Methoden

Die Vorlagen für die farblichen Begutachtungen durch das Prüferpaneel erfolgten nach folgendem Muster (Abb. 12):

- bei den Wiener Würstchen die Oberflächenfarbe (in der üblichen Verkehrsform, mit Hülle) und die Anschnittfarbe (nach Durchführung eines frischen, waagrecht verlaufenden Schnittes)
- bei den Produkten Kalbfleischwurst, Stangenlyoner, Leberkäse und Gelbwurst wurde nur die Anschnittfläche mit einer Farbnummer des RAL-Farbfächers beschrieben. Grund hierfür war, dass die Kalbfleischwurst, die Stangenlyoner und die Gelbwurst in dem o. g. Betrieb in einem Kunststoffdarm ausgestellt und verkauft werden, und daher auch hier zur Untersuchung in dieser Form vorgelegt wurden. Eine Farbbeurteilung der Kunststoffhülle war für die Inhalte dieses Versuchs irrelevant
- bei dem Leberkäse wurde nur die Anschnittfläche bemustert, da die Farbgebung der Kruste produkttypisch in weiten Grenzen variiert. Die Festlegung auf eine RAL-Farbnummer erschien dadurch unmöglich. Zudem trifft auch der Kunde bei Leberkäse üblicherweise die Auswahl nach der Anschnitt-, und nicht nach der Krustenfarbe
- die Farbe der jeweiligen Anschnitte wurde beurteilt, nachdem eine ca. 0,5 bis 1,0 cm dicke Scheibe des alten Anschnitts entfernt wurde. Diese Methode entspricht dem Ablauf in dem Betrieb, der für diese Untersuchung seine Waren zur Verfügung stellte. Der Anschnitt wurde mit einem glatten Fleischmesser durchgeführt, um keinen falschen Farbeindruck durch eine eventuelle Riffelung der Schnittfläche herbeizuführen.

Ziel war, eine Aussage darüber treffen zu können, ob die Farbe der Anschnitte unter den Beleuchtungen mit Farbfiltereinsatz „röter“ und dadurch „frischer“ erscheint als unter Tageslicht.

Auch für die sensorischen Untersuchungen wurde jede Lichtart eigens und für sich alleine dargeboten, damit stabile Adaptationsverhältnisse und Farbabstimmungen sichergestellt sind. Bevor die jeweilige Abmusterung begann, hatten die Prüfpersonen fünf Minuten Zeit, um sich an das Beleuchtungsniveau zu adaptieren und auf die Lichtfarbe umzustimmen.

An keinem Untersuchungstag wurden den Sensorikerinnen mehr als acht Wurstproben vorgelegt. Dadurch wurde gewährleistet, dass Sinnesempfindungen der Prüferinnen nicht von einer Vielzahl von Eindrücken überlagert wurden. Neutralisierendes Weißbrot sowie ausreichend stilles Mineralwasser stand jederzeit zur Verfügung (siehe Kapitel 2.3.2).

Abb. 12 zeigt die Übersicht über alle Arbeitsschritte des Versuchs. Die Wurstnummerierung entspricht der Codierung für die Untersuchungen und ist Tab. 31 zu entnehmen.

Material und Methoden

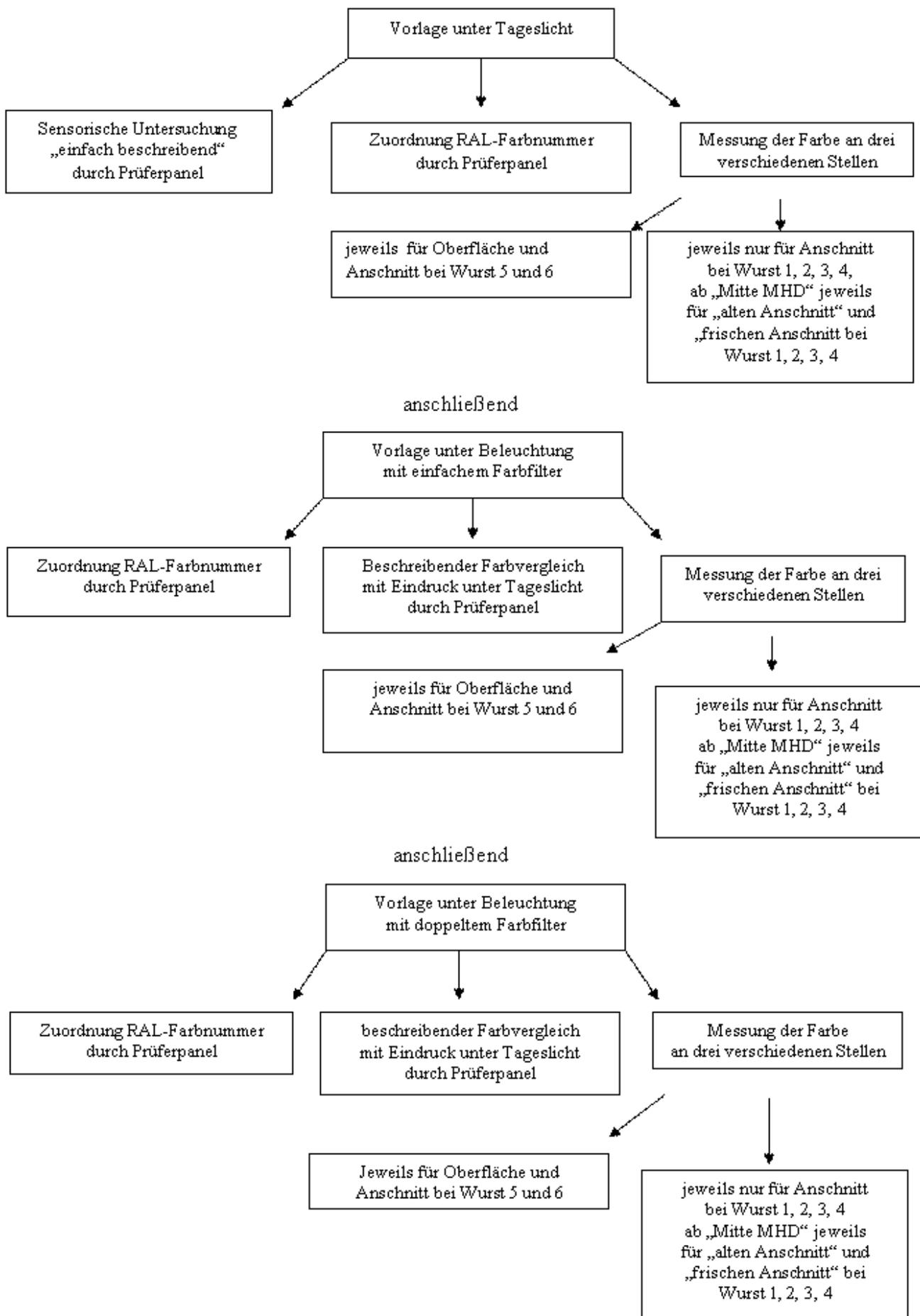


Abb. 12: Übersicht über alle Arbeitsschritte des Versuchs

3.2.2 Modellversuch

Die in eigener Herstellung gefertigten Modellwürste wurden in demselben Versuchsaufbau den nahezu identischen physikalischen und sensorischen Untersuchungen in annähernd demselben Versuchsablauf unterzogen. Allerdings erfolgte ihre Vorlage nur einmal, da bei diesen Würsten nur grundsätzlich festgestellt werden sollte, ob sie sich aufgrund ihrer dunkleren Oberflächenfarbe unter roter Beleuchtung anders verhalten als die helleren Produkte. Daher wurde ihr Alterungsverhalten nicht beobachtet. Die Würste wurden ab dem Tag ihrer Herstellung in der institutseigenen Kühlung gelagert und an Tag 4 nach der Produktion zur Untersuchung vorgelegt.

Je nach prozentual enthaltenem Schweineblutanteil wurden die Würste, um Verwechslungen auszuschließen, unterschiedlich gekennzeichnet.

3.2.3 Technische Einrichtungen

Tageslichtleuchte

Bei der Tageslichtleuchte handelt es sich um eine „Zugpendelleuchte Boston“ der Fa. KMS Handel + Marketing, Langen. Sie besteht aus zwei Leuchtstoffröhren von 134,5 cm Länge und 200 cm Breite, mit Parabolhochglanz-Raster 60°, blendfrei. Die Leuchte wurde an der Decke befestigt und befand sich 225 cm über dem Boden. Darunter befand sich ein Tisch mit weißer Oberfläche. Die Tischplatte war 250 cm lang, 150 cm breit und 110 cm hoch. Die Abbildung 13 zeigt die Versuchsanordnung für die einfach beschreibende sensorische Prüfung unter der eingeschalteten Tageslichtlampe.



Abb. 13: Untersuchungsmaterial unter der Tageslichtlampe



Abb. 14: Versuchsanordnung der Leuchten mit Farbfilter

links: Leuchte mit einfachem Farbfilter

rechts: Leuchte mit doppeltem Farbfilter

Farbfilterleuchten

Bei den beiden Speziallampen mit Farbfiltereinsatz handelt es sich um Pendelleuchten mit der Bezeichnung „Aquarius“ der Fa. Bairo. Der Spezialfiltereinsatz ist als Interferenzfilter unter der Nummer EP 1 122 488 A1 als Europäisches Patent registriert. In dem Filter wechseln sich hoch- und niederbrechende Schichten ab, auf das darunterliegende Glassubstrat sind die entsprechenden Schichten aufgedampft. Diese Filterart wird von der Fa. Bairo speziell zur Beleuchtung von Fleisch- und Wurstwaren hergestellt (Patent-Nr. EP 1 122 488 A1).

Die Beleuchtungseinheiten (Lampe + Farbfilter) wurden nebeneinander in einem Abstand von 84 cm an der Decke befestigt und auf eine Höhe von 193 cm über dem Boden heruntergelassen. Unter jeder der Lampen befanden sich zwei weiße Kunststoffboxen mit quadratischer Grundfläche, die an drei Seiten geschlossen waren. Die dem Begutachter zugewandte Seite war offen. An der Oberseite der Box befand sich eine runde Öffnung mit 21 cm Durchmesser, durch die das Licht direkt einfallen konnte. Die Boxen standen auf einem 85 cm hohen Tisch mit weißer Oberfläche. Die Seitenwände der Boxen hatten eine Länge und Breite von je 49 cm, eine Höhe von 100 cm und eine Stärke von 2 cm. Der Abstand zwischen der Leuchte und dem Untersuchungsmaterial betrug ca. 104 cm (siehe Abb. 14).

Der Unterschied zwischen beiden Lampen bestand lediglich in der Anzahl der eingebauten Farbfilter – in der in der Versuchsanordnung links aufgebauten Rotlichtlampe wurde nur ein Farbfilter eingebaut, bei der rechts aufgebauten Leuchte wurden zwei (identische) Farbfilter übereinander eingesetzt. Im Folgenden wird daher nur noch von „linkem Rotlicht“ und „rechtem Rotlicht“ gesprochen.

Farbmesskamera

Die Ergebnisse der physikalischen Untersuchungen beruhen auf der Farbmessung mit dem Dreibereichsmessgerät Chroma-Meter CR-400 der Firma Konica-Minolta Europe, Langenhagen. Um vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, wurden im Vorfeld folgende Standards festgelegt:

- Angewendet wurde das Dreibereichsverfahren entsprechend der DIN 5033 Teil 6 (DIN 5033-6, 1976) (siehe Kapitel 2.4.1.2)
- Die Farbmessungen erfolgten mit der Normlichtart D_{65} (CIE, 2004) (siehe Kapitel 2.4.2.1)
- Die spektrale Empfindlichkeit entsprach der des 2° Normalbeobachters (CIE, 1931) (siehe Kapitel 2.4.2.3).

Material und Methoden

Die Arbeitsweise des Gerätes wird im Folgenden kurz beschrieben:

Durch das Auslösen eines Messvorgangs wird von der Xenon-Blitzlampe ein Lichtblitz der Lichtart D_{65} emittiert. Dabei erfolgt die Aussendung des Lichtes diffus, d. h. die Probe an der Messöffnung wird aus allen Richtungen gleichmäßig beleuchtet. Vom Messempfänger, bestehend aus 6 Silizium-Photodioden, wird ausschließlich das von der Probe senkrecht reflektierte Licht gemessen. Man bezeichnet diese von der CIE empfohlene Messgeometrie auch als $d/0^\circ$ (siehe Kapitel 2.4.2.2). Aus dem reflektierten Licht, das vom Messempfänger aufgenommen wird, errechnet ein Mikroprozessor die Farbwerte $L^*a^*b^*$. Die Messöffnung des Minolta Chroma-Meter CR-400 hat einen Durchmesser von 8 mm. Das Gerät führt in Abständen von einer Sekunde drei Messungen durch und errechnet aus den Ergebnissen über die Fläche der Messöffnung einen Mittelwert für die Farbwerte. Die Ergebnisse werden bis auf zwei Nachkommastellen genau im Display der Kamera ausgegeben. Das Gerät verfügt über eine Glanzfalle und wird auf Basis des 2° Normalbeobachters (siehe Kapitel 2.4.2.3) eingesetzt. Die Farbwerte können je nach Einstellung entweder graphisch als spektrale Remissionskurve oder numerisch in Form von L^* , a^* , b^* und weiteren Farbsystemen angezeigt werden (WINZIG, 2002; KONICA-MINOLTA, 2002). Die hier verwendeten Einstellungen sind in Tab. 6 dargestellt.

Die Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera ist im Gegensatz zum menschlichen Auge nicht in der Lage, Farben gegeneinander abzugrenzen. Das Gerät errechnet vielmehr einen Mittelwert über die Messfläche (KONICA-MINOLTA, 2002). Aus diesem Grund wurden wie oben beschrieben weitgehend oberflächenfarbhomogene Brühwurstprodukte ohne Einlagen für die Untersuchungen verwendet. Um eine möglichst genaue Aussage über die durchschnittliche Farbe des Produkts treffen zu können, wurden die Farbmessungen zusätzlich an drei verschiedenen Punkten der Wurstopberflächen durchgeführt und anschließend das arithmetische Mittel berechnet.

Um den Oberflächenglanz der Produkte nicht versehentlich in die Messungen mit einzubeziehen, soll ein Gerät mit Glanzfalle verwendet werden (GRÜNEWALD, 1979; HONIKEL, 2000). Bei dem hier verwendeten Minolta Chroma-Meter CR-400 handelt es sich um ein Gerät mit Glanzfalle.

Um Bauteilabweichungen und Verschleißerscheinungen zu kompensieren, wurde vor jedem Messtag und unter jeder Lampe mittels eines Weißstandards eine Kalibrierung der Farbmesskamera durchgeführt (siehe Tab. 7).

Material und Methoden

Tab. 6: Einstellungen und technische Daten, Minolta Chroma-Meter CR-400

Minolta Chroma-Meter CR-400	Technische Vorgaben	Einstellung während der Messungen
Lichtquelle	Xenon-Blitzlampe	
Messmindestabstand	3 Sekunden	
Betriebstemperatur/ Luftfeuchtigkeit	0° bis 40°C / weniger als 85 % relative Luftfeuchtigkeit bei 35° C	
Messgeometrie	d/0° (diffuse Beleuchtung, Betrachtungswinkel von 0°)	d/0°
Normalbeobachter	2° farbmetrischer Normalbeobachter (CIE 1931)	2° Normalbeobachter
Lichtart	Normlichtart C oder D ₆₅	D ₆₅
Farbräume	XYZ; Yxy; L*a*b*; Hunter Lab; L*C*h*; Munsell; CMC; CIE 1994; Lab ₉₉ ; LCh ₉₉ ; CIE2000	L*a*b*
Anzahl der Messungen für einen automatischen Durchschnitt	1 - 30 Messungen	3 Messungen
Messauslösung	automatisiert oder manuell	manuell

Tab. 7: Durchschnittliche Kalibrierungswerte Minolta Chroma-Meter CR-400

	Tageslicht	Linkes Rotlicht	Rechtes Rotlicht
L*	97,55	97,57	97,67
a*	-0,05	-0,11	-0,07
b*	1,74	1,73	1,42

Die Ergebnisse wurden vom Messkopf abgespeichert und im Anschluss mit der zugehörigen Software SpectraMagic NX, Version 1.9 (Fa. Konica Minolta Europe, Langenhagen) bearbeitet.

3.2.4 Statistische Auswertung

Wie oben ausgeführt, wurde zwischen sensorischen (= „subjektiven“) und farbphysikalischen (= „objektiven“) Untersuchungen unterschieden. Dadurch entstehen grundsätzlich zwei Datensätze. Auch bei der statistischen Auswertung werden diese Datensätze zunächst getrennt betrachtet und der Einfachheit halber nur mit „objektiv“ (siehe Kapitel 4.1 u. 4.2) und „subjektiv“ (siehe Kapitel 4.3 u. 4.4) bezeichnet. In Kapitel 4.5 werden die Angaben der RAL-Farbwerte mit den persönlichen Einschätzungen verglichen, bevor in Kapitel 4.6 die Zusammenhänge zwischen den beiden Erhebungsmethoden beurteilt werden. Kapitel 4.7 befasst sich mit der Darstellung der Ergebnisse des Modellversuchs.

Voraussetzungen für vergleichbare Datenbetrachtung

Um die Vergleichbarkeit der objektiven und subjektiven Farbmessungen zu gewährleisten, war es erforderlich, eine einheitliche Notation festzulegen. Ausgangsbasis der Farbnummerzuteilung des RAL-Farbfächers ist das LCH-Farbsystem (siehe Kapitel 2.2.3.3). Die Ergebnisse der Minolta-Kamera werden in dem CIE L*a*b*-System (siehe Kapitel 2.2.3.2) ausgegeben.

Da das LCH-Farbmaßsystem leichter zugänglich und besser interpretierbar erscheint als die CIE L*a*b*-Notation, wird im Folgenden für beide Datensätze die LCH-Notation angegeben. Da die einzelnen Komponenten (L, C und H) voneinander unabhängig sind, können sie auch getrennt interpretiert werden. Die Ergebnisse wurden auf zwei Nachkommastellen gerundet, aber nicht an die festgelegten fünf-Grad-Schritte des „RAL DESIGN“-Systems angepasst.

Die beiden Systeme sind, wie oben beschrieben, ineinander umrechenbar, da sie sich auf denselben Farbraum beziehen. Die Umrechnung der CIE L*a*b*-Werte in das LCH-System erfolgt durch folgende Formeln:

Die Umrechnung von Buntton H erfolgt über
$$H = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

Die Umrechnung von Sättigung C erfolgt über
$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Die Umrechnung von Helligkeit L ist nicht erforderlich, da sie wie in der L*a*b*-Notation für den Helligkeitswert steht.

Voraussetzung für die Dateninterpretation

Weiter war es für die Interpretation der Ergebnisse wichtig, bewerten zu können, wie stark sich zwei Farben voneinander unterscheiden. Dazu wurde der Farbabstand ΔE verwendet. Darunter versteht man den Euklidischen Abstand im CIE-Farbraum (siehe Kapitel 2.2.1), der über folgende Formel berechnet wird:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta C)^2 + (\Delta H)^2}$$

Für die Berechnung des Farbabstandes des Bunttons ergibt sich daraus:

$$\Delta H = \sqrt{(\Delta E)^2 - (\Delta L)^2 - (\Delta C)^2}$$

Nur durch dieses Vorgehen kann festgestellt werden, ob ein gemessener Farbunterschied überhaupt wahrnehmbar ist. Nach GIERLING, GALL und NEUBAUER fällt einem Laien ein Farbunterschied erst bei einem ΔE zwischen 2 und 3 auf, GIERLING legt den Wert exakt bei 2,5 fest (GIERLING, 2006; GALL, 2009; NEUBAUER, 2009). Die detaillierten Übersichten sind den Tabellen 3/I bis 3/III zu entnehmen.

Gegenüberstellung Tageslicht - Rotlichtlampe

Von zentralem Interesse für diese Arbeit war der Unterschied der ermittelten Farbwerte unter Tageslichtbedingungen im Vergleich zu den Lampen mit Farbfiler. Um diesen Sachverhalt analysieren zu können, wurde von jeder Farbkomponente (L, C, H) die Differenz zwischen den Werten unter einer Rotlichtlampe zu denen unter Tageslicht berechnet. Für die Farbkomponente L (Helligkeit) gilt beispielsweise:

$$\Delta L_R = L_{\text{Rotlicht rechts}} - L_{\text{Tageslicht}}$$

und

$$\Delta L_L = L_{\text{Rotlicht links}} - L_{\text{Tageslicht}}$$

Zusammenhang zwischen sensorischen und physikalischen Untersuchungen

Um einen eventuell bestehenden Zusammenhang zwischen farbphysikalischer Messung und sensorischer Untersuchung überprüfen zu können, wurde der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson (s. u.) verwendet. Mit dessen Hilfe kann eine Aussage über die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen zwei stetigen Variablen getroffen werden. Nimmt er den Wert 1 an, sind die beiden Variablen positiv-linear korreliert, bei -1 ist die Korrelation negativ-linear. Liegt der Korrelationskoeffizient bei 0, gibt es keinen Zusammenhang.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson

Legende:

x_i =	objektiv gemessene Werte	i =	Anzahl der Erhebungen
n =	Anzahl der Gesamterhebungen	y_i =	subjektiv ermittelte Werte
\bar{x} und \bar{y} =	die zugehörigen arithmetischen Mittel		

Die statistischen Tests wurden in einem ersten Schritt separat an den jeweiligen Wurstsorten durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurden dann auch die unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkte in die Auswertung mit einbezogen.

Weiterhin wurden die Einzelbeziehungen der drei Farbwerte L, C, H unter den verschiedenen Beleuchtungen der verschiedenen Produkte auf Signifikanz geprüft. Dazu wurden der Shapiro-Wilk-Test, der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, der Likelihood-Quotienten-Test und der exakte Test nach Fisher durchgeführt.

Um die jeweiligen Hypothesen für die angewandten Tests zu verifizieren wurde die Signifikanz der Modellannahmen in den einzelnen Betrachtungen mittels Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman, Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson und Bootstrap überprüft.

Das erhobene Datenmaterial wurde mit Hilfe des Statistik-Programms SPSS Version 13.0 (Fa. SPSS Inc., Chicago) bearbeitet.

4 Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurden über eine produktspezifische Lagerungsdauer unterschiedliche Brühwurstprodukte unter verschiedenen Beleuchtungen wiederholt physikalisch über eine Farbmessung und sensorisch im Sinne einer Farbbeurteilung untersucht. Zunächst werden in Kapitel 4.1 ff die Ergebnisse sowie in Kapitel 4.2 ff deren statistische Verifizierung der farbphysikalischen Untersuchungen (objektiver Datensatz) dargestellt. In Kapitel 4.3 ff folgt die Vorstellung der sensorisch (subjektiv) ermittelten Ergebnisse und in Kapitel 4.4 ff deren statistische Überprüfung. Die Kapitel 4.5 und 4.6 befassen sich mit einer vergleichenden Ergebnisauswertung der beiden Datensätze. In Kapitel 4.7 ist abschließend die Ergebnisauswertung des Modellversuchs beschrieben.

Die tabellarisch detailliert aufgeschlüsselten Ergebnisse sind in den Anhängen A (Messergebnisse des objektiven Datensatzes) und B (Ergebnisse der sensorischen Beurteilung) zu finden. In Anhang D sind die Messungen und Beurteilungen des Modellversuchs abgedruckt.

Die in den folgenden Kapiteln angegebenen Zahlenwerte sind auf die einzelnen Farbkomponenten bezogen und besitzen keine Einheit. Farbe ist, wie in Kapitel 2.2 ausgeführt, keine physikalische Größe und hat daher keine Einheit. Vielmehr wird Farbe physikalisch durch die Angabe von Buntton (H), Sättigung (C) und Helligkeit (L) gekennzeichnet (MC DARRAH und MC DARRAH, 1999; DEETJEN und SPECKMANN, 1992).

Aus den in der Einleitung dargestellten Ausgangsüberlegungen dieser Arbeit ergaben sich sowohl für die physikalischen Messungen als auch für die sensorischen Untersuchungen folgende Fragestellungen:

- Inwieweit unterscheiden sich die beiden Rotlichtlampen in ihrem Einfluss auf die einzelnen Farbwerte der Produkte im Vergleich zum Tageslicht?
- Welchen Einfluss übt die jeweilige Beleuchtung auf die einzelne Wurstsorte ohne Berücksichtigung des MHD aus?
- Kann ein genereller farbverändernder Einfluss der roten Beleuchtung auf alle Wurstsorten beobachtet werden?
- Wie verhält sich jede einzelne Wurstsorte farblich während ihres Alterungsprozesses?
- Ist es möglich, eine unter Tageslicht „alte Wurst“ unter geeigneter (Rotlicht-) Beleuchtung wie eine „frische Wurst“ aussehen zu lassen?

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen den physikalischen Messungen und den sensorischen Untersuchungen?
- Ist der gemessene Farbabstand für den Menschen überhaupt als „andere Farbe“ wahrnehmbar?
- Kann die Farbmesskamera für die Lebensmittelüberwachung ein geeignetes Hilfsmittel darstellen, um die vorhandene Beleuchtung als irreführend einzustufen?

Die Anforderungen an das DLG-Sensorikerteam warfen zusätzliche noch folgende Fragen auf:

- Wie werden die Änderungen der Farbkomponenten Buntton und Helligkeit beschrieben, wenn die Erzeugnisse nacheinander unter Tageslicht, dem linken und dem rechten Rotlicht präsentiert werden?
- Kann die Angabe über die persönliche Einschätzung der Farbänderung in Bezug gesetzt werden zu der beobachteten RAL-Farbnummer?

4.1 Deskriptive Analyse des objektiv gemessenen Datensatzes

4.1.1 Vergleich der Messwerte nach Lampenarten

In einem ersten Schritt wurden die beiden unterschiedlichen Rotlichtlampen bezüglich ihres Einflusses auf die einzelnen Farbkomponenten Helligkeit (L), Sättigung (C) und Buntton (H) der Produkte miteinander verglichen. Dazu wurden die Differenzen zwischen den unter Rotlicht gemessenen Werten und den unter Tageslicht gemessenen Werten gebildet. Abb. 15 zeigt in einer Übersicht die Darstellung der gewonnenen Daten mittels Boxplots.

Ergebnisse

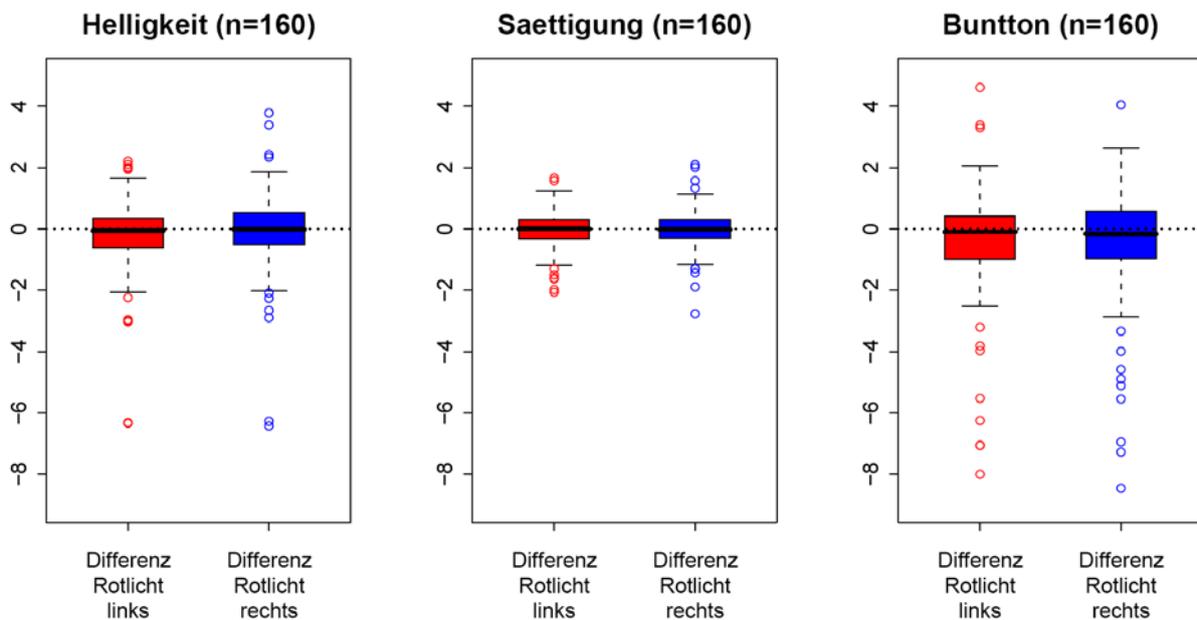


Abb. 15: Boxplots der Differenzen der unter Rotlicht gemessenen Werte

Aus der Boxplot-Darstellung wird ersichtlich, dass Abweichungen aller Farbkomponenten im Vergleich zum Tageslicht bestehen. Die Abweichungen streuen weitgehend homogen, die Mediane liegen in etwa bei 0. Insgesamt ist festzustellen, dass die Abweichungen beim Buntton am größten sind. Bei einem Vergleich zwischen der linken und der rechten Rotlichtlampe ist zu erkennen, dass die Varianz der Differenzen bei der rechten Rotlichtlampe etwas größer ist.

4.1.2 Vergleich der Messwerte nach Wurstsorten

Aufgrund der unterschiedlichen Oberflächenfarben der Untersuchungsmaterialien konnte initial nicht davon ausgegangen werden, dass ein wurstsortenübergreifender Einfluss der Beleuchtung auf die Produkte besteht. Daher wurden in einer zweiten Übersicht die genauen Veränderungen der einzelnen Farbkomponenten jeder Wurstsorte grafisch aufgearbeitet und verglichen. Als Berechnungsgrundlage dienten ebenfalls die bereits für die Boxplot-Darstellung berechneten Differenzen. Für eine übersichtliche Darstellung der Datenlage wurde ein Streudiagramm (Abb. 16) gewählt. Dabei entspricht ein in dieser Grafik im negativen Bereich aufgetragener Wert einem unter Tageslichtbedingungen höher gemessenen Wert als unter Rotlicht. Jeder Kreis steht für eine Wurst. Es können sowohl die unterschiedlichen Messzeitpunkte (Eingang MHD, Mitte MHD, Ende MHD) als auch die unterschiedlichen Lampenarten in einer Grafik verarbeitet werden.

Ergebnisse

Exemplarisch sind hier die Abweichungen der Helligkeitswerte herausgegriffen, in Anhang F sind in den Abb. 25 und 26 die grafischen Darstellungen der Sättigungs- und Bunttonkomponenten für den objektiven Datensatz zu finden.

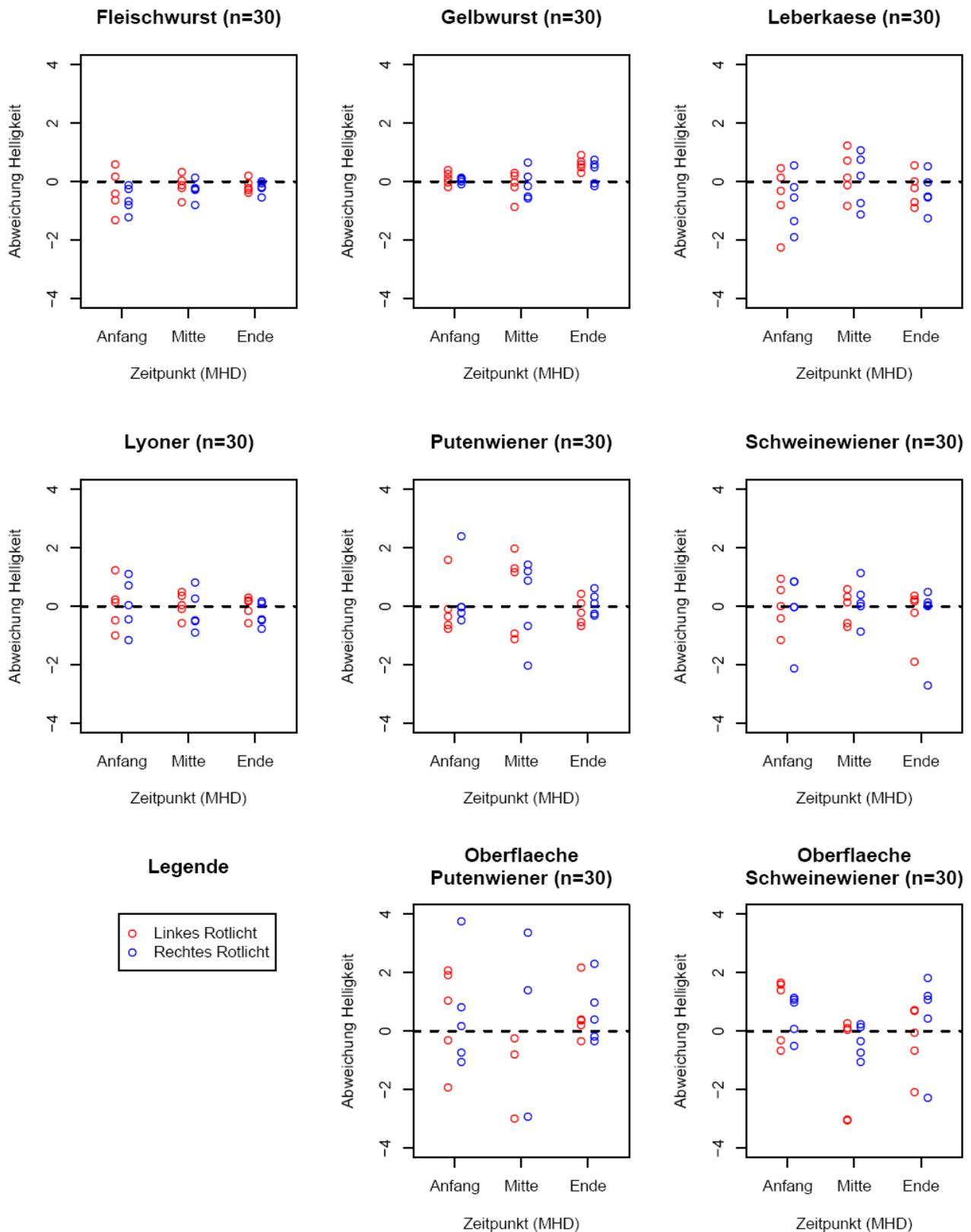


Abb. 16: Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Helligkeitskomponente (objektiv)

Betrachtung der Helligkeit

Im Falle der Komponente Helligkeit bedeutet eine negative Abweichung der Messwerte ein dunkleres Erscheinen der Produktoberfläche unter roter Beleuchtung als unter Tageslicht.

Bei detaillierter Betrachtung der Abb. 16 ist festzustellen, dass die Intervalle der Helligkeitsdifferenzen bei Leberkäse, Lyoner und den Anschnitten der beiden Wiener Würstchen ähnlich groß sind. Bei der Kalbfleischwurst und der Gelbwurst sind sie etwas kleiner. Die Oberflächenmessungen der Wiener Würstchen ergaben insgesamt weiter streuende Werte, wobei die Oberflächenwerte der Putenwiener am weitesten streuten. Bei der Kalbfleischwurst und beim Leberkäse sind die meisten Abweichungen, auch je Messzeitpunkt, im negativen Bereich. Zusätzlich zeigt die Kalbfleischwurst zum Ende des MHD eine Abnahme der Streubreite.

Das Gegenteil ist bei der Gelbwurst zu beobachten – hier liegen zum Eingang des MHD die Differenzen dicht beieinander, zur Mitte des MHD ist die Spannweite am größten und zum Ende des MHD nimmt die Streubreite wieder ab, erreicht aber nicht die Eingangswerte. Gleichzeitig ist im Falle der Gelbwurst zu erkennen, dass die Beleuchtung des linken Rotlichts die Helligkeit zum Ende des MHD bei allen Chargen erhöht.

Betrachtung der Sättigung

Hier bedeutet eine positive Abweichung eine intensivere Farbe, eine negative einen Graustich. Bei der Farbsättigung (Anhang F, Abb. 25) ist zu beobachten, dass die Oberflächenmessungen der Wiener Würstchen insgesamt weiter streuen als die Anschnittsmessungen, hier jedoch bei den Schweinewienern am weitesten.

Die Anschnittswerte der Putenwiener sind am Ende des MHDs unter der rechten Rotlichtlampe ausnahmslos negativ. Die Werte der Anschnittsfarbe der ersten Charge sind hier als Ausreißer zu werten, da die restlichen Ergebnisse gleichmäßig um 0 streuen. Auch die Gelbwurst zeigt in den meisten Fällen negative Abweichungen, stellt sich also „grauer“ dar.

Eine tendenziell ins positive gehende Werteveränderung ist bei den Oberflächenfarben der Wiener Würstchen über die Untersuchungszeitpunkte hinweg zu erkennen. Ähnliches zeigt sich bei der Stangenlyoner, im Untersuchungsverlauf ändern sich die Werte unter beiden Lampen von überwiegend negativ nach positiv. Allerdings ist hier die Streubreite geringer als bei den Wiener Würstchen. Auch beim Leberkäse sind die Abweichungen am ersten Untersuchungstag ausschließlich, am Ende des MHDs überwiegend positiv. Diese Ergebnisse bedeuten für die Oberflächen der Wiener Würstchen und der Anschnitte von Stangenlyoner und Leberkäse eine intensivere Farbe unter den Rotlichtlampen als unter Tageslicht.

Betrachtung des Bunttons

Im Falle des Bunttons bedeutet eine negative Abweichung eine Änderung der Farbe hin zu einem Rotton (mit geringem Gelbanteil), eine positive Abweichung ist gleichbedeutend mit einer Tendenz zu einem orangeneren Farbton.

Der Buntton (Anhang F, Abb. 26) zeigt eine große Spannweite der Abweichungen bei der Kalbfleischwurst (12.85 bei Beginn) und beim Leberkäse (10.35 gesamt, 7.51 bei Beginn) und eine sehr geringe bei der Gelbwurst (2.43 gesamt, 0.93 bei Beginn).

Im Vergleich zu den Ergebnissen der Tageslichtmessungen sind die meisten unter Rotlicht gemessenen Werte der Putenwiener, des Leberkäses und der Stangenlyoner kleiner (negativer), das heißt, die Produkte wurden unter der Beleuchtung mit Farbfilter „röter“ gemessen. Die Oberflächenmessungen der Schweinewiener zeigen überwiegend positive Abweichungen (höherer Gelbanteil), demzufolge eine unter roter Beleuchtung festgestellte Verfärbung in Richtung „orangener“.

4.2 Statistische Überprüfung auf Normalverteilung

Um die Antwort auf die Frage, ob die rote Beleuchtung einen „schönenden“ Effekt auf die einzelnen Erzeugnisse ausübt, statistisch abzusichern, mussten die farbphysikalisch gemessenen Daten zunächst auf Normalverteilung geprüft werden.

Dafür wurden die Daten, die in Anhang A gelistet und in den Abbildungen 16, 25 und 26 grafisch dargestellt sind, in einem Shapiro-Wilk-Test verwendet. Auf Grundlage dieser Daten war zu testen, ob eine Abweichung von 0 vorliegt. Ergibt der Shapiro-Wilk-Test ein signifikantes Ergebnis, bedeutet das das Nichtvorliegen einer Normalverteilung. Im umgekehrten Fall kann aber nicht abschließend gesagt werden, dass eine Normalverteilung vorliegt, sie wird dann jedoch angenommen. Alle Tests wurden auf Basis eines 5 % Signifikanz-Niveaus durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurde der Einfluss der Lampenart auf die einzelnen Produkte ohne Berücksichtigung des MHDs getestet (siehe Kapitel 4.2.1), anschließend wurde die Produktalterung in die Hypothesenüberprüfung mit einbezogen (siehe Kapitel 4.2.2).

4.2.1 Einfluss der Lampenart auf die Produkte ohne Berücksichtigung des MHD

Für die Überprüfung der Lampeneinflüsse ohne Berücksichtigung des MHD wurden 72 Tests (Shapiro-Wilk-Tests) durchgeführt, wovon 16 Ergebnisse signifikant waren (Tab. 8).

Tab. 8: Shapiro-Wilk-Test ohne Berücksichtigung des MHD (objektiv)

Wurstsorte	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Fleischwurst	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE
Gelbwurst	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Leberkäse	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Lyoner	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Fleischwurst (A)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE
Gelbwurst (A)	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Leberkäse (A)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Lyoner (A)	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Putenwiener	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Schweinewiener	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Putenwiener (O)	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
Schweinewiener (O)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Legende:

(A) = Messung der alten Anschnittfarbe

(O) = Messung der Oberflächenfarbe

Keine Klammer: frischer Anschnitt

TRUE = Signifikanz liegt vor

FALSE = Signifikanz liegt nicht vor

LL = Helligkeit linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

LR = Helligkeit rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

CL = Sättigung linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

CR = Sättigung rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

HL = Buntton linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

HR = Buntton rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

Da der Shapiro-Wilk-Test in jeder Spalte mindestens ein signifikantes Ergebnis lieferte, musste von dem Nichtvorliegen einer Normalverteilung ausgegangen werden. Daher wurde in einem folgenden Schritt der nonparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test angewendet, weil dieser keine Normalverteilung voraussetzt. Nur durch dessen Nachschaltung konnte ein einheitliches Verfahren mit gleich zu interpretierenden Ergebnissen gewährleistet werden.

Ergebnisse

In dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (Tab. 9) wird der Median der Daten mit einem vorgegebenen Wert verglichen. Als vorgegebener Wert wurde 0 genommen, die zu vergleichenden Daten entsprachen den gemessenen Abweichungen.

Tab. 9 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ohne Berücksichtigung des MHD (objektiv)

Wurstsorte	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Fleischwurst	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Gelbwurst	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE
Leberkäse	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Lyoner	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Fleischwurst (A)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Gelbwurst (A)	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
Leberkäse (A)	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
Lyoner (A)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Putenwiener	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE
Schweinewiener	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Putenwiener (O)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Schweinewiener (O)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE

Die Legende entspricht der des Shapiro-Wilk-Tests.

Liegt hier ein signifikantes Ergebnis (TRUE) vor, stammen die Daten nicht aus einer Verteilung mit einem 0-Median. Dies ist bei 12 Ergebnissen der Fall. Bei den übrigen kann demnach nicht abgelehnt werden, dass der Median ungleich 0 ist.

Bei separater Betrachtung der Wurstsorten lieferte die Gelbwurst die meisten signifikanten Ergebnisse (4 Stück) – dreimal bei einem frischen Anschnitt und einmal bei einem alten Anschnitt.

Unterscheidet man die Farbkomponenten, sind die meisten signifikanten Ergebnisse beim Buntton zu finden (6 Stück) – zwei im Vergleich mit dem linken Rotlicht und vier im Vergleich mit dem rechten Rotlicht. Die wenigsten signifikanten Ergebnisse traten bei der Helligkeit auf – je eines pro Rotlicht.

Nur die Sättigungskomponente der Gelbwurst und die Bunttonkomponente der Oberflächen der Schweinewiener lieferten unter beiden Lampen signifikante Ergebnisse.

4.2.2 Einfluss der Lampenart auf die Produkte unter Berücksichtigung des MHD

Da in der in Kapitel 4.1.2, Abb. 16, und in den in Anhang F, Abb. 25 und 26 dargestellten Grafiken bei den einzelnen Produkten Farbänderungen zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten zu beobachten waren, wurden nun die Untersuchungszeitpunkte in die Auswertung mit einbezogen. Aufgrund der Gruppengröße von fünf wurde zur Klärung dieser Fragestellung direkt der nonparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test herangezogen. Die Einzelergebnisse für jede Wurstsorte sind in Anhang F, Tab. 41 angegeben. Betrachtet man die grafischen Darstellungen der Ergebnisse der Einzelmessungen (Abb. 16, 25 und 26), ist zu sehen, dass die meisten Produkte nur in einer kleinen Umgebung um 0 streuen. Daher konnte hier kein signifikantes Ergebnis ermittelt werden.

4.2.3 „Alte Wurst“ unter Rotlicht = „frische Wurst“ unter Tageslicht?

Eine weitere Fragestellung war, ob es möglich ist, ein unter Tageslicht als „alte“ Wurst gemessenes Produkt unter einer Beleuchtung mit Farbfilter als „frisch“ verkaufen zu können. „Alt“ meint die gemessenen Werte eines alten Anschnitts, „frisch“ ist in diesem Zusammenhang gleichbedeutend mit einem neuen Anschnitt. Dieser Datenvergleich ist nur an demselben Wursttyp (Testproblem mit zwei verbundenen Stichproben) möglich. Auch hier eignete sich daher der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test. Getestet wurde die Nullhypothese, ob die Differenzen der verbundenen Stichproben symmetrisch um 0 verteilt sind. Auch diese Tests werden auf der Basis eines 5 %-Signifikanzniveaus durchgeführt.

Als Stichprobe dienten die Differenzen zwischen den Messwerten, beispielsweise frischer Anschnitt Eingang MHD unter Tageslicht und alter Anschnitt Mitte MHD unter Rotlicht. Die weiteren verbundenen Stichprobenpaare sind Tab. 10 zu entnehmen. In Tab. 10 sind zudem die p-Werte der Tests, ob die unter Tageslicht an frischem Anschnitt zum Eingang MHD gemessenen Werte mit denen des unter roter Beleuchtung an altem Anschnitt zur Mitte MHD gemessenen Farbkomponenten gleich sind, angegeben.

Ergebnisse

Tab. 10: p-Werte für die Differenzbetrachtungen der Stichproben, zeitpunktübergreifend

Verglichene Gruppen	Lampenart	Helligkeit	Sättigung	Bunnton
Eingang vs. Mitte	links	0.5459	0.3545	0.3603
Eingang vs. Mitte	rechts	0.3683	0.1614	0.5503
Mitte vs. Ende	links	0.3642	0.7521	0.0201
Mitte vs. Ende	rechts	0.1222	0.5074	0.0024
Eingang vs. Ende	links	0.3134	0.8695	0.7012
Eingang vs. Ende	rechts	0.1789	0.6215	0.2110

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass nur bei einem Vergleich alter Anschnitt / Ende MHD im Vergleich zu frischem Anschnitt / Mitte MHD statistisch signifikant (signifikant kleiner 0) nachgewiesen werden konnte, dass die Würste des frischen Anschnitts zur Mitte des MHD röter sind. Möglich ist das durch den Nachweis signifikant höherer Bunnton-Werte des alten Anschnitts bei beiden Rotlichtlampen zur Mitte des MHDs. Nur bei dieser Konstellation kann demnach statistisch abgelehnt werden, dass alte Würste unter Beleuchtung mit Farbfilter gleich aussehen können wie frische unter Tageslicht. In allen anderen Fällen kann die Hypothese nicht abgelehnt werden.

Vergleicht man alte und frische Anschnitte zu den gleichen Untersuchungszeitpunkten, liefert die Bunntonkomponente ausschließlich signifikante Ergebnisse. Die Helligkeitskomponente erreicht zu keinem Zeitpunkt unter keiner Lampe ein signifikantes Ergebnis. Die Farbsättigung ist unter beiden Lampen nur zur Mitte des MHDs signifikant. Auch diese Beobachtungen des Vergleichs alter und frischer Anschnitt zu selben Untersuchungszeitpunkten wurden mit einem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test überprüft. Als Nullhypothese diente die Annahme, dass die unter Tageslicht an frischem Anschnitt gemessenen Werte kleiner sind als die an altem Anschnitt unter Rotlicht gemessenen. Signifikant abgelehnt werden kann diese Hypothese nur, wenn bei allen Lichtkomponenten die Nullhypothese abgelehnt werden kann. Die Ablehnung nur bei einer oder zwei Komponenten ist nicht ausreichend. Das heißt weiter, dass erst bei signifikanter Ablehnung der Nullhypothese bei allen Lichtkomponenten von einer Verbrauchertäuschung ausgegangen werden kann. Tab. 11 sind die Ergebnisse des Tests in Form der p-Werte zu entnehmen.

Tab. 11: p-Werte für den Vergleich alter und frischer Anschnitt, MHD unabhängig

Zeitpunkt	L links	C links	H links	L rechts	C rechts	H rechts
Mitte MHD	0.6729	0.0319	0.0042	0.7432	0.0096	0.0148
Ende MHD	0.8342	0.6219	0.0152	0.9193	0.5938	0.0065

4.3 Deskriptive Analyse des subjektiv gewonnenen Datenmaterials

In den folgenden Kapiteln (4.3 und 4.4) werden die subjektiv ermittelten Daten betrachtet. In Kapitel 4.6 folgt eine vergleichende Darstellung der objektiven und subjektiven Datensätze.

4.3.1 Vergleich der Messwerte nach Lampenarten

Die Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen sind aufgrund der fünf-Grad-Skalierung des RAL-Farbfächers so diskret, dass eine Boxplot-Grafik wie bei dem „objektiven“ Datensatz (siehe Kapitel 4.1.1) keinen Eindruck über die Datenverteilung vermitteln würde. Daher werden die Daten mittels Epanechnikov-Kern-Dichte Schätzer dargestellt. Abb. 17 enthält die Differenzen der einzelnen Farbkomponenten, gesplittet nach Lampenart.

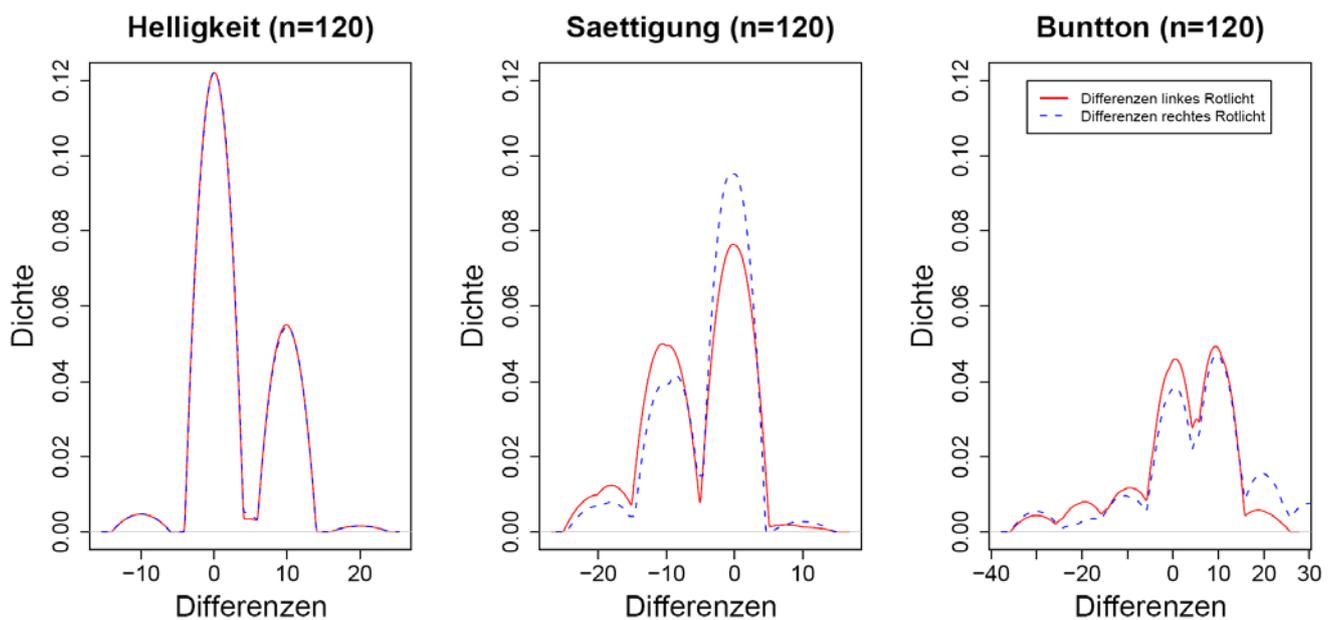


Abb. 17: Differenzen der einzelnen Farbkomponenten nach Lampenart

Alle Farbkomponenten lassen hier eine ähnliche Verteilungsgestaltung erkennen, die im Falle der Helligkeitskomponente sogar identisch ist. Die Grundgestalt der Dichtefunktion ist bimodal (zweigipflig), wobei die Gipfel der Differenzen der Lampenarten jeweils übereinander liegen. Darüberhinaus fallen die Modi der beiden Verteilungen auf dieselben Werte. Im Falle der Helligkeit (L) und der Sättigung (C) auf 0, im Falle des Bunttons (H) auf 10. Die Buntton- und Helligkeits-Werte liegen unter Beleuchtung mit Farbfilter tendenziell höher als unter Tageslicht. Eine umgekehrte Tendenz ergibt sich für die Sättigung (C).

4.3.2 Vergleich der Messwerte nach Wurstsorten

Bei der subjektiven Farbbestimmung mit Hilfe des RAL-Farbfächers haben viele Differenzen denselben Abweichungswert, da aufgrund der vorgegebenen fünf-Grad-Einteilung des Farbfächers nur durch fünf teilbare Differenzen möglich waren. In einer grafischen Darstellung hätte dieser Umstand zu Unübersichtlichkeit geführt, da viele Würste mit der gleichen Abweichung auf demselben Punkt gelegen hätten. Um Häufigkeiten trotzdem direkt ablesen zu können, wurde ein weißes Rauschen in Form einer zwischen -1 und 1 gleichverteilten Zufallsvariablen zu den Abweichungswerten hinzuaddiert.

Die Abbildungen hierzu sind in Anhang F (Abb. 27, 28 und 29) zu finden.

Betrachtung der Helligkeit

Die Abweichungen der Helligkeitskomponente im Vergleich Tageslicht zu roter Beleuchtung sind fast ausnahmslos positiv (Abb. 27). Nur jeweils ein Wert der Anschnitts- und Oberflächenfarbe der Schweinewiener weicht negativ ab, bei den Oberflächenfarben der Putenwiener sind es vier Werte. Eine positive Abweichung der Helligkeitswerte bedeutet ein helleres Erscheinen der jeweiligen Wurstsorte unter roter Beleuchtung.

Bei dem Leberkäse haben alle unter dem rechten Rotlicht ermittelten Werte, bis auf zwei zu Anfang und Ende des MHDs, einen um 10 höheren Helligkeitswert. Dagegen zeichnen sich unter dem linken Rotlicht erst zum Ende des MHDs Abweichungen um 10 ab (abgesehen von dem Ausreißerwert am Eingang MHD). Die Kalbfleischwurst, die Stangenlyoner und die Gelbwurst lassen fast keinen Unterschied zwischen den Lampenarten und den Messzeitpunkten erkennen. Nur zwei der unter dem linken Rotlicht ermittelten Werte der Gelbwurst haben einen höheren Wert.

Die Anschnittsflächen der Putenwiener weisen zum Eingang MHD noch ein gleichmäßiges Verteilungsmuster auf, zur Mitte des MHD bestehen nur Abweichungen unter dem linken Rotlicht. Zum Ende des MHDs haben alle Anschnitte unter beiden Farbfilterlampen einen um 10 höheren Wert, als zum gleichen Zeitpunkt unter Tageslicht. Auch bei den Anschnitten der Schweinewiener ist zum Ende des MHD hin ein ähnlicher Trend zu beobachten.

Zusammenfassend gesagt wurden bei den meisten Chargen von Leberkäse, Stangenlyoner, Puten- und Schweinewienern (jeweils deren Anschnitte) gegen Ende des MHD unter den Rotlichtlampen höhere Werte festgestellt als unter Tageslicht. Statistisch konnte diese zeitliche Tendenz jedoch nicht verifiziert werden.

Betrachtung der Sättigung

Analog zu den Darstellungen in Kapitel 4.1.2 bedeutet eine positive Abweichung der Farbsättigung eine intensivere Farbe, eine negative einen Graustich.

Die Sättigungskomponente zeigt auch einen sortenübergreifenden Trend in eine Richtung, nur im Gegensatz zur Helligkeit nach negativ (Abb. 28). Hier gibt es vier Ausnahmen – ein Stangenlyoner- und ein Schweinewieneranschnitt unter dem linken Rotlicht sowie eine Putenwieneroberfläche unter dem rechten Rotlicht. Die Abweichungen traten bei den Wienern zum Ende des MHDs, bei den Lyonern zur Mitte des MHDs auf. Bei den Anschnittflächen der Putenwiener ist eine chargenübergreifende Negativ-Abweichung am Ende des MHD zu sehen. Zur Mitte des MHD sind hier die unter dem linken Rotlicht beobachteten Werte alle um 10 niedriger als unter Tageslicht. Bei der Kalbfleischwurst sind zu Anfang und Mitte des MHDs fast alle unter Rotlicht festgestellten Werte um 5 bis 10 geringer als unter Tageslicht. Der Leberkäse zeigt hier nur zu Beginn des MHDs unter dem rechten Rotlicht eine fast ausnahmslose negative Abweichung. Im Falle der Lyoner, und nur bei dieser, sind bei den Chargen zwei und fünf je zum Eingang und zum Ende des MHD keine Abweichung aufgetreten. In der Mitte des MHDs ist nur bei Charge fünf ein Ausreißer festzustellen. Die anderen Chargen haben hier im Vergleich zum linken Rotlicht eine negative Abweichung von -10, im Vergleich zum rechten Rotlicht keine. Auch die Sättigung der Gelbwurst weicht nahezu nicht ab, außer bei je einer Wurst aus den Chargen zwei, vier und fünf am Ende des MHD. Eine nahezu spiegelverkehrte Wertedarstellung ist bei den Oberflächenmessungen der Putenwiener zu sehen – hier weichen drei Chargen zum Eingang des MHD ab, zum Ende MHD tritt nur noch eine positive Abweichung unter dem linken Rotlicht auf. Bei den Oberflächen der Schweinewiener verhalten sich die Abweichungen im Vergleich von Tageslicht zu rechtem Rotlicht ebenso wie die Oberflächenwerte der Putenwiener. Darüberhinaus ist nur bei den Oberflächenwerten der Schweinewiener ein großer Unterschied der Lampen über die verschiedenen Beurteilungszeitpunkte hinweg zu sehen.

Betrachtung des Bunttons

Im Falle des Bunttons bedeutet (wie in Kapitel 4.1.2 ausgeführt) eine negative Abweichung eine Änderung der Farbe hin zu einem Rotton, eine positive Abweichung ist gleichbedeutend mit einer Tendenz zu einem orangeneren Farbton. Bei der Bunttonkomponente ist im Gegensatz zu Helligkeit und Sättigung keine wurstsortenübergreifende Tendenz in positive oder negative Richtung zu erkennen (Abb. 29). Der Buntton der Kalbfleischwurst wurde unter dem linken Rotlicht (bis auf einmal zur Mitte des MHDs) immer kleiner oder gleich dem Tageslicht bewertet.

Ergebnisse

Unter dem rechten Rotlicht wurden die meisten Abweichungen größer oder gleich dem Tageslicht gesehen, die Streuung ist hier auch stärker. Eine Struktur der Abweichungen lässt sich über die verschiedenen Zeitpunkte hinweg nicht erkennen. Betrachtet man die Gelbwurst, wurden die Werte unter dem linken Rotlicht zu Eingang des MHDs (um 5) positiver gesehen, zur Mitte des MHDs dann (um -10, bzw. in einem Fall um -5) negativer. Unter dem rechten Rotlicht sind die Eingangsabweichungen bei 0 oder auch im positiven Bereich (um 15), zur Mitte des MHD wurden sie dann in den meisten Fällen ebenfalls negativ (um -10; bzw. in dem Fall der Charge 5 von +15 zu +5); die Veränderung ist demnach chargenübergreifend ein Absinken um 10. Zum Ende des MHDs liegen unter beiden Lampen je drei Werte wieder im positiven Bereich. Im Vergleich dazu sind beim Leberkäse die Eingangswerte am weitesten gestreut, wobei sie unter dem rechten Rotlicht alle um mind. 10 größer sind. Insgesamt ist hier nur eine einzige Abweichung negativ (Eingang MHD der Charge drei unter dem linken Rotlicht). Zur Mitte und zum Ende des MHDs sind die Abweichungen fast identisch, sie liegen unter beiden Lampen fast ausnahmslos bei 10 (nur bei Charge 5 zu beiden Zeitpunkten bei 0, und zum Ende des MHD gibt es bei Charge 4 einen Ausreißer).

Auch die Lyoner zeigen keine negativen Abweichungen beim Buntton. Am Ende des MHDs wurden unter dem rechten Rotlicht keine Abweichungen, unter dem linken Rotlicht nur wenige im Vergleich zu der Tageslichtbetrachtung festgestellt. Zum Eingang der Probe lagen die überwiegenden Abweichungen noch bei 20. Zur Mitte des MHDs hin zeichnet sich ein Trend in Richtung Reduzierung der Abweichungen für das linke Rotlicht ab, hier lagen die meisten Werte um 0. Unter dem rechten Rotlicht wurden die Abweichungen ebenfalls geringer, blieben aber durchschnittlich um 10 höher.

Bei den Anschnitten der Schweinewiener sind die Abweichungen zum Beginn und auch noch in der Mitte des MHDs positiv (+10) oder 0, zum Ende des MHDs werden die Werteabweichungen dann alle negativ (-10) oder 0. Die Oberflächen der Schweinewiener zeigen unter dem rechten Rotlicht in den meisten Fällen zu allen Zeitpunkten Abweichungen um 10, unter dem linken Rotlicht eher eine umgekehrte U-Form (von 0 nach 10 nach 0).

Die Ergebnisse der Oberflächenbewertung der Putenwiener weisen zum Ende des MHDs unter keiner der Lampen Abweichungen zu der Tageslichtbetrachtung auf. Eingangs des MHD liegen unter beiden Lampen auch nur wenige Abweichungen vor, zur Mitte des MHDs ändert sich das Bild, die Abweichungen liegen bei +20 (unter rechtem Rotlicht) bzw. bei +10 (unter linkem Rotlicht). Negative Abweichungen sind hier wie bei der Lyoner in keinem Fall vorhanden. Bei der Anschnittsbetrachtung der Putenwiener zeichnet sich unter beiden Lampen ein zeitlicher Trend ab, der Modus der Abweichungen verkleinert sich zum Ende des MHDs hin, wobei er unter dem linken Rotlicht besonders deutlich ist.

4.4 Statistische Überprüfung auf Normalverteilung

Um die in Kapitel 4 ausgeführten Fragestellungen argumentativ erschöpfend beantworten zu können, mussten auch die sensorisch ermittelten Daten statistisch auf Normalverteilung geprüft werden. Analog zu Kapitel 4.2 wurde dafür ein Shapiro-Wilk-Test verwendet - einmal chargenübergreifend ohne Berücksichtigung des MHDs und einmal mit Einbeziehung der Alterung. Dadurch wurde der direkte Vergleich der Ergebnisse der zwei Versuchsreihen möglich (siehe Kapitel 4.6).

4.4.1 Einfluss der Lampenart auf die Produkte ohne Berücksichtigung des MHD

Der Shapiro-Wilk-Test ergab hier bis auf drei Ausnahmen fast ausschließlich signifikante Ergebnisse (Tab.12). Das heißt, die überwiegende Zahl der Gruppen stammt nicht aus einer Normalverteilung.

Tab. 12: Shapiro-Wilk-Test ohne Berücksichtigung des MHD (subjektiv)

Wurstsorte	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Fleischwurst	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Gelbwurst	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Leberkäse	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Lyoner	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Putenwiener	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Schweinewiener	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Putenwiener (O)	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Schweinewiener (O)	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE

Legende:

(A) = Messung der alten Anschnittsfarbe

(O) = Messung der Oberflächenfarbe

Keine Klammer: frischer Anschnitt

TRUE = Signifikanz liegt vor

FALSE = Signifikanz liegt nicht vor

LL = Helligkeit linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

LR = Helligkeit rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

CL = Sättigung linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

CR = Sättigung rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

HL = Buntton linkes Rotlicht vgl. Tageslicht

HR = Buntton rechtes Rotlicht vgl. Tageslicht

Ergebnisse

Aufgrund des Nichtvorliegens einer Normalverteilung wurde auch bei dem subjektiven Datensatz die weitere Auswertung mit einem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test vorgenommen. In Tab. 13 sind die wurstsortenspezifischen Ergebnisse dargestellt.

Tab. 13: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ohne Berücksichtigung des MHD (subjektiv)

Wurstsorte	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Fleischwurst	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE
Gelbwurst	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Leberkäse	TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	TRUE
Lyoner	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Putenwiener	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE
Schweinewiener	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Putenwiener (O)	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	TRUE
Schweinewiener (O)	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	TRUE

Die Legende entspricht der des Shapiro-Wilk-Tests.

Beide Tests ergaben im Vergleich zu dem objektiv gemessenen Datensatz deutlich mehr signifikante Ergebnisse. Hier ist auch eine Unterscheidung zwischen den einzelnen Wurstsorten möglich. Die Lyoner beispielsweise weist in jeder Farbkomponente und bei jeder Lampenart eine signifikante Abweichung (ungleich 0) auf. Das gleiche ist der Fall bei den Anschnitten der Putenwiener unter dem linken Rotlicht und bei dem Leberkäse unter dem rechten Rotlicht. Betrachtet man die Farbkomponenten, ist bei der Helligkeitsbewertung der Oberflächen der Wiener Würstchen kein signifikantes Ergebnis vorhanden. Die Betrachtung der Sättigungskomponente ergibt hier nahezu das gleiche Bild. Dies ändert sich bei der Bunntonbewertung: hier sind alle Ergebnisse signifikant.

Vergleicht man die beiden Farbfilterlampen miteinander, werden die Produkte unter dem linken Rotlicht etwas öfter signifikant unterschiedlich bewertet.

Um die Abweichungen der Werte der Rotlichtlampen von 0 nach oben oder unten im Vergleich zum Tageslicht beurteilen zu können, wurde ein weiterer Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. In diesem Fall mit der Alternativhypothese, dass die Abweichungen kleiner oder größer 0 sind. Sind die Werte größer 0 ist das gleichbedeutend mit unter roter Beleuchtung größeren Werten als unter Tageslicht. Tab. 14 enthält einen Überblick über die Abweichungen von 0, gesplittet nach Wurstsorten, Farbkomponenten und Lampenarten.

Ergebnisse

Tab. 14: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, Abweichungen von 0

Wurstsorte	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Fleischwurst	>	>	<	<	0	0
Gelbwurst	0	0	0	0	0	0
Leberkäse	>	>	0	<	>	>
Lyoner	>	>	<	<	>	>
Putenwiener	>	>	<	<	<	>
Schweiniener	>	>	0	<	0	0
Putenwiener (O)	0	0	0	0	>	>
Schweiniener (O)	0	0	<	0	>	>

Legende:

- < bedeutet eine signifikante Abweichung kleiner 0
- > bedeutet eine signifikante Abweichung größer 0
- 0 bedeutet keine signifikante Abweichung

die Legende zu den Abkürzungen der ersten Zeile entspricht der Legende von Tab. 12.

Es ist zu erkennen, dass die Werte der Helligkeit und des Bunttons unter beiden Rotlichtlampen in den meisten Fällen signifikant größer sind als die unter Tageslicht – einzige (negative) Ausnahme ist hier der Buntton der Anschnittsflächen der Putenwiener unter dem linken Rotlicht. Die Gelbwurst liefert keine signifikanten Abweichungen, die Oberflächen der Putenwiener nur bei dem Buntton. Die Abweichungen der Farbsättigung liegen bei allen Wurstsorten in den meisten Fällen signifikant unter 0. Dies bedeutet eine überwiegend wahrgenommene Vergrauung der Produkte unter roter Beleuchtung.

4.4.2 Einfluss der Lampenart auf die Produkte unter Berücksichtigung des MHD

Um eine Aussage über das Alterungsverhalten der einzelnen Produkte treffen zu können, wurden in einem folgenden Schritt die Untersuchungszeitpunkte in die statistische Auswertung mit einbezogen. Aufgrund des bereits festgestellten Nichtvorliegens einer Normalverteilung wurde auch hier ein Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anhang F, Tab. 42 dargestellt. Ein – in der tabellarischen Übersicht bedeutet, dass ein Test aufgrund fehlender Varianzen nicht durchgeführt werden konnte.

Dabei ist zu sehen, dass die signifikanten Abweichungen tendenziell zurück gehen. Besonders deutlich verhält sich der Rückgang der Signifikanzen bei der Kalbfleischwurst und der Stangenlyoner – bei letzterer sind nur noch die Buntonabweichungen unter dem rechten Rotlicht zum Eingang und zur Mitte des MHD signifikant. Bei ersterer sogar nur noch die Abweichung der Sättigung zum Eingang des MHD unter dem linken Rotlicht. Nur die Anschnitte der Putenwiener weichen am Ende des MHDs in puncto Helligkeit und Sättigung signifikant ab, dieses Ergebnis ist gleichzeitig wurstsortenspezifisch auch das höchste.

4.5 Persönliche Einschätzung der Farbänderung vs. RAL-Farbwerte

Wie in Kapitel 3.2.1.2 (Versuchsdurchführung der sensorischen Untersuchungen) beschrieben, sollten die Prüferinnen des DLG-Teams unmittelbar vor dem Vergleich mit dem RAL-Farbfächer ihren persönlichen Farbeindruck nach dem in Tab. 33 aufgeschlüsselten Code angeben. In der Aufgabenstellung für die sensorischen Untersuchungen wurden sie entsprechend darauf hingewiesen, sich den Farbeindruck des Produktes unter Tageslicht möglichst exakt zu merken, um den abweichenden Farbton unter roter Beleuchtung in knappe, vorgegebene Worte fassen zu können.

Der Code wurde annähernd so gewählt, dass später eine In-Bezug-Setzung zu den Farbkomponenten Helligkeit, Bunton und Sättigung des RAL-Farbfächers bzw. zu den in die LCH-Werte umgerechneten $L^*a^*b^*$ -Farbmesswerten der Minolta-Kamera möglich war.

Um die in Anhang B abgedruckten Ergebnisse der persönlichen Einschätzung der Farbänderungen der Produkte besser interpretieren und vergleichen zu können, wurden sie in einer grafischen Darstellung zusammengefasst (Abb. 18).

Bei der linken Rotlichtlampe erschienen bis auf wenige Ausnahmen (bei Lyoner und Wiener-Oberflächen) die Würste durchgängig „heller“. Unter dem rechten Rotlicht ist die Verteilung weniger homogen. Die Gelbwurst wurde hier sogar immer „gleich“ beurteilt, der Leberkäse fast ausschließlich als „heller“. Nur bei den Wiener Würstchen und bei der Kalbfleischwurst lässt sich über die Untersuchungszeitpunkte hinweg ein durchgehender Trend hin zu helleren Produkten als unter Tageslicht erkennen. Bei den anderen Sorten ist dies nicht der Fall.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Würste unter dem linken Rotlicht deutlich häufiger als „heller“ eingestuft wurden als unter dem rechten Rotlicht.

Ergebnisse

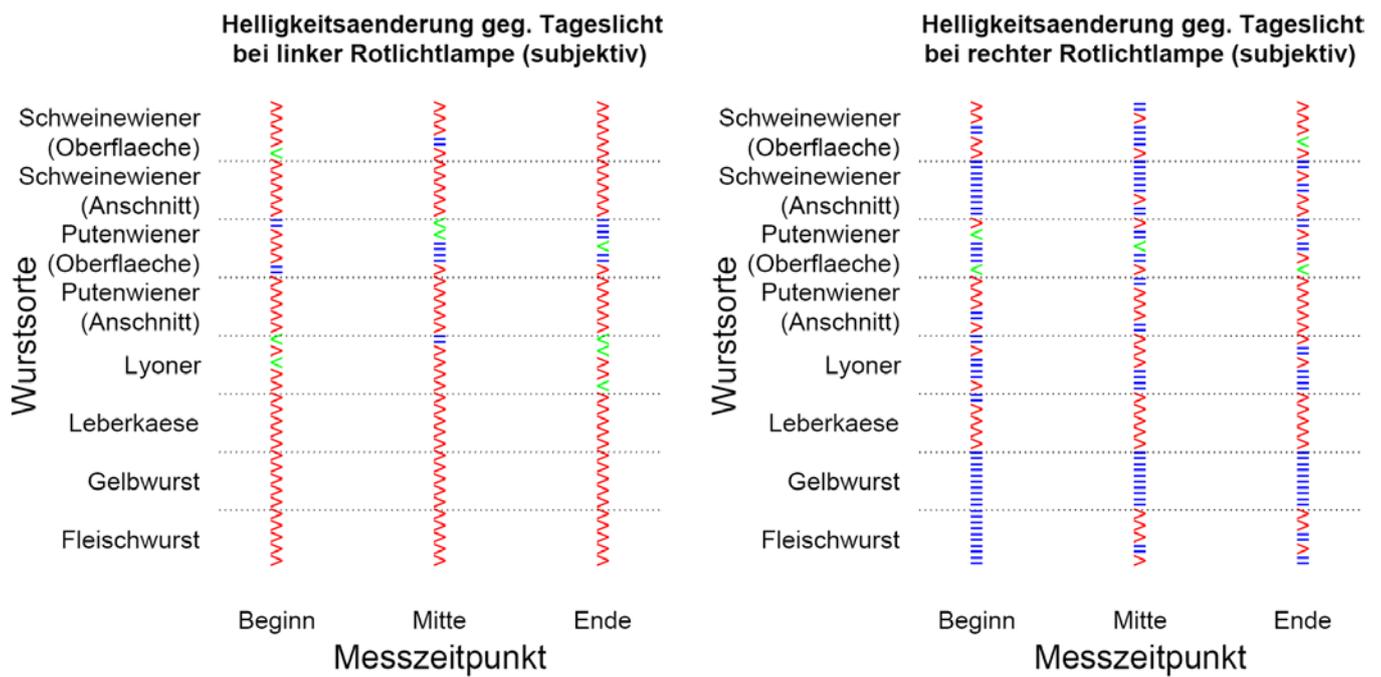


Abb. 18: Übersicht der Ergebnisse der persönlichen Helligkeitseinschätzungen

- < bedeutet ein dunkleres Erscheinen unter Rotlicht
- > bedeutet ein helleres Erscheinen unter Rotlicht
- = bedeutet ein gleiches Erscheinungsbild

Nach der übersichtlichen Aufbereitung der persönlichen Einschätzungen der Helligkeitsveränderungen konnte sich der Frage genähert werden, ob zwischen den Angaben des RAL-Farbfächers und den persönlichen Einschätzungen ein Bezug hergestellt werden kann.

Dazu musste zunächst eine Einteilung der RAL-Differenzen in drei Kategorien vorgenommen werden: war die Differenz kleiner 0, wurde der Begriff „Heller“ gewählt, bzw. „Dunkler“ wenn sie größer war als 0. Bestand keine Differenz, steht dafür der Begriff „Gleich“ (siehe Tab. 15 und 16). Die Daten wurden in einen Vergleich Tageslicht zu linkem Rotlicht (Tab. 15) und Tageslicht zu rechtem Rotlicht (Tab. 16) aufgeteilt.

Tab. 15: Kontingenztabelle, Differenzen Tageslicht und linkes Rotlicht

RAL	persönliche Einschätzung		
	Dunkler	Gleich	Heller
Dunkler	5	4	47
Gleich	4	5	30
Heller	0	0	25

Tab. 16: Kontingenztabelle, Differenzen Tageslicht und rechtes Rotlicht

RAL	persönliche Einschätzung		
	Dunkler	Gleich	Heller
Dunkler	2	32	34
Gleich	3	12	19
Heller	0	12	6

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass die mit Hilfe des RAL-Farbfächers als dunkler eingestuften Würste in der persönlichen Wortwahl eher als gleich oder sogar als heller beschrieben wurden. Umgekehrt dagegen wurde fast jeder mit RAL-Farbfächer als heller eingestufte Farbton auch in der persönlichen Einschätzung als heller bezeichnet.

Um zu überprüfen, in wie weit die beiden Verfahren (RAL-Einstufung und persönliche Helligkeitseinschätzung) das Gleiche messen, wurde ein Unabhängigkeitstest angewandt. Die Nullhypothese in diesem Fall war, dass die beiden Verfahren unabhängig voneinander sind. Denn wenn sie das Gleiche messen, sind sie auch abhängig voneinander. Für die Berechnung wurden die Randsummen der oben abgebildeten Kontingenztafeln und ihre erwarteten Zellenhäufigkeiten herangezogen. Ermittelt wird das Ergebnis über einen exakten Test nach Fisher. Dieser Test liefert auch dann noch ein exaktes Ergebnis, wenn in einer der Zellen ein Häufigkeitswert unter fünf eingetragen ist. Dieser Test lieferte für beide Rotlichtlampen einen p-Wert größer als 0.05 (linkes Rotlicht: 0.143; rechtes Rotlicht: 0.180), weswegen im Ergebnis die Nullhypothese der Unabhängigkeit nicht abgelehnt werden konnte. Zusätzlich weist ein nahe 0 liegender Korrelationskoeffizient nach Spearman (linkes Rotlicht 0.110; rechtes Rotlicht: -0.059) auf eine Unabhängigkeit der beiden Varianten der sensorischen Untersuchungen hin. Abschließend wird festgestellt, dass ein signifikanter Nachweis darüber, dass die RAL-Werte und die persönlichen Einschätzungen gleiche bzw. ähnliche Ergebnisse liefern, nicht erbracht werden konnte.

4.6 Vergleichende Betrachtung beider Datensätze

Nachdem die separate Aufbereitung der beiden Datensätze noch keine Aussage darüber zulässt, ob physikalisch gemessene Farbabweichungen auch vom Verbraucher in der gleichen Art und Weise wahrgenommen werden, bzw. ob ein wahrgenommener Farbunterschied auch physikalisch nachweisbar ist, werden nun beide Datensätze vergleichend betrachtet.

Abb. 19 zeigt eine Übersicht der persönlichen Helligkeitsveränderungen unter roter Beleuchtung im Vergleich zu der unter Tageslicht wahrgenommenen Farbe (n = 120).

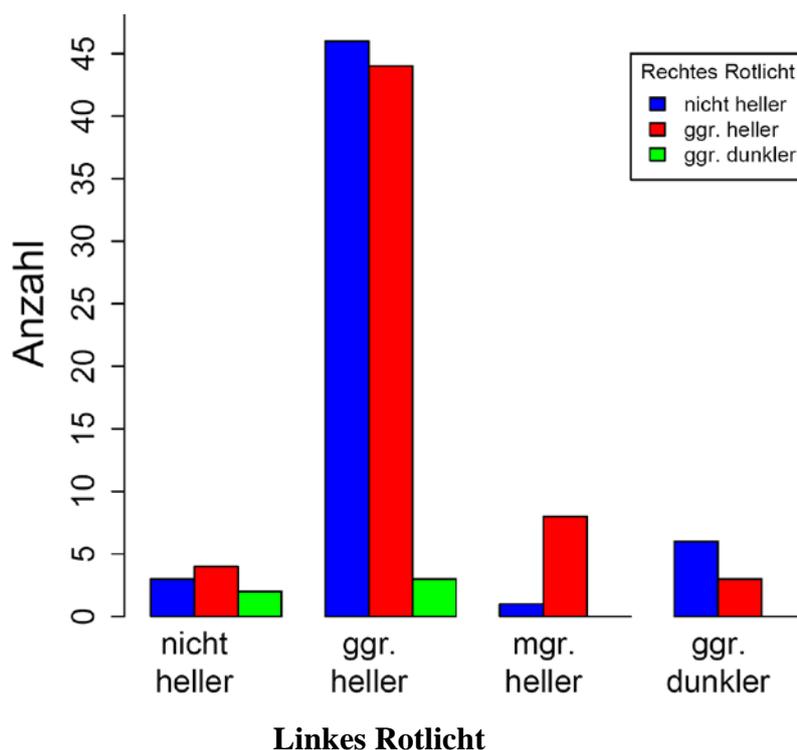


Abb. 19: Grafische Darstellung der persönlichen Helligkeitsveränderungen

4.6.1 Darstellung des Farbabstandes ΔE für beide Datensätze

Zunächst soll ein vergleichender Überblick über die Farbabstände (ΔE) der objektiven und subjektiven Datensätze gegeben werden. Wie in Kapitel 2.2.1 dargestellt, kann über die Angabe dieses Wertes eine Aussage darüber gemacht werden, ob ermittelte Farbunterschiede auch als solche vom Menschen wahrgenommen werden (können). Die weitere Bedeutung und Berechnung von ΔE ist in den Kapiteln 2.2.1 und 5.2 angegeben.

Da der Literatur unterschiedliche Grenzwerte für die Wahrnehmbarkeit des Farbabstandes ΔE zu entnehmen sind (siehe Tab. 3/I bis 3/III), die Mehrheit der Autoren jedoch die Grenze bei Werten zwischen 2 und 3 zieht und GIERLING den Grenzwert exakt bei 2,5 festlegt, wurde $\Delta E > 2,5$ als Wahrnehmbarkeitsgrenze festgelegt. Die Farbabstände wurden anhand der Differenzbildung der unter Tageslicht gemessenen Werte mit den unter Rotlicht gemessenen Werten ermittelt. Die Darstellung erfolgt in Abb. 20 als Boxplots. Farbunterschiede oberhalb der eingezeichneten gestrichelten Linie ($> 2,5$) können nach GIERLING, GALL und NEUBAUER auch von Laien wahrgenommen werden (GIERLING, 2006; GALL, 2009; NEUBAUER, 2009).

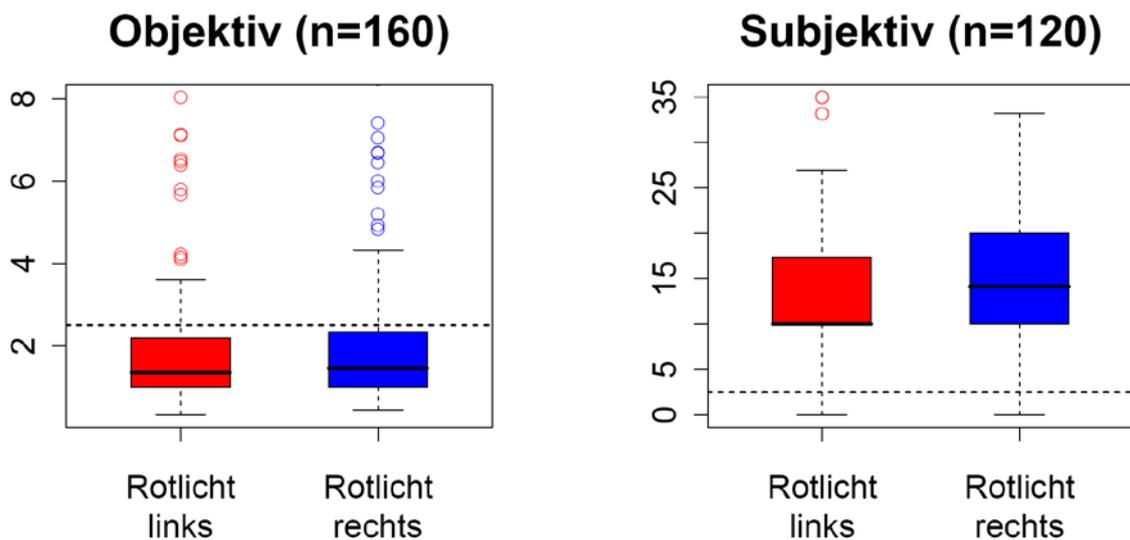


Abb. 20: Boxplot-Darstellung des Farbabstandes ΔE (objektiv und subjektiv)

Die linke Boxplot-Darstellung vermittelt einen Überblick über die objektiven Daten, die rechte Abbildung über den subjektiven Datensatz. Bei dem objektiven Datensatz liegen im Falle der linken Rotlichtlampe 80 % der Werte, im Falle der rechten Rotlichtlampe 79 % der Werte unterhalb von 2,5. Dies ist nach GIERLING gleichbedeutend mit der Feststellung, dass die gemessenen Farbunterschiede für den Laien in durchschnittlich 79,5 % der Fälle nicht wahrnehmbar sind (GIERLING, 2006).

Die grafische Aufbereitung des Farbabstandes ΔE für den subjektiven Datensatz zeigt eine nahezu umgekehrte Situation: Im Falle des rechten Rotlichts liegen nur 10 % der Werte unter 2,5, im Falle des linken Rotlichts nur 5 %. Schlussfolgerung ist, dass in durchschnittlich 95 % der Fälle des subjektiven Datensatzes Farbunterschiede wahrnehmbar sind.

4.6.2 Überprüfung der Korrelation der beiden Datensätze für die Wurstsorten

Da sich beide Untersuchungsmethoden mit denselben Produkten und Beleuchtungsbedingungen befassen, wurde nun noch überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den beiden erhobenen Datensätzen existiert. Zur Verifizierung dieser Hypothese wurde der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson verwendet (die Berechnung dieses Koeffizienten ist in Kapitel 3.2.4 zu finden). Mit dessen Hilfe kann eine Aussage über die Stärke eines Zusammenhangs zwischen zwei Variablen gemacht werden. Sind beide Variablen positiv-linear korreliert, nimmt er den Wert 1 an, beim Wert 0 existiert kein Zusammenhang, bei -1 ist die Beziehung negativ-linear.

Ergebnisse

Im Gegensatz zu den bisherigen Berechnungen wurden hier nicht die Differenzen als Rechengrundlage verwendet, sondern direkt die ermittelten Werte. Eine Unterscheidung nach Wurstsorten oder anderen Variablen erfolgte in diesem ersten Schritt noch nicht. Alle drei Farbkomponenten lagen nahe bei 1, was einem relativ starken positiv-linearen Zusammenhang entspricht. Im Detail lag der Bravais-Pearson Korrelationskoeffizient für den Buntton (H) bei 0.8161, für die Helligkeit (L) bei 0.8309 und für die Sättigung (C) bei 0.8818. Auch eine zusätzliche Absicherung der Ergebnisse durch Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ergab mit dem Wert 0.73 einen monotonen Zusammenhang. Die exakte Übersicht über die Werte der Ermittlung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman ist in Anhang F, Tab. 43 bis 46 dargestellt. Durch die vorhandenen Unterschiede in den Grundfarben der untersuchten Produkte lässt das oben beschriebene wurstsortenübergreifende Ergebnis aber keine Rückschlüsse auf die Korrelationen innerhalb der einzelnen Wurstsorten zu. Daher muss die Korrelation zusätzlich für jede einzelne Sorte separat (nach Bravais-Pearson) berechnet werden. Die Ergebnisse sind in Tab. 17 zusammengefasst.

Tab. 17: Korrelationskoeffizienten (Bravais-Pearson) nach Wurstsorten

Wurstsorte	L	C	H
Fleischwurst	-0.0221	-0.0576	0.2906
Gelbwurst	-0.0033	-0.0614	0.2060
Leberkäse	-0.3572	-0.3727	0.1284
Lyoner	0.0477	-0.1903	-0.2428
Putenwiener	-0.1751	0.1186	-0.0063
Schweinewiener	0.0056	0.1530	0.2128
Putenwiener (O)	-0.0958	-0.0254	-0.0579
Schweinewiener (O)	-0.0764	0.0007	-0.0123

(O) steht dabei für die Oberfläche der Wiener Würstchen

Hier sind nun keine linearen Zusammenhänge mehr feststellbar, da viele Werte nahe 0 liegen. Einige Werte sind sogar negativ, wie z. B. die Helligkeit (L) und die Sättigung (C) beim Leberkäse. Letzteres bedeutet einen negativ linearen Zusammenhang, oder anders ausgedrückt, dass bei einem Anstieg der objektiven Werte tendenziell niedrigere subjektive Werte zu erwarten sind. Aufgrund der insgesamt niedrigen Absolut-Werte und der uneinheitlichen Korrelationskoeffizienten kann man nicht von einer eindeutigen Beziehung sprechen.

4.6.3 Überprüfung der Korrelation der beiden Datensätze für die Rotlichtbeleuchtung

Nachdem weiter von Interesse war, ob die jeweilige Lichtart einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse hat, wurde der Korrelationskoeffizient an den einzelnen Wurstsorten noch nach einer Aufspaltung nach den unterschiedlichen Lichtquellen (ebenfalls nach Bravais-Pearson) berechnet. Die Tabellen 18 bis 20 zeigen die berechneten Werte für die einzelnen Wurstsorten, gesplittet nach Lichtart und Farbkomponenten.

Auch hier lassen sich keine eindeutigen Tendenzen erkennen. Daher kann nicht davon ausgegangen werden, dass die objektiven und die subjektiven Werte zusammenhängen.

Tab. 18: Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Helligkeit

Wurstsorte	LT	LL	LR
Fleischwurst	0.0369	-0.0172	-0.0035
Gelbwurst	-0.2948	0.0820	<NA>
Leberkäse	-0.3729	-0.1317	-0.7025
Lyoner	0.1005	0.0620	-0.0307
Putenwiener	-0.1823	-0.2181	-0.2478
Schweiniwiener	-0.0523	-0.0405	0.1377
Putenwiener (O)	-0.4029	0.2313	0.0175
Schweiniwiener (O)	0.1990	-0.0095	-0.3666

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Sättigung

Wurstsorte	CT	CL	CR
Fleischwurst	0.0897	-0.1438	-0.1562
Gelbwurst	-0.4113	0.0758	<NA>
Leberkäse	-0.3036	-0.1673	-0.5384
Lyoner	-0.3387	-0.2517	-0.1321
Putenwiener	0.3315	<NA>	-0.0054
Schweiniwiener	0.2588	-0.0476	0.2433
Putenwiener (O)	0.1436	-0.0011	-0.1734
Schweiniwiener (O)	-0.6248	0.0808	0.1641

Ergebnisse

Tab. 20: Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson, Komponente Buntton

Wurstsorte	HT	HL	HR
Fleischwurst	0.1676	0.4270	0.2770
Gelbwurst	0.2090	0.6004	-0.1602
Leberkäse	0.1378	0.3317	0.1654
Lyoner	-0.2899	-0.2334	-0.2709
Putenwiener	-0.1913	0.4558	-0.0633
Schweinewiener	0.1545	0.3290	0.2156
Putenwiener (O)	0.2595	-0.1089	-0.1972
Schweinewiener (O)	0.1884	-0.2552	-0.2644

Legende:

T = Tageslicht

L = linkes Rotlicht

R = rechtes Rotlicht

H = Buntton

L = Helligkeit

C = Sättigung

<NA> = kennzeichnet Werte, die aufgrund mangelnder Varianz nicht berechenbar sind

4.6.4 Überprüfung des Beleuchtungseffekts mit linearen gemischten Modellen

Zentral interessierende Frage dieser Arbeit war, ob ein Farbeffekt der verschiedenen Farbfilterlampen auf die einzelnen Fleischerzeugnisse nachweisbar ist. Um darüber eine Aussage treffen zu können, wurden die bisher gewonnen Erkenntnisse mit linearen gemischten Modellen geprüft. In den vorhergehenden Kapiteln wurde herausgearbeitet, dass die Messwerte der einzelnen Wurstsorten korreliert sind und sich in Clustern anordnen. Gleichzeitig sind die Farbwerte innerhalb eines Clusters unterschiedlich, so dass man hier ein zweischichtiges lineares Modell anfertigen kann. In der ersten Schicht wird der Cluster-Effekt der Wurstsorten modelliert, in der zweiten Schicht die chargenspezifische Abweichung.

Auf diese Weise können allgemeingültigere Aussagen getroffen werden. Ohne die Zweischichtigkeit würde man die Ergebnisse zu sehr von der jeweiligen Wurstrezeptur abhängig machen. Auch diese Berechnungen werden mit den LCH-Werten durchgeführt. Ein Modell wird für je eine Farbkomponente gerechnet, so dass insgesamt sechs Modelle entstehen (jeweils drei für „objektiv“ und drei für „subjektiv“).

Die Lichtquelle wird als Dummy in das Modell eingearbeitet, wobei das Tageslicht als Referenz angenommen wird. So entstehen zwei Dummy-Variablen für die Rotlichtlampen, die den Unterschied zum Tageslicht angeben.

Ergebnisse

Zusätzlich wird die Variable „Anschnitt“ ins Modell aufgenommen, wobei „neu“ als Referenzkategorie dient und das Ergebnis den Unterschied zum alten Anschnitt angibt. Bezüglich der Oberflächen- und Anschnittmessungen der Wiener Würstchen wird für das Modell angenommen, dass es sich um unterschiedliche Produkte handelt. Dies ist inhaltlich vertretbar, da die Hülle aus anderem Material besteht als die Füllung und so durchaus unterschiedliche Reflexionseigenschaften vorhanden sein dürfen. Die Variable „Alter“ (Eingang MHD = 0, Mitte MHD = 1 oder Ende MHD = 2) wird als ordinaler Faktor kodiert und in die Modellberechnung mit einbezogen. Alle Daten werden vollständig (ohne Mittelwertbildung) für die Modellberechnung herangezogen. Daraus ergibt sich für die Berechnung einer Charge folgende Modellgleichung:

$$y_i = X_i\beta + Z_{1,j}b_{1,j} + Z_{2,i}b_{2,i} + \varepsilon_i$$

$$b_{1,j} \sim N(0, \sigma_1^2) \quad b_{2,i} \sim N(0, \sigma_2^2 I) \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I)$$

Legende:

Index $j = 1, \dots, 8$, weil (wie oben beschrieben) 8 Wurstsorten in die Berechnung einbezogen werden

Index $i = 1, \dots, 40$, weil 5 Chargen der 8 Wurstsorten untersucht wurden ($8 \times 5 = 40$)

Index $k = 1, 2, 3$, weil 3 Messwiederholungen pro Lampe pro Zeitpunkt stattfanden

Für die Berechnung des chargenübergreifenden Effekts ergibt sich daraus folgende Modellgleichung:

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_9 \\ y_{10} \\ \vdots \\ y_{40} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1\beta + Z_{1,1}b_{1,1} + Z_{2,1}b_{2,1} + \varepsilon_1 \\ \vdots \\ X_1\beta + Z_{1,1}b_{1,1} + Z_{2,9}b_{2,9} + \varepsilon_9 \\ X_2\beta + Z_{1,2}b_{1,2} + Z_{2,10}b_{2,10} + \varepsilon_{10} \\ \vdots \\ X_8\beta + Z_{1,8}b_{1,9} + Z_{2,40}b_{2,40} + \varepsilon_{40} \end{pmatrix}$$

Legende:

X_j = Design-Matrix der fixen Effekte

$Z_{1,j}$ und $Z_{2,i}$ = Design-Matrizen der zufälligen Effekte für die erste und zweite Schicht

Ergebnisse

Beispielhaft ergibt sich daraus für die Modellberechnung für den objektiven Datensatz:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix}_{45 \times 4} \qquad Z_{1,1} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{45 \times 1} \qquad Z_{2,1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{45 \times 3}$$

Legende:

Die erste Spalte in X_j steht für den globalen Intercept bzw. für die Referenzkategorie der Lichtart

Die Spalten 2 und 3 stehen jeweils für eine der Rotlichtlampen

Die Spalte 4 steht für den Anschnitt, wobei 1 = alter Anschnitt, 0 = frischer Anschnitt

$Z_{1,j}$ enthält die Intercepts für die Wurstsorten

$Z_{2,i}$ enthält die chargenspezifischen Intercepts und altersabhängige Steigerungsparameter

Findet sich in der zweiten und dritten Spalte 0, entspricht das dem Eingang MHD (Alter = 0, siehe oben), in der zweiten Spalte würde eine 1 stehen, wenn die Messung zur Mitte des MHD stattgefunden hat (Alter = 1), die dritte Spalte steht für das Ende MHD (Alter = 2).

Modell für den subjektiven Datensatz

Für die Ergebnisse der subjektiven Betrachtungen ergibt sich im Grunde das gleiche Modell. Lediglich die Dimensionen der Design-Matrizen und des Daten-Vektors y sind verringert, weil es keine Messwiederholungen gibt und der alte Anschnitt nicht bewertet wurde.

Dadurch ergibt sich für den subjektiven Datensatz folgendes Modell:

$$X_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{9 \times 3} \qquad Z_{1,1} = \begin{pmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}_{9 \times 1} \qquad Z_{2,1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}_{9 \times 3}$$

Ergebnisse

Das oben beschriebene Modell ist aus inhaltlichen Überlegungen entstanden. Um auszuschließen, dass einfachere oder komplexere Modelle u. U. die Daten besser beschreiben, wurde dieses Modell mit alternativen Modellen nach folgendem Muster verglichen:

- a) Modell nur mit chargenspezifischem Intercept
- b) Modell mit chargenspezifischem Intercept und altersabhängigem Steigungsparameter
- c) Modell nur mit wurstsortenspezifischem Intercept

Um herauszufinden, welches Modell sich für die statistische Absicherung der Ergebnisse besser eignet, wurde das eingangs vorgestellte Referenz-Modell mit den unter a), b) und c) geführten Alternativ-Modellen verglichen. Verwendet wird dazu der Likelihood-Quotienten-Test. Ist das Ergebnis signifikant, existiert ein Unterschied zwischen den beiden Modellen.

In Tab. 21 sind die p-Werte für den objektiven Datensatz zusammengefasst, in Tab. 22 diejenigen des subjektiven Datensatzes.

Tab. 21: p-Werte der objektiven Messungen für die Farbkomponenten

Modell	p-Wert		
	L	H	C
Alt. 1	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Alt. 2	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Alt. 3	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Tab. 22: p-Werte der subjektiven Bewertungen für die Farbkomponenten

Modell	p-Wert		
	L	H	C
Alt. 1	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Alt. 2	< 0.0001	< 0.0001	-
Alt. 3	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Legende:

Jede Zeile entspricht dem Test einer alternativen Modellierung gegen das Referenzmodell

Jede Spalte steht für die Zielgröße des entsprechenden Modells

Der p-Wert des zweiten Modells war für C nicht schätzbar, daher ist hier kein Wert eingetragen.

Den Tab. 21 und 22 sind ausschließlich p-Werte < 0.0001 zu entnehmen. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass sich das Referenzmodell signifikant von allen Alternativen unterscheidet.

Ergebnisse

Für den Fall künftig auftretender ähnlicher Fragestellungen soll nun noch bewertet werden, welches Modell „besser“ zur Antwortfindung geeignet ist. Dazu werden die Akaike Information Criterion–Werte (AIC) und die Bayes Information Criterion-Werte (BIC) betrachtet. Die Werte sind innerhalb der jeweiligen Spalten miteinander zu vergleichen, wobei ein kleinerer Wert hier für ein „besseres“ Modell steht. Der AIC-Wert lässt sich mit der logarithmierten Likelihood-Funktion l wie folgt darstellen:

$$AIC_l = -l(\hat{\phi}, \hat{\theta} | \bar{y}) + M$$

Verwendet man ein klassisches Regressionsmodell mit normalverteilten Fehlern, ergibt sich folgende Berechnung:

$$AIC_{\sigma} = \ln(\hat{\sigma}_Z^2) + \frac{M}{T} * 2$$

Da bei großen Stichproben tendenziell Modelle mit verhältnismäßig vielen Parametern vorteilhafter sind, wird die Modellwahl zusätzlich mit dem BIC überprüft:

$$BIC_l = l(\hat{\phi}, \hat{\theta} | \bar{y}) - M * \frac{\ln T}{2} \quad \text{bzw.} \quad BIC_{\sigma} = \ln(\hat{\sigma}_Z^2) + \frac{M}{T} * \ln T$$

Legende:

T : Anzahl der beobachteten Stichprobenwerte

M : Anzahl der geschätzten Parameter

σ : Standardabweichung

Z : Störvariable

$\hat{\sigma}_Z^2$: empirisch gemessene Varianz der Störvariablen

Die folgenden Tabellen zeigen die AIC- und BIC-Werte des Modellvergleichs, Tab. 23 für den objektiven, Tab. 24 für den subjektiven Datensatz.

Tab. 23: AIC- und BIC-Werte des Modellvergleichs für den objektiven Datensatz

Modell	AIC			BIC		
	L	H	C	L	H	C
Referenz	4119.712	5626.660	2638.047	4182.981	5689.929	2701.316
Alt. 1	4528.993	6698.292	3317.758	4560.627	6729.926	3349.392
Alt. 2	4187.229	5697.551	2704.662	4245.226	5755.547	2762.658
Alt. 3	6141.440	7742.290	6113.607	6173.074	7773.925	6145.242

Ergebnisse

Tab. 24: AIC- und BIC-Werte des Modellvergleichs für den subjektiven Datensatz

Modell	AIC			BIC		
	L	H	C	L	H	C
Referenz	2136.632	2674.388	2220.774	2179.287	2717.043	2263.429
Alt. 1	2257.547	2760.689	2345.814	2276.936	2780.078	2365.203
Alt. 2	2257.547	2760.689	-	2276.936	2780.078	-
Alt. 3	2205.256	2697.803	2250.686	2224.645	2717.192	2270.074

Die Felder der Sättigung C des zweiten Alternativmodells bleiben hier aufgrund mangelnder Varianz leer

Die AIC und BIC-Werte der Lichtkomponenten des Referenzmodells sind durchgehend kleiner als die der Alternativ-Modelle. Das heißt, das ursprünglich vorgeschlagene Modell ist besser geeignet, die Datenlage umfassend zu beschreiben. Auch das bezüglich der Sättigung C nichtschätzbare zweite Alternativmodell bringt diese Aussage nicht ins Wanken, da ein schätzbare Modell in jedem Fall „besser“ ist, als ein nichtschätzbare.

4.6.4.1 Überprüfung der statistischen Modelle für den objektiven Datensatz

Um die Interpretation der Modelle zu ermöglichen muss die Annahme über die Verteilung der Störgrößen für die Modellierung verifiziert werden. Dazu werden die Residuen und die Verteilung der Modelle mit Quantil-Quantil-Plots betrachtet und so die Modell-Annahmen überprüft. Die Überprüfungen der Modell-Güte wurden separat für den objektiven und den subjektiven Datensatz durchgeführt. Abb. 21 zeigt die Verteilung der standardisierten Residuen aufgetragen gegen die gefitteten Werte für den objektiven Datensatz:

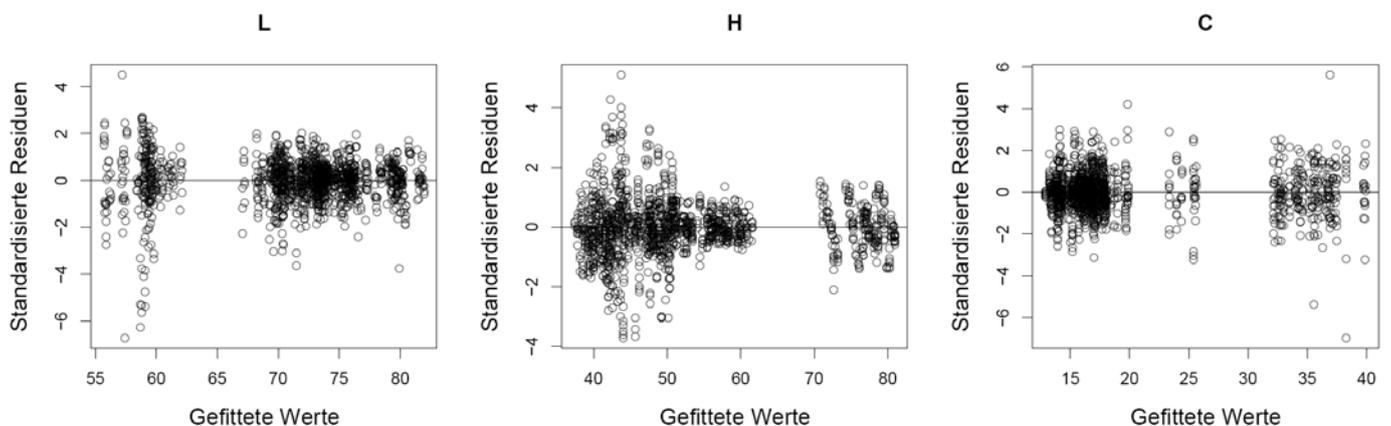


Abb. 21: Q-Q-Plots für die standardisierten Residuen und die gefitteten Werte (objektiv)

Ergebnisse

Unter „gefitteten Werten“ versteht man die für jede Beobachtung durch das Modell geschätzten Werte. Die Residuen sind der Abstand der geschätzten Werte von den beobachteten Werten. Nach der Annahme des Modells sollen die Residuen jeweils die gleiche Varianz zeigen und symmetrisch um 0 streuen.

Bei Betrachtung der Q-Q-Plots stellt man fest, dass diese Vorgabe im Falle der Sättigung (C) gut erfüllt ist, bei der Helligkeit (L) und dem Bunnton (H) ist die Streuung inhomogener.

Überprüfung der Normalverteilung der Residuen

Um die Normalverteilung der Residuen zu prüfen, werden die Quantile der Residuen gegen die Quantile der Standardnormalverteilung aufgetragen. Im Falle einer perfekten Normalverteilung sollen die Punkte exakt auf der Geraden im Plot liegen.

Auch hier ist die Vorgabe bei der Sättigung (C) gut erfüllt, bei Helligkeit (L) und Bunnton (H) kommt es zu Abweichungen an den Rändern.

Abb. 22 zeigt die Quantile der Residuen aufgetragen gegen die Quantile der Standardnormalverteilung für den objektiven Datensatz.

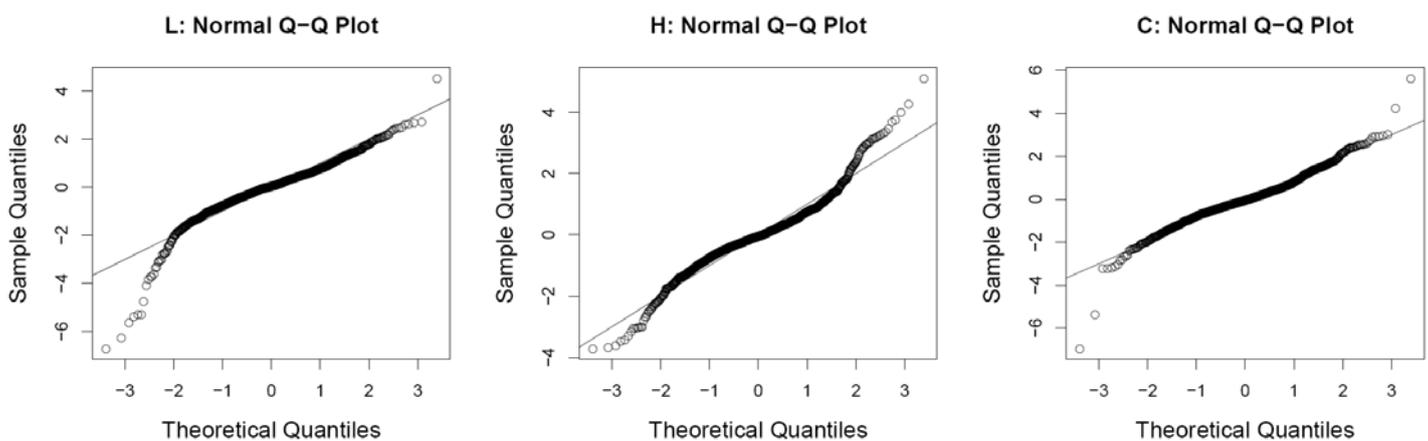


Abb. 22: Q-Q-Plots für die Residuen und die Standardnormalverteilung (objektiv)

Überprüfung der Konfidenz-Intervalle der Parameterschätzer mittels Bootstrap

Mit Hilfe des Bootstrap-Verfahrens erhält man Konfidenz-Intervalle für die Parameterschätzer der fixen Effekte. Dazu wurden aus der empirischen Verteilung 5000 Stichproben gezogen, und für jede dieser Stichproben je drei Modelle (für jede Farbkomponente) geschätzt. Im Anschluss wurden aus diesen Modellen nach der Perzentil-Methode Konfidenzintervalle berechnet.

Ergebnisse

Unterscheiden sich die Bootstrap-Konfidenzintervalle stark von den der Theorie zugrundeliegenden Konfidenzintervallen, kann von einer Verletzung der Modellannahme ausgegangen werden.

In Tab. 25 sind die Konfidenzintervalle den Bootstrap-Konfidenzintervallen für den objektiven Datensatz gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die normalen Konfidenzintervalle mit den Bootstrap-Konfidenzintervallen größtenteils übereinstimmen – die gelegentlich vorhandenen Abweichungen liegen meist unterhalb von 0.01. Eindeutige Hinweise auf eine Verletzung der Modellannahmen sind demnach nicht vorhanden.

Tab. 25: Konfidenzintervalle und Bootstrap-Konfidenzintervalle (objektiv)

Modell	Variable	Schätzer	KI	Bootstrap KI
L	Rotlicht links	0.163	[0.053, 0.272]	[0.045, 0.280]
L	Rotlicht rechts	0.092	[-0.018, 0.201]	[-0.029, 0.214]
L	Anschnitt alt	-0.353	[-0.478, -0.228]	[-0.459, -0.247]
H	Rotlicht links	0.371	[0.190, 0.552]	[0.181, 0.563]
H	Rotlicht rechts	0.399	[0.218, 0.580]	[0.216, 0.590]
H	Anschnitt alt	1.432	[1.224, 1.641]	[1.162, 1.705]
C	Rotlicht links	0.030	[-0.033, 0.094]	[-0.040, 0.094]
C	Rotlicht rechts	0.002	[-0.062, 0.065]	[-0.070, 0.071]
C	Anschnitt alt	0.188	[0.115, 0.261]	[0.114, 0.261]

4.6.4.2 Überprüfung der statistischen Modelle für den subjektiven Datensatz

Da die Ermittlung der Farbwerte hier aufgrund der vorgegebenen Skalierung des RAL-Farbfächers meistens nur in 10-Grad-Schritten oder ausnahmsweise in 5-Grad-Schritten möglich war, ergibt sich ein Bild, in dem die Punkte auf nahezu parallel verlaufenden Geraden platziert sind.

Um die Strukturen besser erkennen zu können wurde daher zu den hier dargestellten Residuen-Plots bereits ein Zufallsfehler dazu addiert. Dadurch kann die Homogenität der Varianzen hier nur schwer beurteilt oder interpretiert werden.

Abb. 23 zeigt die Verteilung der standardisierten Residuen, aufgetragen gegen die gefitteten Werte für den subjektiven Datensatz.

Ergebnisse

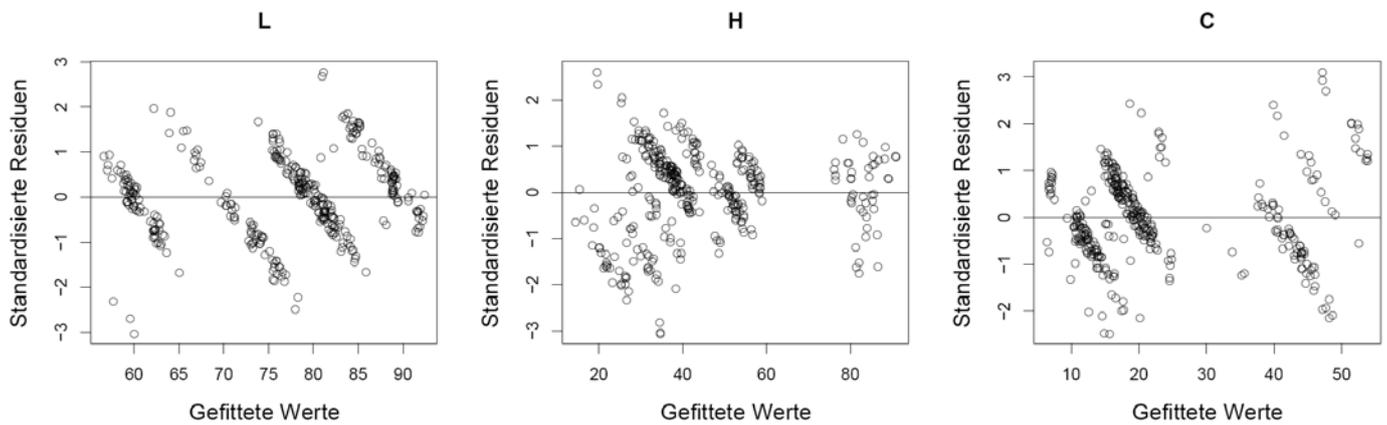


Abb. 23: Q-Q-Plots für die standardisierten Residuen und die gefitteten Werte (subjektiv)

Überprüfung der Normalverteilung der Residuen

Auch hier werden zur Prüfung der Normalverteilung der Residuen die Quantile der Residuen gegen die Quantile der Standardnormalverteilung aufgetragen. Bei Betrachtung der in Abb. 24 dargestellten Q-Q-Plots ist im Falle des Bunntons (H) eine etwas größere Abweichung von der Standardnormalverteilung festzustellen als bei der Sättigung (C) und der Helligkeit (L).

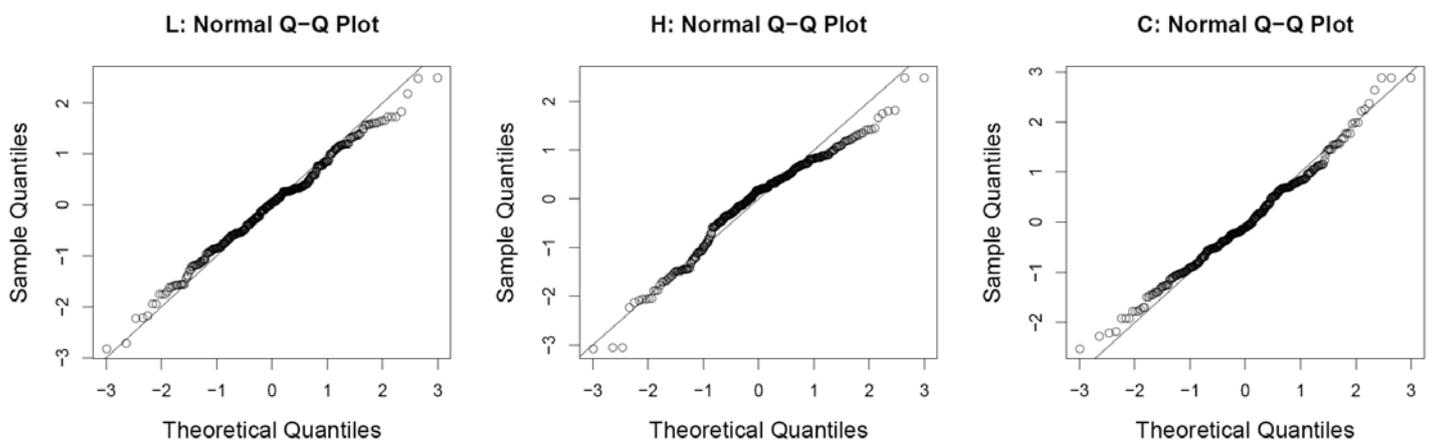


Abb. 24: Q-Q-Plots für die Residuen und die Standardnormalverteilung (subjektiv)

Überprüfung der Konfidenz-Intervalle der Parameterschätzer mittels Bootstrap

Analog zu dem objektiven Datensatz wurden auch für den subjektiven Datensatz mittels Bootstrap zusätzliche Informationen über Schätzer gewonnen. Die Herangehensweise an die Berechnung eines Bootstraps ist in Kapitel 4.6.4.1 beschrieben. Für den subjektiven Datensatz ergibt sich ein ähnliches Bild (siehe Tab. 26), auch hier kann nicht von einer Verletzung der Modellannahmen ausgegangen werden.

Ergebnisse

Tab. 26: Konfidenzintervalle und Bootstrap-Konfidenzintervalle (subjektiv)

Modell	Variable	Schätzer	KI	Bootstrap KI
L	Rotlicht links	-2.95	[-3.869, -2.031]	[-3.942, -1.927]
L	Rotlicht rechts	-2.95	[-3.869, -2.031]	[-3.947, -1.932]
H	Rotlicht links	-1.583	[-3.642, 0.476]	[-3.734, 0.464]
H	Rotlicht rechts	-5.333	[-7.392, -3.274]	[-7.750, -3.022]
C	Rotlicht links	5.292	[4.184, 6.399]	[4.044, 6.430]
C	Rotlicht rechts	3.917	[2.809, 5.024]	[2.721, 4.987]

4.6.5 Überprüfung des Beleuchtungseffekts auf die einzelnen Komponenten

Weitere wichtige Fragestellung war, ob der Effekt der Farbfilterbeleuchtung auf die frischen Anschnitte bzw. bei den Wiener Würstchen auch auf die Oberflächenfarbe nachweisbar ist. Für die statistische Absicherung der Antwort wurde der Likelihood-Quotienten-Test durchgeführt. Beide Dummy-Variablen der Lampen wurden dazu auf 95 %-ige Signifikanz getestet. Ist ein Ergebnis signifikant, bedeutet das einen statistisch gesicherten Einfluss mindestens einer der Rotlichtlampen auf die Farbwiedergabe der getesteten Produkte. Tab. 27 zeigt die p-Werte für die einzelnen Farbkomponenten, getrennt nach objektivem und subjektivem Datensatz. Tab. 28 enthält die Parameterschätzer für beide Datensätze.

Tab. 27: p-Werte für die Farbkomponenten (objektiv und subjektiv)

Datensatz	p-Werte		
	L	H	C
objektiv	0.0147	< 0.0001	0.577
subjektiv	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Tab. 28: Parameterschätzer für die Rotlichtlampen (objektiv und subjektiv)

Datensatz	Rotlicht	Parameterschätzer		
		L	H	C
objektiv	links	0.16258333	0.3711042	0.030229167
objektiv	rechts	0.09164583	0.3992917	0.001520833
subjektiv	links	-2.95000	-1.583333	5.291667
subjektiv	rechts	-2.95000	-5.333333	3.916667

4.6.5.1 Ergebnisse des Beleuchtungseffekts für den objektiven Datensatz

Bei den Komponenten Buntton (H) und Helligkeit (L) liegt der p-Wert deutlich unter 0.05. Die Beleuchtung beeinflusst diese zwei Farbparameter somit signifikant. Auf dem Farbkreis ändert sich der Farbton um 0.37 bzw. um 0.4, die Helligkeit erhöht sich um 0.09 bzw. 0.16. Ein signifikanter Einfluss auf die Farbsättigung ist nicht nachweisbar.

4.6.5.2 Ergebnisse des Beleuchtungseffekts für den subjektiven Datensatz

Im Falle des subjektiven Datensatzes sind alle Variablen der roten Beleuchtung signifikant. Hier wird demnach jede Farbkomponente durch die Beleuchtung signifikant beeinflusst. Die Helligkeit verringert sich um 2.95, die Sättigung steigt um 5.3 an und der Buntton verändert sich um 1.5 bis 5.3 Grad auf dem Farbkreis.

4.6.6 Einfluss des Anschnittsalters auf die Farbkomponenten

Überprüft man mit den oben vorgestellten Modellen die Erkennbarkeit des frischen bzw. alten Anschnitts über dessen Einfluss auf die Farbkomponenten, können signifikante Einflüsse festgestellt werden. Ist der Anschnitt alt, verringert sich die Helligkeit um 0,35, die Sättigung erhöht sich um 1,9 und der Buntton ändert sich um 1,43 Grad auf dem Farbkreis. Demzufolge ist ein „alter“ Anschnitt statistisch signifikant auch als solcher messbar. Tab. 29 enthält die p-Werte, Tab. 30 die Parameterschätzer für die Variable „Anschnitt“.

Tab. 29: p-Werte für die Variable „Anschnitt“

	p-Werte		
	L	H	C
Anschnitt	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Tab. 30: Parameterschätzer für die Variable „Anschnitt“

	Parameterschätzer		
	L	H	C
Anschnitt	-0.35304190	1.4323036	0.187573857

4.7 Ergebnisse des Modellversuchs

Der Modellversuch wurde aus wissenschaftlichem Interesse vorgeschaltet, die Farbbestimmung daher nur zu einem Zeitpunkt durchgeführt. Daher konnten dessen Ergebnisse statistisch nicht mit den übrigen Ergebnissen in Bezug gesetzt werden.

Die genauen Ergebnisse der farbphysikalischen und sensorischen Untersuchungen sind in Anhang D zu finden. Bei Betrachtung dieser Werte konnte kein wesentlicher Unterschied des Farbänderungsverhaltens dunklerer Würste unter Rotlichtbeleuchtung festgestellt werden.

Im Einzelnen war unter Tageslichtverhältnissen zu beobachten, dass der Helligkeitswert (L^*) kleiner wurde, je mehr Schweineblut prozentual beigemischt worden war. Er bewegte sich im Falle der Modellwurst, die nicht mit Schweineblut versetzt worden war, im Mittel bei 69,233. Die Beimischung von 0,5 % Schweineblut ließ den L-Wert im Mittel auf 65,450 sinken. Der Zusatz von 1,5 % Schweineblut bewirkte einen weiteren Abfall auf im Mittel 60,286. Gleichzeitig stieg der Buntton (a^* -Wert) von 12,567 über 14,900 auf 17,390 an. Die Farbsättigung bewegte sich in einem relativ engen Bereich zwischen 12,373 und 13,346.

Betrachtet man die einzelnen Farbkomponenten jeder Wurst in ihrem Änderungsverhalten unter den verschiedenen Beleuchtungen, bewegen sich die Abweichungen in denselben engen Grenzen wie bei den ursprünglich gewählten Brühwurstserzeugnissen. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde das Spektrum des Untersuchungsmaterials über die ursprünglich gewählten sechs Produkte hinaus nicht erweitert.

5 Diskussion

In der Literatur werden Farbmessungen von Lebensmitteln als Kontrollpunkt in der Qualitätssicherung empfohlen (MAC DOUGALL, 2002b). In Verbindung mit einer Messung des pH-Wertes, dessen Korrelation mit der Farbausprägung im Fleischbereich beschrieben ist, scheint dies eine gute Methode der Eingangskontrolle sowie der Kontrolle der Weiterverarbeitung von Fleisch (PSE- bzw. DFD-Fleisch) zu sein (WULF et al., 1997; PAGE et al., 2001). Es gilt aber zu bedenken, dass sich im Bereich der weiterverarbeiteten Produkte die Interpretation der Ergebnisse von Farbbeurteilungen und Farbmessungen schwieriger gestaltet. Einflüsse auf das Verarbeitungsprodukt Fleisch, wie die Haltung und Fütterung der Tiere, deren Geschlecht und Alter (siehe Kapitel 2.5 ff), um nur einige zu nennen, tragen maßgeblich zur Farbgebung des daraus gefertigten Produktes Brühwurst bei. Weiter bestimmt die Verarbeitungstechnologie die Färbung der Erzeugnisse und deren Oberflächenstruktur (siehe Kapitel 2.5.3 und 2.5.4) wesentlich. Auch Einflüsse der Lagerungsbedingungen wie Kühlung, Keimbelastung, Sauerstoffeinwirkung, Beleuchtung und Verpackung (siehe Kapitel 2.6) sind an der Farbgebung und Farbhaltung eines Erzeugnisses beteiligt. Durch die genannten Faktoren wird verständlich, dass ein Farb-Standard für ein Produkt nicht vorausgesetzt werden kann. Eine unterschiedliche Farbausprägung ist demnach nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit einer mangelhaften Qualität. Im Falle von PSE- oder DFD-Fleisch ist die veränderte Farbe zwar gleichbedeutend mit einer im Nahrungs- und Genusswert herabgesetzten Qualität aber nicht mit einem gesundheitsschädlichen Produkt. Die hier erarbeiteten Werte können daher nur als Richtwerte gesehen werden.

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit Angaben aus der Literatur war aufgrund der beschriebenen vielschichtigen Einflussfaktoren auf die Farbausprägung nicht möglich. Zudem beziehen sich in der Literatur angegebene Farbmesswerte meist auf frisches oder gelagertes Fleisch, Fleischerzeugnisse sind selten erwähnt. Sind sie erwähnt, fehlen detaillierte Angaben zu dem verwendeten Fleisch, der angewandten Technologie und / oder den Lagerungsbedingungen. Auch waren keine Angaben über Durchschnittswerte von Farbmessungen an Fleisch oder Fleischprodukten im LCH-System zu finden. Grund hierfür ist wahrscheinlich, dass Farbmesskameras zwar mit diesem System arbeiten können, aber die Geräte meist so eingestellt werden, dass die Ergebnisse im L*a*b*-System ausgegeben werden. Die Umrechnung der L*a*b*-Werte in das LCH-System ist zwar grundsätzlich möglich, setzt aber exakte Angaben der L*a*b*-Werte voraus.

Für die direkte Vergleichbarkeit ist auch eine exakte Beschreibung des Versuchsaufbaus erforderlich. Die beiden letzten Voraussetzungen für eine Datenvergleichbarkeit waren in der geforderten Detailliertheit in keiner Literaturfundstelle erwähnt.

Zur besseren Verständlichkeit sei noch einmal die in den Kapiteln 2.2.3.2 und 2.2.3.3 ausführlich beschriebene Bedeutung der Farbmaßzahlen $L^*a^*b^*$ und LCH erklärt. Die Farbmaßzahl a^* beschreibt die Rot-Grün-Achse, wobei ein positiver Wert für Rot und ein negativer für Grün steht. Die Gelb-Blau-Achse wird durch b^* beschrieben, ein positiver Wert steht für Gelb und ein negativer für Blau. a^* und b^* werden in einer Ebene aufgetragen, L^* verläuft dazu senkrecht (siehe Abb. 4, S. 29). Durch L^* wird die Helligkeitsachse in Zahlen angegeben, ein L^* -Wert von 100 entspricht Weiß, ein L^* -Wert von 0 Schwarz. Aus a^* und b^* abgeleitete Farbmaßzahlen sind die Sättigung (=Buntheit) C^* und der Buntton (= Farbton) H^* , die sich in dem CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkörper als konzentrische Kreise bzw. als radiale Linien darstellen lassen (siehe Abb. 4). Der LCH-Farbraum wurde 1976 von der CIE festgelegt und ist identisch mit dem CIE $L^*a^*b^*$ -Farbraum. Einziger Unterschied ist die Angabe der Zylinderkoordinaten L (= Helligkeit, Lightness), C (= Sättigung, Chroma) und H (= Buntton, Hue) anstelle der kartesischen Koordinaten a^* und b^* . Die Helligkeit L^* bleibt in beiden Systemen unverändert bestehen, die Sättigung C wird durch b^* beschrieben und der Farbton H durch a^* . Aus diesen Ausführungen wird ersichtlich, dass die $L^*a^*b^*$ -Werte in die LCH-Werte ineinander umrechenbar sind, da sie denselben Farbraum beschreiben. Die dazugehörenden Rechenwege sind den Kapiteln 2.2.3.2 und 2.2.3.3 zu entnehmen.

Da die Resultate dieser Arbeit sehr umfangreich sind, werden analog zu der Ergebnisdarstellung in Kapitel 4 in diesem Kapitel zunächst die unterschiedlichen Datensätze (objektiv und subjektiv) getrennt diskutiert. Im Anschluss werden in Kapitel 5.1.3 beide Datensätze vergleichend gegenübergestellt, wofür die oben beschriebene Umrechnung der beiden Datensätze in eine einheitliche Notation erforderlich wurde. In Kapitel 5.2 werden die Grenzen und Möglichkeiten der Wahrnehmbarkeit des objektiv gemessenen und subjektiv empfundenen Farbabstandes erörtert. Kapitel 5.3 beschreibt die rechtliche Seite der Beleuchtungsproblematik, woraus sich der in Kapitel 5.4 dargestellte Ausblick sowie die in den Schlussfolgerungen zusammengefassten Konsequenzen für Verbraucher und Lebensmittelüberwachung ergeben.

Alle nachfolgend angegebenen Farbwerte haben keine Einheit, da wie in Kapitel 2.2 ausgeführt, Farbe physikalisch gesehen durch Buntton, Sättigung und Helligkeit gekennzeichnet wird, aber keine physikalische Größe ist und somit keine Einheit hat (MC DARRAH und MC DARRAH, 1999; DEETJEN und SPECKMANN, 1992).

5.1 Einflüsse der Rotlichtlampen im Vergleich zum Tageslicht

5.1.1 Der objektive Datensatz

Die diesem Diskussionspunkt zugrundeliegenden Daten rekrutierten sich aus den mit der Minolta Chroma-Meter CR-400 Farbmesskamera physikalisch gemessenen Werten (siehe Anhang A). Die gemessenen Farben werden von der Kamera in den $L^*a^*b^*$ -Werten (siehe Kapitel 2.2.3.2) ausgegeben. Dadurch, dass der subjektive Datensatz aufgrund des hierfür verwendeten RAL-Farbfächers auf dem LCH-Farbraum (siehe Kapitel 2.2.3.3) aufbaut, wurde für die Vergleichbarkeit der beiden Datensätze (siehe Kapitel 5.1.3) eine einheitliche Notation erforderlich. Da die LCH-Notation leichter verständlich erschien, wurden die von der Farbmesskamera ausgegebenen $L^*a^*b^*$ -Werte, wie in Kapitel 3.2.4 ausgeführt, in die LCH-Werte umgerechnet. Alle Farbwerte in diesem und in den folgenden Kapiteln werden daher in Form der Helligkeits- (L), Sättigungs- (C) und Buntton- (H)-Komponenten angegeben.

Die erste Betrachtung der objektiv gemessenen Daten differenzierte nicht bezüglich Produktart oder Alter der Ware. Aus den dazu in Kapitel 4.1.1 dargestellten Boxplot-Grafiken ist abzulesen, dass grundsätzlich ein wurstsortenübergreifender Effekt auf jede Farbkomponente bestand, wobei die Differenzen bei dem Buntton besonders groß waren. Insgesamt war die Varianz der Differenzen von Tageslicht zu rechter Rotlichtlampe etwas größer.

Eine ausreichende Aussage über die genauen Veränderungen der einzelnen Farbkomponenten an jedem Produkt konnte nur aufgrund dieses Ergebnisses aber nicht getroffen werden, denn die Farbgebung jeden Produkts ist aufgrund der in den einleitenden Worten zu diesem Kapitel erwähnten Einflussfaktoren unterschiedlich. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden die Ergebnisse dieser ersten Betrachtung separat betrachtet und nach Produkten gesplittet. Die Änderungen der einzelnen Farbkomponenten (siehe Abb. 16 sowie Anhang F, Abb. 25 und 26) der verschiedenen Produkte stellten sich sehr unterschiedlich dar. Eine einheitliche Richtung der Abweichungen der einzelnen Farbkomponenten unter der Beleuchtung mit Farbfilter oder ein sortenübergreifender Trend nach „heller“, „dunkler“, „satter“ oder „röter“ konnte statistisch nicht nachgewiesen werden.

Eine kurze Darstellung der auffallenden Tendenzen je Wurstsorte scheint dennoch sinnvoll, da so die Gründe für die Vielschichtigkeit der Farbänderungen direkt diskutiert werden können.

Im Falle der Gelbwurst waren die Abweichungen der Farbsättigung in den meisten Fällen negativ, was einer „Vergrauung“ unter roter Beleuchtung entspricht. Die Helligkeit der Gelbwurst wurde unter dem linken Rotlicht bei allen Chargen erhöht, der Buntton wies die geringste Streubreite auf. Die Gelbwurst stellt hier in Bezug auf das übrige Probensortiment eine Ausnahme dar, da sie als weiße Ware nicht die Reflexionsspektren aufweist, welche die umgeröteten Produkte mitbringen.

Bei der Kalbfleischwurst und dem Leberkäse waren die meisten Helligkeitswerte niedriger als unter Tageslicht. Gleichzeitig tendierte die Sättigung des Leberkäses in Richtung positiverer (farbintensiverer) Werte, der Buntton zeigte bei beiden Produkten die größten Streubreiten. Diese Beobachtungen lassen auf einen Effekt der Beleuchtung schließen, die Erzeugnisse werden unter roter Beleuchtung heller und farbintensiver.

Die Oberflächenmessungen der Wiener Würstchen lassen bei der Farbsättigung über die Untersuchungszeitpunkte hinweg einen Trend in Richtung positiverer (farbintensiverer) Werte erkennen, ebenso bei der Komponente Buntton, was gleichbedeutend ist mit einer Änderung in Richtung „orangener“. Diese Messergebnisse decken sich gut mit den bei diesen Produkten ermittelten sensorischen Ergebnissen (siehe Kapitel 5.1.2).

Grund für diese unterschiedlichen Effekte auf die einzelnen Farbkomponenten ohne sortenübergreifenden Trend ist wahrscheinlich die Funktionsweise des Gerätes. Diese ist in Kapitel 3.2.3 ausführlich beschrieben. Demzufolge muss die Farbmesskamera nach Herstellerangaben mit ihrem Messkopf direkt auf das Produkt aufgesetzt werden, um gültige Ergebnisse zu erzielen. Dieser Bedienungshinweis wurde während der durchgeführten Untersuchungen eingehalten. Während des Messvorgangs emittiert das Gerät drei Lichtblitze im Abstand von je einer Sekunde. Der Messempfänger des Gerätes misst daraufhin das senkrecht reflektierte Licht. Aufgrund dieser Messung berechnet danach ein in dem Gerät integrierter Mikroprozessor die Farbwerte $L^*a^*b^*$ (KONICA-MINOLTA, 2002).

Durch das direkte Aufsetzen des Kamera-Messkopfes auf das Produkt in Verbindung mit der Messung des ausschließlich senkrecht reflektierten Lichtes, schließt die Funktionsweise des Gerätes Messergebnisse aus, die den Einfluss des Umgebungslichtes berücksichtigen könnten. Die Kamera kann in ihre Messung nur die eigentliche Objektfarbe und nicht die Interaktionen der beleuchtenden Lichtquelle mit dem Produkt einbeziehen.

Um bei der Farbmessung von Fleisch und Fleischerzeugnissen unter Beleuchtung mit Farbfiltern die Effekte des gefärbten Umgebungslichtes auf die Waren einbeziehen zu können, muss die Messung berührungslos durchgeführt werden. Dies scheint nach einer Publikation von SEBASTIÁN et al. inzwischen möglich zu sein. In dieser Arbeit wird die Farbmessung an Trutenbrustfleisch aus 40 cm Entfernung mit einem Video-Farbanalysegerät der Firma X-Rite erwähnt. Weiterer Vorteil des Einsatzes eines solchen Gerätes ist die Vermeidung einer Kontamination jedweder Art des zu messenden Lebensmittels (SEBASTIÁN et al., 2003).

In diesem Zusammenhang muss auch bedacht werden, dass Verschmutzungen des Messkopfes durch das direkte Aufsetzen auf dem Produkt zu falschen Ergebnissen führen können (JOSHI und BRIMELOW, 2002). Um die Entstehung von falschen Ergebnissen durch an dem Messkopf anhaftenden Wurstresten auszuschließen, wurde während der physikalischen Untersuchungen dieser Arbeit der Messkopf der Farbmesskamera nach Empfehlung des Herstellers nach jedem Messdurchgang mit Ethanol gereinigt. Nach JOSHI und BRIMELOW wäre zur Kontaminationsvermeidung auch die Verwendung von Glasküvetten oder der Einsatz von PVC-Folie denkbar (JOSHI und BRIMELOW, 2002). Diese Varianten eignen sich aber zur Farbmessung nicht, da sie ein anderes Reflexionsverhalten der zu messenden Oberflächen mit sich bringen (siehe Kapitel 2.2.4.1).

Die Hypothese, ob ein „alter“ Anschnitt unter „schönender“ Rotlichtbeleuchtung aussehen kann wie ein „frischer“ Anschnitt unter Tageslicht, wurde wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben, als ein Testproblem mit zwei verbundenen Stichproben statistisch geprüft. Als Stichprobe dienten die Differenzen zwischen den Messwerten, beispielsweise frischer Anschnitt Eingang MHD unter Tageslicht und alter Anschnitt Mitte MHD unter linken (oder rechtem) Rotlicht (siehe Tab. 10). Dabei ergab nur der direkte Vergleich alter Anschnitt Ende MHD und frischer Anschnitt Mitte MHD Differenzen, die signifikant kleiner 0 sind. Wie in Kapitel 4.1.2 besprochen, bedeutet eine negative Abweichung im Falle des Bunttons eine Farbänderung in Richtung „röter“. Daraus ergibt sich für den Vergleich alter Anschnitt Ende MHD und frischer Anschnitt Mitte MHD eine signifikant „röttere“ Färbung des frischen Anschnitts Mitte MHD. Das heißt, die Hypothese, dass alte Würste unter roter Beleuchtung gleich aussehen können wie frische, konnte statistisch bis auf den angegebenen Fall nicht abgelehnt werden. Eine Verbrauchertäuschung scheint hier möglich zu sein. Deren Vorliegen aber ist wieder abhängig von der Wertespanne, da nur über den Farbabstand auch eine Beurteilung der Wahrnehmbarkeit möglich ist.

Bei einem weiteren Vergleich der alten und frischen Anschnitte sollte die Frage geklärt werden, ob alte und frische Produkte zur gleichen Untersuchungszeit (z. B. Mitte MHD) durch rote Beleuchtung zu einer Verbrauchertäuschung führen können. Für die erforderlichen statistischen Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests) wurde die Nullhypothese zu Grunde gelegt, dass die unter Tageslicht an frischem Anschnitt gemessenen Werte kleiner sind als die an altem Anschnitt unter Rotlicht gemessenen. Diese Hypothese hätte für alle Lichtkomponenten signifikant abgelehnt werden müssen, um für eine Verbrauchertäuschung zu sprechen. Dies war aber nicht der Fall. Die Helligkeit war unter keiner Lampe signifikant, der Buntton dagegen ausschließlich. Eine mögliche Verbrauchertäuschung konnte hier nicht nachgewiesen werden.

Überprüft man die Erkennbarkeit des frischen bzw. alten Anschnitts auf umgekehrtem Weg über dessen Einfluss auf die einzelnen Farbkomponenten (siehe Kapitel 4.6.6), können signifikante Einflüsse festgestellt werden. Ist der Anschnitt alt, verringert sich die Helligkeit um 0,35, die Sättigung erhöht sich um 1,9 und der Buntton ändert sich um 1,43 Grad auf dem Farbkreis. Demzufolge ist ein „alter“ Anschnitt statistisch signifikant auch als solcher messbar. Gleichzeitig kann aber nicht unbedingt von einer Verbrauchertäuschung gesprochen werden, da nach GIERLING erst bei einer Änderung des Farbabstandes $\Delta E \geq 2,5$ ein Farbunterschied für den Laien wahrnehmbar wird (GIERLING, 2006). Auch GALL und NEUBAUER sehen die Wahrnehmbarkeitsgrenze zwischen 2 und 3 (GALL, 2009; NEUBAUER, 2009). Die Möglichkeiten der Unterschiedswahrnehmung bleiben hier aufgrund der geringen Farbabstände demnach für den Verbraucher in einem Bereich von nicht wahrnehmbar bis gering wahrnehmbar (siehe Tab. 3/I bis 3/III und Kapitel 2.2.1).

Abschließend wurden die objektiv erhobenen Daten der einzelnen Farbkomponenten auf Signifikanz geprüft. Ein signifikanter Einfluss der roten Beleuchtung auf die Komponenten Buntton (H) und Helligkeit (L) konnte statistisch nachgewiesen werden. Der Buntton änderte sich um 0,37 bzw. um 0,4 Grad, die Helligkeit erhöhte sich um 0,09 bzw. 0,16 Einheiten. Ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Farbsättigung war nicht nachweisbar. Trotz dieser statistisch signifikanten Einflüsse der Beleuchtung auf den Buntton und die Helligkeit kann hier bei fachlicher Betrachtung ebenfalls nicht von einer Verbrauchertäuschung ausgegangen werden. Die Helligkeitsdifferenzen von 0,09 bis 0,16 sind so gering, dass sie nicht wahrgenommen werden können. Nach HELLERICH et al. sind Farbunterschiede bei einer Differenz bis 0,2 nicht wahrnehmbar (siehe Tab. 3/I). Die Differenz des Bunttons weist mit 0,37 bis 0,4 etwas größere Werte auf, die aber dennoch in einem Bereich liegen, der noch deutlich unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt.

HELLERICH et al. legen die Grenzen der sehr geringen Wahrnehmbarkeit von Farbunterschieden bei 0,2 bis 0,5 fest. Ab 0,5 bis 1,5 beschreibt HELLERICH et al. die Wahrnehmbarkeitsmöglichkeit als gering und erst in einem Bereich von 1,5 bis 3,0 als deutlich (siehe Tab. 3/I, S. 22) (HELLERICH et al., 2004). GALL und NEUBAUER siedeln den Grenzwert für die Wahrnehmbarkeit von Farbunterschieden zwischen 2 und 3 an (Tab. 3/II, S. 22) (GALL, 2009; NEUBAUER, 2009). GIERLING setzt für Laien die Grenze der Wahrnehmbarkeit erst bei $\geq 2,5$ an (Tab. 3/III, S. 23) (GIERLING, 2006). Dieser Wert wurde hier von beiden Lampen nur in 20,5 % der Fälle überschritten. Die Boxplot-Darstellung für den Farbabstand ΔE für den objektiven Datensatz zeigt, dass im Falle des linken Rotlichts 80 % der Werte, und im Falle der rechten Rotlichtlampe 79 % der Werte ein ΔE kleiner als 2,5 haben (siehe Abb. 20). Dies ist nach GIERLING gleichbedeutend mit der Feststellung, dass die objektiv gemessenen Farbunterschiede für den Laien in durchschnittlich 79,5 % der Fälle nicht wahrnehmbar sind (GIERLING, 2006). Daraus folgt, dass eine Verbrauchertäuschung durch den Einsatz der hier verwendeten Minolta Chroma-Meter CR-400 Farbmesskamera nicht nachgewiesen werden kann.

5.1.2 Der subjektive Datensatz

Die in Kapitel 3.2.1.2 beschriebenen sensorischen Untersuchungen führten zu den in Kapitel 4.3 und 4.4 beschriebenen Ergebnissen der subjektiv gewonnenen Daten. Der direkte Farbvergleich der Brühwurstprodukte mit dem RAL-Farbfächer nach dem in Abb. 12 (S. 94) dargestellten Versuchsablauf führte zu den in Anhang B vorzufindenden Vergleichsfarbnummern. Diese bauen sich, wie in Kapitel 2.2.3.3 geschildert, aus den LCH-Werten auf und können so direkt (ohne umrechnen) interpretiert werden. Für den objektiven Datensatz war ein Umrechnen der von der Kamera ausgegebenen $L^*a^*b^*$ -Farbwerte in die LCH-Werte erforderlich, um eine einheitliche Notation für die in Kapitel 5.1.3 beschriebene vergleichende Diskussion der beiden Datensätze zu erhalten. Die Ergebnisse der Angabe der persönlichen Einschätzungen der Veränderungen sind ebenfalls Anhang B zu entnehmen. Die Codierung erfolgte nach der in Anhang C vorzufindenden Tabelle 33.

Analog zu den Ausführungen in Kapitel 5.1.1 sollte in einem ersten Schritt geklärt werden, ob ein grundsätzlich bestehender Einfluss der unterschiedlichen Beleuchtungen auf die Farbausprägung nachgewiesen werden kann. Aufgrund der Diskretion der Verteilung der Farbwerte durch die vorgegebene Skalierung des RAL-Farbfächers, wurde für die grafische Darstellung der Datenlage ein Epanechnikov-Kern-Dichte-Schätzer gewählt.

Eine Boxplot-Darstellung wie für den objektiven Datensatz hätte hier zu Unübersichtlichkeit geführt und die Interpretation erschwert. Abb. 17 ist ein grundsätzlich bestehender Einfluss der Farbfilterlampen auf die einzelnen Farbkomponenten zu entnehmen. Da die Untersuchungsobjekte aufgrund unterschiedlicher Rezepturen Varianzen in der Farbausprägung erkennen lassen, kann allein dieses Ergebnis noch keine ausreichende Aussage über die Farbeffekte liefern. Daher wurde auch dieser Datensatz analog zu den Ausführungen in Kapitel 5.1.1 für jede Wurstsorte und jeden Untersuchungszeitpunkt separat aufbereitet.

Die Ergebnisse sind in Anhang F, Abb. 27 bis 29 (S. 219 bis 221) in Streudiagrammen grafisch dargestellt. Betrachtet man die Farbveränderungen jeder Wurstsorte, stellen sich die Abweichungen der Farbtöne je nach Produkt unterschiedlich dar. Die einzelnen Ergebnisse sind in den Kapitel 4.3 und 4.4 ausführlich aufbereitet worden. Daher sollen in diesem Kapitel nur die auffallenden Tendenzen zusammengefasst und diskutiert werden.

Betrachtet man die Komponente Helligkeit, ist wurstsortenübergreifend auffallend, dass fast alle Produkte unter beiden Rotlichtlampen „heller“ gesehen wurden als unter Tageslicht. Auch im zeitlichen Verlauf ist festzustellen, dass fast alle Würste zum Ende des MHDs hin eher „heller“ eingestuft wurden. Im Gegensatz dazu veränderte sich die Sättigung bei einem Vergleich zwischen Tageslicht und Rotlichtlampen unter den Farbfilterlampen produktunabhängig durchgehend in Richtung negativ. Die Änderung der Farbsättigung in Richtung negativ entspricht einer wahrgenommenen „Vergrauung“ der Produkte unter Rotlicht. Der Buntton wies wurstsortenübergreifend keine sichtbare Tendenz in eine Richtung auf. Da im Falle des Bunttons eine negative Abweichung gleichbedeutend ist mit einer Farbänderung in Richtung „röter“, eine positive Abweichung eine Farbänderung in Richtung „orangener“ beschreibt, bedeutet das, dass hier die Produkte etwa gleich oft „orangener“ oder „röter“ gesehen wurden.

Bezieht man die Untersuchungszeitpunkte, also das Alter der Waren in die Betrachtung mit ein, ist festzustellen, dass die signifikanten Abweichungen tendenziell weniger werden. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die untersuchten Fleischerzeugnisse zum Ende ihres jeweiligen MHDs hin aufgrund produktimmanenter Alterungserscheinungen (siehe Kapitel 2.6) einer ähnlichen Farbausprägung annähern und dadurch eine Beleuchtung mit Farbfilter nicht mehr auffallend „schönend“ wirken kann. Um über die festgestellten Beobachtungen eine wissenschaftlich haltbare Aussage treffen zu können, wurden alle Daten statistisch auf Signifikanz geprüft. Diese ergab für alle drei Farbkomponenten einen signifikanten Einfluss der roten Beleuchtung. Die Helligkeit verringerte sich um 2.95, die Sättigung stieg um 5.3 an und der Buntton veränderte sich um 1.5 bis 5.3 Grad auf dem Farbkreis.

Um dieses Ergebnis wiederum fachlich interpretieren zu können, war auch für diesen Datensatz zusätzlich die Betrachtung des Farbabstandes ΔE erforderlich (siehe Kapitel 4.6.1). Nur über die Darstellung des errechneten Farbabstandes kann eine Aussage über die Wahrnehmbarkeit der Farbunterschiede getroffen werden. Der Abstand von zwei Farben zueinander muss nach GIERLING bei $\geq 2,5$ liegen, um auch von Laien als solcher erkannt werden zu können. Auch GALL und NEUBAUER siedeln den Grenzwert der Wahrnehmbarkeit in dem Bereich 2 bis 3 an (siehe Kapitel 2.2.1 und Tab. 3/I bis 3/III, S. 22 u. 23). Bereitet man den Farbabstand ΔE für den subjektiven Datensatz grafisch auf (siehe Abb. 20), zeigt sich eine im Vergleich zu dem objektiven Datensatz mehr oder weniger umgekehrte Situation: Im Falle des rechten Rotlichts liegen nur 10 % der Werte unterhalb von 2,5, im Falle des linken Rotlichts sogar nur 5 %. Das heißt, 95 % der Werte liegen hier oberhalb der von HELLERICH et al. und GIERLING beschriebenen Wahrnehmbarkeitsgrenzen (siehe Kapitel 2.2.1 und Tab. 3/I bis 3/III) (HELLERICH et al., 2004; GIERLING, 2006; GALL, 2009; NEUBAUER, 2009) und legen daher das Vorliegen einer Verbrauchertäuschung nahe.

Zusammenfassend gesagt ergibt sich für den subjektiven Datensatz eine signifikante Änderung der drei Farbkomponenten unter den Farbfilterlampen, wobei in 95 % der Fälle die Wahrnehmbarkeit der Farbunterschiede gegeben ist. Die sensorischen Untersuchungen erbrachten daher den Nachweis, dass statistisch gesehen eine Verbrauchertäuschung durch eine Beleuchtung mit Farbfiltern möglich ist.

Dennoch gilt es zu bedenken, dass der Grund für die im Vergleich zu dem objektiven Datensatz deutlich größeren Werte wahrscheinlich in den vorgegebenen fünf- bzw. zehngrad-Abständen des RAL-Farbfächers liegt – ändert sich nur eine Farbkomponente, ergibt sich bereits ein relativ großer Farbabstand. Die sensorischen Untersuchungen wurden als Gruppenprüfung durchgeführt (siehe Kapitel 2.3.4), so dass sich die Prüferinnen auf eine Farbe einigen mussten. Aufgrund eben dieser vorgegebenen Skalierung hatten die Sensorikerinnen oftmals Schwierigkeiten, sich auf eine Farbe zu einigen bzw. eine exakt „passende“ Farbe zu finden. Resultat war in manchen Fällen die Angabe von Mischfarben oder die Einigung auf eine Farbe durch Mehrheitsfindung. Resultat daraus wiederum ist die Feststellung, dass der Mensch in der Lage ist, feinere Farbunterschiede zu erfassen als der RAL-Farbfächer vorgibt. Eine feinere Skalierung hätte geringere Farbabstände und ein weniger eindeutiges Ergebnis erbracht. Von großem Interesse wären demnach Ergebnisse sensorischer Untersuchungen unter Zuhilfenahme eines feiner skalierten Farbfächers. Ein derartiger Farbfächer könnte ausschließlich Rottöne enthalten, die in 0,5 oder 1,0 Grad-

Schritten abgestuft wurden. Leider ist momentan kein derartiger Farbfächer auf dem Markt erhältlich.

Auch ist die Komplexität der Sinnesphysiologie des Auges sowie die weitere, individuelle, Verarbeitung visueller Eindrücke im Gehirn (siehe Kapitel 2.2.2.1) zu berücksichtigen. Das Spektrum des in das Auge fallenden Lichts hängt grundsätzlich von der Lichtfarbe (siehe Kapitel 2.2.4.2) und von der Objektfarbe (siehe Kapitel 2.2.4.1) ab. Beide Faktoren können im Gehirn anschließend nicht mehr getrennt werden. Ein rötlicher Farbeindruck kann demnach gleichermaßen durch rötliche Beleuchtung eines weißen Stück Papiers, oder aber durch weiße Beleuchtung eines rötlichen Stück Papiers zustande kommen (EYSEL, 1996; KLINKE und SILBERNAGL, 1996; RICHTER, 1981).

Aufgrund dieser Untrennbarkeit von Licht- und Objektfarbe für den Menschen kann der Verbraucher nicht ohne weiteres erkennen, ob eine frische, rote Farbausprägung eines Erzeugnisses durch produktimmanente Qualität verursacht oder durch eine die Farbe Rot betonende Beleuchtung bewirkt wird. Dies festzustellen wäre nur im direkten Vergleich mit dem Erscheinen des Produktes unter Tageslichtbedingungen möglich. Als Ratschlag für den Verbraucher würde sich daraus ergeben, sich die gewünschte Ware vor dem Erwerb durch den Verkäufer im Tageslicht präsentieren zu lassen. Alternativ ist die sogenannte „Handprobe“ ein Weg, die Farbe der Beleuchtung zu erkennen – greift der Verkäufer in die beleuchtete Theke und beobachtet der Käufer dabei die Farbe des Handrücken, kann eine farbverändernde Beleuchtung erkannt werden (N. N., 2009s).

In einer weiteren Hinsicht dürfen die im Versuch ermittelten eindeutigen Ergebnisse der sensorischen Untersuchungen nicht unreflektiert auf den Verbraucher umgelegt werden: der Vergleich mit dem RAL-Farbfächer wurde in dieser Arbeit durch direktes Nebeneinanderhalten von Untersuchungsobjekt und Farbkarte durchgeführt. Diese Vergleichsdurchführung wird dem Verbraucher nicht möglich sein, da er durch den Thekenaufbau mit der unverpackten Ware nicht in Berührung kommt. Letzteres ergibt sich aus den Bestimmungen der VO (EG) 852/2004, Anhang II, über allgemeine Hygiene-Vorschriften für Betriebe, in denen mit Lebensmitteln umgegangen wird. Auch wird in DIN 10501-2 und in DIN EN 441-2 ein Hustenschutz für die Ware gefordert, dem durch den Glasaufsatz nachgekommen wird (VO (EG) 852/2004; DIN 10501-2, 2004; DIN EN 441-2, 1995). Es gilt zu bedenken, dass sehr geringe Farbunterschiede noch erkannt werden, wenn Probe und Vergleichsstandard direkt nebeneinander gehalten werden. Je weiter sich die beiden Gegenstände voneinander entfernen, desto größer müssen die Farbunterschiede sein, um noch wahrgenommen zu werden (GALL, 2009).

Weiter sind die Lichtverhältnisse des Umgebungslichts zu berücksichtigen. Dem Betrachter muss die Möglichkeit zur chromatischen Adaptation gegeben werden, weswegen die Prüfpersonen in dem hier beschriebenen Versuchsablauf vor der Abmusterung unter einer „neuen“ Lichtart jeweils einige Minuten Zeit bekamen, sich auf die neue Lichtart umzustimmen. Die Untersuchungen wurden somit sukzessive durchgeführt, da simultane Vergleichsmethoden unter verschiedenen Lichtarten wegen der fehlenden Möglichkeit zur Farbumstimmung grundsätzlich nicht angewandt werden sollen (EBERBACH, 2001; KING, 2005). Daraus folgt für den Verbraucher, dass er um die Fähigkeit zur chromatischen Adaptation wissen und sich selbst die Zeit für die Farbumstimmung zugestehen muss.

In einer weiteren Hinsicht gestaltete sich die subjektive Bewertung der Produktfarbe schwierig. Der vom Menschen wahrgenommene Farbeindruck wird, abgesehen von dem spektralen Reflexionsgrad, auch durch weitere Eigenschaften der Warenoberfläche beeinflusst. Dazu gehören vor allem die Struktur und der durch die Beleuchtung hervorgerufene Glanz (SCHMIDT, 2004). Die Probe erschien durch die technologisch bedingten Unebenheiten der Oberflächenstruktur und je nach auffallendem Licht unter verschiedenen Blickwinkeln unterschiedlich. Um diesen Eindruck nicht noch durch eine geriffelte Schnittfläche zu verstärken, wurde beim Anschnitt auf die Auswahl eines glatt schneidenden Messers geachtet. Diese Vorgehensweise konnte aber die produktimmanenten, technologisch bedingten Strukturunterschiede nicht beseitigen.

Die sensorisch geschulten Prüfpersonen wurden unabhängig von dem eigentlichen Versuch befragt, wie sie die Lichtfarben der beiden Rotlichtlampen empfinden. Übereinstimmend wurde die linke Rotlichtlampe (mit einfachem Farbfilter) als „grell“, „tut weh in den Augen“, „irritierend“ oder „kalt“ empfunden. Die rechte Rotlichtlampe (mit doppeltem Farbfilter) dagegen wurde als „angenehm“, „weich“, „warm“, „wenig irritierend“ oder „leicht rosa“ beschrieben. Kurz gesagt wurde das Licht der linken Rotlichtlampe mit dem einfachen Farbfilter sofort als „störend“ eingestuft. Das Licht der rechten Rotlichtlampe dagegen nicht. Dadurch wurden die Produkte im Vergleich Tageslicht zu linkem Rotlicht häufiger mit einer signifikanten Farbänderung beurteilt. Bei reiner Betrachtung dieser Wahrnehmungen erscheint es eher unwahrscheinlich, mit einem einfachen Farbfilter den Verbraucher täuschen zu können. Durch die „plumpe“ und viel zu augenscheinliche Beleuchtung muss er mehr oder weniger erkennen, dass hier versucht wird, eine andere Farbgebung vorzutäuschen. Mit doppeltem Farbfilter dagegen wird die Ware so hintergründig „geschönt“, dass es selbst den mit der Aufgabenstellung betrauten Sensorikerinnen schwer fiel, eine Farbänderung zu bemerken. Der Einbau zweier Farbfilter übereinander, wie in der Versuchsanordnung des „rechten Rotlicht“ praktiziert, entsprang einem rein wissenschaftlichen Interesse.

Die Hersteller empfehlen derartiges nicht, weil sich die aufgedampften Schichten der Farbfilter gegenseitig negativ beeinflussen können. Wie weit jedoch diese Herstellerangaben in der Praxis eingehalten werden müsste in einer separaten Untersuchung geklärt werden.

Eine weitere Aufgabe für die Sensorikerinnen war die Angabe über die Farbänderung der Produkte unter den beiden Rotlichtlampen im Vergleich zum Tageslicht. Dafür wurden die in Tab. 33 vorgegebenen Begriffe benutzt. Die Begriffe wurden so gewählt, dass nach Auswertung ein Vergleich mit den Farbkomponenten des RAL-Farbfächers durchgeführt werden konnte. Beispielsweise wurden verschiedene Abstufungen des Begriffs „hell“ vorgegeben, um diese dann mit den L-Werten der RAL-Farbnummern vergleichen zu können. Abstufungen der Angabe „rot“ machten einen Vergleich mit den Buntton-(H)-Werten des RAL-Fächers möglich.

Dabei ergab sich, dass die mit Hilfe des RAL-Farbfächers als dunkler eingestuften Würste in der persönlichen Wortwahl eher als gleich oder sogar als heller beschrieben wurden. Dagegen wurde jeder mit RAL-Farbfächer als heller eingestufte Farbton auch in der persönlichen Einschätzung als heller bezeichnet (siehe Kapitel 4.5, Tab. 15 und 16, S. 121 u. 122). Diese Wahrnehmungen der Prüfpersonen bezüglich der Erscheinungsformen der beiden Rotlichtlampen spiegeln sich auch in den Ergebnissen der vergleichenden Betrachtungen wider. Viele Produkte wurden unter dem rechten Rotlicht als „gleich“ dem Tageslicht beurteilt, die Gelbwurst sogar ausschließlich. Der Leberkäse als einziger durchgängig als „heller“. Insgesamt wurden die Würste unter dem linken Rotlicht deutlich häufiger als „heller“ eingestuft als unter dem rechten Rotlicht (Abb. 18, S. 121). Diese Beobachtung untermauert ebenfalls die Hypothese, dass die Beleuchtung mit doppeltem Farbfilter einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Farbkomponenten hat, die Farbänderung aber nicht zwingend erkannt wird. Fällt es selbst einer geschulten Prüfperson, die zudem noch mit dem Versuchsaufbau und der Aufgabenstellung betraut ist, schwer, diesen Umstand zu erkennen, wird der unbedarfte Laie die Tatsache noch schlechter bewerten können. Der einfache Farbfilter hingegen scheint eine Verbrauchertäuschung durch seine „plumpe“ Beleuchtung eher unwahrscheinlich zu machen. Zusätzlich ist das Ergebnis für die Augen des Verbrauchers nicht eindeutig zu werten, da die menschliche Farbwahrnehmung bereits durch die Anordnung der Waren (siehe Kapitel 2.1.2) beeinflusst wird. In dem Versuchsaufbau dieser Arbeit wurden die Untersuchungsobjekte in einer reizarmen Laborumgebung auf neutral-weißem Hintergrund separat präsentiert. Eine derartige Warenauslage wird der Verbraucher bei „seinem“ Metzger aber nicht vorfinden, da sie den grundsätzlichen Erfordernissen einer optimalen Warenpräsentation (siehe Kapitel 2.1.1) widerspricht.

5.1.3 Vergleich objektiver und subjektiver Datensatz

Um die Ergebnisse der objektiven Farbmessungen mit denen der sensorischen Untersuchungen vergleichend diskutieren zu können, war, wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, die Verwendung einer einheitlichen Notation erforderlich.

Die Farbwerte der Minolta Chroma-Meter CR-400 Farbmesskamera werden im $L^*a^*b^*$ -System ausgegeben. Die Farbnummern des RAL-Farbfächers, der für die sensorischen Untersuchungen verwendet wurde, sind auf dem LCH-System aufgebaut. Nachdem das LCH-System leichter verständlich erschien, wurden die $L^*a^*b^*$ -Farbwerte der objektiven Messungen in die LCH-Werte umgerechnet (Rechenweg siehe Kapitel 3.2.4). Die nun unmittelbar vergleichbaren Daten wurden statistisch auf bestehen einer Korrelation geprüft (siehe Kapitel 4.6.2 und 4.6.3). Eine Korrelation beider Datensätze konnte aber nicht nachgewiesen werden. Hätte der Nachweis erbracht werden können, hätte das bedeutet, dass sensorisch unter Rotlicht statistisch signifikant „röter“ erscheinende Würste mit statistisch signifikant erniedrigten gemessenen Bunttonwerten korrelieren (im Falle des Bunttons bedeutet eine negative Änderung eine Änderung hin zu einem „röter“ (siehe Kapitel 4.1.2 und 4.3.2)). Konsequenz daraus wäre die Schlussfolgerung, dass eine Farbmesskamera die gleichen Farben objektiv misst, welche die Sensorikerinnen subjektiv wahrgenommen haben. Das hätte bedeutet, dass der Einsatz einer Farbmesskamera in der Lebensmittelüberwachung zum Nachweis schönender Beleuchtung befürwortet hätte werden können. Das Ergebnis spricht aber dagegen.

Allein die Tatsache des statistischen Nicht-Korrelierens der beiden Datensätze darf aber nicht überbewertet werden. Die Ergebnisse des Vergleichs der objektiven und subjektiven Daten muss kritisch betrachtet werden. Zunächst liegen, wie oben erwähnt, zwei unterschiedliche Datensätze vor. Die Messungen der Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera beziehen sich auf die Farbwerte $L^*a^*b^*$, wobei die Kamera ein bis auf zwei Nachkommastellen exaktes Ergebnis für jeden einzelnen Farbwert berechnet (KONICA-MINOLTA, 2002). Die subjektiven Angaben über die wahrgenommene Farbe beziehen sich auf den RAL-Farbfächer, der eine vorgegebene 5-Grad-Skalierung der Farbabstufungen auf der Grundlage des LCH-Systems vorgibt (siehe Kapitel 2.2.3.3) (RAL, 2009). Beide Systeme lassen sich zwar ineinander umrechnen, aber durch die vorgegebene 5-Grad-Skalierung des RAL-Farbfächers fehlen hier exakte Zwischentöne. Ein direkter Vergleich ist daher schwierig.

Dazu kommt, wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, dass Verteilung, Empfindlichkeit und Zusammenspiel der drei Farbrezeptoren (Zapfen) im Auge von Mensch zu Mensch verschieden sind. Auch die Verarbeitung im Gehirn erfolgt individuell.

Zudem variiert die wahrgenommene Farbe je nach Tagesform des Prüfmittels Mensch (LIEBICH, 1999; FRICKER, 1984; PRÄNDL et al., 1988a; N. N., 2009f; HARPF, 2000). Die sich daraus ergebenden Schwankungsbreiten sind „menschlich“ und mit den unbeeinflussbaren physikalischen Konstanten der Farbmesskamera nur in ihren Grundzügen zu vergleichen.

Weiter darf nach GRÜNEWALD und HONIKEL der Oberflächenglanz eines Produktes nicht in eine Farbmessung mit einbezogen werden. Bei der hier verwendeten Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera handelt es sich um ein Gerät mit sogenannter Glanzfalle, das dieser Forderung nachkommt (GRÜNEWALD, 1979; HONIKEL, 2000; KONICA-MINOLTA, 2002). Unser visuelles System ist ebenfalls meistens in der Lage, auf die Reflektanz der Objekte Rückschlüsse zu ziehen. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass bei der subjektiven Einstufung der Erzeugnisfarbe der Oberflächenglanz nicht doch zumindest anteilig in die Wertung mit einbezogen wird (EYSEL, 1996; KLINKE und SILBERNAGL, 1996).

Als weiteres Problem der Vergleichbarkeit dieser beiden Datensätze sind die technischen Gegebenheiten zu sehen. Die Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera führt ihre Messungen mit der sogenannten $d/0^\circ$ -Geometrie (siehe Kapitel 2.4.2.2) durch. Das heißt, die Probe wird diffus beleuchtet und die Messungen finden unter einem 0° -Winkel (senkrecht) statt.

Den Sensorikerinnen wurde diese Arbeitsweise der Kamera erklärt, um eine nachträgliche Vergleichbarkeit der objektiven und subjektiven Ergebnisse zu ermöglichen. Die Prüferinnen wurden angehalten, die Farbbewertung möglichst auch unter einem 0° - Betrachtungswinkel durchzuführen. Die technische Exaktheit der Kamera konnte aber wahrscheinlich dadurch nicht gewährleistet werden.

Ebenso konnte die aus allen Richtungen gleichmäßige (= diffuse, d) Beleuchtung der Probe (KONICA-MINOLTA, 2002), die die Kamera technisch ermöglichte, für die sensorischen Untersuchungen in der Versuchsanordnung nicht nachvollzogen werden. Hier befand sich die jeweilige Lichtquelle über den Untersuchungsobjekten, so dass diese hauptsächlich von auffallendem Licht beleuchtet wurden.

5.2 Beurteilung des Farbabstandes ΔE (objektiv und subjektiv)

In Kapitel 4 sind die Ergebnisse der Arbeit sowie deren statistische Überprüfung dargestellt worden. In Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 werden die Ergebnisse der statistischen Überprüfung zusammengefasst und deren fachliche Haltbarkeit diskutiert. Wichtigstes fachliches Beurteilungskriterium der Ergebnisse ist dabei der Farbabstand ΔE . Denn ein Farbabstand, der als statistisch signifikant vorliegend errechnet wurde, ist nicht in jedem Fall auch für den Menschen als solcher erkennbar.

In der Literatur finden sich für die Wahrnehmbarkeit des Farbabstandes ΔE die in den Tabellen 3/I bis 3/III (S. 22 u. 23) übersichtlich dargestellten Angaben. Ein $\Delta E = 1$ wird für einen gerade noch (für den Fachmann) wahrnehmbaren Farbunterschied angegeben. Für den Laien geben GALL und NEUBAUER die Grenzen der Wahrnehmbarkeit in dem Bereich zwischen 2 und 3 an, GIERLING legt den Wert bei $\geq 2,5$ fest (GALL, 2009; NEUBAUER, 2009; GIERLING, 2006). Unstrittig ist sicher, dass der Verbraucher mit einem Laien gleichgesetzt werden muss und nicht mit einem Fachmann.

Im vorliegenden Fall wurde für den objektiven Datensatz in durchschnittlich 79,5 % der Fälle ein ΔE kleiner als 2,5 berechnet (siehe Kapitel 4.6.1). Nach GIERLING bedeutet das in der überwiegenden Zahl der Fälle eine Nicht-Wahrnehmbarkeit eines Farbunterschiedes für den Laien. Für den subjektiven Datensatz dagegen ergab sich in 90 % der Fälle der unter dem rechten Rotlicht betrachteten Proben ein $\Delta E > 2,5$, unter dem linken sogar in 95 % der Fälle (siehe Kapitel 4.6.1) (GIERLING, 2006).

Die sensorischen Untersuchungen erbrachten damit rein statistisch gesehen den Nachweis, dass eine Verbrauchertäuschung durch Beleuchtung mit Farbfiler stattfinden kann. Gleichzeitig konnte dieses Ergebnis aber mit der Farbmesskamera nicht bestätigt werden. Hier waren die gemessenen Farbunterschiede so gering, dass sie unterhalb der sicheren Wahrnehmbarkeitsgrenze blieben. Die Kamera kann eine Verbrauchertäuschung nicht nachweisen. Die möglichen Gründe hierfür wurden in den Kapiteln 4.1. bis 4.6 erörtert.

Insgesamt handelt es sich hier dennoch nur um theoretische Werte, denn die Wahrnehmbarkeit eines Farbunterschiedes hängt von vielerlei Bedingungen ab. Dazu gehört u. a. die Anordnung der Waren sowie deren Größe (siehe Kapitel 2.1.2). Je nach Schichtdicke der ausgelegten Erzeugnisse (z. B. Stapel- oder Fächeranschnitt) erscheint die Produktfarbe unterschiedlich. Ebenso lassen bestehende Kontraste Farben von Fleischwaren anders wirken – ein umgerötetes Fleischerzeugnis neben einem Gelbwurstanschnitt wirkt farbintensiver als dasselbe Erzeugnis neben einem ebenfalls roten Produkt.

Auch die Gesamtbeleuchtung des Raumes (siehe Kapitel 2.2.4) und die Möglichkeit der chromatischen Adaptation des menschlichen Auges (siehe Kapitel 2.2.2.2) müssen berücksichtigt werden. Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, ist die subjektiv wahrgenommene Farbe von Mensch zu Mensch verschieden (HARPF, 2000). Jedes Individuum besitzt unterschiedlich ausgeprägte Empfindlichkeiten der Rezeptoren für Blau, Rot und Grün. Je nach Ausprägung kann einem Menschen ein Farbunterschied gerade noch auffallen, während derselbe Farbunterschied einem anderen Menschen sozusagen ins Auge sticht. Die subjektive Einzelbewertung einer Farbe kann deshalb nicht als Richtwert genommen werden. Nach GALL könnte ein Durchschnittswert von beispielsweise 10 Beobachtungen gebildet werden (GALL, 2009).

Selbst die in der DIN 6164 genormte CIE $L^*a^*b^*$ - ΔE -Formel kann nicht unkritisch betrachtet werden. Beispielsweise wird ein $\Delta E = 0,5$ bei grauen Proben deutlich wahrgenommen, bei satten roten Farben dagegen kaum. Die angegebene Formel bewertet offensichtlich manche Bereiche des Farbraumes zu stark und andere zu schwach (GALL, 2009). Darüberhinaus sind bei sensorisch (subjektiv) gewonnenen Daten, wie oben beschrieben, sehr viele Einflussfaktoren auf die Farbbewertung mit zu berücksichtigen, so dass die in den Tabellen 3/I bis 3/III angegebenen Wahrnehmbarkeitsgrenzen von Farbabständen nur als Richtwerte dienen können.

5.3 Die rechtliche Seite

Die Vermutung, dass eine Irreführung des Verbrauchers durch eine „schönende“ Beleuchtung von Fleischtheken möglich sein kann, wurde bereits vor über drei Jahrzehnten geäußert. 1996 führte diese Überlegung zur Entstehung der DIN 10504 (siehe Kapitel 2.2.6.1). Diese Norm war als empfehlende Richtlinie speziell für den Bereich der Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen konzipiert worden. In Fachkreisen führten viele Inhalte der Norm jedoch zu Diskussionen, die nicht endgültig widerlegt werden konnten. Daher erfolgte 2006 der ersatzlose Rückzug der Norm. Um die Berechtigung des Rückzugs der Norm zu unterstreichen, sollen in diesem Kapitel kurz die strittigen Punkte der DIN 10504 diskutiert werden. Die Norm enthielt einen Grenzwert für Lampen, die im Fleischverkauf eingesetzt werden (R_{FF}). Dieser Grenzwert bezieht sich ausschließlich auf die Reflexionseigenschaften der Brühwürste (DIN 10504, 1996). Diese Sortimentsgruppe repräsentiert allerdings die Palette der Wurstprodukte nur unzureichend (siehe Kapitel 2.5.2.1).

Ein Rückschluss auf die Reflexionseigenschaften anderer Erzeugnisse ist nicht abschließend möglich. Darüberhinaus hängt die Farbe der Brühwurstherzeugnisse neben der Fleischauswahl (siehe Kapitel 2.5.1) weitgehend von der angewandten Technologie ab (siehe Kapitel 2.5.3 ff). Daraus ergibt sich, dass selbst ein und dasselbe Produkt von ein und demselben Metzger, das in zwei verschiedenen Wochen hergestellt wurde, zwei verschiedene Farbgebungen aufweisen kann. Dieser Umstand führt aber nicht zwangsläufig zu einer mangelhaften Qualität oder zu einer Verbrauchertäuschung. Auch ist das Abmusterungsverfahren, das letztlich zur Festlegung des Grenzwertes R_{FF} führte, nicht ausreichend beschrieben. Angaben zu den angewandten Methoden, Versuchsbedingungen, Fragestellungen und Auswertungsverfahren fehlen weitgehend (EBERBACH, 2001). Weiter beinhaltet die DIN 10504 keine Regelungen über das Zusammenwirken unterschiedlicher Beleuchtungen. Auf die Möglichkeit, dass ein Verkaufsraum überwiegend mit künstlichem Licht (oder Tageslicht) ohne erhöhten Rotanteil beleuchtet, und nur die Fleischtheke mit einer Lampe mit rotem Farbfilter ausgeleuchtet wird, wird in der Norm nicht eingegangen (siehe Kapitel 2.2.6.1) (DIN 10504, 1996). Diese Art der Verkaufsraumbeleuchtung ist aber durchaus häufig anzutreffen. Die Farbumstimmung der betrachtenden Person wird bei diesen Verhältnissen erschwert, weil die Wahrnehmung der im Gesichtsfeld vorherrschenden Farbart gedämpft wird (SCHMIDT, 2004).

Auf der Suche nach weiteren Normen, die sich mit der Beleuchtung von Lebensmitteln befassen, wurde die noch gültige DIN 5035-2 gefunden. Sie enthält spezielle Vorgaben für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen und Arbeitszonen in Metzgereien mit künstlichem Licht. Die Praxisnähe der DIN 5035-2 ist aber in Frage zu stellen, da sie für die Farbkontrolle in der Nahrungsmittelindustrie eine Beleuchtungsstärke von 1000 lx fordert - eine Beleuchtungsstärke von 500 lx erscheint jedoch im Fleischwarenhandel wesentlich praxisnäher zu sein. Zudem ergeben sich aus dieser Norm keine detaillierten Vorgaben speziell für den Bereich der Beleuchtung der Fleischtheken. Die DIN 5035-2 kann daher nur dem Grunde nach empfohlen werden, da die Verkaufsbeleuchtung bei Frische-Lebensmitteln überwiegend eine streng lokale Zusatzbeleuchtung der allgemeinen Verkaufsraumbeleuchtung darstellt (DIN 5035-2, 1990; SCHMIDT, 2004).

Allgemeine Anforderungen an die Verkaufsraumbeleuchtung ergeben sich auch aus der DIN EN 12464-1, aber auch deren Inhalte regeln nicht die farbbetonende Beleuchtung der Auslagentheke (DIN EN 12464-1, 2003).

Bei der Durchsicht der EU-weiten Regelwerke (Hygienepaket) konnten auch keine detaillierteren Vorschriften über die Grenzen von „Warenschönung“ und „Verbrauchertäuschung“ gefunden werden.

Die Beleuchtung wird nur allgemein in Anhang II, Kapitel I, Nr. 7 der VO (EG) 852/2004 erwähnt – demnach muss in Betriebsstätten, in denen mit Lebensmitteln umgegangen wird, eine angemessene natürliche und / oder künstliche Beleuchtung vorhanden sein (VO (EG) 852/2004). „Angemessen“ ist dabei nicht weiter definiert. Zwischen allgemeiner Ladenbeleuchtung und speziellem Thekenlicht wird nicht unterschieden

Letztlich gibt der Straftatbestand des § 11 LFGB einen gewissen Rahmen vor. Er verbietet, Lebensmittel, die geeignet sind, den Anschein einer besseren als der tatsächlichen Beschaffenheit zu erwecken, ohne ausreichende Kenntlichmachung gewerbsmäßig in den Verkehr zu bringen. Ab wann der „Anschein einer besseren Beschaffenheit“ exakt vorliegt, ist dem aber nicht zu entnehmen.

Nach der deutschen Rechtsprechung ist Irreführung gleichbedeutend mit „zur Täuschung geeignet“. Dabei genügt die bloße Eignung zur Täuschung; eine tatsächliche Täuschung oder gar eine Schädigung des Verbrauchers ist nicht vorausgesetzt. Wird der Eindruck erweckt, dass anscheinend eine bessere als die tatsächliche Beschaffenheit vorliegt, wird das auch mit „Verfälschen“ oder „Schönen“ bezeichnet. Um die Anforderungen des § 11 LFGB erfüllen zu können, darf der Einsatz von Farbfiltern im Lebensmittelbereich demzufolge keinen „schönenden“ Effekt haben (LFGB, 2008; PCM, 2009; SCHMIDT, 2004; SIMON, 1977; ZIPFEL, RATHKE, 2008). Wo aber die Grenze zwischen der noch zu tolerierenden verkaufsfördernden Beleuchtung und einer „schönenden“ Täuschungshandlung zu ziehen ist, ist nirgends definiert. Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der Prüfung der Möglichkeit, diese Definitionslücke zu schließen. Eine eindeutige, wissenschaftlich begründbare und objektiv haltbare Grenze konnte nicht gefunden werden.

Da es zu bedenken gilt, dass ein Verstoß gegen § 11 LFGB einen Straftatbestand darstellt und nicht „nur“ eine Ordnungswidrigkeit, muss die Tatbestandserfüllung sorgfältig geprüft werden. Die momentane Rechtslage erlaubt aufgrund fehlender Grenzwerte keine behördliche Sanktionierung einer möglicherweise irreführenden Beleuchtung über den § 11 LFGB. Denn bei der Verfolgung von Straftaten ist stets der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren. Dies ist ein verfassungsrechtliches Gebot (Art. 1 Abs. 3, Art. 20 Abs. 3 GG) und für die gesamte Staatsgewalt unmittelbar verbindlich. Lebensmittelüberwachungsbeamte besitzen den Status von Ermittlungspersonen der Staatsanwaltschaft, woraus sich ein Eingriffsrecht in Grundrechte der Bürger ergibt. Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit bezieht sich auf Maßnahmen, die in Grundrechte eingreifen und verlangt von derartigen Maßnahmen, dass sie geeignet, erforderlich und angemessen sein müssen. Eine Maßnahme, die diesen Anforderungen nicht entspricht, ist rechtswidrig (GG, 2009).

5.4 Ausblick

Nach der Verbraucher-Definition des Europäischen Gerichtshofes ist ein Verbraucher „ein normal informierter, angemessen aufmerksamer und verständiger Durchschnittsverbraucher“ (EuGH GRUR, 2005). Berücksichtigt man diese Definition, stellt sich die Frage, welche Erwartungen an einen „normal informierten und angemessen aufmerksamen Durchschnittsverbraucher“ zu stellen sind. Muss er als „normal informierter“ davon ausgehen, dass sich hinter einer frisch erscheinenden Warenauslage möglicherweise eine nicht mehr ganz so frische Ware verbergen könnte? Oder hat er vielmehr das Recht, wenn er „angemessen aufmerksam“ ist, einen Hinweis auf die Beleuchtung zu erhalten? Ein Lösungsansatz wäre, die Möglichkeit der Zulassung der Beleuchtung als Zusatzstoff zu prüfen. So könnte ein adäquater Verbraucherschutz gewährleistet und gleichzeitig die Interessen der Verkäufer angemessen berücksichtigt werden. Nach europäischem Recht müssen Stoffe, die als Zusatzstoffe zugelassen werden sollen, drei Bedingungen erfüllen:

Erstens muss ein Zusatzstoff technologisch notwendig sein, um beispielsweise eine gleichbleibende Qualität zu erzielen (N. N., 2000). Dass die Reduzierung der Beleuchtungswärme zu einer verlangsamten Alterung des Produktes und dadurch zu einer länger anhaltenden gleichbleibenden Qualität führt, ist vielfach beschrieben. Die Firma Bäro wirbt auf ihrer Homepage mit „Patentfiltern, die die Eigenfarbe optimieren und vor vorzeitiger Vergrauung schützen für den Bereich der Fleisch- und Wurstwaren. Die Lichttechnik wurde speziell für frische Lebensmittel konzipiert. Patentierte Filtertechnik und minimale Wärmeentwicklung sorgen für größtmöglichen Warenschutz, die den Schutz vor vorzeitiger Vergrauung, Verblässung und vorzeitiger Austrocknung umfasst“ (BÄRO, 2009c). Ob sich daraus die für einen Zusatzstoff geforderte technologische Notwendigkeit ergibt, müsste geprüft werden. Zweitens darf der Verbraucher durch die Verwendung eines Zusatzstoffes nicht über eine fehlerhafte oder schlechte Qualität getäuscht werden (N. N., 2000). Diese Anforderung harmoniert mit dem in § 11 LFGB geforderten Irreführungsverbot und bietet eine zusätzliche Rechtsgrundlage für den Verbraucherschutz. Dritte und letzte Voraussetzung für die Zulassung als Zusatzstoff ist die gesundheitliche Unbedenklichkeit (N. N., 2000). Diese ist durch eine farbbetonende Beleuchtung unstrittig gegeben.

Daraus würde sich eine Deklarationspflicht als Zusatzstoff für die Beleuchtung ergeben. Nach § 9 ZZulV wäre das bei einer losen Abgabe auf einem Schild neben der Ware möglich. Ein „angemessen aufmerksamer Durchschnittsverbraucher“ hätte dann jederzeit die Möglichkeit, sich über die verwendete Beleuchtung „normal zu informieren“ und die Ware, die er erwerben möchte, unter diesem Aspekt genauer zu betrachten.

6 Schlussfolgerungen

Da sich aus dieser Arbeit unterschiedliche Schlussfolgerungen für den Verbraucher, die Lebensmittelüberwachung und die Technik ergeben, wird dieses Kapitel nach diesen Schwerpunkten gesplittet. Abschließend wird die Aktualität der Problematik aufgezeigt und Gedankengänge formuliert, die bei weiteren Forschungsvorhaben zielführend sein können.

6.1 Für den Verbraucher

- 90 % der Bevölkerung verzehren regelmäßig Fleisch, wobei die Frische als wichtigstes Auswahlkriterium angegeben wird. Die Frische wird vom Verbraucher gleichgesetzt mit einer guten Qualität und wird vor allem über die Farbe beurteilt.
- Da bereits über die Anordnung der Waren unterschiedliche Farbeffekte hervorgerufen werden können, muss der Verbraucher die Produktpräsentation auch unter diesem Aspekt kritisch betrachten.
- Um eine neue Lichtart auch als solche erkennen zu können, ist die chromatische Adaptation des Auges erforderlich. Dieser Ablauf erfordert einige Minuten Zeit. Der Verbraucher muss um die Fähigkeit zur chromatischen Adaptation wissen und sich selbst die Zeit für die Farbumstimmung zugestehen.
- Bei dem Kauf von Fleischerzeugnissen sollte sich der Verbraucher die gewünschte Ware vor dem Erwerb durch den Verkäufer im Tageslicht präsentieren lassen. Wirkt das Produkt im Tageslicht weniger farbintensiv als im Thekenlicht, wird eine farbbetonende Beleuchtung verwendet. Eine neuerliche Beurteilung des Frischegrades ist angezeigt.
- Alternativ ist die sogenannte „Handprobe“ ein Weg, die Farbe der Beleuchtung zu erkennen – greift der Verkäufer in die beleuchtete Theke und beobachtet der Käufer dabei die Farbe des Handrückens, kann eine farbverändernde Beleuchtung erkannt werden.

6.2 Für die Lebensmittelüberwachung

- Im Rahmen der Qualitätskontrolle ist das angewendete Farbmessverfahren aufgrund der Vielzahl an Fleischerzeugnissen mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur nur eingeschränkt anwendbar. Die erarbeiteten Grundwerte können nur bei Stichprobenkontrollen für Brühwürste als Richtwerte dienen.
- Der Beleuchtungseffekt kann unterschiedliche (negative) Zustände kaschieren. Unterschiedliche Farbausprägungen bedeuten aber nicht zwangsläufig eine mangelhafte Qualität.
- Die Ergebnisse der objektiven Farbmessungen korrelieren nicht mit den Ergebnissen der subjektiven Farbbeurteilung. Daraus folgt, dass eine vom Verbraucher als „schönend“ empfundene Beleuchtung nicht mit der hier verwendeten Minolta Chroma-Meter CR-400 Farbmesskamera nachgewiesen oder widerlegt werden kann.
- Durch sensorische Untersuchungen kann eine „schönende“ Beleuchtung in den meisten Fällen erkannt werden. Derartige Ergebnisse bleiben jedoch immer subjektiv. Eine allgemeingültige Entscheidungshilfe für Überwachungsbehörden, ob der Straftatbestand der Irreführung durch die Beleuchtung vorliegt, kann daraus nicht abgeleitet werden.
- Liegt der Verdacht eines genussuntauglichen Produkts vor, muss der Nachweis über eine mikrobiologische Untersuchung erfolgen. Allein farbphysikalische Messungen oder / und sensorische Untersuchungen können nicht bestätigen oder ablehnen, ob das Produkt genusstauglich ist oder nicht.
- Momentan existieren über die allgemeine Strafvorschrift des § 11 LFGB hinaus für den Bereich der Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen keine detaillierten Empfehlungen, Richtlinien, Gesetze und / oder Gerichtsurteile, deren Inhalte von Überwachungsbehörden im Sinne des Verbraucherschutzes geprüft werden könnten.
- Bei § 11 LFGB handelt es sich um einen Straftatbestand, nicht „nur“ um eine Ordnungswidrigkeit. Daher ist die behördliche Sanktionierung sorgfältig zu prüfen und nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu verfolgen.

6.3 Für die Technik

- Physikalisch gesehen ist es sehr einfach möglich, bei Fleischwaren die rote Farbe zu betonen. Die Wahl einer Beleuchtung, die im sichtbaren Bereich oberhalb von 600 nm einen genügend hohen Strahlungsanteil aufweist, genügt. Dadurch erscheinen Fleischerzeugnisse bereits unter dem Licht einer Glühbirne röter und appetitlicher als unter Tageslicht. Ein in die Beleuchtungseinheit integrierter Farbfilter kann die rote Farbe des Wurstproduktes noch besser zur Geltung bringen.
- Durch die Einführung der neuen EU-Vorschrift VO (EG) 244/2009 wird die Glühbirne, die aufgrund ihrer Farbwiedergabeeigenschaften schon per se die Farbe Rot betont, ab sofort stufenweise vom Markt genommen (VO (EG) 244/2009). Verbraucher müssen auf Energiesparlampen zurückgreifen, deren Licht Rottöne allerdings ins Bräunliche verfärbt. Für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischwaren ist es daher unerwünscht, weswegen sich aus dieser EU-Vorschrift für die Herstellerfirmen spezieller Lebensmittelbeleuchtung neuen Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Farbwiedergabeeigenschaften von Energiesparlampen bedeutet.
- Die Farbbeurteilung und Farbmessung von Fleischerzeugnissen gestaltet sich grundsätzlich schwierig. Die Herkunft des Ausgangsmaterials Fleisch (Haltung, Fütterung, Alter, Geschlecht und Fleischfehler) bestimmt maßgeblich die Farbgebung der fertigen Brühwurst. Dies gilt auch für die verwendete Verarbeitungstechnologie.
- Über die Wahl der Verpackung kann maßgeblich Einfluss auf das Einwirken von Sauerstoff, die Wechselwirkungen mit Licht und die Wasseraktivität des Produktes genommen werden. Auch ein sorgfältiges Kühlungsmanagement bei der Lagerung ist unumgänglich, um Qualitätsparameter wie Frische, Aroma und Farbgebung positiv zu beeinflussen. Mit unverpackter Ware muss daher umso verantwortungsbewusster umgegangen werden.

6.4 Für die Zukunft

- Die Aktualität der Problematik wird durch den Eingang eines Beschwerdeschreibens über irreführende Beleuchtung im Lebensmittelhandel vom August 2009 bei der für Bayern zuständigen Lebensmittelüberwachungsbehörde unterstrichen. Daher sollte die Thematik erneut aufgegriffen und eine Empfehlung im Sinne einer DIN-Norm erarbeitet werden. Die Grenze Warenschönung / Irreführung muss klar definiert sein.
- Um bei der Farbmessung von Fleisch und Fleischerzeugnissen unter Beleuchtung mit Farbfiltern die Effekte der beleuchtenden Lichtart auf die Waren einbeziehen zu können, sollte die Messung berührungslos durchgeführt werden. Dies kann mit einer neuen Gerätegeneration (Firma X-Rite) der Video-Farbanalyse möglich sein.
- Von großem Interesse könnten Ergebnisse sensorischer Untersuchungen unter Zuhilfenahme eines feiner skalierten Farbfächers sein. Ein derartiger Farbfächer könnte ausschließlich Rottöne enthalten, die in 0,5 Grad-Schritten abgestuft wurden.
- Sensorische Untersuchungen in Form von Farbbewertungen müssen unter den Bedingungen durchgeführt werden, die der Verbraucher vorfindet – der Begutachter vor der Theke mit Glasaufbau, die Ware dahinter. Anders zustande gekommene Ergebnisse sind kaum verwertbar, da sehr geringe Farbunterschiede noch erkannt werden, wenn Probe und Vergleichsstandard direkt nebeneinander gehalten werden. Je weiter sich die beiden Gegenstände voneinander entfernen, desto größer müssen die Farbunterschiede sein, um noch wahrgenommen zu werden.
- Die Wirkung der Beleuchtung mit einfachem Rot-Farbfilter wurde sofort als „störend“ empfunden. Die Beleuchtung mit doppeltem Farbfilter wirkte weniger „aufdringlich“. Der einfache Rotfilter wurde demzufolge schneller „erkannt“. Eine Untersuchung, ob in der Praxis überwiegend einfache oder doppelte Farbfilter eingesetzt werden, wäre hier von großem Interesse.
- Der Einsatz zweier übereinander gelegter Farbfilter scheint eine Verbrauchertäuschung durch die weniger „plumpe“ Beleuchtung einfacher möglich zu machen. Die Idee der Entwicklung einer DIN sollte wieder aufgegriffen werden und die Verwendung zweier Farbfilter übereinander untersagen.

7 Zusammenfassung

Grundlage für die Erstellung dieser Arbeit war die Vermutung, dass der Verbraucher in Metzgereien und / oder Supermärkten mit integrierter Fleischtheke durch eine „schönende“ Beleuchtung mit Farbfilterlampen über die tatsächliche Qualität der präsentierten Wurstwaren getäuscht werden könnte.

In der Wissenschaft werden, um die vorhandene Qualität bewerten zu können, objektiv messbare Kriterien gefordert. Die Qualität von Fleisch ist über verschiedene Parameter erfassbar (z. B. pH-Wert, a_w -Wert, Farbe), wobei die Faktoren pH- und a_w -Wert bei frischem Fleisch vielfach erforscht und beschrieben sind (siehe auch Kapitel 2.5.4.3) (HOFMANN und HONIKEL, 2007). Der wertbestimmende Parameter „Farbe“ wird in der Literatur bei Wurstprodukten nur vereinzelt als messbares Qualitätskriterium in die Betrachtungen mit einbezogen. Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Prüfung der Möglichkeit, ob der qualitätsbestimmende Faktor „Farbe“ bei Brühwurstzeugnissen objektiv messbar bzw. über die Beleuchtung beeinflussbar ist.

Nach einer Einführung in die Themen Warenpräsentation (Kapitel 2.1) und Farbe (Kapitel 2.2) werden die Grundlagen der sensorischen Farbbeurteilung (Kapitel 2.3) und der physikalischen Farbmessung (Kapitel 2.4) erläutert. Anschließend werden die technologischen Einflussfaktoren auf die Farbe dargestellt (Kapitel 2.5 und 2.6), um die Diskussionsgrundlage für die Besprechung der Ergebnisse zu schaffen.

Die Untersuchungsobjekte wurden aus der Produktionspalette der Brühwürste ausgewählt, da diese aufgrund ihrer weitgehenden Oberflächenfarbhomogenität bereits mehrfach für Farbmessungen verwendet wurden.

Um den Effekt der Beleuchtung beurteilen zu können, wurden ausgewählte Brühwurstprodukte unter Tageslicht und unter zwei verschiedenen Lampen mit integriertem Farbfilter untersucht. Bei den verwendeten Farbfiltern handelt es sich um Patentfilter, die speziell für die Betonung der roten Farbe von Fleisch und Fleischerzeugnissen hergestellt werden. Die Untersuchungszeitpunkte für jedes Produkt richteten sich nach dem jeweiligen MHD. Daraus ergab sich für jede Wurst eine dreimalige Vorlage zur Untersuchung (Eingang MHD, Mitte MHD und Ende MHD).

Die Untersuchungen fanden auf zwei verschiedenen, parallel laufenden Wegen statt. In dem ersten, physikalischen Teil der Untersuchung, wurden die Farben der Produkte mit einer Farbmesskamera der Firma Konica-Minolta, Typ Chroma-Meter CR-400 bestimmt.

Zusammenfassung

In dem zweiten, sensorischen Teil des Versuchs sollte ein Prüfergremium die subjektiven Farbeindrücke beschreiben. Einmal im direkten Vergleich mit einem RAL-Farbfächer und einmal über die Angabe einer persönlichen Einschätzung, ob die Würste unter der roten Beleuchtung „heller“ oder „röter“ erscheinen als unter Tageslicht.

Im Ergebnis konnte mit dem objektiven, farbphysikalisch gemessenen Datensatz ein signifikanter Einfluss der Rotlichtlampen auf die Farbkomponenten Helligkeit und Buntton nachgewiesen werden. Die Helligkeit erhöhte sich um 0.09 bzw. 0.16 Einheiten, der Buntton verschob sich um 0.37 bzw. 0.4 Grad auf dem Farbkreis. Diese errechneten Farbabstände sind statistisch signifikant, aber größtenteils zu gering, als dass sie vom Menschen als solche wahrgenommen werden könnten. Angaben aus der Literatur zufolge können Farbabstände erst bei $\geq 2,5$ Einheiten von Laien erkannt werden (GIERLING, 2006). Dieser Wert wurde von beiden Lampen nur in 20,5 % der Fälle überschritten (siehe Abb. 20). Im Falle des objektiven Datensatzes kann demnach nicht von einer Verbrauchertäuschung gesprochen werden.

Bei der Analyse des subjektiven Datensatzes ergaben sich bei allen drei Farbkomponenten signifikante Ergebnisse – die Helligkeit verringerte sich unter roter Beleuchtung um 2.95 Einheiten, die Sättigung stieg um 5.3 Einheiten an und der Buntton veränderte sich um 1.5 bis 5.3 Grad auf dem Farbkreis. Im Gegensatz zu den objektiv gemessenen Daten lagen hier durchschnittlich 95 % der Farbabstände oberhalb der von GIERLING angegebenen Wahrnehmbarkeitsgrenze unterschiedlicher Farben von $E \geq 2,5$ (siehe Abb. 20). Dieses Ergebnis spricht demzufolge statistisch und fachlich für das Vorliegen einer Verbrauchertäuschung.

Bei allen Abmusterungen wurde das Licht der linken Rotlichtlampe mit dem einfachen Farbfilter sofort als „störend“ eingestuft. Das Licht der rechten Rotlichtlampe (mit doppeltem Farbfilter) dagegen nicht. Durch die „plumpe“ und viel zu augenscheinliche Beleuchtung bei Verwendung eines einfachen Farbfilters muss der Verbraucher mehr oder weniger erkennen, dass hier versucht wird, eine andere Farbgebung vorzutäuschen. Mit doppeltem Farbfilter dagegen wird die Ware so hintergründig „geschönt“, dass es selbst den mit der Aufgabenstellung betrauten Sensorikerinnen schwerer fiel, eine andere Farbe wahrzunehmen. Eine statistische Zusammenhangsprüfung zwischen objektiv gemessenen und sensorisch ermittelten Daten ergab keine Korrelationen. Daraus folgt, dass eine farbbetonende Beleuchtung vom Verbraucher als „schönend“ empfunden wird, ein gerichtsverwertbarer Nachweis gelingt mit der hier verwendeten Minolta Chroma-Meter CR-400 Kamera nicht.

Um die Wechselwirkungen der beleuchtenden Lichtart mit den Oberflächen der Brühwürste in die Messung mit einbeziehen zu können, muss die Messung berührungslos durchgeführt

Zusammenfassung

werden. Dies kann mit einer neuen Gerätegeneration der Firma X-Rite zur Video-Farbanalyse möglich sein. Dieses Gerät kann die Oberflächenfarbe noch aus 40 cm Entfernung messen und bezieht so das Umgebungslicht in die Messungen mit ein.

Nach aktuellem Stand existiert nur die Rahmenvorschrift des § 11 LFGB. Er verbietet allgemein, Lebensmittel, die geeignet sind, den Anschein einer besseren als der tatsächlichen Beschaffenheit zu erwecken, ohne ausreichende Kenntlichmachung gewerbsmäßig in den Verkehr zu bringen.

Um dem Verbraucherschutz ausreichend Rechnung tragen zu können, sollte daher weiter an detaillierten und definierten Empfehlungen, Richtlinien und / oder Gesetzen für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen gearbeitet werden. Wenn der Gedanke der Schaffung einer DIN-Norm wieder aufgegriffen wird, muss die Verwendung zweier Farbfilter übereinander untersagt werden.

Als möglicher Lösungsansatz ist auch die Prüfung der Zulassung der Beleuchtung als Zusatzstoff denkbar. Wird jede Fleischauslage aufgrund der sich daraus ergebenden Deklarationspflicht mit einem für den Verbraucher sichtbaren Hinweis gekennzeichnet, dass eine farbgebende Beleuchtung verwendet wird, kann sich der „angemessen aufmerksame Durchschnittsverbraucher“ jederzeit „normal informieren“, unter welchen Beleuchtungsbedingungen er im Begriff ist, Ware zu kaufen. Beispielsweise könnte sich der Käufer die gewünschte Ware vor der Kaufentscheidung außerhalb der Reichweite der Thekenbeleuchtung (im Tageslicht) zeigen lassen oder bereits die Intensität der Verfärbung der Hand des Verkäufers beim Griff in die Kühltheke beobachten. Weitere Handlungsfolge könnte sein, dass Geschäfte mit derartigen Verkaufsstrategien gemieden werden und sich die wirtschaftliche Interessenslage der Verkäufer dahingehend umkehrt, auf eine natürliche Beleuchtung zurückzugreifen.

In jedem Fall gilt es zu bedenken, dass es sich bei § 11 Abs. 2 Nr. 2c) LFGB um einen Straftatbestand handelt. Eine behördliche Sanktionierung muss sorgfältig geprüft und nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit verfolgt werden.

8 Summary

The reason for this study is the supposition that the consumer could be deceived in butcher's shops or supermarkets with integrated meat counters. Special illumination using spectral filter lamps can falsify the appearance but not the actual quality of the sausages.

In order to value the available quality, scientific objective measurable criteria are demanded. The quality of meat is detectable using different parameters (e.g. pH-factor, a_w -value and colour) where the pH-factor and a_w -value in fresh meat are often investigated (see chapter 2.5.4.3) (HOFMANN and HONIKEL, 2007). The decisive parameter "Colour" as a measurable quality in sausage products is only sometimes described in literature. Hence, the present study investigates the possibility of whether the lighting can affect the colour of boiled sausages and whether the quality criteria "colour" can be objectively measured.

After an introduction to the subjects Presentation of Foodstuff (chapter 2.1.2) and Colour (chapter 2.2), the bases of the sensory colour judgement (chapter 2.3) and the physical colour measurement (chapter 2.4) are explained. Then the technological influenced factors on the colour are shown (chapter 2.5 and 2.6) to create the basis for the discussion of the results.

The investigated objects were selected from the available range of boiled sausage products because these have been often used for colour measurements in previous studies. The preference for products from the group of boiled sausages arises from the extensive surface colour homogeneity which is suitable for the development of colour reference values.

To be able to judge the effects of the lighting, well-chosen boiled sausage products were examined under daylight and under two different lamps with integrated spectral filters. The spectral filters used in this study are patented filters that are especially produced to highlight the red colour of meat products and sausages. The investigation time for each product was set according to the Best Before Date (MHD). This caused three investigations for each sausage: start MHD, middle MHD and end MHD.

There were two parallel types of investigations, physical and sensory. In the first type, the physical part of the investigation, the colours of the products were determined using a colour measuring camera from the Konica-Minolta-Concern, type Chroma-Meter CR-400.

In the second type, the sensory part of the investigation, an examiner's committee attempted to describe their subjective colour impressions. First they made a direct comparison with a colour reference (RAL Colour Reference) and then they decided whether the sausages appeared "brighter" or "redder" under the red lighting than under daylight.

Summary

In the following evaluation of the results, the first type of record (objective) showed a significant influence of the red light lamps on the colour components of brightness and coloured tones. The brightness increased between 0.09 and 0.16, the coloured tone moved between 0.37 and 0.4 degrees on the colour circle. These calculated colour distances are statistically significant, but are mainly too low to be noticed. According to information from the literature the colour distances can be recognised by laymen only from 2.5 units upwards (GIERLING, 2006). This limit was only exceeded by both lamps in 20.5 % of the cases. Therefore, in the case of the objective record, one cannot speak of a consumer deception.

In the analysis of the second type of record (subjective), the difference between red light and daylight showed exclusively significant results – the brightness decreased under red lighting by about 2.95, the saturation rose by about 5.3 and the coloured tone changed from about 1.5 to 5.3 degrees on the colour circle. In contrast to the objectively measured data, an average 95 % of the colour values were above the perceptibility border from $\Delta E \geq 2.5$ given in the literature of different colours. Therefore, this result shows a consumer deception.

An interesting fact is that the light from the single spectral filter lamp (left red-light) was immediately classified as "annoying", but not the light from the double spectral filter lamp (right red-light) which appeared warmer. Therefore, it is unlikely that the consumer will be deceived by a single spectral filter lamp because the effect is too obvious, "ungainly" and clumsy. In the case of the double spectral filter lamp (right red-light) the effect is more refined and softer. This light was even difficult for the Sensory Assessors to perceive a different colour.

Also, a correlation between the objective and the subjective measurements could not be proved. It was clear that a colour enhancing lighting could lead to a better looking product. However, the objective and reproduceable proof with the Minolta Chroma-Meter CR-400 camera could not be found. The interaction of the red-light with the surfaces of the boiled sausages has to be measured. Colour measurements in a similar study should be carried out using a camera that does not need to touch the sausage surface. This is possible with a new generation of camera from company X-Rite that works with video-colour analysis. This device can measure the surface colour from a distance of 40 cm and thus incorporates the surroundings light in the measurements.

According to the current legal situation, only the frame regulation §11 LFGB exists. This article generally forbids the trading in food that is likely to have a better appearance than it actually is, without clearly labeled packaging.

To further consumer protection, more detailed and defined recommendations, directives and / or laws for the illumination of meat and meat products must be taken into account.

Summary

If a new DIN standard concerning the lighting of meat and meat products is created, the use of the double spectral filter lamp would have to be prohibited.

An other possible solution might be to investigate the certification and integration of Food Illumination as a law. If the illumination of food became certifiable then every meat counter would have to be marked as using that a certain type of lighting. An averagely attentive consumer must be able to see that the product he is viewing is being shown under a special light. For example, the buyer could ask to see the desired product beyond the reach of the counter lighting (in the daylight) before a purchase decision is made. Alternatively, the buyer may observe the intensity of the discoloration of the shop assistant's hand. Buyers can also avoid shops with such counter lighting forcing them to fall back on a natural lighting strategy. It must be stressed that in Article §11 LFGB it is a criminal offence and not a misdemeanor. For this reason, any official sanctioning must be carefully considered and the response must be measured in relation to the crime.

9 Anhang

Anhang A	Ergebnisse der farbphysikalischen Messungen	170
Anhang B	Ergebnisse der sensorischen Farbbeurteilung	200
Anhang C	Protokoll und Codierungen der sensorischen Untersuchung	206
Anhang D	Ergebnisse der Untersuchungen der Modellwurst.....	208
Anhang E	Leuchten und Leuchtsysteme	210
Anhang F	Ergebnisse der statistischen Auswertung	214

Anhang A

1. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,52	81,66	81,74	81,640
a*	3,34	3,21	3,20	3,250
b*	12,50	12,41	12,41	12,440

1. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,76	79,29	79,18	79,410
a*	3,86	3,99	4,04	3,963
b*	14,18	14,31	14,42	14,303

1. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,78	80,74	82,59	81,703
a*	3,25	3,64	3,01	3,300
b*	13,36	13,76	12,66	13,260

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,78	82,18	81,96	81,973
a*	3,06	3,02	3,05	3,043
b*	12,48	12,43	12,28	12,396

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	82,62	82,75	82,24	82,536
a*	3,07	2,99	3,05	3,036
b*	12,62	12,70	12,72	12,680

1. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,88	81,82	81,71	81,806
a*	3,41	3,28	3,22	3,303
b*	12,48	12,38	12,49	12,450

1. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,22	79,56	79,59	79,456
a*	4,07	4,01	4,04	4,040
b*	14,49	14,51	14,41	14,470

1. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,57	81,82	81,27	81,553
a*	3,39	3,33	3,47	3,396
b*	13,22	13,29	13,37	13,293

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,56	81,82	81,87	81,750
a*	3,12	3,19	3,18	3,163
b*	12,87	12,65	12,64	12,720

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,47	81,56	81,76	81,596
a*	3,36	3,40	3,31	3,356
b*	12,88	12,96	12,71	12,850

1. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,69	81,76	81,71	81,720
a*	3,39	3,37	3,28	3,346
b*	12,39	12,44	12,51	12,446

1. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,01	78,83	78,80	78,880
a*	4,14	4,23	4,28	4,216
b*	14,65	14,88	15,04	14,856

1. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,41	81,57	80,88	81,286
a*	3,50	3,38	3,58	3,486
b*	13,36	13,26	13,64	13,420

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,77	81,78	81,84	81,796
a*	3,16	3,21	3,16	3,176
b*	12,87	12,84	12,69	12,800

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	81,95	81,64	81,71	81,766
a*	3,17	3,31	3,36	3,280
b*	13,09	12,98	12,74	12,936

Anhang A

2. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,92	76,00	75,87	75,930
a*	4,14	4,15	4,35	4,216
b*	13,32	13,33	13,96	13,403

2. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,26	74,99	76,11	75,453
a*	4,62	4,22	4,40	4,413
b*	14,28	13,17	13,68	13,710

2. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,26	75,81	75,17	75,413
a*	4,42	4,38	4,44	4,413
b*	13,72	13,67	13,57	13,653

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,62	75,53	75,99	75,713
a*	4,39	4,27	4,15	4,270
b*	13,84	13,77	13,59	13,733

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,35	75,91	76,76	76,340
a*	4,17	4,12	4,13	4,140
b*	13,53	13,64	13,76	13,643

2. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,74	76,07	75,59	75,800
a*	4,25	4,31	4,19	4,250
b*	13,41	13,47	13,32	13,400

2. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,16	75,62	76,00	75,593
a*	5,08	4,95	4,84	4,956
b*	14,42	14,45	14,05	14,306

2. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,41	75,91	76,88	76,066
a*	4,55	4,54	4,24	4,443
b*	13,73	13,59	13,54	13,620

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,62	75,55	76,05	75,406
a*	4,82	4,62	4,48	4,640
b*	14,27	14,77	14,14	14,393

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,92	75,97	75,81	75,833
a*	4,43	4,42	4,46	4,436
b*	14,07	13,98	13,86	13,970

2. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,87	75,77	75,90	75,846
a*	4,35	4,37	4,62	4,446
b*	13,40	13,50	13,85	13,583

2. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,24	74,29	75,15	74,560
a*	5,03	5,04	5,20	5,090
b*	14,80	14,87	14,02	14,563

2. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,73	75,30	75,63	75,553
a*	4,41	4,38	4,42	4,403
b*	13,51	13,36	13,57	13,480

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,95	75,27	74,87	75,030
a*	4,85	4,73	4,71	4,763
b*	14,49	14,37	14,69	14,516

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,44	76,53	75,29	75,753
a*	4,46	4,43	4,28	4,390
b*	13,96	14,07	13,89	13,973

Anhang A

3. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,13	80,29	80,31	80,243
a*	2,98	2,93	2,87	2,926
b*	13,34	13,22	13,18	13,246

3. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,55	78,88	78,87	79,100
a*	2,22	2,34	2,34	2,300
b*	13,72	13,74	13,51	13,656

3. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,98	79,91	79,96	79,950
a*	2,91	2,46	2,82	2,730
b*	12,74	12,64	13,02	12,800

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,93	78,96	78,99	78,960
a*	2,62	2,55	2,58	2,586
b*	14,09	14,01	13,75	13,950

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,73	79,44	80,02	79,730
a*	3,00	2,65	3,03	2,893
b*	13,44	13,22	13,15	13,270

3. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,09	79,78	79,99	79,953
a*	2,96	3,08	2,97	3,003
b*	13,35	13,24	13,27	13,286

3. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,71	79,91	79,94	79,853
a*	2,35	2,25	2,24	2,280
b*	13,69	13,60	13,55	13,613

3. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,11	80,07	79,57	79,916
a*	2,84	2,71	3,12	2,890
b*	13,13	12,83	13,31	13,090

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,80	79,81	79,83	79,813
a*	2,28	2,26	2,36	2,300
b*	14,16	13,79	14,51	14,153

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,34	78,86	78,87	79,023
a*	2,99	3,14	3,04	3,056
b*	13,21	13,26	13,09	13,186

3. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,11	80,23	80,05	80,130
a*	3,01	3,04	3,05	3,033
b*	13,37	13,14	13,21	13,240

3. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,87	79,66	79,83	79,786
a*	2,35	2,32	2,28	2,316
b*	13,66	13,60	13,70	13,653

3. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,26	80,40	80,29	80,316
a*	2,57	2,57	2,54	2,560
b*	12,71	12,77	12,96	12,813

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,79	79,22	79,54	79,516
a*	2,53	2,52	2,66	2,570
b*	13,81	13,86	13,59	13,753

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,79	80,00	79,86	79,883
a*	3,05	3,11	3,03	3,063
b*	13,15	12,88	13,24	13,090

Anhang A

4. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,22	80,35	80,23	80,266
a*	2,92	2,87	2,88	2,890
b*	13,35	13,20	13,31	13,286

4. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,53	80,79	80,83	80,716
a*	2,84	2,88	2,92	2,880
b*	13,07	13,14	13,11	13,106

4. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,96	79,53	79,99	79,826
a*	2,85	2,58	2,92	2,783
b*	12,81	12,20	12,81	12,606

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,08	80,22	80,03	80,110
a*	2,79	2,91	2,76	2,820
b*	12,89	13,27	12,98	12,980

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,05	78,67	79,16	19,293
a*	2,84	3,07	3,00	2,970
b*	12,67	13,81	13,02	13,166

4. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,99	80,21	79,40	79,866
a*	3,04	3,02	2,92	2,993
b*	13,48	13,19	13,04	13,236

4. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,69	79,92	79,56	78,723
a*	3,05	3,00	3,01	3,020
b*	14,36	14,33	14,54	14,410

4. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,09	79,44	79,76	79,763
a*	2,88	3,07	2,96	2,970
b*	12,95	13,23	13,26	13,146

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,73	80,44	80,70	80,290
a*	3,10	2,92	2,75	2,923
b*	13,91	13,53	13,16	13,533

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,44	79,13	79,42	78,996
a*	3,12	3,04	3,00	3,053
b*	13,15	13,14	12,94	13,076

4. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,39	80,01	79,98	80,126
a*	3,05	3,06	3,10	3,070
b*	13,26	13,37	13,41	13,346

4. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,93	80,19	80,19	80,103
a*	3,12	3,13	3,14	3,130
b*	14,22	14,45	14,46	14,376

4. Charge, Gelbwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,02	80,25	80,41	80,226
a*	2,53	2,84	2,67	2,680
b*	12,19	13,04	12,62	12,616

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	80,07	80,62	80,04	80,243
a*	2,98	2,84	2,82	2,880
b*	13,86	13,59	13,26	13,570

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,19	79,28	79,53	79,333
a*	3,07	3,01	2,96	3,013
b*	13,29	13,34	13,28	13,303

Anhang A

5. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,61	79,12	79,03	79,253
a*	2,37	2,17	2,24	2,260
b*	13,33	13,70	13,80	13,610

5. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,75	78,10	79,46	79,103
a*	2,32	2,23	2,31	2,286
b*	13,29	13,62	13,63	13,513

5. Charge, Gelbwurst, Ende MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,36	77,39	77,83	77,526
a*	3,53	3,47	3,44	3,480
b*	16,45	16,27	16,16	16,293

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,83	78,96	78,58	78,790
a*	2,53	2,59	2,50	2,540
b*	13,72	14,02	13,88	13,873

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,14	79,52	79,41	79,356
a*	2,41	2,54	2,46	2,470
b*	13,63	14,14	13,99	13,920

5. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,25	79,32	79,23	79,266
a*	2,24	2,26	2,25	2,250
b*	13,87	13,91	13,96	13,913

5. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,81	79,80	79,76	79,790
a*	2,31	2,31	2,27	2,296
b*	13,73	13,50	13,59	13,606

5. Charge, Gelbwurst, Ende MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,52	76,96	77,51	77,330
a*	3,39	3,37	3,18	3,313
b*	16,42	16,24	15,97	16,210

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,76	78,40	79,22	78,793
a*	2,37	2,17	2,32	2,286
b*	14,44	13,80	13,49	13,910

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,80	78,78	78,71	78,763
a*	2,26	2,30	2,36	2,306
b*	14,01	14,00	14,11	14,040

5. Charge, Gelbwurst, Eingang MHD Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,33	79,23	79,18	79,246
a*	2,25	2,25	2,28	2,260
b*	13,93	13,93	13,91	13,923

5. Charge, Gelbwurst, Mitte MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,91	79,55	79,78	79,746
a*	2,26	2,39	2,25	2,300
b*	13,50	13,70	13,46	13,553

5. Charge, Gelbwurst, Ende MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,08	77,33	77,45	77,286
a*	3,25	3,22	3,01	3,160
b*	16,19	15,92	15,88	15,996

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	79,38	79,30	79,19	79,290
a*	2,56	2,58	2,67	2,603
b*	13,69	13,87	13,56	13,706

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,86	78,76	78,91	78,843
a*	2,19	2,28	2,36	2,276
b*	13,57	13,83	13,94	13,780

Anhang A

1. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,06	72,17	72,18	72,136
a*	12,45	12,43	12,42	12,433
b*	12,44	12,40	12,38	12,406

1. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,79	70,49	70,62	70,300
a*	11,46	11,25	11,22	11,210
b*	14,09	14,07	12,46	13,540

1. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,50	73,14	73,36	73,333
a*	11,81	12,10	12,04	11,983
b*	11,73	11,56	11,52	11,603

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,11	73,27	73,29	73,223
a*	11,18	11,16	11,16	11,166
b*	12,48	12,48	12,46	12,473

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,92	72,20	73,74	72,953
a*	11,73	12,32	11,63	11,893
b*	12,00	12,39	11,63	12,006

1. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,22	72,89	72,18	72,430
a*	10,17	10,28	9,98	10,143
b*	13,07	12,99	12,87	12,976

1. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,77	70,88	70,33	70,660
a*	11,12	10,78	11,07	10,990
b*	14,03	13,86	14,69	14,193

1. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,76	73,56	73,52	73,613
a*	11,83	12,11	12,12	12,020
b*	11,64	11,67	11,67	11,660

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,69	73,19	73,07	73,316
a*	10,94	11,07	10,58	10,863
b*	12,68	12,78	12,72	12,726

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,28	73,34	72,80	73,140
a*	12,35	12,36	12,23	12,313
b*	11,13	11,12	10,97	11,073

1. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,44	72,36	73,14	72,646
a*	10,14	10,21	10,31	10,220
b*	13,01	13,04	13,05	13,033

1. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,37	68,84	70,29	69,166
a*	11,23	11,19	11,12	11,180
b*	14,18	14,21	14,28	14,223

1. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,55	73,16	73,12	73,280
a*	11,77	12,07	11,76	11,866
b*	11,74	11,83	11,87	11,813

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,17	72,50	73,36	73,010
a*	11,22	11,36	10,86	11,080
b*	12,54	12,50	12,68	12,573

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,43	73,55	73,46	73,480
a*	12,24	12,43	12,25	12,306
b*	11,37	11,22	11,42	11,336

Anhang A

2. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,95	70,75	70,78	70,826
a*	11,27	11,35	11,37	11,330
b*	13,53	13,60	13,60	13,576

2. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,10	73,31	72,00	72,803
a*	10,93	10,80	11,40	11,043
b*	13,63	13,40	13,70	13,576

2. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,72	70,08	71,42	70,740
a*	10,62	12,70	11,79	11,703
b*	11,92	13,32	13,02	12,753

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,91	73,17	72,83	72,970
a*	12,21	12,14	12,34	12,230
b*	12,80	12,67	12,26	12,576

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,89	71,30	73,24	71,810
a*	11,46	11,44	10,72	11,206
b*	13,41	13,42	12,87	13,203

2. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,22	72,89	73,09	73,066
a*	10,11	10,26	10,24	10,203
b*	13,10	12,78	12,77	12,883

2. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,34	72,86	72,62	73,273
a*	10,34	9,95	9,99	10,093
b*	13,03	12,89	12,90	12,940

2. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,19	71,84	72,50	71,843
a*	10,57	11,96	10,90	11,143
b*	12,14	12,33	12,29	12,253

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,47	72,64	73,31	72,806
a*	12,09	12,26	12,43	12,260
b*	11,81	11,75	11,63	11,730

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,78	72,56	72,71	72,683
a*	10,26	10,13	10,14	10,176
b*	13,30	13,09	13,07	13,153

2. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,44	72,30	72,36	72,700
a*	9,91	10,28	10,27	10,153
b*	13,05	13,06	13,05	13,053

2. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,26	73,48	73,60	73,446
a*	12,05	11,97	12,12	12,046
b*	11,80	11,76	11,70	11,753

2. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,42	71,90	72,40	72,240
a*	10,82	11,23	10,99	11,013
b*	12,31	12,55	12,28	12,383

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,58	73,64	73,82	73,680
a*	11,68	12,27	12,24	12,063
b*	11,51	11,55	11,57	11,546

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,01	73,24	72,92	73,056
a*	10,09	10,50	10,99	10,526
b*	13,18	13,41	12,28	12,956

Anhang A

3. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,97	73,38	72,46	73,270
a*	11,05	10,69	11,61	11,116
b*	12,71	12,28	12,78	12,590

3. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,72	72,26	72,96	72,980
a*	13,09	12,94	12,43	12,820
b*	10,76	10,61	10,83	10,733

3. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,98	72,61	72,04	72,543
a*	11,85	12,63	12,79	12,423
b*	10,74	10,65	10,90	10,763

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,33	74,41	74,10	74,280
a*	12,73	12,44	13,12	12,763
b*	10,71	10,73	10,99	10,810

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,27	71,55	72,52	72,113
a*	14,60	14,48	13,88	14,320
b*	10,61	10,76	10,38	10,583

3. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,14	72,99	73,25	73,126
a*	10,14	10,29	10,18	10,203
b*	12,77	13,08	13,01	12,953

3. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,05	73,73	74,72	73,500
a*	13,13	12,53	12,41	12,690
b*	11,47	11,37	11,57	11,470

3. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,07	74,26	73,63	73,986
a*	12,46	11,90	12,21	12,190
b*	10,89	10,60	10,79	10,760

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,97	73,39	73,25	73,536
a*	13,03	12,71	12,86	12,866
b*	10,86	10,76	10,47	10,696

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,80	72,75	72,80	72,783
a*	13,80	14,02	14,02	13,946
b*	10,28	10,37	10,50	10,383

3. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,46	72,49	73,13	72,693
a*	10,27	10,11	10,21	10,196
b*	13,00	12,99	13,02	13,003

3. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,22	72,64	74,59	73,816
a*	12,58	11,98	11,32	11,960
b*	11,60	11,63	12,73	11,986

3. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,53	73,76	74,37	74,220
a*	12,04	12,25	11,39	11,893
b*	10,85	10,68	10,45	10,660

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,64	73,53	73,39	73,520
a*	12,29	12,62	12,53	12,480
b*	10,97	10,93	10,72	10,873

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,37	72,68	72,80	72,616
a*	14,33	14,54	13,97	14,280
b*	10,53	10,66	10,65	10,613

Anhang A

4. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,35	68,49	70,37	69,403
a*	12,75	13,53	12,96	13,080
b*	12,87	13,30	12,89	13,020

4. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,22	70,53	70,31	70,686
a*	13,03	13,37	13,47	13,290
b*	11,52	11,99	12,14	11,883

4. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,42	70,68	70,15	70,416
a*	13,19	13,55	13,57	13,436
b*	11,81	12,37	12,33	12,170

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,06	70,41	69,12	69,196
a*	14,04	13,52	13,45	13,670
b*	10,98	10,83	10,77	10,860

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,19	70,29	69,74	70,073
a*	14,27	14,35	14,33	14,316
b*	11,04	10,98	11,16	11,060

4. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,59	69,95	69,99	69,843
a*	12,80	13,80	13,02	13,206
b*	12,88	12,99	13,04	12,970

4. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,34	70,93	71,06	70,776
a*	12,15	12,00	11,85	12,000
b*	12,31	12,34	12,34	12,330

4. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,26	70,00	69,71	69,990
a*	13,15	12,69	12,89	12,910
b*	12,43	12,09	12,27	12,263

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,49	69,58	69,92	69,996
a*	13,30	13,38	13,41	13,363
b*	12,18	12,06	12,25	12,163

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,71	69,99	70,49	69,063
a*	14,15	14,00	13,96	14,036
b*	11,00	10,94	11,17	11,036

4. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,42	70,74	71,06	70,740
a*	13,03	13,69	12,78	13,166
b*	13,09	12,83	12,77	12,896

4. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,10	71,23	70,37	70,900
a*	11,91	12,08	11,90	11,963
b*	12,51	12,73	12,85	12,696

4. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,75	68,34	69,77	69,620
a*	12,96	12,72	13,29	12,990
b*	11,90	12,35	12,26	12,170

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,70	70,26	70,89	70,283
a*	13,36	13,09	13,03	13,160
b*	12,47	12,23	12,20	12,300

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,35	69,92	70,00	70,090
a*	13,80	14,21	14,18	14,063
b*	10,90	11,14	11,16	11,066

Anhang A

5. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,70	70,56	70,16	70,473
a*	13,85	14,53	14,01	14,130
b*	10,88	11,01	11,11	11,000

5. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,10	70,13	69,89	69,706
a*	13,72	14,05	14,12	13,963
b*	11,02	11,19	11,10	11,103

5. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,41	70,10	68,35	69,286
a*	13,55	14,26	14,38	14,063
b*	11,31	11,61	11,32	11,413

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,09	72,14	71,20	71,810
a*	13,29	14,00	13,87	13,720
b*	10,31	11,17	10,83	10,770

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,22	71,58	71,05	71,283
a*	13,32	13,84	13,76	13,640
b*	10,46	10,83	10,94	10,743

5. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,22	70,26	69,48	69,986
a*	13,81	13,66	12,97	13,480
b*	11,39	11,61	10,93	11,310

5. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,20	71,12	71,21	70,843
a*	13,36	13,92	13,89	13,723
b*	10,89	11,07	11,07	11,010

5. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,64	70,95	70,45	70,680
a*	13,57	12,92	13,42	13,303
b*	11,75	11,63	11,76	11,713

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,97	70,17	70,56	70,566
a*	13,37	14,29	14,35	14,003
b*	11,20	11,66	11,61	11,490

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,15	70,90	71,10	70,383
a*	13,97	13,51	14,00	13,826
b*	10,95	10,70	11,24	10,963

5. Charge, Leberkäse, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,61	70,77	70,57	70,650
a*	13,62	13,32	13,04	13,326
b*	11,63	11,42	11,42	11,490

5. Charge, Leberkäse, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,20	70,16	70,97	70,443
a*	13,24	13,83	13,55	13,540
b*	11,15	11,42	11,19	11,253

5. Charge, Leberkäse, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,47	70,87	70,79	70,710
a*	13,44	12,94	13,17	13,183
b*	11,63	11,58	11,76	11,656

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,75	70,72	70,73	70,733
a*	14,10	14,36	14,36	14,273
b*	11,09	11,56	11,50	11,383

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,72	70,44	71,10	70,753
a*	13,73	14,45	13,94	14,040
b*	10,82	11,37	10,87	11,020

Anhang A

1. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,37	69,77	71,53	70,556
a*	13,07	12,34	12,75	12,720
b*	14,06	13,77	13,93	13,920

1. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,30	70,26	69,95	70,170
a*	12,32	12,35	12,10	12,256
b*	15,20	15,25	15,60	15,350

1. Charge, Lyoner, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,31	68,61	68,74	68,553
a*	14,75	14,46	14,30	14,503
b*	16,30	15,71	15,56	15,856

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,77	69,55	70,79	70,040
a*	12,05	12,30	11,72	12,023
b*	15,03	15,66	14,98	15,223

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,45	71,17	71,29	71,293
a*	12,62	12,84	12,82	12,760
b*	14,44	14,70	14,77	14,636

1. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,72	71,06	71,31	71,030
a*	12,93	12,99	12,66	12,860
b*	14,15	14,30	14,04	14,163

1. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,78	69,80	69,95	69,843
a*	12,35	12,34	12,30	12,330
b*	15,58	15,47	15,49	15,513

1. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,99	69,52	69,59	69,366
a*	12,18	11,85	11,89	11,973
b*	15,85	16,17	15,77	15,930

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,13	69,52	69,89	69,513
a*	11,74	12,34	12,39	12,156
b*	15,29	15,85	15,79	15,643

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,75	71,28	71,34	71,123
a*	12,66	12,59	12,40	12,550
b*	13,96	13,93	14,18	14,023

1. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,60	69,97	67,74	69,436
a*	12,74	13,02	12,08	12,613
b*	14,11	14,48	13,55	14,050

1. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,45	69,69	69,63	69,556
a*	12,05	12,25	12,09	12,130
b*	15,62	15,34	15,66	15,540

1. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,55	68,30	68,38	68,743
a*	11,87	11,87	12,15	11,963
b*	15,83	15,57	16,40	15,933

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,09	69,59	68,95	69,210
a*	12,41	12,32	12,39	12,373
b*	16,07	16,03	16,13	16,076

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,86	71,25	71,46	71,190
a*	12,70	12,91	12,58	12,730
b*	14,27	14,41	14,18	14,286

Anhang A

2. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,22	74,96	74,27	74,483
a*	11,20	10,88	11,07	11,050
b*	12,34	12,13	12,38	12,273

2. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,26	72,58	73,12	72,986
a*	12,88	13,38	12,73	12,996
b*	12,17	12,60	11,95	12,240

2. Charge, Lyoner, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,70	74,18	73,38	74,086
a*	12,31	12,66	12,88	12,616
b*	10,48	11,13	11,11	10,906

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,13	73,93	74,38	74,480
a*	12,18	12,58	12,36	12,373
b*	10,83	10,68	10,98	10,830

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,91	73,94	73,55	73,800
a*	12,03	12,00	12,05	12,026
b*	11,49	11,65	11,66	11,600

2. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,55	73,00	73,19	73,246
a*	10,82	10,94	10,64	10,800
b*	12,87	13,04	12,99	12,966

2. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,08	73,55	72,56	73,396
a*	12,45	12,52	12,55	12,506
b*	12,23	12,20	12,23	12,220

2. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,73	72,25	73,10	72,693
a*	11,43	11,64	11,40	11,490
b*	12,65	12,65	11,81	12,370

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,59	74,87	74,20	74,553
a*	12,70	12,24	12,32	12,420
b*	11,08	10,67	10,67	10,806

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,68	73,31	73,49	73,493
a*	12,00	11,89	11,80	11,896
b*	12,18	11,89	11,81	11,960

2. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,21	73,79	74,27	73,756
a*	10,90	11,06	10,78	10,913
b*	12,83	12,52	12,29	12,546

2. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,52	73,39	72,97	73,293
a*	12,53	12,57	12,51	12,536
b*	12,30	12,30	12,19	12,263

2. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,58	72,93	73,03	72,846
a*	11,41	11,47	11,32	11,400
b*	12,82	12,82	12,49	12,710

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,37	74,12	74,04	74,176
a*	12,46	12,55	12,41	12,473
b*	10,85	10,76	10,82	10,810

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,38	74,22	73,23	73,610
a*	11,56	11,72	11,56	11,613
b*	12,00	12,17	12,14	12,103

Anhang A

3. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,70	72,82	72,90	72,640
a*	13,46	13,46	13,32	13,413
b*	10,39	10,32	10,27	10,326

3. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,42	71,91	71,88	72,070
a*	11,99	12,12	12,10	12,070
b*	9,92	10,09	9,95	9,986

3. Charge, Lyoner, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,26	71,20	71,89	71,450
a*	12,13	12,07	12,37	12,190
b*	10,65	10,99	10,35	10,663

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,55	72,60	72,34	71,830
a*	12,54	12,95	12,77	12,753
b*	9,72	10,08	9,97	9,923

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,63	71,66	72,45	71,913
a*	12,82	12,66	12,66	12,713
b*	9,66	9,99	9,71	9,786

3. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,40	72,67	72,90	72,656
a*	13,02	13,32	12,65	12,996
b*	10,09	10,00	9,96	10,016

3. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,68	72,45	72,49	72,540
a*	12,56	12,60	12,54	12,566
b*	9,79	10,13	10,08	10,000

3. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,47	72,48	71,32	72,090
a*	11,71	12,06	11,68	11,816
b*	10,83	10,61	11,46	10,966

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,88	71,72	71,70	71,766
a*	12,37	12,49	12,46	12,440
b*	10,38	10,30	10,37	10,350

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,94	71,04	72,09	71,690
a*	12,69	13,08	11,90	12,556
b*	9,86	9,95	10,38	10,063

3. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,97	73,90	73,81	73,226
a*	13,44	12,71	12,84	12,996
b*	10,40	9,77	9,86	10,010

3. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,41	71,50	71,80	71,903
a*	12,48	12,49	12,66	12,543
b*	10,24	10,48	10,36	10,360

3. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,47	71,41	71,24	71,373
a*	12,10	12,09	11,90	12,030
b*	10,98	11,02	11,38	11,126

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,77	72,62	72,78	72,723
a*	12,35	12,27	12,41	12,343
b*	9,79	10,00	10,02	9,936

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,71	72,81	72,47	72,663
a*	12,57	12,28	12,54	12,463
b*	9,91	9,87	9,97	9,916

Anhang A

4. Charge, Lyoner, Eingang MHD Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,70	69,72	70,59	70,003
a*	12,62	12,56	13,19	12,790
b*	12,74	12,73	13,02	12,830

4. Charge, Lyoner, Mitte MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,53	71,48	70,34	71,116
a*	11,79	11,59	12,89	12,090
b*	13,30	13,29	12,57	13,053

4. Charge, Lyoner, Ende MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,43	68,45	67,14	68,340
a*	12,20	12,90	12,31	12,470
b*	12,47	12,10	11,88	12,150

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,25	69,56	69,70	69,503
a*	13,31	13,81	13,38	13,500
b*	11,06	11,06	11,12	11,080

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,17	69,95	69,68	69,266
a*	13,91	14,32	13,95	14,060
b*	11,61	12,18	12,06	11,950

4. Charge, Lyoner, Eingang MHD Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,45	68,96	70,21	69,873
a*	13,12	13,99	13,66	13,590
b*	13,20	14,22	13,69	13,703

4. Charge, Lyoner, Mitte MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,25	70,71	70,77	70,576
a*	11,59	11,59	12,61	11,930
b*	12,66	12,72	12,97	12,783

4. Charge, Lyoner, Ende MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,24	70,15	69,91	70,100
a*	12,74	12,57	12,74	12,683
b*	12,55	12,64	12,51	12,566

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,08	69,23	69,03	69,113
a*	13,21	14,20	14,46	13,956
b*	11,29	11,83	12,01	11,710

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,35	70,26	68,81	69,806
a*	13,98	13,49	13,74	13,736
b*	11,82	11,56	11,53	11,636

4. Charge, Lyoner, Eingang MHD Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,68	70,69	70,45	70,606
a*	13,06	12,92	13,32	13,100
b*	13,58	13,52	13,82	13,640

4. Charge, Lyoner, Mitte MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,02	69,84	70,47	70,443
a*	12,21	12,28	12,48	12,323
b*	13,09	12,77	12,89	12,916

4. Charge, Lyoner, Ende MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,61	70,29	70,10	70,000
a*	12,22	12,39	12,51	12,373
b*	12,84	12,83	12,66	12,776

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,96	70,07	69,92	69,983
a*	13,73	13,14	13,27	13,380
b*	11,92	11,50	11,57	11,663

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,68	70,33	70,09	69,700
a*	13,64	13,84	13,44	13,640
b*	11,29	11,69	11,59	11,523

Anhang A

5. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,61	71,70	71,73	71,680
a*	13,15	13,14	13,27	13,186
b*	11,58	11,33	11,53	11,480

5. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,29	70,09	70,11	70,496
a*	13,33	12,85	13,42	13,200
b*	12,01	11,60	12,02	11,876

5. Charge, Lyoner, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,61	68,11	68,39	68,036
a*	12,24	12,92	12,46	12,540
b*	12,55	12,45	12,02	12,340

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,79	70,55	70,63	70,656
a*	13,25	13,47	13,46	13,393
b*	11,87	12,03	11,89	11,930

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,69	69,78	69,12	69,530
a*	14,21	14,22	13,96	14,130
b*	11,99	11,62	12,04	11,883

5. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,33	71,23	71,70	71,420
a*	13,09	13,14	13,22	13,150
b*	11,81	11,92	12,05	11,926

5. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,66	71,39	71,51	71,520
a*	12,85	12,96	12,89	12,900
b*	11,94	12,03	12,08	12,016

5. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,90	70,11	70,14	70,050
a*	12,38	12,49	12,71	12,526
b*	12,62	12,66	12,46	12,580

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,93	71,36	71,34	71,210
a*	13,87	13,21	13,58	13,553
b*	11,61	11,32	11,59	11,506

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,32	69,18	69,48	69,660
a*	13,48	13,73	13,64	13,616
b*	11,65	11,63	11,88	11,720

5. Charge, Lyoner, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,55	71,89	71,43	71,623
a*	13,06	13,13	13,20	13,130
b*	11,81	11,83	11,83	11,823

5. Charge, Lyoner, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,46	71,66	71,67	71,596
a*	12,94	12,76	12,76	12,820
b*	12,10	12,24	12,25	12,196

5. Charge, Lyoner, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,14	69,69	69,35	69,726
a*	12,15	12,32	12,55	12,340
b*	12,48	12,84	12,85	12,723

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,04	71,13	71,16	71,110
a*	14,11	13,81	13,74	13,886
b*	11,69	11,42	11,46	11,523

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,20	69,70	70,04	69,960
a*	13,46	13,51	13,59	13,520
b*	11,58	11,77	11,65	11,666

Anhang A

1. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,59	74,51	74,64	74,580
a*	11,69	11,67	11,90	11,753
b*	11,41	11,37	11,34	11,373

1. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,05	71,88	72,22	72,050
a*	12,66	12,89	12,53	12,693
b*	10,68	10,57	10,67	10,640

1. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,96	72,87	72,89	72,906
a*	11,83	11,75	11,71	11,763
b*	10,76	10,75	10,74	10,750

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,54	72,73	71,87	72,380
a	10,90	10,96	10,89	10,916
b*	11,50	11,63	11,44	11,523

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,43	73,48	72,70	73,036
a*	11,56	11,51	11,56	11,543
b*	11,01	10,89	10,78	10,893

1. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,45	74,82	73,92	74,396
a*	11,86	11,66	11,54	11,686
b*	11,33	11,36	11,35	11,346

1. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,94	71,60	71,57	71,370
a*	12,81	12,70	12,79	12,766
b*	10,56	10,73	10,37	10,553

1. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,54	72,61	72,69	72,613
a*	11,54	12,24	11,63	11,803
b*	10,35	10,62	10,44	10,470

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,42	72,75	71,76	72,310
a*	10,84	11,02	10,96	10,940
b*	11,66	11,74	11,62	11,673

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,14	73,08	72,75	72,990
a*	12,69	12,66	12,70	12,683
b*	10,58	10,73	10,56	10,623

1. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,82	74,48	74,73	74,676
a*	11,63	11,74	11,62	11,663
b*	11,53	11,32	11,32	11,390

1. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,85	71,70	71,47	71,673
a*	12,82	12,70	12,89	12,803
b*	10,28	10,41	10,39	10,360

1. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,33	72,28	72,06	72,223
a*	11,74	11,64	12,29	11,890
b*	10,64	10,59	10,77	10,666

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,62	72,16	72,88	72,220
a*	10,85	10,38	11,04	10,756
b*	11,58	11,47	11,76	11,603

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,73	73,60	72,83	73,386
a*	12,56	12,45	12,62	12,543
b*	10,32	10,15	10,34	10,270

Anhang A

2. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,88	73,81	75,42	74,703
a*	9,26	10,41	11,50	10,390
b*	11,45	12,17	10,36	11,326

2. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,24	76,13	75,55	75,973
a*	11,28	11,00	11,28	11,186
b*	10,74	10,51	11,10	10,783

2. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,85	75,45	75,78	75,693
a*	11,86	12,37	12,04	12,090
b*	10,04	10,29	10,01	10,113

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,66	75,91	76,34	75,970
a*	11,22	11,16	11,37	11,250
b*	9,83	9,92	9,86	9,870

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,94	75,55	73,85	74,446
a*	12,74	12,26	13,14	12,713
b*	10,69	10,38	10,72	10,596

2. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,77	76,11	76,15	76,010
a*	11,72	11,54	11,40	11,553
b*	10,95	10,54	10,72	10,736

2. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,03	76,06	76,48	76,190
a*	11,11	11,04	10,55	10,900
b*	11,12	10,85	10,60	10,856

2. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,82	75,73	75,68	75,410
a*	11,20	10,23	10,34	10,590
b*	12,17	11,48	11,50	11,716

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,89	76,41	75,87	76,056
a*	11,47	11,35	11,30	11,373
b*	10,09	10,12	10,21	10,140

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,12	75,16	74,83	74,703
a*	12,80	12,57	12,67	12,680
b*	10,69	10,36	10,30	10,450

2. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,90	75,99	75,86	75,916
a*	11,73	11,93	11,94	11,866
b*	10,57	10,61	10,56	10,580

2. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,54	76,67	76,00	76,403
a*	10,77	10,80	10,70	10,756
b*	10,88	10,83	10,79	10,833

2. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,98	75,80	75,93	75,570
a*	10,79	10,21	10,51	10,503
b*	11,90	11,78	11,76	11,813

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,34	76,29	76,03	76,220
a*	11,38	11,26	11,34	11,326
b*	10,16	10,09	10,15	10,133

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,43	74,08	74,95	74,486
a*	12,11	12,70	12,23	12,346
b*	10,94	10,92	11,00	10,953

Anhang A

3. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,46	77,71	75,71	76,960
a*	9,82	9,64	9,65	9,703
b*	9,92	9,81	9,84	9,856

3. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,60	76,57	76,82	76,330
a*	10,07	10,05	9,86	9,993
b*	10,48	10,50	10,28	10,420

3. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,94	75,67	74,74	75,450
a*	9,49	9,69	9,81	9,663
b*	10,41	11,68	10,43	10,840

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,67	75,84	76,74	76,416
a*	9,55	9,24	9,44	9,410
b*	9,94	9,81	9,83	9,860

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,16	76,70	76,13	76,330
a*	9,78	9,72	9,86	9,786
b*	9,74	9,86	10,03	9,876

3. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,98	77,41	77,64	77,343
a*	9,85	9,84	9,84	9,843
b*	9,57	9,55	9,49	9,536

3. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,74	75,99	78,12	76,950
a*	9,38	9,43	8,64	9,150
b*	10,20	10,43	10,40	10,343

3. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,05	76,03	75,94	75,673
a*	10,31	9,86	9,77	9,980
b*	10,42	10,37	10,75	10,513

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,75	75,78	75,68	76,070
a*	9,24	9,44	9,40	9,360
b*	10,47	10,80	10,87	10,646

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,42	76,62	76,55	76,530
a*	9,65	9,60	9,60	9,616
b*	10,09	10,00	10,05	10,046

3. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,74	77,83	77,62	77,730
a*	9,75	9,72	9,85	9,773
b*	9,68	9,68	9,69	9,683

3. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,89	75,53	77,59	76,670
a*	9,01	9,68	8,72	9,136
b*	10,36	11,82	10,73	10,970

3. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,18	75,30	75,57	75,350
a*	10,18	9,89	9,91	9,993
b*	10,60	10,73	10,47	10,600

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,92	76,57	76,36	76,616
a*	9,19	9,10	9,31	9,200
b*	10,72	10,62	10,66	10,666

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,81	76,46	76,62	76,296
a*	9,59	9,65	9,66	9,633
b*	10,50	10,44	9,83	10,256

Anhang A

4. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,99	74,53	73,96	74,160
a*	12,67	12,50	12,34	12,503
b*	10,25	10,11	10,13	10,163

4. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,11	73,21	73,91	73,743
a*	12,61	12,36	12,28	12,416
b*	10,47	10,96	11,11	10,846

4. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,80	73,92	73,67	73,796
a*	11,94	11,96	11,66	11,860
b*	10,79	10,87	11,06	10,906

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,15	74,02	74,06	74,076
a*	12,37	12,40	11,93	12,233
b*	9,95	10,07	9,79	9,936

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,34	73,88	73,50	73,906
a*	12,49	12,37	12,30	12,386
b*	10,50	10,95	10,69	10,713

4. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,14	73,54	72,96	73,546
a*	11,12	10,96	10,93	11,003
b*	11,38	11,51	11,51	11,466

4. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,67	74,04	73,82	73,510
a*	12,86	12,70	12,32	12,626
b*	11,24	11,22	11,13	11,196

4. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,41	72,68	73,56	72,883
a*	12,20	12,14	12,08	12,140
b*	10,73	11,12	10,93	10,926

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,90	74,49	74,48	74,290
a*	12,11	12,17	12,14	12,140
b*	10,30	10,19	10,20	10,230

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,03	73,94	73,90	73,956
a*	11,86	12,33	11,82	12,003
b*	10,05	10,54	9,99	10,193

4. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,27	74,48	74,49	74,413
a*	12,21	11,90	11,95	12,020
b*	9,95	9,79	9,84	9,860

4. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,33	73,10	73,85	73,426
a*	12,26	12,18	12,40	12,280
b*	11,26	11,23	11,28	11,256

4. Charge, Fleischwurst, Ende MHD
Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,12	72,80	73,15	73,023
a*	12,38	12,36	11,96	12,233
b*	10,94	10,99	11,13	11,020

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,55	74,06	74,41	74,340
a*	12,09	12,24	12,12	12,150
b*	10,17	10,31	10,28	10,253

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,98	74,91	74,37	74,420
a*	12,03	12,24	11,87	12,046
b*	10,04	10,13	10,33	10,166

Anhang A

5. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD Tageslicht

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,48	74,51	73,87	74,286
a*	12,57	12,49	11,97	12,343
b*	10,10	10,05	10,03	10,060

5. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,70	73,41	74,85	73,986
a*	12,47	12,89	12,13	12,496
b*	10,34	10,67	10,03	10,346

5. Charge, Fleischwurst, Ende MHD Tageslicht

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,76	75,88	75,72	75,786
a*	9,62	9,63	9,72	9,656
b*	11,72	11,68	10,10	11,166

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,80	74,35	74,84	74,663
a*	12,28	11,95	12,72	12,316
b*	9,81	10,37	10,19	10,123

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,12	76,24	76,28	76,213
a*	9,77	9,64	9,55	9,653
b*	10,02	10,00	9,89	9,970

5. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD Rotlicht links

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,87	74,93	74,91	74,903
a*	12,83	12,66	12,60	12,696
b*	9,99	9,99	10,12	10,033

5. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,67	75,03	74,98	74,893
a*	12,15	11,47	11,86	11,826
b*	10,44	10,33	10,40	10,390

5. Charge, Fleischwurst, Ende MHD Rotlicht links

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,99	75,96	75,79	75,913
a*	9,75	10,12	9,87	9,913
b*	10,75	10,79	10,50	10,680

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,00	75,56	75,45	75,336
a*	12,31	12,21	12,16	12,226
b*	9,95	9,75	9,91	9,870

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,80	76,50	76,42	76,573
a*	9,53	9,55	9,64	9,573
b*	10,13	10,03	9,85	10,003

5. Charge, Fleischwurst, Eingang MHD Rotlicht rechts

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,04	74,86	74,89	74,930
a*	12,32	12,53	12,34	12,396
b*	10,33	10,15	10,22	10,233

5. Charge, Fleischwurst, Mitte MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,18	75,22	74,47	74,623
a*	12,13	11,82	12,12	12,023
b*	10,40	10,18	10,31	10,296

5. Charge, Fleischwurst, Ende MHD Rotlicht rechts

Anschnitt alt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,58	75,50	75,32	75,466
a*	9,86	9,87	10,14	9,956
b*	10,76	10,63	10,74	10,710

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,14	75,55	75,65	75,446
a*	12,35	12,27	11,82	12,146
b*	9,85	9,77	9,59	9,736

Anschnitt neu	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,26	76,47	76,48	76,403
a*	9,57	9,52	9,48	9,523
b*	10,40	9,89	10,35	10,213

Anhang A

1. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,10	57,66	55,92	58,226
a*	21,19	22,34	21,22	21,583
b*	31,88	34,10	33,04	33,006

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,00	69,60	69,57	68,823
a*	15,69	15,89	15,53	15,703
b*	19,95	19,88	19,62	19,816

1. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,78	56,69	56,19	56,553
a*	22,02	22,04	23,01	22,356
b*	33,36	33,49	34,06	33,636

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,73	69,79	70,00	69,840
a*	15,63	15,58	15,54	15,583
b*	20,32	20,30	20,30	20,306

1. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,42	57,25	56,54	57,070
a*	21,83	21,87	22,27	21,990
b*	33,03	33,09	33,97	33,363

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,43	70,96	71,05	70,813
a*	15,06	14,92	14,88	14,953
b*	20,67	20,48	20,45	20,533

1. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,54	57,75	51,59	56,293
a*	20,93	18,85	17,51	19,096
b*	33,21	31,44	30,04	31,563

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,68	69,35	69,60	69,210
a*	15,62	15,87	15,85	15,780
b*	17,83	18,29	18,31	18,143

1. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,27	59,34	59,40	59,336
a*	21,02	20,93	20,83	20,926
b*	32,96	32,86	32,79	32,870

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,90	69,07	69,14	69,036
a*	15,90	15,87	15,82	15,863
b*	19,25	19,21	19,19	19,216

1. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,01	58,26	56,73	57,000
a*	20,53	20,82	20,47	20,606
b*	32,83	33,05	32,73	32,870

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,95	68,02	68,17	68,046
a*	15,74	15,73	15,71	15,726
b*	18,51	18,50	18,51	18,506

1. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,29	56,77	56,83	56,630
a*	22,21	21,81	21,77	21,930
b*	33,80	33,45	33,53	33,593

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,29	68,12	68,76	68,390
a*	14,96	14,76	14,50	14,740
b*	20,62	20,51	20,24	20,456

1. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	55,73	56,48	55,58	55,930
a*	22,07	21,60	21,66	21,776
b*	33,29	33,19	33,11	33,196

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,62	68,29	68,70	68,203
a*	14,80	14,61	14,52	14,643
b*	21,66	21,20	21,38	21,413

1. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	55,75	55,46	55,41	55,540
a*	21,82	21,26	21,76	21,613
b*	33,52	32,89	33,41	33,273

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,67	68,01	67,93	67,870
a*	15,45	15,56	14,65	15,220
b*	20,22	20,68	21,38	20,760

Anhang A

2. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	63,17	61,98	60,84	61,996
a*	17,19	17,04	18,19	17,473
b*	27,88	27,98	28,81	28,223

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,98	73,85	74,01	73,946
a*	10,66	10,91	10,74	10,770
b*	11,82	12,11	12,07	12,000

2. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,67	59,93	59,79	59,796
a*	17,53	17,59	17,94	17,686
b*	29,13	28,67	29,58	29,126

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,91	70,49	70,73	70,710
a*	12,35	12,56	12,48	12,463
b*	11,77	11,75	11,83	11,783

2. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,85	58,41	59,08	59,113
a*	17,21	17,34	16,90	17,150
b*	27,57	26,83	27,31	27,236

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,06	69,15	69,40	68,870
a*	12,46	12,61	12,55	12,540
b*	11,37	11,62	11,67	11,553

2. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	62,76	61,64	62,47	62,290
a*	17,00	17,12	17,30	17,140
b*	27,15	27,98	27,68	27,603

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,89	73,09	73,02	73,000
a*	10,51	10,55	10,65	10,570
b*	11,60	11,73	11,63	11,653

2. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,82	59,72	59,66	59,733
a*	17,89	17,53	17,46	17,626
b*	28,55	28,45	28,11	28,370

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,20	71,13	71,84	71,390
a*	12,48	12,25	11,92	12,216
b*	11,34	11,45	11,21	11,333

2. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,38	59,92	59,95	59,750
a*	18,35	17,62	17,72	17,896
b*	28,21	27,19	27,40	27,600

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,11	70,18	70,93	70,740
a*	12,68	12,34	12,44	12,486
b*	11,92	11,39	11,58	11,630

2. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	62,69	62,59	62,20	62,493
a*	16,71	17,37	17,45	17,176
b*	27,50	27,97	28,07	27,846

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,84	73,12	73,27	73,076
a*	10,38	10,35	10,76	10,496
b*	12,11	11,41	11,63	11,716

2. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,19	60,03	60,18	60,133
a*	17,57	17,70	17,64	17,636
b*	28,24	28,18	27,81	28,076

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,82	70,10	71,08	70,666
a*	13,07	12,76	12,29	12,706
b*	12,05	11,93	11,79	11,923

2. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,47	55,76	58,45	57,893
a*	17,64	16,85	17,81	17,433
b*	27,63	26,49	27,84	27,320

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,38	71,59	71,66	71,543
a*	12,38	12,34	12,23	12,316
b*	11,54	11,45	11,42	11,470

Anhang A

3. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,11	59,56	60,80	60,490
a*	17,95	18,20	17,87	18,006
b*	31,72	31,60	31,65	31,656

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,04	73,78	73,86	73,926
a*	10,84	10,79	10,60	10,743
b*	11,77	11,91	12,09	11,923

3. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,27	59,62	58,76	58,883
a*	18,11	17,57	17,73	17,803
b*	31,71	31,74	31,25	31,566

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,27	72,65	72,00	72,306
a*	10,61	10,50	10,69	10,600
b*	12,11	11,86	12,32	12,096

3. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,91	59,59	57,54	58,013
a*	19,55	17,67	17,57	18,263
b*	34,61	32,75	33,32	33,560

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,31	73,62	73,87	73,600
a*	9,90	9,54	9,48	9,640
b*	12,29	11,81	11,83	11,976

3. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,45	58,86	58,29	58,866
a*	18,60	19,26	18,88	18,913
b*	31,19	31,88	31,64	31,570

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,89	72,89	73,15	73,310
a*	10,63	10,43	10,62	10,560
b*	11,50	11,70	11,61	11,603

3. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,97	58,52	58,30	58,596
a*	17,59	18,06	18,32	17,990
b*	31,27	31,50	31,43	31,400

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,54	72,19	71,37	71,700
a*	11,12	11,21	11,50	11,276
b*	11,91	12,00	12,19	12,033

3. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,80	60,22	60,20	60,073
a*	17,45	17,40	17,70	17,516
b*	32,45	32,04	31,76	32,083

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,39	73,91	74,11	73,796
a*	9,30	9,55	9,11	9,320
b*	12,04	12,08	12,09	12,070

3. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,71	59,23	59,51	59,483
a*	18,70	18,93	19,09	18,906
b*	30,95	31,59	31,70	31,413

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,57	72,48	73,08	73,043
a*	10,56	10,32	10,58	10,486
b*	11,35	11,11	12,07	11,510

3. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,66	58,97	57,54	58,723
a*	17,75	17,74	16,78	17,423
b*	29,68	30,12	28,29	29,363

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,08	71,58	71,97	71,876
a*	11,29	11,47	11,16	11,306
b*	12,53	12,59	12,37	12,496

3. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,96	60,32	60,57	60,283
a*	17,18	17,22	17,25	17,216
b*	32,02	31,71	31,85	31,860

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,24	73,71	73,68	73,543
a*	9,78	9,58	9,64	9,666
b*	12,53	12,26	12,28	12,356

Anhang A

4. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,07	58,09	58,48	58,213
a*	19,06	18,50	19,15	18,903
b*	31,10	30,32	31,19	30,870

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,23	71,18	70,75	70,720
a*	12,79	12,95	13,17	12,970
b*	11,11	11,45	11,33	11,296

4. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,50	58,59	58,51	58,866
a*	19,01	19,13	19,49	19,210
b*	30,33	29,64	30,38	30,116

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,65	71,11	71,61	71,123
a*	12,73	12,40	12,60	12,576
b*	11,20	11,07	11,18	11,150

4. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,43	57,44	58,48	58,116
a*	19,15	19,44	19,09	19,226
b*	30,22	30,56	30,22	30,333

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	70,40	70,78	71,04	70,740
a*	12,71	12,98	13,10	12,930
b*	11,25	11,48	11,44	11,390

4. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,21	58,28	57,00	57,830
a*	16,73	16,72	16,64	16,696
b*	29,26	29,28	28,95	29,163

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,73	72,40	72,70	72,276
a*	10,55	10,59	10,69	10,610
b*	12,55	12,59	12,53	12,556

4. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,82	61,08	60,62	60,840
a*	18,06	18,03	18,17	18,086
b*	29,69	30,17	30,39	30,083

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,75	73,00	72,72	72,823
a*	10,54	10,41	10,58	10,510
b*	12,41	12,27	12,29	12,323

4. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,36	58,88	60,30	58,846
a*	17,22	17,61	17,16	17,330
b*	29,42	30,20	29,37	29,663

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,50	73,24	73,59	73,110
a*	10,73	10,51	10,51	10,583
b*	11,82	11,82	11,93	11,856

4. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,26	60,71	60,49	60,486
a*	18,92	18,52	18,78	18,740
b*	30,96	31,25	30,23	30,813

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,43	72,80	73,81	73,346
a*	11,31	11,61	11,41	11,443
b*	11,50	11,61	11,45	11,520

4. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,01	59,74	60,76	60,503
a*	18,08	18,16	18,01	18,083
b*	30,04	30,02	30,36	30,140

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,60	73,09	72,23	72,973
a*	11,18	11,33	11,36	11,290
b*	11,62	11,71	11,30	11,543

4. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,11	59,60	60,43	60,046
a*	17,41	17,97	17,81	17,730
b*	30,08	30,11	30,36	30,183

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,35	72,58	73,98	73,303
a*	11,14	11,16	10,90	11,066
b*	11,69	11,77	11,79	11,750

Anhang A

5. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,27	61,18	61,42	60,290
a*	17,34	17,64	18,16	17,713
b*	30,15	30,55	31,07	30,590

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,08	73,28	73,16	73,173
a*	9,71	9,77	9,74	9,740
b*	12,16	11,49	11,81	11,820

5. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,19	60,54	58,92	58,863
a*	17,29	17,62	16,65	17,186
b*	30,64	30,74	29,80	30,393

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	71,92	74,12	73,37	73,136
a*	9,32	9,81	9,86	9,663
b*	12,72	11,48	11,62	11,940

5. Charge, Schweinewiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,05	58,79	58,71	59,183
a*	17,90	17,18	17,18	17,420
b*	30,80	30,44	30,13	30,456

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,06	73,19	73,30	73,183
a*	9,70	10,33	10,00	10,010
b*	11,78	11,63	11,50	11,636

5. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,40	61,21	61,50	60,703
a*	17,84	18,32	17,84	18,000
b*	31,41	32,07	31,35	31,610

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,82	74,37	74,38	74,190
a*	10,31	10,34	10,17	10,273
b*	11,60	11,64	11,55	11,596

5. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,18	60,29	61,23	60,566
a*	18,60	18,69	17,68	18,323
b*	31,63	31,95	30,15	31,243

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,92	74,15	73,49	73,853
a*	10,22	10,16	10,34	10,240
b*	11,26	11,56	11,25	11,356

5. Charge, Schweinewiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,87	60,41	60,02	60,433
a*	18,14	18,37	18,59	18,366
b*	30,70	31,27	31,99	31,320

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,94	74,16	74,12	74,073
a*	10,24	10,20	10,09	10,176
b*	11,19	11,21	11,18	11,193

5. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,90	60,71	59,60	60,070
a*	17,72	17,41	17,80	17,643
b*	32,23	31,72	32,39	32,113

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,81	73,38	72,66	73,283
a*	9,99	10,12	9,97	10,026
b*	11,38	11,19	11,35	11,306

5. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,88	59,89	59,26	59,343
a*	17,71	17,55	17,62	17,630
b*	31,54	31,11	31,08	31,243

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,25	72,78	73,04	73,023
a*	10,29	10,22	10,46	10,323
b*	11,33	10,99	11,32	11,213

5. Charge, Schweinewiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,07	58,04	58,54	58,216
a*	17,25	16,99	17,71	17,316
b*	31,01	30,47	30,84	30,773

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,18	73,01	73,17	73,120
a*	10,33	10,25	10,05	10,210
b*	11,32	11,24	11,21	11,256

Anhang A

1. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,91	57,24	57,82	57,656
a*	21,14	21,18	21,09	21,136
b*	30,96	31,35	30,92	31,060

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,24	69,99	69,80	69,676
a*	15,46	15,41	15,30	15,390
b*	18,32	18,24	18,20	18,253

1. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,89	57,81	57,04	57,580
a*	20,63	20,95	20,36	20,646
b*	30,45	30,35	29,99	30,263

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	65,11	66,07	66,81	65,996
a*	15,98	15,12	15,15	15,416
b*	18,96	16,43	16,55	17,313

1. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,23	57,33	57,02	57,193
a*	20,61	20,51	20,75	20,623
b*	30,47	29,95	30,21	30,210

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,67	68,90	68,36	68,643
a*	14,35	14,38	14,48	14,403
b*	18,86	18,89	18,74	18,630

1. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,43	55,98	54,78	55,730
a*	21,30	21,31	20,58	21,063
b*	30,91	30,90	30,78	30,863

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	67,41	68,36	68,42	68,063
a*	16,53	16,86	16,79	16,726
b*	19,68	19,78	19,75	19,736

1. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,46	58,28	58,31	58,350
a*	21,22	21,28	21,23	21,243
b*	30,02	29,82	29,79	29,876

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	66,43	67,08	67,18	66,896
a*	15,99	15,77	15,73	15,830
b*	17,64	17,44	17,42	17,500

1. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,96	55,05	55,00	55,003
a*	22,40	22,12	22,41	22,310
b*	31,48	30,64	30,86	30,993

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	69,00	69,41	69,09	69,166
a*	14,31	14,25	14,07	14,210
b*	18,62	18,63	18,34	18,530

1. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,36	53,48	53,78	53,873
a*	20,66	20,28	20,30	20,413
b*	30,29	30,23	30,24	30,253

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	66,98	67,12	67,67	67,256
a*	17,09	17,05	17,24	17,126
b*	20,47	20,43	20,35	20,416

1. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	56,60	55,31	56,61	56,173
a*	21,14	20,77	21,02	20,976
b*	31,03	30,71	31,00	30,913

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,25	67,85	67,96	68,020
a*	14,84	14,88	15,07	14,930
b*	17,62	17,84	18,08	17,846

1. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,60	55,03	54,95	54,860
a*	22,48	21,83	22,20	22,170
b*	30,75	30,30	30,58	30,543

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	68,17	68,29	68,38	68,280
a*	15,14	14,91	14,96	15,003
b*	19,71	19,74	19,76	19,736

Anhang A

2. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,10	59,91	59,95	60,320
a*	20,24	20,04	19,92	20,066
b*	31,46	30,97	30,88	31,103

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,67	78,73	78,41	78,603
a*	8,91	8,89	8,83	8,876
b*	11,11	11,18	11,33	11,206

2. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,60	59,72	60,76	60,026
a*	19,03	18,97	19,10	19,033
b*	29,87	29,91	30,04	29,940

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,22	77,66	77,66	77,513
a*	10,25	10,01	10,45	10,236
b*	10,74	10,61	10,70	10,683

2. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,43	61,25	60,33	61,003
a*	20,25	20,41	20,11	20,256
b*	30,84	30,97	30,58	30,796

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,23	77,80	77,82	77,616
a*	9,71	9,70	9,69	9,700
b*	11,38	11,23	11,26	11,290

2. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,47	59,43	58,88	59,260
a*	20,46	20,57	20,35	20,460
b*	31,58	31,19	31,65	31,473

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,59	78,64	78,79	78,673
a*	8,94	8,93	8,83	8,900
b*	11,14	11,23	10,97	11,113

2. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,39	59,99	60,37	60,250
a*	19,21	19,29	19,12	19,206
b*	30,12	30,72	30,39	30,410

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,81	74,48	76,21	75,500
a*	11,00	11,66	10,65	11,103
b*	12,10	12,34	11,85	12,096

2. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,96	61,36	61,70	61,340
a*	20,43	19,93	19,88	20,080
b*	30,66	31,00	31,06	30,906

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,99	77,23	77,29	77,170
a*	9,73	9,63	9,54	9,633
b*	11,77	11,70	11,65	11,706

2. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,70	59,24	59,49	59,476
a*	20,52	20,40	19,98	20,300
b*	32,24	32,05	31,31	31,866

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	78,74	78,72	78,32	78,593
a*	9,02	9,03	9,06	9,036
b*	10,89	10,91	11,15	10,983

2. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,44	60,46	55,00	56,633
a*	18,11	19,03	18,05	18,396
b*	29,43	30,98	29,76	30,056

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,84	75,98	75,37	76,063
a*	10,13	10,80	11,25	10,726
b*	11,52	11,96	12,53	12,003

2. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,20	61,53	60,79	61,173
a*	20,11	19,76	19,65	19,840
b*	30,10	30,89	31,09	30,693

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,97	76,94	77,06	76,990
a*	9,60	9,75	9,83	9,726
b*	11,81	11,76	11,74	11,770

Anhang A

3. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,84	59,23	58,69	59,253
a*	19,92	19,63	19,70	19,750
b*	26,34	25,90	26,03	26,090

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,20	72,87	72,62	72,896
a*	11,27	11,43	11,55	11,416
b*	12,95	12,98	13,02	12,983

3. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,08	55,42	56,69	57,063
a*	20,87	20,27	19,95	20,363
b*	27,95	27,46	27,75	27,720

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	72,95	73,46	73,39	73,266
a*	11,88	11,73	11,60	11,736
b*	12,43	12,37	12,13	12,310

3. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,44	58,82	58,70	59,320
a*	20,70	20,82	20,95	20,823
b*	27,61	27,46	27,74	27,603

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,17	74,13	72,39	73,563
a*	11,11	11,20	11,26	11,190
b*	12,13	12,16	12,53	12,273

3. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,24	59,75	59,66	59,550
a*	20,55	19,90	20,40	20,283
b*	26,31	25,84	27,00	26,383

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,69	73,59	73,69	73,656
a*	11,06	11,15	11,07	11,093
b*	13,03	13,13	12,79	12,983

3. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,99	60,05	60,06	60,033
a*	21,11	20,96	20,90	20,990
b*	27,96	27,63	28,10	27,896

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,49	74,21	74,37	74,356
a*	11,28	11,49	11,28	11,350
b*	11,76	11,80	11,66	11,740

3. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,42	58,68	58,72	58,940
a*	20,33	20,38	20,38	20,363
b*	27,70	27,23	27,24	27,390

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,22	74,32	74,12	74,220
a*	11,27	11,31	11,39	11,323
b*	12,54	12,52	12,03	12,363

3. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,86	59,98	60,03	59,956
a*	19,64	20,13	20,02	19,930
b*	25,49	26,22	26,12	25,943

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,36	73,57	72,39	73,106
a*	11,18	11,09	12,62	11,630
b*	13,24	13,18	13,69	13,360

3. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,43	59,68	59,75	59,953
a*	20,70	21,22	20,58	20,833
b*	27,45	27,92	27,91	27,760

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,41	73,74	73,59	73,913
a*	11,33	11,56	11,72	11,536
b*	11,94	12,02	12,15	12,036

3. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,66	59,06	58,96	58,893
a*	20,61	20,45	20,48	20,513
b*	27,11	27,11	27,18	27,133

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,53	73,78	73,22	73,843
a*	11,13	11,28	11,47	11,293
b*	12,06	12,65	12,53	12,413

Anhang A

4. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,64	60,39	57,69	58,906
a*	17,49	18,13	17,69	17,770
b*	26,32	27,05	26,68	26,683

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,08	76,78	74,60	75,153
a*	10,03	10,02	9,89	9,980
b*	11,72	11,54	11,78	11,680

4. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,80	60,76	60,83	60,796
a*	18,42	18,41	18,18	18,336
b*	27,02	27,20	26,91	27,043

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,86	75,31	76,15	75,773
a*	9,65	10,33	9,91	9,963
b*	12,27	12,61	11,78	12,220

4. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	57,93	58,77	59,49	58,730
a*	19,11	19,13	18,32	18,853
b*	27,93	27,92	27,18	27,676

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,48	75,37	75,98	75,610
a*	9,70	9,98	9,76	9,813
b*	12,44	12,71	12,29	12,480

4. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,14	55,85	53,30	54,430
a*	19,09	18,47	17,63	18,396
b*	27,52	26,69	25,57	26,593

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,11	77,00	77,18	76,763
a*	9,45	9,33	9,30	9,360
b*	11,74	11,40	11,44	11,523

4. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,04	61,23	60,02	60,763
a*	17,65	17,46	18,38	17,830
b*	26,65	26,44	26,93	26,673

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,52	75,33	75,48	75,443
a*	9,66	9,67	9,68	9,670
b*	12,07	11,96	11,81	11,946

4. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,72	61,12	60,30	60,713
a*	17,87	17,63	17,42	17,640
b*	27,21	26,86	26,26	26,776

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,29	76,23	75,11	75,876
a*	9,47	9,53	9,68	9,560
b*	11,77	11,73	11,87	11,790

4. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,38	61,87	61,42	61,556
a*	19,89	19,65	20,18	1,906
b*	28,46	28,29	28,94	28,563

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,84	75,36	75,25	75,150
a*	10,32	10,37	10,16	10,283
b*	11,82	11,70	11,77	11,763

4. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,87	61,35	61,21	61,143
a*	18,87	18,57	18,51	18,650
b*	29,46	28,72	28,66	28,946

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,76	74,74	74,63	75,043
a*	9,89	10,04	9,57	9,833
b*	11,68	11,82	11,94	11,813

4. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,67	61,74	62,26	61,890
a*	19,08	19,16	18,93	19,056
b*	28,01	27,92	28,09	28,006

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,47	75,96	74,68	75,370
a*	10,03	9,75	10,29	10,023
b*	11,87	12,01	12,37	12,083

Anhang A

5. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,75	60,33	59,32	60,133
a*	21,26	20,68	20,75	20,896
b*	25,03	24,89	24,80	24,906

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,40	74,56	74,00	74,320
a*	11,96	12,00	12,80	12,253
b*	12,00	11,42	12,01	11,810

5. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	54,19	55,55	53,90	54,546
a*	19,11	18,87	18,63	18,870
b*	27,52	27,49	26,71	26,240

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	77,08	76,78	77,10	76,986
a*	9,35	9,26	9,31	9,306
b*	11,39	11,62	11,64	11,550

5. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Tageslicht

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,96	59,53	60,02	59,836
a*	20,74	20,43	20,72	20,630
b*	27,55	27,46	27,61	27,543

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	73,82	74,11	74,03	73,986
a*	11,22	11,09	11,19	11,166
b*	12,36	12,12	12,24	12,240

5. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,11	56,89	57,09	58,030
a*	20,64	19,77	20,02	20,143
b*	25,66	24,11	24,74	24,836

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,99	74,34	74,62	74,650
a*	12,11	11,90	12,53	12,180
b*	11,40	11,82	11,66	11,626

5. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	60,74	60,83	61,02	60,863
a*	18,35	18,21	18,19	18,250
b*	27,15	26,94	26,93	27,006

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	75,64	76,03	75,72	75,796
a*	9,52	9,67	9,77	9,653
b*	11,99	11,96	12,01	11,986

5. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht links

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	59,38	59,48	60,00	59,620
a*	20,13	20,26	20,41	20,266
b*	27,26	27,25	27,28	27,263

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,15	74,26	74,18	74,196
a*	11,33	11,32	11,08	11,243
b*	12,09	12,08	12,39	12,186

5. Charge, Putenwiener, Eingang MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,61	60,99	60,89	61,163
a*	20,25	20,75	20,07	20,356
b*	24,30	24,32	24,27	24,296

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,30	74,09	74,62	74,336
a*	12,03	12,12	12,38	12,176
b*	11,00	11,88	11,22	11,366

5. Charge, Putenwiener, Mitte MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	61,14	61,15	60,60	60,963
a*	17,61	17,54	17,42	17,523
b*	26,81	27,16	26,66	26,876

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	76,00	75,43	75,91	75,780
a*	9,58	9,53	9,58	9,563
b*	11,77	11,93	12,07	11,923

5. Charge, Putenwiener, Ende MHD
Rotlicht rechts

Oberfläche	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	58,86	58,62	59,01	58,830
a*	20,60	20,40	20,49	20,496
b*	27,13	27,05	27,11	27,096

Anschnitt	1. Mssg	2. Mssg	3. Mssg	Mittelwert
L*	74,13	74,16	73,35	73,880
a*	11,56	11,14	11,35	11,350
b*	12,06	12,07	12,08	12,070

Anhang B

Anhang B Ergebnisse der sensorischen Farbbeurteilung

Leberkäse

Eingang MHD

Mitte MHD

Ende MHD

1. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0508020	0408020	0307030	Anschnitt	0508020	0408020	0407020	Anschnitt	0508020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. Heller
2. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0508020	0408020	0307030	Anschnitt	0508020	0408020	0407020	Anschnitt	0508020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
3. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0308020	0408020	0307030	Anschnitt	0508020	0408020	0407020	Anschnitt	0508020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
4. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0409010	0407020	0208020	Anschnitt	0508020	0408020	0407020	Anschnitt	0508020	0408020	0208020
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	ggr. heller
5. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0508020	0308020	0208020	Anschnitt	0408010	0408020	0407020	Anschnitt	109010	108015	108015
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller

Anhang B

Kalbfleischwurst

Eingang MHD

Mitte MHD

Ende MHD

1. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0408010	0408020	0101815	Anschnitt	0408010	0408020	0408020	Anschnitt	0109010	0109010	0408020
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller
2. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0408010	0408020	0101815	Anschnitt	0408010	0408020	0408020	Anschnitt	0109010	0109010	0408020
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht heller
3. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0408010	0408020	0101815	Anschnitt	0408010	0408020	0408020	Anschnitt	0209005	0408020	0109010
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
4. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0309010	0408020	0308010	Anschnitt	0209010	0408020	0408020	Anschnitt	0309010	0308010	0109010
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
5. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0109010	0109010, 0207030	0109010, 0208020	Anschnitt	0209010	0109010	0109010	Anschnitt	0209005	0408020	0109010
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. Heller

Anhang B

Lyoner

Eingang MHD

Mitte MHD

Ende MHD

	Eingang MHD				Mitte MHD				Ende MHD			
	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot	
1. Charge	Anschnitt	0408010	0208020	0208020	Anschnitt	0408010	0407020	0308010	Anschnitt	0409010	0408020	0408020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	wie Tag
2. Charge	Anschnitt	0408010	0208020	0208020	Anschnitt	0408010	0407020	0308010	Anschnitt	0409010	0408020	0408020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht heller
3. Charge	Anschnitt	0408010	0208020	0208020	Anschnitt	0408010	0407020	0308010	Anschnitt	0409010	0408020	0408020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht heller
4. Charge	Anschnitt	0508020	0407020	0308020	Anschnitt	0508020	0407030	0407020	Anschnitt	0407020	0307020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
5. Charge	Anschnitt	0308020	0109010, 0207030	0208020	Anschnitt	0408020	0308010	0207030	Anschnitt	0407020	0307020	0407020
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller

Anhang B

Gelbwurst

	Eingang MHD			Mitte MHD			Ende MHD					
1. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0859010	0809010	0859010	Anschnitt	0709010	0809010	0809010	Anschnitt	0959010	0959010, 0608020	1009010
	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		nicht röter	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller, kräftiger	wie Tag
2. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0859010	0809010	0859010	Anschnitt	0709010	0809010	0809010	Anschnitt	0959010	0959010, 0608020	1009010
	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		nicht röter	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller, kräftiger	wie Tag
3. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0859010	0809010	0859010	Anschnitt	0709010	0809010	0809010	Anschnitt	0959010	0959010, 0608020	1009010
	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag
4. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0859010	0809010	0859010	Anschnitt	0709010	0809010	0809010	Anschnitt	0959010	0959010, 0608020	1009010
	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		nicht röter	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag
5. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Anschnitt	0959010	0909010	0809010	Anschnitt	0859010	0909010	0809010	Anschnitt	0759205	0909010	0909010
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag	Farbe vgl. Tag		Graustich weg	wie Tag
	Hell vgl. Tag		ggr. heller grau weg	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller grau weg	wie Tag	Hell vgl. Tag		ggr. heller	wie Tag

Anhang B

Putenwiener

Eingang MHD

Mitte MHD

Ende MHD

1. Charge

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0606040	0606060	0606060
Anschnitt	0508020	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	wie Plastik

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0607040	0507040	0407040
Anschnitt	0209010	0408020	0109010
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	bräunlicher

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0506040	0506040	0506040
Anschnitt	0109010	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	wie Plastik

2. Charge

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0606040	0606060	0606060
Anschnitt	0508020	0408020	0408020, 0408030
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	bräunlicher

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0607040	0507040	0407040
Anschnitt	0209010	0408020	0109010
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	bräunlicher

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0506040	0506040	0506040
Anschnitt	0109010	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller
Hülle		wie Plastik	orangener

3. Charge

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0506040	0506040	0506040
Anschnitt	0308020	0208020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		mgr. heller	nicht heller
Hülle		orangener	wie Plastik

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0607040	0507040	0407040
Anschnitt	0209010	0408020	0109010
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller
Hülle		wie Plastik	orangener

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0505050	0506050	0506040
Anschnitt	0408010	0407020	0407020
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		wie Plastik	orangener

4. Charge

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0607030	0507040	0407040
Anschnitt	0409010	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller
Hülle		orangener	bräunlicher

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0606040	0506040	0506040
Anschnitt	0408010	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		wie Plastik	orangener

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0606050	0606050	0606050
Anschnitt	0209005	0508020	0408020
Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	wie Plastik

5. Charge

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0507030	0406030	0406030
Anschnitt	0109010	0308020	0108015
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	bräunlicher

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0606040	0506040	0506040
Anschnitt	0408010	0408020	0408020
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	wie Plastik

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Oberfläche	0505050	0506050	0506040
Anschnitt	0408010	0407020	0407020
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
Hülle		orangener	wie Plastik

Anhang B

Schweinewiener

Eingang MHD

Mitte MHD

Ende MHD

	Eingang MHD				Mitte MHD				Ende MHD			
1. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Oberfläche	0606040	0606060	0506060	Oberfläche	0606040	0506040	0506040	Oberfläche	0606040	0606060	0506040
	Anschnitt	0508020	0408020	0408030	Anschnitt	0507020	0407020	0407020	Anschnitt	0308020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller
	Hülle		orangener	wie Plastik	Hülle		wie Plastik	orangener	Hülle		orangener	wie Plastik
2. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Oberfläche	0606040	0606060	0506060	Oberfläche	0606040	0506040	0506040	Oberfläche	0606040	0606060	0506040
	Anschnitt	0508020	0408020	0408030	Anschnitt	0507020	0407020	0407020	Anschnitt	0308020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller
	Hülle		wie Plastik	orangener	Hülle		orangener	wie Plastik	Hülle		wie Plastik	orangener
3. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Oberfläche	0606040	0606060	0506060	Oberfläche	0606040	0506040	0506040	Oberfläche	0606040	0606060	0506040
	Anschnitt	0508020	0408020	0408030	Anschnitt	0507020	0407020	0407020	Anschnitt	0308020	0407020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller
	Hülle		orangener	wie Plastik	Hülle		orangener	bräunlicher	Hülle		orangener	wie Plastik
4. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Oberfläche	0607040	0507050	0507040	Oberfläche	0606040	0506040	0506040	Oberfläche	0606040	0506050	0506050
	Anschnitt	0508020	0407030	0208020	Anschnitt	0507020	0407020	0407020	Anschnitt	0109005	0408020	0407020
	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter	Farbe vgl. Tag		ggr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller	Hell vgl. Tag		mgr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	nicht heller
	Hülle		orangener	wie Plastik	Hülle		wie Plastik	orangener	Hülle		wie Plastik	orangener
5. Charge		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot		Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
	Oberfläche	0506050	0606060	0505050	Oberfläche	0606040	0507050	0506040	Oberfläche	0606050	0506050	0606050
	Anschnitt	0309010	0208020	0109005, 0108015	Anschnitt	0409005	0408020	0408020	Anschnitt	0109010	0109005	0109010
	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter	Farbe vgl. Tag		mgr. röter	nicht röter
	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	ggr. heller	Hell vgl. Tag		ggr. heller	ggr. heller
	Hülle		orangener	wie Plastik	Hülle		wie Plastik	orangener	Hülle		orangener	bräunlicher

Anhang C Protokoll und Codierungen der sensorischen Untersuchung

Protokoll der sensorischen Untersuchung

	Prüfanweisung PA SENS 01	Seite: 1 von 1 Ausgabe: 04 Stand: 27.06.07
	Einfach beschreibende Prüfung	

Untersuchungsmaterial: (Verkehrsbez.)	Labornummer:	Gewicht: (brutto/netto)	Datum:
Prüfpersonen:		Prüfberichtsnummer:	
Merkmal/ Merkmalsbereich	Merkmaleigenschaften (Beschreibung falls Abweichungen, ansonsten produkttypisch)		
Allgem. Kennzeichen (Art, Umfang, Verpackung, Abmessungen, Etikett)			
Äußere Beschaffenheit (Farbe, Beläge, Hülle, Flüssigkeitsabsatz, Abbindung)			
Konsistenz auf Druck (auf übliche Verzehrform achten, Schneid-/Streichfähigkeit)			
Anschnittfläche (Grundmasse, Einlagerungen, Körnung, Farbe)			
Geruch (Probe nach Möglichkeit aufbrechen)			
Geschmack (auf übliche Verzehrform achten)			
Konsistenz im Biß			

Handzeichen AL Sensorik:

Schriftführer:

Erstellt: 27.06.07 Dr. I. Steutzger, QMB	Geprüft: 27.06.07 Dr. C. Mahler, AL Sensorik	Freigegeben: 27.06.07 Prof. Dr. A. Stolle, IL
---	---	--

Tab. 31: Codierungen für die sensorische Untersuchung (Wursttyp und Charge)

Typ Wurst	Charge	Oberfläche/Anschnitt
1 = Kalbfleischwurst	1 = 1. Charge	1 = Oberfläche
2 = Gelbwurst	2 = 2. Charge	0 = Anschnitt
3 = Leberkäse	3 = 3. Charge	
4 = Stangenlyoner	4 = 4. Charge	
5 = Putenwiener	5 = 5. Charge	
6 = Schweinewiener		

Tab. 32: Codierungen für die sensorische Untersuchung (Zeitpunkt und Lichtart)

Eingang MHD	Mitte MHD	Tageslicht	Rotlicht links
1 = Eingang MHD	1 = Mitte MHD	1 = Tageslicht	1 = Rotlicht links
0 = Mitte MHD	0 = Eingang MHD	1 = Tageslicht	0 = Tageslicht
-1 = Ende MHD	-1 = Ende MHD	-1 = Rotlicht rechts	-1 = Rotlicht rechts

Tab. 33: Codierungen für die sensorische Untersuchung (Farbe und Helligkeit)

Farbe vergleichend zum Tageslicht	Helligkeit vergleichend zum Tageslicht
1 = nicht röter	1 = nicht heller
0 = ggr. röter	0 = ggr. heller
-1 = mgr. röter	-1 = mgr. heller
2 = keine Angabe	2 = keine Angabe
-2 = Graustich weg	-2 = ggr. dunkler
3 = ggr. orangener	3 = mgr. dunkler
4 = mgr. orangener	4 = bräunlicher

Anhang D

Anhang D Ergebnisse der Untersuchungen der Modellwurst

Ergebnisse der physikalischen Farbmessungen der Modellwurst

0-Probe, Tageslicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	69,84	68,79	69,07	69,233
a*	12,32	12,83	12,55	12,567
b*	12,51	12,58	12,03	12,373

0-Probe, linkes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	70,77	69,44	70,64	70,283
a*	14,25	14,19	14,50	14,313
b*	10,85	10,85	11,03	10,910

0-Probe, rechtes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	69,18	69,13	69,82	69,376
a*	14,36	14,78	14,08	14,406
b*	11,38	11,46	11,29	11,376

0,5 % -Probe, Tageslicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	66,47	66,25	63,63	65,450
a*	14,75	14,63	15,32	14,900
b*	12,86	12,74	13,17	12,923

0,5 % -Probe, linkes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	66,84	66,84	66,02	66,567
a*	16,23	16,28	16,54	16,350
b*	11,30	11,43	11,61	11,446

0,5 % -Probe, rechtes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	66,37	65,78	66,93	66,360
a*	16,29	16,38	16,16	16,276
b*	11,57	11,65	11,52	11,580

1,5 % -Probe, Tageslicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	59,99	60,51	60,36	60,286
a*	17,69	17,26	17,22	17,390
b*	13,71	13,19	13,14	13,346

1,5 % -Probe, linkes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	60,93	60,18	61,21	60,773
a*	18,35	18,32	18,27	18,313
b*	13,07	12,77	12,95	12,930

1,5 % -Probe, rechtes Rotlicht

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	Mittelwert
L*	60,88	60,66	61,44	60,993
a*	18,43	18,52	18,28	18,410
b*	12,80	12,84	13,03	12,890

Anhang D

Ergebnisse der sensorischen Farbbeurteilungen der Modellwurst

Subjektive Farbbestimmung, 0 - Probe

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Anschnitt	0408010	0407020	0407020
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht dunkler

Subjektive Farbbestimmung, 0,5 % - Probe

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Anschnitt	0407020, 0408010	0407020, 0307020	0307020
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht dunkler

Subjektive Farbbestimmung, 1,5 % - Probe

	Tageslicht	linkes Rot	rechtes Rot
Anschnitt	0407020	0406030	0406030, 0206030
Farbe vgl. Tag		mgr. röter	ggr. röter
Hell vgl. Tag		ggr. dunkler	nicht dunkler

Anhang E Leuchten und Leuchtsysteme

Die in den Tabellen 34 bis 36 gelisteten Leuchten und Leuchtsysteme sind in Zusammenhang mit der Entstehung der DIN 10504 untersucht worden (siehe Kapitel 2.2.6.1).

Tab. 34: Lampen mit festgelegtem R_{FF} und deren Erfüllung der DIN 10504

Hersteller	Bezeichnung	R_{FF}	Bewertung
Osram	LF 12	99	entspricht den Anforderungen
Osram	Biolux LF 72	99	“
Mazda	Mazdafluor Aviva	94	“
Osram	LF 36	92	“
Thorn	De Luxe Natural	90	“
Osram	LF 21	85	“
Osram	LF 41	76	“
Velum	ALr-585 103	74	“
Noko	Pork	72	“
Maurer	Nafa IV	71	“
Finnische Firma	Punerva	71	“
Maurer	Nafa Safety	68	entspricht nicht d. Anforderungen
SM-Light	3500	62	“
Osram	LF 76	55	“
Sautter	LFW 36 585 91	52	“
Maurer	Nafa-Light	43	“
Bäro	Colorkonstant Art. Nr. 3018	42	“
Vetter	AL 20 Watts	25	“
Noko	Beef	24	“
Bäro	Art. Nr. 30181	11	“

(BUSCH-STOCKFISCH, 2002)

Anhang E

Tabellen zu Kapitel 2.2.5, Lampen, die in der von Frau BUSCH-STOCKFISCH begutachteten Untersuchungsreihe verwendet wurden.

Tab. 35: Lampen, unter denen keine signifikante Irreführung festgestellt wurde

Hersteller	Bezeichnung	Bewertung
Osram	L 18/W41-827 Lumilux Interna	keine signifikante Irreführung
Sylvania	VISM – 038 - 2	“
Narva	LT 18/W27.1 Warmton Philips	“
Narva	LT 18/W015 (Typ LT 015)	“
Narva	T.M. REGD Art. Nr. 43018	“

Bei der Narva LT 18/W015 (Typ LT 015) wurde keine irreführende Rotfärbung festgestellt, sondern eine Färbung ins unappetitliche, unnatürliche gehende, bräunlich-rot (BUSCH-STOCKFISCH, 2002).

Tab. 36: Lampen, bei denen jeweils eine signifikante Irreführung festgestellt wurde

Hersteller	Bezeichnung	Bewertung
Narva	T.M. REGD Art. Nr. 13018	signifikante Irreführung
Unbekannt	Glühlampe	“
Osram	L 18 W/76 Natura de Luxe	“
Bäro	Colorkonstant Art. Nr. 3018	“
Bäro	Art. Nr. 30181	“
Narva	LT 18 W/076 Nature superb	“

Die signifikanten Irreführungen wurden bei Roh- und Brühwürsten festgestellt. Unter den beiden Lampen der Firma Bäro wurde bei allen Produkten eine signifikante bis hochsignifikante Irreführung festgestellt (BUSCH-STOCKFISCH, 2002).

Anhang E

Tabellen zu Kapitel 2.2.5. Alle nachfolgend gelisteten Leuchten und Leuchtsysteme sind speziell für die Beleuchtung von Fleisch und Wurstprodukten konzipiert worden. Die Tabellen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tab. 37: Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Narva

Hersteller	Bezeichnung	Wattagen	Art.-Nr.
Narva	Nature superb, 14W/076	14 Watt	G5 17114T50015
Narva	Nature superb, 15W/076	15 Watt	G13 110150006
Narva	Tronic Nature superb, E 27/076	15 Watt	Unbekannt
Narva	Nature superb	18 Watt	G13 110180085
Narva	Tronic Nature superb	20 Watt	Unbekannt
Narva	Nature superb, 21W/076	21 Watt	G5 17121T50005
Narva	Tronic Nature superb E 27/076	23 Watt	Unbekannt
Narva	Nature superb	24 Watt	G5 17124T5HQ0006
Narva	Nature superb	28 Watt	G5 17128T50006
Narva	Nature superb	30 Watt	G13 110300033
Narva	Nature superb, 35W/076	35 Watt	G5 17135T50005
Narva	Nature superb, 36W/076	36 Watt	G13 110360099
Narva	Nature superb, 39W/076	39 Watt	G5 17139T5HQ0004
Narva	Nature superb, 49W/076	49 Watt	G5 17149T5HQ0008
Narva	Nature superb	54 Watt	G5 17154T5HQ0004
Narva	Nature superb, 58W/076	58 Watt	G13 110580086
Narva	Nature superb	80 Watt	G5 17180T5HQ0001

(N. N., 2009j; N. N., 2009k)

Tab. 38: Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Philips Austria

Hersteller	Bezeichnung	Art.-Nr.
Philips Austria GmbH	MASTER TL-D Food 18W/79 1 SL	70621840
Philips Austria GmbH	MASTER TL-D Food 36W/79 1 SL	70622540
Philips Austria GmbH	MASTER TL-D Food 58W/79 1 SL	70623240
Philips Austria GmbH	MASTER TL-D Food 30W/79 1 SL	70624940
Philips Austria GmbH	MASTER TL-D Food 36W/79 1m 1 SL	70625640

(N. N., 2009o)

Anhang E

Tab. 39: Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Bära

Hersteller	Bezeichnung	Anwendung	Beleuchtungsstärke (lux)	Wattagen
Bära	Aquarius II	Theke u. Regal	Unbek.	50 und 100
Bära	Bootes	Theke u. Regal	Unbek.	50 und 100
Bära	Econdo	Theke u. Regal	Unbek.	50 und 100
Bära	Cirrus	Allgemein	Unbek.	50 und 100
Bära	Art. Nr. 3015	Allgemein	200	15
Bära	Art. Nr. 3018	Allgemein	225	18
Bära	Art. Nr. 3031	Allgemein	400	30
Bära	Art. Nr. 3036	Allgemein	450	36
Bära	Art. Nr. 3041	Allgemein	500	36
Bära	Art. Nr. 3058	Allgemein	550	58
Bära	Art. Nr. 30181	Theke	225	18
Bära	Art. Nr. 30311	Theke	400	30
Bära	Art. Nr. 30361	Theke	450	36
Bära	Art. Nr. 30411	Theke	500	36
Bära	Art. Nr. 30581	Theke	550	58

Die Modelle „Cirrus“ und „Aquarius“ enthalten einen Silberreflektor mit Patentfilter 01 für die Beleuchtung von Fleisch- und Wurstwaren, Frischfleisch und Geflügel (BÄRO, 2009a-d).

Tab. 40: Leuchten und Leuchtsysteme der Firma Philips

Hersteller	Bezeichnung	Art
Philips	36 W / 76 TL-D Shoplight	Leuchtstofflampe
Philips	8 W / 76 TL-D Shoplight	Leuchtstofflampe
Philips	36 W / 76 TL-D Shoplight 02011333	Leuchtstofflampe
Philips	58 W / 76 TL-D Shoplight 02014433	Leuchtstofflampe
Philips	36 W / 79 TL-D (Art.-Nr. 8-01200820913340)	Leuchtstofflampe
Philips	Leoperd, 100 W	Leuchtstofflampe f. Regal
Philips	Quadra, 100 W	Leuchtstofflampe
Philips	CD 2111, 100 W	Leuchtstofflampe f. Theke
Philips	SDW-T, 35, 50, 100 Watt	Natriumdampf-Lampe
Philips Philips	KBS Vario2, silber, SDW – TG 50 W SDW-TG 50 W	Einbauwandfluter Glühelement
Philips Philips	KBS Vario2, weiss, SDW – TG 50 W SDW-TG 50 W	Einbauwandfluter Glühelement
Philips Philips	KBS Vario2, silber, SDW – TG 50 W SDW-TG 50 W	Einbauwandfluter Glühelement
Philips Philips	KBS Satin FW SDW-TG 50 W	Einbauwandfluter Glühelement

(N. N., 2009q; N. N., 2009l)

Anhang F Ergebnisse der statistischen Auswertung

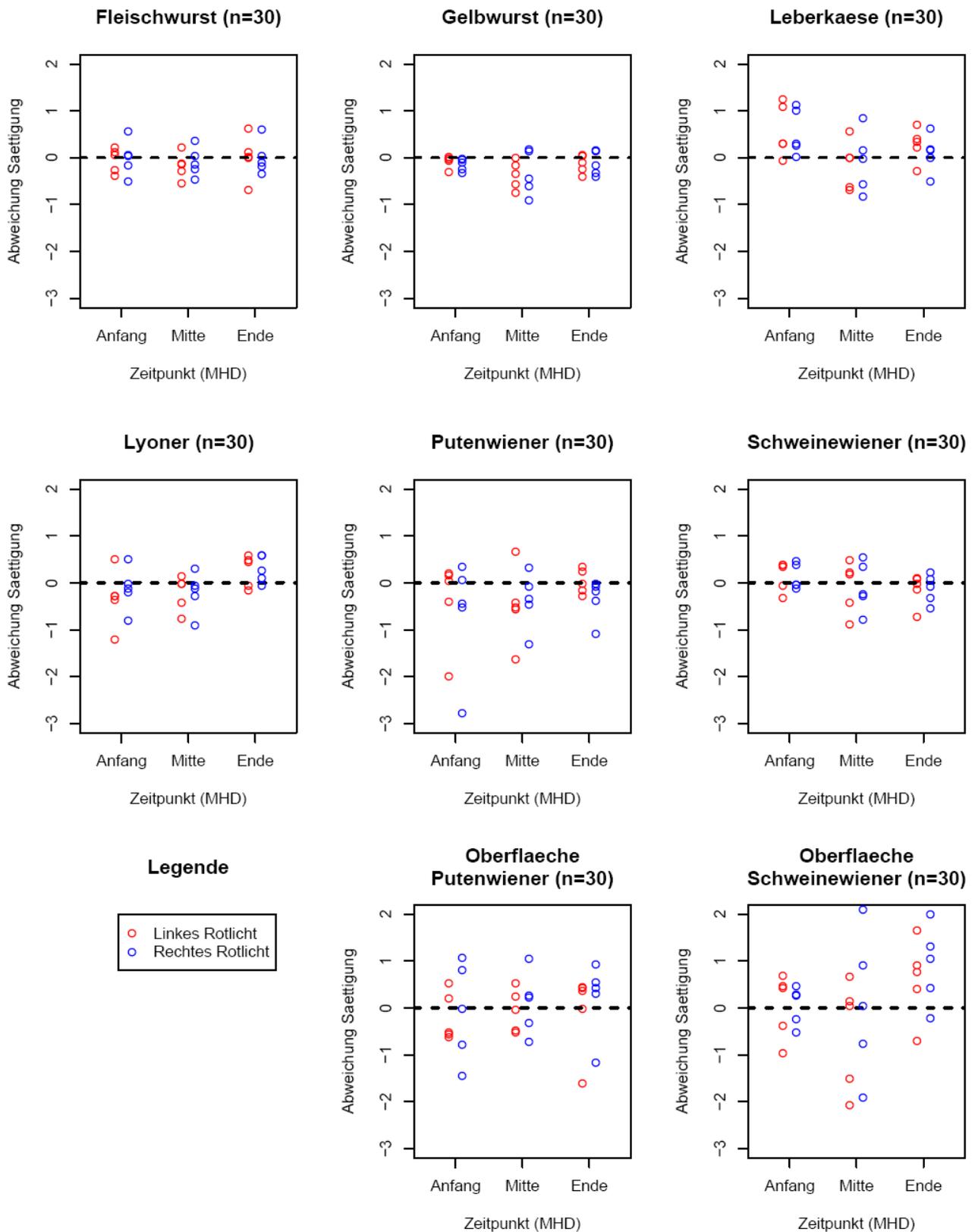


Abb. 25: Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Farbsättigung (objektiv)

Anhang F

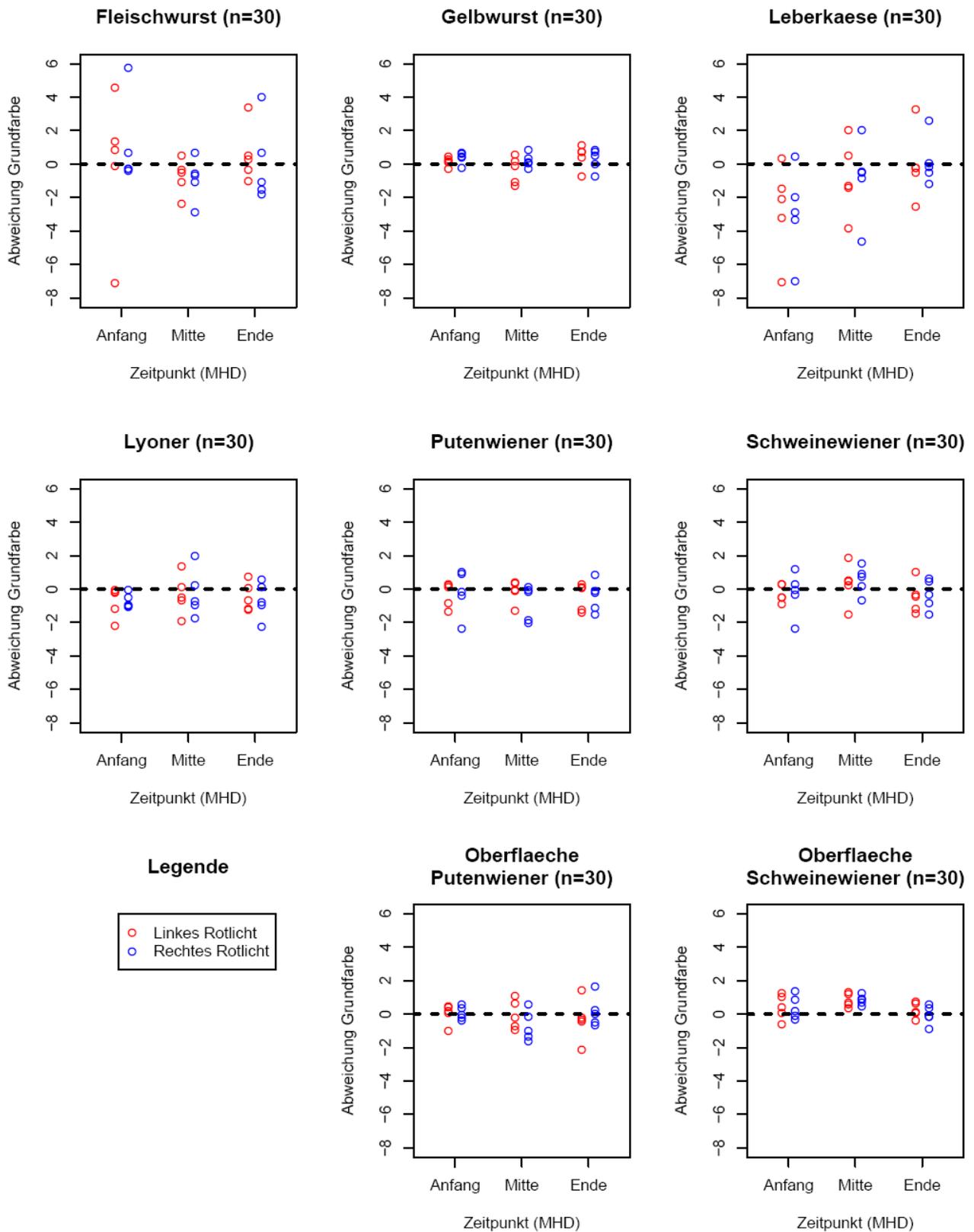


Abb. 26: Wurstsortenvergleichende Abweichungen des Bunntons (objektiv)

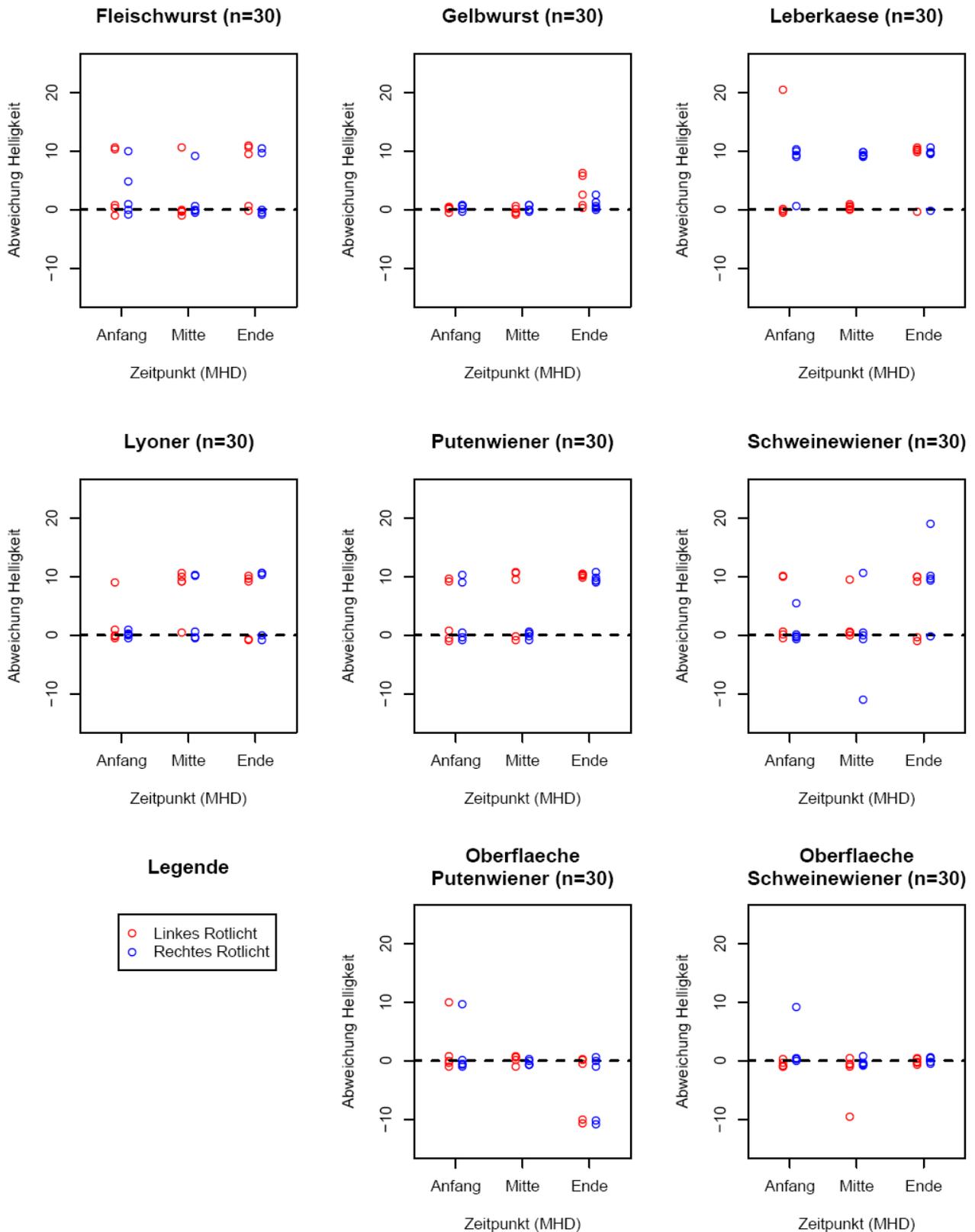


Abb. 27: Würstsortenvergleichende Abweichungen der Helligkeit (subjektiv)

Anhang F

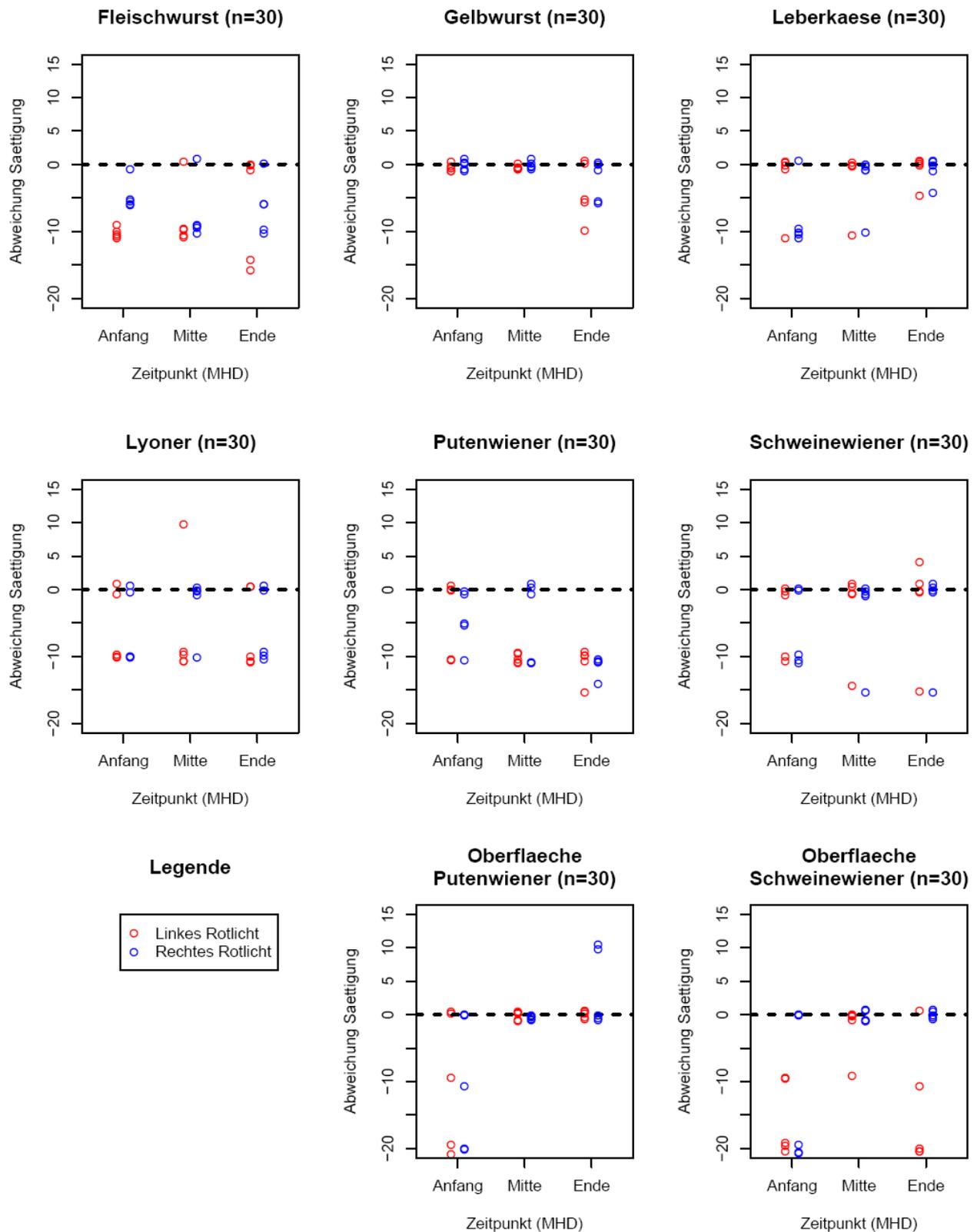


Abb. 28: Wurstsortenvergleichende Abweichungen der Farbsättigung (subjektiv)

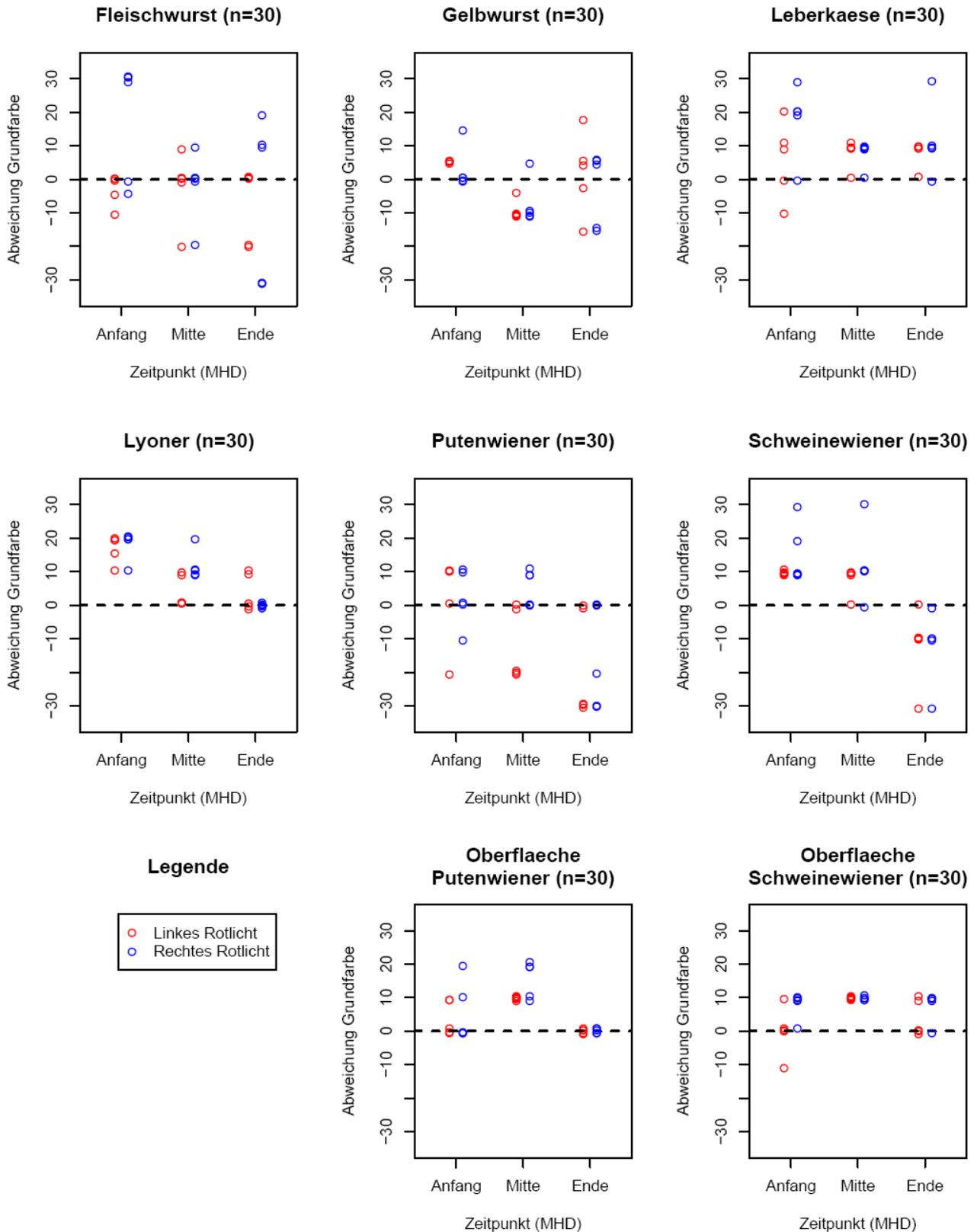


Abb. 29: Wurstsortenvergleichende Abweichungen des Bunttons (subjektiv)

Anhang F

Tab. 41: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests aus Kapitel 4.2.2

Fleischwurst	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Gelbwurst	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Leberkäse	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Lyoner	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Putenwiener	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Schweinewiener	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Putenwiener (O)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Schweinewiener (O)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Fleischwurst (A)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Gelbwurst (A)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Leberkäse (A)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Lyoner (A)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Anhang F

Tab. 42: Ergebnisse des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests aus Kapitel 4.4.2

Fleischwurst	LL	LR	CL	CL	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Gelbwurst	LL	LR	CL	CL	HL	HR
Eingang MHD	-	-	-	-	TRUE	FALSE
Mitte MHD	-	-	-	-	TRUE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Leberkäse	LL	LR	CL	CL	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	-	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Lyoner	LL	LR	CL	CL	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	-	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	-

Putenwiener	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	-	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE

Schweinewiener	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Putenwiener (O)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	-	-	-	-	TRUE	FALSE
Ende MHD	FALSE	FALSE	-	FALSE	-	-

Schweinewiener (O)	LL	LR	CL	CR	HL	HR
Eingang MHD	-	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
Mitte MHD	FALSE	-	FALSE	-	TRUE	TRUE
Ende MHD	-	-	FALSE	-	FALSE	FALSE

- bedeutet, dass ein Test nicht durchgeführt werden konnte, da keine Varianz in der betrachteten Gruppe vorlag

Anhang F

Die nachfolgenden Tabellen (43 bis 46) zeigen die Ergebnisse der Rangkorrelationskoeffizientenberechnung nach Spearman aus Kapitel 4.6.2

Ergebnisse des globalen Vergleichs: **L 0,7595** **C 0,7540** **H 0,7383**

Tab. 43: Korrelationskoeffizienten nach Spearman, gesplittet nach Wurstsorten

Wurstsorte	L	C	H
Fleischwurst	-0.0147	-0.0917	0.2968
Gelbwurst	-0.0631	-0.1234	0.1754
Leberkäse	-0.3138	-0.3687	-0.0040
Lyoner	0.0287	-0.1716	-0.2822
Putenwiener	-0.1573	0.2748	-0.0427
Schweiniwiener	-0.0203	0.0218	0.1859
Putenwiener (O)	-0.1224	-0.0273	-0.1101
Schweiniwiener (O)	-0.0372	-0.0726	-0.0240

Tab. 44: Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Helligkeit

Wurstsorte	LT	LL	LR
Fleischwurst	0.0315	0.0000	0.0345
Gelbwurst	-0.2270	0.0000	<NA>
Leberkäse	-0.3635	-0.0698	-0.5932
Lyoner	-0.0300	0.0619	-0.0175
Putenwiener	-0.1238	-0.1362	-0.2140
Schweiniwiener	-0.0423	-0.1477	-0.1047
Putenwiener (O)	-0.4160	0.2094	-0.1047
Schweiniwiener (O)	0.1857	-0.0455	-0.2535

Tab. 45: Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Sättigung

Wurstsorte	CT	CL	CR
Fleischwurst	-0.0454	-0.2094	-0.1093
Gelbwurst	-0.4539	0.0454	<NA>
Leberkäse	-0.1543	-0.1857	-0.6322
Lyoner	-0.3150	-0.2538	-0.0138
Putenwiener	0.4795	<NA>	0.1624
Schweiniwiener	0.1264	-0.3381	0.1648
Putenwiener (O)	0.1648	-0.0041	-0.2823
Schweiniwiener (O)	-0.5901	0.1345	0.1027

Tab. 46: Korrelationskoeffizienten nach Spearman, Komponente Buntton

Wurstsorte	HT	HL	HR
Fleischwurst	0.1366	0.5300	0.2529
Gelbwurst	0.1187	0.5651	-0.2070
Leberkäse	0.0597	0.3260	0.0587
Lyoner	-0.3789	-0.2793	-0.3058
Putenwiener	-0.1881	0.1021	-0.0698
Schweiniwiener	0.1979	0.2415	0.1655
Putenwiener (O)	0.1260	-0.1107	-0.2392
Schweiniwiener (O)	0.2474	-0.2474	-0.3093

Anhang F

Tab. 47 zeigt den Randomisierungsplan für die Probennahme. Daraus sind die jeweiligen Zeitpunkte ersichtlich, zu denen die Produkte, abhängig von ihrem jeweiligen MHD, zur Untersuchung vorgelegt wurden.

Tab. 47: Randomisierungsplan

	Eingang MHD	Mitte MHD	Ende MHD
Tag 1	3/1; 5/1; 6/1		
Tag 3	3/2; 5/2; 6/2	3/1; 5/1; 6/1	
Tag 6		3/2; 5/2; 6/2	3/1; 5/1; 6/1
Tag 9	3/3; 5/3; 6/3		3/2; 5/2; 6/2
Tag 12	3/4; 5/4; 6/4	3/3; 5/3; 6/3	
Tag 15		3/4; 5/4; 6/4	3/3; 5/3; 6/3
Tag 18	3/5; 5/5; 6/5		3/4; 5/4; 6/4
Tag 21	2/1; 1/1; 4/1	3/5; 5/5; 6/5	
Tag 24	1/2; 4/2	2/1	3/5; 5/5; 6/5
Tag 28	1/3; 4/3; 2/2	1/1; 4/1	2/1
Tag 31	1/4; 4/4; 2/3	1/2; 4/2; 2/2	
Tag 34	1/5; 4/5; 2/4	1/3; 4/3; 2/3	1/1; 4/1; 2/2
Tag 38	2/5	1/4; 4/4; 2/4	1/2; 4/2; 2/3
Tag 41		1/5; 4/5; 2/5	1/3; 4/3; 2/4
Tag 44			1/4; 4/4; 2/5
Tag 48			1/5; 4/5

Legende:

Die erste Zahl steht für den Wursttyp:

- 1 = Kalbfleischwurst
- 2 = Gelbwurst
- 3 = Leberkäse
- 4 = Lyoner
- 5 = Putenwiener
- 6 = Schweinewiener

die zweite Zahl steht für die Charge:

- 1 = 1. Charge
- 2 = 2. Charge
- 3 = 3. Charge
- 4 = 4. Charge
- 5 = 5. Charge

Beispiel: 2/1 = Gelbwurst, 1. Charge

10 Literaturverzeichnis

ABRAHAM, H., GEBBE, N. und BRENNER, K.-V. (1989)

Bewertung der Fleischqualität des Schinkens von Schweinen verschiedener Herkünfte
und der Effekt einer verlängerten Wartezeit vor dem Schlachten
Fleischwirtschaft 69(12): 1856-1859

AMTLICHE SAMMLUNG VON VERFAHREN ZUR PROBENAHME UND
UNTERSUCHUNG (2009)

Band I: Verfahren zur Probenahme und Untersuchung von Lebensmitteln –
Grundwerk – Erstausgabe 1980, aktualisiert 06/2009
Beuth Verlag
ISBN 3-410-11220-0

ANHALT, Dr. (1998)

Bericht über die 17. Sitzung des NAL LH/AK BL N 0032
vom 19.11.98 in Kulmbach

ARBEITSKREIS LEBENSMITTELHYGIENISCHER TIERÄRZTLICHER
SACHVERSTÄNDIGER (ALTS) (1993)

Sensorische Untersuchung in der Lebensmittelüberwachung – Möglichkeiten und
Grenzen
Ergebnisprotokoll, Tagung vom 22.06.1993 bis 24.06.1993 in Berlin

ARBEITSSTÄTTENRICHTLINIE ASR 7/3 –

Künstliche Beleuchtung
Zu § 7 Abs. 3 der Arbeitsstättenverordnung, Ausgabe November 1993
BArbBl. 11/1993, S. 40

AROMENVERORDNUNG (2008)

Vom 22.12.1981, zuletzt geändert am 30.09.2008
durch BGBl. I S. 1911
§ 3 Abs. 3

AUGUSTINI, C. (1995a)

Fleischqualität von Jungbullen und Ochsen nach Stallmast und Weidemast
Mitteilungsblatt BAFF 129: 282-286

AUGUSTINI, C. (1995b)

Fleischqualität von Bullen, Ochsen u. Färsen einer Charolais x Schwarzbuntkreuzung
Mitteilungsblatt BAFF 129: 274-281

AUGUSTINI, C. (2000)

Qualitätsrindfleischerzeugung zwischen extensiver und intensiver Produktion
Mitteilungsblatt BAFF 150: 859-868

AUGUSTINI, C. und FISCHER, K. (1999)

Fleischreifung und sensorische Qualität
Fleischwirtschaft 79(12): 96-98

AUGUSTINI, C. und FLACHOWSKY, G. (1992)

Qualitätsrindfleischerzeugung zwischen extensiver und intensiver Produktion
Mitteilungsblatt BAFF 118: 418-423

AUGUSTINI, C. und TROEGER, K. (2000)

Qualitätsorientierte Rindfleischerzeugung – Fleischqualität aus einer
Spezialproduktion
Mitteilungsblatt BAFF 148: 661-668

AVV RAHMENÜBERWACHUNG (AVV Rüb) (2008)

Allgemeine Verwaltungsvorschrift über Grundsätze zur Durchführung der amtlichen
Überwachung der Einhaltung lebensmittelrechtlicher, weinrechtlicher und
tabakrechtlicher Vorschriften vom 03.06.2008

BABEL, I. (2001)

Die Spezifikation im deutschen Lebensmittelrecht – Sensorische, mikrobiologische
und physikalisch-chemische Untersuchungen zur Beurteilung der Qualität von
Fleischerzeugnissen in Herstellung und Handel
Vet. Med. Diss., München

BÄRO (2009a)

http://www.baero.com/lang_de/licht/leuchtmittel/popup_basics_frischfarben.htm

BÄRO (2009b)

http://www.baero.com/lang_de/baero/baero_food_ausleuchtung.htm

BÄRO (2009c)

http://www.baero.com/lang_de/licht/lampen/leuchtstofflampen.htm

BÄRO (2009d)

http://www.lampenhandel.de/lampen_leuchten/lampen-leuchtmittel/baero-lampen/baero-bfl-top/baero_lampe_sdw-t_bfl_top_3306_3312_50w_100w.html

BARBUT, B. (2001)

Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts

Meat Science 59(2): 187-191

BARBUT, S. (1993)

Colour measurements for evaluating the PSE-occurrence in turkey meat

Food Res. Int. 26: 39-43

BECKER, T. (2002)

Defining meat quality

In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds).

Meat processing, improving quality

3-23. Woodhead Publishing, Limited, Cambridge, England

BEHRENDTS, J. M., MIKEL, W. B., ARMSTRONG, C. L. und NEWMAN, M. C. (2003)

Colour stability of semitendinosus, semimembranosus, and biceps femoris steaks packaged in a high-oxygen modified atmosphere

Journal of Animal Science 81(9): 2230-2238

BEKHIT, A.E.D., FAROUK, M.M., CASSIDY, L., GILBERT, K.V. (2007)

Effect of rigor temperature and electrical stimulation on venison quality

Meat Science 75: 564-574

- BEKHIT, A. E. D. und FAUSTMAN, C. (2005)
Metmyoglobin reducing activity (Review)
Meat Science 71: 407-439
- BELITZ, H.-D., GROSCH, W. und SCHIEBERLE, P. (2001)
Lehrbuch der Lebensmittelchemie: 564-565
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- BEREKOVEN, L. (1995)
Erfolgreiches Einzelhandelsmarketing. Grundlagen und Entscheidungshilfen
Beck Verlag, München
ISBN: 978-3-40633-896-0
- BERGER-SCHRUNN, A. (1994)
Praktische Farbmessung: ein Buch für Anfänger, eine Gedächtnisstütze für Könner
Muster-Schmidt, Göttingen, Zürich
ISBN 3-7881-4049-6
- BERGMANN, L. und SCHAEFER, C. (1974)
Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3 Optik
Verlag de Gruyter, Berlin
ISBN 3-1101-7081-7
- BOAKYE, K. und MITTAL, G. S. (1996)
Changes in colour of beef M. longissimus dorsi muscle during ageing
Meat Science 42(3): 347-354
- BÖHME, T., BECKER, B., TRIERWEILER, B., FECHLER, J., MAYER-MIEBACH, E.,
WOLF, W. und SPIEß, W. (2001)
Bedienungskühltheken im Lebensmittel-Einzelhandel
Fleischwirtschaft 81(12): 100-102
- BODMANN, H. W., EBERBACH, K. (1976)
Einfluss der Lichtart auf Farbe und Bewertung von Fleischwaren
Fleischwirtschaft 56(4): 510-513

BRANSCHIED, W. (2008)

Beweggründe deutscher Verbraucher beim Fleischeinkauf
Eine Untersuchung zur Bedeutung der regionalen Herkunft
Mitteilungsblatt BAFF 179: 19-30

BRAUER, H. (2004a)

Hürdentechnologie für Brühwurst
Unerwünschte Kontaminationen minimieren und mikrobiologisches Wachstum
Fleischwirtschaft 86(6): 46-47

BRAUER, H. (2004b)

Brühwurst-Technologie, 3. Auflage, Reihe Fleischkaufmann und Praktiker, Band 13
Deutscher Fachverlag
ISBN 3-87150-871-3

BRAUER, H. (2006)

Haltbarkeit: F-Werte bieten Sicherheit
Aussagen über Inaktivierung von Mikroorganismen und Temperaturverlauf
Fleischwirtschaft 86(11): 48-50

BRAUER, J. (1994)

Brühwurstqualität. Einfluss von Brättemperatur, Messwellenumdrehungen und
Kutterzeit
Fleischwirtschaft 74(7): 677-679

BREWER, M. S. und MC KEITH, F. K. (1999)

Consumer-rated quality characteristics as related to purchase intent of fresh pork
Journal of Food Science 64 (1): 171-174

BUSCH-STOCKFISCH, M. (2002)

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg
Gutachten zur Abmusterung von Fleischwaren unter roter Beleuchtung

CARL, W.; FECHTELER-BORCHERT, R.; GÖRTZ, H. (2006)

www.schule.de/schulen/oszhdl/einzelhandel/warenverkauf/stellenwert_wvk%20.pdf

CARL, W.; FECHTELER-BORCHERT, R.; GÖRTZ, H. (2007)

<http://www.schule.de/schulen/oszhdl/einzelhandel/warenpraesentation/index.html>

CERDEÑO, A.; VIEIRA, C.; SERRANO, E., LAVIN, P.; MANTECÓN, A. R. (2006)

Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls

Meat Science 72(1): 719-726

CHRISTIAN, A., MACKENSEN-FRIEDRICHS, I., WENDEL, C. (2006)

http://home.arcor.de/daniel.gueffroy/docs/bio12_gaswechsel.doc

aus: Grüne Reihe, Stoffwechselfysiologie

Schroedel-Verlag

ISBN 978-3-50710-918-6

CIE (1931)

Commission Internationale de l'Éclairage, Proceedings 8th Session, Cambridge, S. 19

CIE (1964)

Commission Internationale de l'Éclairage, Proceedings Vienna Session, Vol. B, S. 209-220

CIE (1971)

Colorimetry – official recommendations of the International Commission on Illumination

Publication CIE No. 15 (E-1.3.1.), Paris

CIE (1976)

L*a*b* Color Model

CIE (1987)

Commission Internationale de l'Éclairage, International lighting vocabulary: Chromaticity

Publication No. 17.4; Nr. 845-03-34

CIE (2004)

Commission Internationale de l'Éclairage, Publication Nr. 15: Colorimetry
ISBN 978-3-90190-633-6

CLAUSS, H., und MEUSEL, H. (1962)

Filterpraxis, 1. Auflage
VEB Fotokinoverlag, Halle

CRANSTON, P. M. (1997)

Curing meat with nitric oxide
European-Patent-Application, EP0804880A1

CROSS, H. R. (1986)

Meat colour
In: Muscle as food. Bechtel, P. J., (Ed.), S 280-288
Academic Press, Inc., London, Orlando
ISBN 0-12-084191-6

CROSS, H. R.; DURLAND, P. R.; SEIDEMAN, S. C. (1986)

Sensory qualities of meat
In: Muscle as food. Bechtel, P. J. (Ed.), S. 279-315
Academic Press, Orlando, Florida, USA
ISBN 0-12-084191-6

DEETJEN, P. und SPECKMANN, E.-J. (1992)

Physiologie
Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore
ISBN 3-541-11751-6

DE LAMBELLERIE-ANTON, M., TAYLOR, R. G. und CULIOLI, J. (2002)

High pressure processing of meat
In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds.)
Meat processing, improving quality
313-331. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England

Literaturverzeichnis

DENNIS, M. J., MASSEY, R. C., MCWEENY, D.J., KNOWLES, M. E., WATSON, D.

(1983)

Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in UK total diets

Food Chem. Toxicol. 21: 569-574

DERNDORFER, E. (2006)

Lebensmittelsensorik

1. Auflage

Verlag: facultas.wuv Universitätsbibliothek

ISBN 978-3-85076-753-8

DEUTSCHE-LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT e. V. (DLG) (2002)

DLG-Qualitätswettbewerb

Prüfbestimmungen für Fleischerzeugnisse, Fertiggerichte, Tiefkühlkost und Feinkost

Eigenverlag, Frankfurt am Main, 45. Auflage

DIN 1993	Farbmittel 1 – Pigmente, Füllstoffe, Farbstoffe, DIN 5033-1 bis DIN 55929
DIN 5033-1: 1979-03	Farbmessung – Teil 1: Grundbegriffe der Farbmetrik
DIN 5033-2: 1992-05	Farbmessung – Teil 2: Normvalenz-Systeme
DIN 5033-3: 1992-07	Farbmessung – Teil 3: Farbmaßzahlen
DIN 5033-6: 1976-08	Dreibereichsverfahren
DIN 5035-2: 1990-09	Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien (in wesentlichen Teilen abgelöst von DIN EN 12464-1)
DIN 6169-1: 1976-01	Farbwiedergabe – Teil 1: Allgemeine Begriffe
DIN 6169-2: 1976-02	Farbwiedergabe – Teil 2: Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik
DIN 6174: 1979-01	Farbmetrische Bestimmung von Farbabständen bei Körperfarben nach der CIE L*a*b*-Formel
DIN 10501-2: 2004-01	Food hygiene – display cabinets – Part 2: refrigerated display cabinets for refrigerated foodstuffs – Hygiene requirements
DIN 10504: 1996-07	Lampen für die Beleuchtung von Fleisch und Fleischerzeugnissen

Literaturverzeichnis

DIN 10950-1: 1999-04	Sensorische Prüfung – Teil 1: Begriffe
DIN 10950-2: 2000-10	Sensorische Prüfung – Teil 2: Allgemeine Grundlagen
DIN 10954: 1997-10	Sensorische Prüfverfahren; Paarweise Vergleichsprüfung
DIN 10961: 1996-08	Schulung von Prüfpersonen für sensorische Prüfungen (Ersatz für DIN 10961-1 und DIN 10961-2: 1986-11)
DIN 10962: 1997-10	Prüfbereiche für sensorische Prüfungen – Anforderungen an Prüfräume
DIN 10963: 1997-11	Sensorische Prüfverfahren - Rangordnungsprüfung
DIN 10964: 1996-02	Sensorische Prüfverfahren – Einfach beschreibende Prüfung
DIN 10967-1: 1999-10	Sensorische Prüfverfahren – Profilprüfung – Teil 1: Konventionelles Profil
DIN 10971: 2003-01	Sensorische Prüfverfahren – Duo-Trio-Prüfung
DIN EN 441-2: 1995-01	Verkaufskühlmöbel; Allgemeine mechanische und physikalische Anforderungen; Deutsche Fassung EN 441-2: 1994
DIN EN ISO 8402: 1995-08	Quality management and quality assurance – Vocabulary
DIN EN ISO 9000: 2000-12	Qualitätsmanagementnorm
DIN EN 12464-1: 2003-03:	Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Pkt. 3.1 Abschnitt 4. Deutsche Fassung EN 12464-1: 2002 (ersetzt weitgehend DIN 5035-1 bis 5035-4 und 5035-7)
DIN EN ISO 17025: 2007-05	Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
DIN ISO 4120: 2005-04	Sensorische Analyse – Prüfverfahren – Dreiecksprüfung (ISO/FDIS 4120:2004)

DOLATA, W. und RYWOTYCKI, R. (1984)

Brühwurstherstellung. Einfluss der Drehzahl der Messer und der Kutterschüssel auf
die Brätqualität und Dauer des Kuttervorgangs

Fleischwirtschaft 64(1): 21

DOLATA, W. (1997)

Einfluss des Schiffswinkels von Kuttermessern auf die Qualität von Brühwurst
Fleischwirtschaft 77(8): 700-703

DOLATA, W. (1998)

Bewertung der technologischen Arbeitseffektivität von Kuttermessern.
Teil 2: Messer und Schneidkante in Gestalt des Abschnitts einer logarithmischen
Spirale
Fleischwirtschaft 78(12): 1242-1244

DOLATA, W. (1999)

Bewertung der technologischen Arbeitseffektivität von Kuttermessern
Teil 3: Vergleichende Bewertung von Messern mit unterschiedlich gestalteten
Schneidkanten
Fleischwirtschaft 79(5): 94-97

DÜRRSCHMID, K. (2008)

Psychologie und Lebensmittelsensorik
Journal für Ernährungsmedizin 10(2): 15-19

DUNNE, P. G.; O`MARA, F. P.; MONAHAN, F. J.; FRENCH, P.; MOLONEY, A. P.

(2005a)

Colour of muscle from 18-month-old steers given long-term daily exercise
Meat Science 71(2): 219-229

DUNNE, P. G.; MONAHAN, F. J.; O`MARA, F. P.; MOLONEY, A. P. (2005b)

Colour stability, under simulated retail display conditions, of *M. longissimus dorsi* and
M. semimembranosus from steers given long-term daily exercise and supplement with
vitamin E
Meat Science 71(3): 480-489

EBERBACH, K. (2001)

Kann Licht den Verbraucher täuschen? Lichttechnische Aspekte bei einer neuen
Untersuchung des Lebensmittelinstituts KIN Neumünster zur Gefahr der Irreführung
Licht 53/2001: 288-296

ENDER, K. und AUGUSTINI, C. (2007)

Schlachtwert von Rind und Kalb

In: Branscheid, W., Honikel, K. O.; Von Lengerken, G.; Troeger, K. (Hrsg.)

Qualität von Fleisch und Fleischwaren, 2. Auflage

Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, S. 157-203

ISBN 3-87150-807-1

EUROPÄISCHER GERICHTSHOF (2005)

Gerichtsurteil Int. 2005, 44

EYSEL, U. (1996)

Sehsystem

In: Lehrbuch der Physiologie. Klinke, R. und Silbernagl, S. (Hrsg.)

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York; S. 585-610

ISBN 3-13-796002-9

FELDHUSEN, F., NEUMANN-FUHRMANN, D., HÄGER, O. UND WENZEL, S. (1987)

Farbmessung im Rahmen der Fleischqualitätsprüfung mit dem Minolta Chroma-Meter

Züchtungskunde 59(2): 146-157

FELDHUSEN, F. (1994)

Einflüsse auf die postmortale Farbveränderung der Oberfläche von
Schweinemuskulatur

Fleischwirtschaft 74(9): 989-991

FELDHUSEN, F. und REINHARD, H. J. (1994)

Farbveränderungen der Oberfläche von Schweinemuskulatur bei verschiedenen
relativen Kühlluftfeuchtigkeiten

Fleischwirtschaft 74(7): 765-768

FELDHUSEN, F., WARNATZ, A., ERDMANN, R. und WENZEL, S. (1995)

Influence of storage time on parameters of colour stability of beef

Meat Science 40(2): 235-243

FELDKAMP, H. (2004)

Die traditionelle Konservierung von Fisch, Fleisch und Wurst neu entdeckt
Südwest-Verlag
ISBN 978-3-51706-863-3

FERREIRA, G. B.; ANDRADE, C. L.; COSTA, F.; FREITAS, M. Q.; SILVA, T. J. P.;
SANTOS, I. F. (2006)

Effects of transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male
cattle carcasses
Meat Science 74(3): 459-466

FIGURA, L. O. (2004)

Lebensmittelphysik
Physikalische Kenngrößen — Messung und Anwendung
Springer Verlag Berlin, Heidelberg
ISBN 978-3-540-34990-7 (Online)

FINK-GREMMELS, J., DRESEL, J. und LEISTNER, L. (1990)

Einsatz von Monascus-Extrakten als Nitrit-Alternative bei Fleischerzeugnissen
Mitteilungsblatt BAFF 108: 191-200

FISCHER, A. (1988)

Produktbezogene Technologie – Herstellung von Fleischerzeugnissen
In: Prändl, O.; Fischer, A.; Schmidhofer, T. und Sinell, H.-J. (Hrsg.)
Fleisch – Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung
Ulmer Verlag, Stuttgart; S. 488-494

FISCHER, A., BRISTLE, A., GEHRING, U., HERRMANN, K. und GIBIS, M. (2005)

Umrötung von Brühwurst ohne Nitritpökelsalz
Farbe, Farbhaltung, Nitrit- und Nitratgehalte, sensorische Eigenschaften
Fleischwirtschaft 85(4): 110-115

FISCHER, C. (1981)

Veränderungen im Muskel nach dem Schlachten
Fleischwirtschaft 61(12): 1830-1836

FLIEDNER, I., WILHELMI, F. (1989)

Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittelsensorik

Behr-Verlag, Hamburg; S. 10–36

FREIER, F. (1992)

DuMont`s Lexikon der Fotografie: Kunst – Technik – Geschichte

DuMont Buchverlag, Köln

ISBN 3-7701-2982-2

FRICKER, A (1984)

Lebensmittel-mit allen Sinnen prüfen

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

ISBN 3-5401-3636-3

FRICKH, J. J.; BAUMUNG, R.; LUGER, K.; STEINWIDDER, A. (2002)

Einfluss der Kategorie (Stiere, Ochsen, Kalbinnen) und des Kraftfutterniveaus (Fütterungsintensität) auf der Basis von Gras- und Maissilage auf die Schlachtleistung und Fleischqualität

29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft

Gumpenstein, Irdning, 24.-25.04.02; S. 1-19

FRICKH, J. J. und SÖLKNER, J. (1997)

Die Messung der Fleischfarbe als Qualitätsmerkmal beim Rindfleisch – Ergebnisse eines Rassevergleichs

Züchtungskunde 69(3): 163-180

GALL, L. (2009)

<http://www.farbmatrik-gall.de/cielab/toleranz/index.html>

GERHARDY, H. (1994)

Untersuchung einer marktorientierten Rindfleischerzeugung auf der Basis von Schwarzbunten Jungbullen und Fleckvieh-, Limousin- und Weiß-Blaue Belgier Kreuzungen

Züchtungskunde 66(4): 281-296

GEUTLER, G. (1974)

Zur Farbmessung nach dem Dreibereichsverfahren
Dissertation Physik, Technische Universität Berlin

GIERLING, R. (2006)

Farbmanagement, 3. Auflage
Mitp-Verlag, ISBN 978-3-82661-626-6

GRABEIN, P. und RAEUBER, H.-J. (1989)

Zur Optimierung des Kutterprozesses. Untersuchungen zum Einfluss verschiedener
Parameter auf den Energieverbrauch eines Schneidmischers
Fleischwirtschaft 69(3): 423

GRACEY, J. F., COLLINS, D. S. (1999)

Meat Hygiene, 10. Auflage
Bailliere & Tindall, London-Philadelphia-Toronto-Sydney-Tokyo; S. 309-310

GRAU, F. H. (2001)

Meat and Meat products
In: Spoilage of Processed Food: Causes and Diagnosis. Moir, C. J. et al. (Ed.)
Southwood Press, Pty , Limited, Marrickville (Australia)

GRIMMER, G. (1983)

Environmental Carcinogens: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA

GRÜNEWALD, T. (1979)

Messung der Farbe und Festigkeit von Lebensmitteln
Mitteilung Gebiete Lebensmittelhygiene 70: 97-106

GRÜSSER, O. J. und GRÜSSER-CORNEHLS, U. (1995)

Gesichtssinn und Okulomotorik
In: Physiologie des Menschen. Schmidt, R. F. und Thews, G., (Hrsg.)
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; S. 278-313
ISBN 3-540-58034-4

GRUNDGESETZ FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (GG) (2009)

2. Auflage

DTV-Beck Verlag

ISBN 978-3-42305-703-5

HACK, K.-H., STAFFE, E. und GERHARDT, U. (1976)

Fleischverarbeitungssysteme. Verarbeitungsmaterial – Atlas für die Fleisch- und
Wurstwarenproduktion

Fa. Gewürzmüller (Hrsg.), Stuttgart

HAMM, R. (1964)

Über das Farbhaltungsvermögen von Rindfleisch

Fleischwirtschaft 44(2): 773-778

HAMM, R. (1975)

Muskelfarbstoff und Fleischfarbe

Fleischwirtschaft 55(10): 1415-1418

HAMBRECHT, E., EISSEN, J. J., NEWMAN, D. J., SMITS, C. H. M., DEN HARTOG, L.

A. und VERSTEGEN, M. W. A. (2005)

Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated
by suboptimal transport and lairage conditions

Journal of Animal Science 83: 440-448

HARPF, H. (2000)

Color management

Grundlagen und Anwendung (Teil 1)

Color Solutions Consulting, Penzberg

HEITING, N. (1989)

Rosige Aussichten?

Chancen der Produktion von "rosarotem Kalbfleisch"

Der Tierzüchter 41: 22-24

HELLERICH, W., HARSCH, G., HAENLE, S. (2004)

Werkstoff-Führer Kunststoffe, 9. Auflage

Eigenschaften, Prüfungen, Kennwerte

Hanser-Verlag

ISBN 3-446-22559-5

HERING, E. (2007)

Zur Lehr vom Lichtsinne

Reprint des 2. unveränderten Abdrucks

Saarbrücken, VDM, Müller

HIEGEMANN (2002)

Vergleich zweier Zuführungssysteme zur Elektrobetäubung von Schlachtschweinen
hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Fleischbeschaffenheit

Vet. Med. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

HÖRETH, R. und DOBROWOLSKI, A. (1994)

Opto-Star – eine Alternative in der Helligkeitsmessung?

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 33: 5-12

HOFMANN, K. (1987)

Der Begriff Fleischqualität. Definition und Anwendung

Fleischwirtschaft 67(1): 44-49

HOFMANN, K und HONIKEL, K. O. (2007)

Der Qualitätsbegriff bei Fleisch

In: Branscheid, W.; Honikel, K. O.; Von Lengerkern, G.; Troeger, K. (Hrsg.)

Qualität von Fleisch und Fleischwaren, 2. Auflage

Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main; S. 79-82

ISBN 3-87150-807-1

HOMANN, J.-P. (2007)

Digitales Colormanagement

Grundlagen und Strategien zur Druckproduktion, 3. Auflage

Reihe: X.media.press, ISBN 978-3-54020-969-0

HONIKEL, K. O. und EGGINGER, R. (1984)

Einsatz verschiedener Kuttermesser bei der Brühwurstherstellung
Fleischwirtschaft 64(5): 618

HONIKEL, K. O. (2000)

Standardisierung physikalischer Messverfahren bei Fleisch
Fleischwirtschaft 80(7): 75-81

HONIKEL, K. O. (2007a)

Physikalische Messmethoden zur Erfassung der Fleischqualität
In: Branscheid, W.; Honikel, K. O.; Von Lengerkern, G.; Troeger, K. (Hrsg.)
Qualität von Fleisch und Fleischwaren, 2. Auflage
Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main; S. 855-880
ISBN 3-87150-807-1

HONIKEL, K. O. (2007b)

Physikalische Merkmale von Fleisch
Fleischwirtschaft 5 (2007): 90-93

HONIKEL, K. O. (2007c)

Behandlungen von frischem Fleisch, Hochdruckbehandlung von Fleisch,
Veränderungen von Fleischfarbe und Analyse von Fleisch
Bearbeitet von Honikel, K. O. – BAFF Kulmbach
Fleischwirtschaft 1 (2007): 80

HOOD, D. E. (1980)

Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef
Meat Science 4: 247-265

HORNSEY, H. C. (1956)

Journal of the Science of Food and Agriculture 7: 534-540

HUBEL, D.H. (1990)

Auge und Gehirn
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg

- HULSEGG, B., ENGEL, B., BUIST, W., MERKUS, G. S. M. und KLONT, R. E. (2001)
Instrumental colour classification of veal carcasses
Meat Science 57(2): 191-195
- ISO 3664:2000-09
Betrachtungsbedingungen für die graphische Technologie und die Photographie
- ISO 8587: 2003-08
Sensorische Analyse – Methodologie – Rangordnungsprüfung
(Überarbeitung von ISO 8587: 1988)
- JAKOB, H., OMLOR, M. (2005)
Fleischerhandwerk
Zusatzstoffe bei der ökologischen Wurstherstellung
http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/oeko_lehrmittel/Ernaehrungswirtschaft/Fleischerhandwerk/fl_modul_b/fl_b_04/flmb04_01.pdf
- JAKOBSEN, M. und BERTELSEN, G. (2000)
Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time and modified atmosphere composition
Meat Science 54(1): 49-57
- JAYASINGH, P., CORNFORTH, D. P., CARPENTER, C. E. und WHITTIER, D. (2001)
Meat Science 59: 317-324
- JELLINEK, G. (1981)
Sensorische Lebensmittelprüfung. Lehrbuch für die Praxis
Doris & Peter Siegfried Verlag, Pattensen
- JEREMIAH, L. E., SMITH, G. C. UND CARPENTE, Z. (1972)
Beef colour as related to consumer acceptance and palatability
Journal of Food Science 37(3): 476-479

JIRA, W. (2003)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in geräucherten Fleischerzeugnissen
und Rauchkondensaten
Fleischwirtschaft 83(3): 160-163

JIRA, W. (2004)

Chemische Vorgänge beim Pökeln und Räuchern
Teil 2: Räuchern

JOSHI, P. und BRIMELOW, C. J. B. (2002)

Colour measurement of foods by colour reflectance
In: Colour in food, improving quality. MacDougall, D. B. (Ed.)
80-114. Woodhead Publishing, Cambridge, England

JUNGE, M. (2008)

Farbmessung an Rinderschlachttierkörpern unter Praxisbedingungen mit Festlegung
von Normbereichen für die Farbparameter
Vet. Med. Diss., LMU München

KARG (2009)

www.karg-industrietechnik.de/pfoukte/farbglanzmessgeraete/Farbmessgeraete.php

KAZAROV, D. (1979)

Untersuchungen über den Einfluss der Behandlung vor der Schlachtung auf die
Fleischfarbe von im Freien aufgezogenen Jungbulln
Schlachten und Vermarkten 79(2): 49

KIERMEIER, F., HAEVECKER, U. (1972)

Sensorische Beurteilung von Lebensmitteln
Bergmann, München; S. 37-41

KIESECKER, M. (2009)

Warenpräsentation im Einzelhandel
[http://s2.teamlearn.de/public/bsnu-
praesent.nsf/dansicht/61D70B25E07C125679B003421C7?OpenDocument](http://s2.teamlearn.de/public/bsnu-praesent.nsf/dansicht/61D70B25E07C125679B003421C7?OpenDocument)

- KIM, Y. S., YOON, S. K., SONG, Y. H. und LEE, S. K. (2003)
Effect of season on colour of Hanwoo (Korean native cattle) beef
Meat Science 63(4): 509-513
- KING, T. (2005)
„The Window on imaging“
Human Color Perception, Cognition and Culture. Why “red” is always red
IS&T The Reporter, Volume 20, No. 1, MC Dowell, D. Q. (Eds.)
Department of Anthropological Sciences, Stanford University, California
- KLETTNER, P. G. und STIEBING, A. (1980)
Beitrag zur Bestimmung der Farbe von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Einführung in die Grundlagen der Farbmessung
Fleischwirtschaft 60(11): 1970-1980
- KLETTNER, P.-G. (1982)
Einfluss der Beleuchtung auf das Aussehen von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft 62(12): 1532-1538
- KLETTNER, P. G. (1995)
Homogene Brühwurst. Bestimmung der Farbe mit Farbmessgeräten
Fleischwirtschaft 75(3): 263, 266, 284
- KLETTNER, P.-G. (2002)
Einfluss des pH-Wertes auf verschiedene Untersuchungsparameter bei Brühwurst
Fleischwirtschaft 82(5): 122-124
- KLETTNER, P. G. und TERSTIEGE, H., (1999)
Bedeutung der Beleuchtung auf das Aussehen von Fleisch und Fleischprodukten
Fleischwirtschaft 79(6): 91-94
- KLETTNER, P. G. und TROEGER, K. (2000)
Technologie der Herstellung von Roh- und Brühwurst mit vermindertem Nitritzusatz
Fleischwirtschaft 80(5): 82-85

KLINKE, R. und SILBERNAGL, S. (1996)

Lehrbuch der Physiologie

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

ISBN 3-13-796002-9

KONICA-MINOLTA (2002)

Chroma-Meter CR-400/410

Benutzerhandbuch

KONICA-MINOLTA (2004)

Exakte Farbkommunikation – vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung

Broschüre zur Farbmessetechnik

Konica-Minolta, Langenhagen

KRAUSSE, G. und KOTTER, L. (1989)

Sensorische Untersuchung von Lebensmitteln

Referat anlässlich des 10. Seminars „Tierernährung für Tierärzte“, München

KRÖCKEL, L. (2007)

Ein bakterielles Carotinoid färbt vorverpackte, kühl gelagerte Weißwurst gelb

Mitteilungsblatt BAFF 178: 223-230

KÜHNE, D. (2002)

Aktuelles aus der internationalen Fleischforschung

Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach

Fleischwirtschaft 82(2): 76-77

LAWRIE, R. A. (1985)

Meat Science

Pergamon Press, Oxford

ISBN 0-08-030790-6

LAWRIE, R. A. (1998)

Lawrie`s Meat Science, 6th edition

Woodhead Publishing Limited, Cambridge; S. 212 ff

- LEBENSMITTEL-, BEDARFSGEGENSTÄNDE- und FUTTERMITTELGESETZBUCH
(LFGB) (2008)
Vom 01.09.2005, zuletzt geändert am 26.2.2008
BGBL. I S. 215
- LEBENSMITTELKENNZEICHNUNGS-VERORDNUNG (LMKV) (2007)
§ 7 (Mindesthaltbarkeitsdatum)
Ausfertigungsdatum 22.12.1981
Zuletzt geändert durch Art. 1 d. V. v. 18.12.2007
- LEISTNER, L.; WIRTH, F. und VUKOVIC, I. (1979)
SSP (Shelf Stable Products) – Fleischerzeugnisse mit Zukunft
Fleischwirtschaft (59): 1313
- LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008a)
Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008
I.1.1 „Fleisch für Fleischerzeugnisse“
- LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008b)
Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008
I.2 „Fleischerzeugnisse“
- LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008c)
Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008
I.2 „Fleischerzeugnisse“
I.2.2 „Wurstwaren“
- LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008d)
Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008
I.2 „Fleischerzeugnisse“
I.2.22 „Brühwürste“

LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008e)

Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008

I. 2.2 „Wurstwaren“, I.2.21 „Rohwürste“, I. 2.22 „Brühwürste“, I. 2.23 „Kochwürste“,
I. 2.3 „gegarte Pökelfleischerzeugnisse“, I. 2.4 „rohe Pökelfleischerzeugnisse“ und I.
2.5 „spezielle Fleischteilstücke und spezielle Fleischgerichte“

LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008f)

Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008

I. 2.12 „hervorhebende Hinweise“

LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008g)

Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008

I. 1.8 „Zusätze“

LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008h)

Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008

I. 1.75 „Fremdeiweiß“

LEITSÄTZE für Fleisch und Fleischerzeugnisse des Dt. Lebensmittelbuches (2008i)

Vom 28.11.1974, zuletzt geändert am 08.01.2008

I. 1.42 „Blutplasma“ und I. 1.43 „Blutserum“

LIEBICH, H. G. (1999)

Sinnesorgane – Sehorgan

In: Funktionelle Histologie der Haussäugetiere. Liebich, H.-G. (Hrsg.)

Verlag Schattauer, Stuttgart, New York; S. 332-344

ISBN 3-7945-1899-3

LIEBICH, H.-G. und KÖNIG, H. E. (1999)

Sehorgan (Organum visus)

In: König, H. E. und Liebich, H. G. (Hrsg.) Anatomie der Haussäugetiere. Band 2:
Organe, Kreislauf- und Nervensystem.

Verlag Schattauer, Stuttgart, New York; S. 287-308

ISBN 3-7945-1862-4

LOOS, H. (1989)

Farbmessung – Grundlagen der Farbmeterik und ihre Anwendungsbereiche in der Druckindustrie

Verlag Beruf + Schulze, Itzehoe

ISBN 3-88013-380-8

LU, J., TAN, J., SHATADAL, P. und GERRARD, D. E. (2000)

Evaluation of pork colour by using computer vision

Meat Science 56(1): 57-60

LÜCKE, F.-K. (2008)

Vortrag auf der 43. Kulmbacher Woche

16.07.2008

MAC DOUGALL, D. B. (2002a)

Colour measurement of food

In: MacDougall, D. B. (Ed.)

Colour in food, improving quality

49. Woodhead Publishing in food science and technology, Cambridge, England

MAC DOUGALL, D. B. (2002b)

Colour measurement of food: principles and practice

In: MacDougall, D. B. (Hrsg.)

Colour in food, improving quality

33-63. Woodhead publishing in food science and technology, Cambridge, England

MAHLER, C. (2004)

Untersuchungen zur hygienischen und mikrobiologischen Qualität von marinierten Fleischzubereitungen zur Festlegung von Richtwerten bei der Kontrolle des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD)

Vet. Med. Diss., München

MARSH, B. B. and CARSE, W. A. (1974)

Meat tenderness and sliding filament hypothesis

Journal of Food Technology 9: 129-132

MATZKE, P., HOLZER, A. und PESCHKE, W. (1992)

Vergleich des Farbmessgerätes „Minolta Chroma-Meter CR-100“ mit anderen Geräten zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit

Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 69(3): 307-322

MC DARRAH, F. W. und MC DARRAH, G. S. (1999)

The Photography Encyclopedia

Schirmer Books, New York

ISBN 0-02-865025-5

MCKINSEY (2007)

Einkaufsverhalten: Lebensmittelhandel vor dem Umbruch

Laut einer McKinsey-Studie treibt Bequemlichkeit beim Einkauf die Kunden am meisten an

Fleischwirtschaft 9/2007: 74

MILLER, R. K. (2002)

Factors affecting the quality of raw meat

In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Eds.)

Meat processing, improving quality

27-57. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England

MIELNIK, J. (1982)

Einfluss der Rohstoffzusammensetzung auf Farbkennziffern feinerklesnerter Brühwürste

In: Farbe, methodische Grundlagen ihrer Bestimmung und colorimetrische Berechnung

Fleischwirtschaft 62(5): 637-638, 641-643

MILTENBURG, G. A. J., WENSING, T., SMULDERS, F. J. M. und BREUKINK, H. J.

(1992)

Relationship between blood hemoglobin, plasma and tissue iron, muscle heme pigment and carcass colour of veal

Journal of Animal Science 70(9): 2766-2772

MÖHLER, K. (1980)

Das Pökeln

Fleischforschung und Praxis, Heft 7

Verlag der Rhein-hessischen Druckerwerkstätte, Alzey

MÜLLER, G. und WEBER, H. (1996)

Mikrobiologie der Lebensmittel – Grundlagen

Behr's Verlag, Hamburg

ISBN 3-86022-209-0

MUCK (2000)

Beitrag zur Erfassung von Merkmalen der Muskelfleischqualität durch instrumentelle

Ermittlung der Farbwerte L*, a* und b* an Tierkörperstücken von Schlachtschweinen

Vet. Med. Diss., Universität Leipzig

MUCK, C. und SCHARNER, E. (1998)

Farbverläufe des M. longissimus dorsi von Schlachtschweinen über 24 Stunden

In: 39. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes „Lebensmittelhygiene“ vom 22. – 25.09.1998, Garmisch-Partenkirchen; S. 152 – 163

ISBN 3-930511-59-2

NAM, K. C. und AHN, D. U. (2002)

Meat Science 60: S. 25-33

NEUBAUER, T. (2009)

Grundbegriffe im Farbmanagement

www.thone.at/grundbegriffe-im-farbmanagement/

NEUMANN, R., MOLNÁR, P. (1991)

Sensorische Lebensmitteluntersuchung; 2. Auflage

Fachbuchverlag, Leipzig

NEUMÜLLER, A. (1972)

Römpps Chemie-Lexikon; 7. Auflage

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart

NITSCH, P. (2008)

Aufrötung von Rindfleisch durch Sauerstoffdruckbehandlung

1. Physikalisch-chemische Grundlagen

Mitteilungsblatt BAFF 182: 253-258

N. N. (1973)

Meyers Physik-Lexikon

Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich

Meyers Lesikonverlag, Mannheim

ISBN 3-411-00921-7

N. N. (1991)

Römpps Chemie-Lexikon

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

ISBN 3-13-734909-5

N. N. (1997a)

BROCKHAUS, Vierter Band

N. N. (1997b)

BROCKHAUS, Zwölfter Band

N. N. (2000)

Broschüre Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde

Zusatzstoffe in Lebensmitteln

N. N. (2005a)

Täuschung durch Rotlicht?

Allgemeine Fleischer Zeitung 31/2005

N. N. (2005b)

Schönfärberei beklagt –DIN-Norm für künstliche Beleuchtung soll abgeschafft werden

Der Metzgermeister 33/2005

N. N. (2009a)

www.lebensmittellexikon.de/p0000440.php

N. N. (2009b)

<http://www.lebensmittelkontrolle.de/lebensmittelkontrolleur/loadFile.php?file=220033>

N. N. (2009c)

<http://www.dividano.de/wellenlaenge-farben.html>

N. N. (2009d)

Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen

<http://lehrerfortbildung-bw.de/kompetenzen/gestaltung/farbe/physik/spektrum/>

N. N. (2009e)

http://www.uni-regensburg.de/EDV/Misc/CompGrafik/Script_5.html

N. N. (2009f)

www.augenklinik-duisburg.de/.../aufbau_auge.jpg

N. N. (2009g)

www.admphotronics.co.uk/ledciechart.html

N. N. (2009h)

<http://www.sares.at/index.php?id=266>

N. N. (2009i)

[www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/allgemein/Lagerung von Fleisch und Wurst.pdf](http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/allgemein/Lagerung_von_Fleisch_und_Wurst.pdf)

N. N. (2009j)

<http://www.electronicscout24.de/search.do?categoryId=&userQuery=1&searchText=leuchtmittel+f%FCr+Fleisch>

N. N. (2009k)

<http://preisvergleich.abacho.com/search.do?searchText=lampen+fleisch&categoryId=&userQuery=1>

N. N. (2009l)

http://www.lampenhandel.de/lampen_leuchten/leuchten/leuchten-fuer-fleischerei-wurstwaren/pendelleuchte-sdwt100w-sdw-t100w-baeckerei-theke-3.html
http://www.lampenhandel.de/lampen_leuchten/lampen-leuchtmittel/baero-lampen/baero-bfl-top/baero_lampe_sdw-t_bfl_top_3306_3312_50w_100w.html

N. N. (2009m)

<http://www.gesundheit.de/anatomie-lexikon/sinnesorgane/geschmackssinn.shtml>

N. N. (2009n)

Schlachtzahlen Deutschland

<http://www.raiffeisen.com/news/artikel/30211684>

N. N. (2009o)

<http://www.voltimum.at/find/page-1-10-1/collec-vltsearch/neon-leuchtstoffr%F6hren-als-lampe.html>

N. N. (2009p)

<http://www.tu-ilmenu.de/fakmb/fileadmin/template/fglt/Download/Praktikum/Scheinwerfer.pdf>

N. N. (2009q)

http://www.mercateo.com/p/8-10200820913340/Verkaufsraum_Buero_Hotel_Restaurant_Bar_Spezielle_Leuchtstofflampen_TL_D_36W_79_G13_Philips_Shopligh.html

N. N. (2009r)

http://www.faes.de/NN_in_der_Farbmetrik/NN_Erklaerung_Farbraum/NN_Erklaerung_Normfarbwerte/nn_erklaerung_normfarbwerte.html

N. N. (2009s)

<http://www.verbraucherzentrale-bremen.de/search.html?ps=10&q=beleuchtung&o=0&m=bool&wm=wr&lang=de&wf=2221&s=RPD&sy=1&sp=1>

OSTER und FEWSON (1990)

Untersuchungen über die Messung der Fleischfarbe von Schweinen mit dem Chroma-Meter der Firma Minolta

Züchtungskunde 62(2): 141-157

O`SULLIVAN, M. G., BYRNE, D. V., MARTENS, H., GIDSKEHAUG, L. H.,

ANDERSEN, H. J. und MARTENS, M. (2003)

Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis

Meat Science 65(2): 909-918

PAGE, J. K., WULF, D. M. und SCHWOTZER, T. R. (2001)

A survey of beef muscle colour and pH

Journal of Animal Science 79(3): 678-687

PAULUS, K., KOCH, T. (2000)

Die Sensorik hat viele Aufgaben

Fleischwirtschaft 80: 64-67

PCM Licht und Systeme GmbH (04/2009)

http://www.pcm-licht.de/zen-cart/index.php?main_page=index&cPath=118_65_74_76

PETÄJÄ, E. (1977)

Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeiten von Starterkulturen bei Brühwurst

Fleischwirtschaft 57: 109-112

PETRACCI, M. und FLETCHER, D. L. (2002)

Broiler skin and meat colour changes during storage

Poultry Science 81: 1589-1597

PETSCHKE, H. J. (2005)

Graßmann

Birkhäuser Verlag

ISBN 978-3-76437-257-6

PETTE, D. und STARON, R. S. (1990)

Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibres
Reviews in Physiology, Biochemistry and Pharmacology 116: 2-76

PICHNER, R. (2005)

Fleischforschung - Mikrobiologie von Fleisch und Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft 85(7): 90

PÖHLE, H. und WIDELL, S. (2001)

Untersuchung zur Gefahr der Irreführung bei der Beleuchtung von Fleischwaren
-> Bewertung des Aussehens unter verschiedenen Beleuchtungsvarianten
Fleischwirtschaft 81(5): 202-204

POTTHAST, K. (1987)

Fleischfarbe, Farbstabilität und Umrötung
Fleischwirtschaft 67(1): 50-55

PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T. und SINELL, H.-J. (1988a)

Farbe

In: Fleisch – Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart; S. 697-702
ISBN 3-8001-2135-2

PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T. und SINELL, H.-J. (1988b)

Kühlen der Schlachttierkörper

In: Fleisch – Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart; S. 94-103
ISBN 3-8001-2135-2

PRICE, J. F. und SCHWEIGERT, B. S. (1971)

The science of meat and meat products
W. H. Freeman and Company, San Francisco
ISBN 0-7167-0820-5

- PROBST, A. J., HERTEL, C., RICHTER, L., WASSIL, L., LUDWIG, W. und HAMMES, W. P. (1998)
Staphylococcus condimenti sp. nov., from soy sauce mash, and Staphylococcus carnosus (Schleifer und Fischer 1982) subsp. utilis subsp. nov.
Int. J. System. Bacteriol. 48: 651-658
- RAL (2009)
Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.
<http://www.ral-farben.de/ral-design-aufbau.html>
Die Darstellung erfolgt mit Genehmigung der RAL gGmbH, Sankt Augustin. Die Bezeichnung RAL ist markenrechtlich geschützt (RAL, 2009).
- RANKEN, M. D. (1973)
A new method of curing
IFST-Proceedings 6: 157-163
- REICHARDT, W., WARZECHA, H., HANSCHMANN, G. und BARGHOLZ, J. (1997)
Über einige analytische Fleischqualitätsmerkmale bei Mastbullen, -ochsen und -färsen verschiedener Rassen und ihrer Kreuzungsprodukte
Züchtungskunde 69(5): 366-384
- RENERRE, M. (1990)
Factors involved in the discoloration of beef meat
International Journal of Food Science and Technology 25(6): 613-630
- REUTER, G. (1996)
Mikrobiologie des Fleisches
In: Weber, H. (Hrsg.) Mikrobiologie der Lebensmittel, Fleisch und Fleischerzeugnisse
Behr's Verlag Hamburg
ISBN 3-8602-2209-0
- RICHTER, M. (1981)
Einführung in die Farbmeterik
Verlag de Gruyter, Berlin, New York
ISBN 3-11-008209-8

RICHTLINIE 93/99 EWG des Rates vom 29. Oktober 1993 (1993)

über zusätzliche Maßnahmen im Bereich der amtlichen Lebensmittelüberwachung
ABl. Nr. L 290 vom 24.11.1993; S. 14

RICHTLINIE 93/119 EG des Rates vom 22. Dezember 1993 (1993)

über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Schlachtung oder Tötung
ABl. L 340 vom 31.12.1993

RICHTLINIE 95/2/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 20.02.1995 (1995)

über andere Lebensmittelzusatzstoffe als Farbstoffe und Süßungsmittel
ABl. Nr. L 61 vom 18.03.1995

RICHTLINIE 2002/72/EG der Kommission vom 06. August 2002 (2002)

Über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit
Lebensmitteln in Berührung zu kommen
ABl. Nr. L 220/18

RICHTLINIE 2008/84/EG der Kommission vom 27. August 2008 (2008)

zur Festlegung spezifischer Reinheitskriterien für andere Lebensmittelzusatzstoffe als
Farbstoffe und Süßungsmittel
ABl. Nr. L 253 vom 20.09.2008

RIEBLINGER, K., SANDMEIER, D. (2005)

Sauerstoff-Scavenger
aus: Arbeitsgruppe Qualität und Sicherheit verpackter Lebensmittel

RÖDEL, W. (1991a)

Messgrößen und transportable Messgeräte für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle
Fleischwirtschaft 71(10): 1168-1175

RÖDEL, W. (1991b)

Messgrößen und transportable Messgeräte für die innerbetriebliche Qualitätskontrolle,
Fleischwirtschaft 71(11): 1260-1268

ROSENVOLD, K. und ANDERSEN, H. J. (2003)

The significance of pre-slaughter stress and diet on colour and colour stability
Meat Science 73 (2): 378-385

RUDOLPH, K. (2010)

Mikrobiologische Befundung und sensorische Untersuchung
Widerspruch und Tatsachenfindung
Vet. Med. Diss. (in Vorbereitung)

SAITO, K., AHMED, A., TAKEDA, KAWAHARA, S., IRIE, M., MUGURUMA, M. (2007)

Effects of a humidity-stabilizing sheet on the colour and K-values of beef stored at
cold temperatures
Meat Science 75 (2007): 265-272

SAKATA, R. und HONIKEL, K. O. (2001)

Untersuchungen zu physikalisch-chemischen Eigenschaften roter Pigmente in
Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft 81(5): 182-189

SALOMON, H. und KARRER, R. (1932)

Ein Farbstoff aus „rotem“ Reis, Monascin
Helv. Chim. Acta 15: 18-22

SCF (2002)

Opinion of the Scientific Committee of Food on the risks to human health of polycyclic
aromatic hydrocarbons in food
Drucksache SCF/CS/CNTM/PAH/29 Final vom 4.12.2002

SCHARNER, E., SCHIEFER, G. (1996)

Farbmetrische Untersuchungen am M. longissimus dorsi von Schlachtschweinen
Fleischwirtschaft 76 (1996): 1120-1124

SCHIEFER, G. und SCHÖNE, R. (1981)

Brühwurstherstellung mittels Starterkulturen.
Nahrung 25(10): 915-920

SCHINDLER, H. (1998)

Kundenorientiertes Preislagenmanagement

Buchverlag Dr. Hermann Schindler

ISBN 978-3-93361-099-7

SCHMIDT, R. F. und THEWS, G. (1993)

Physiologie des Menschen

Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

ISBN 3-540-57104-3

SCHMIDT, Erken (2004)

Verkaufsbeleuchtung von Frische-Lebensmitteln, Teil 1 Warenschädigung

Zeitschrift LICHT, Jg. 56, Nr. ½; S. 50 – 57

SCHÜNGEL, F.-M. (1999)

Filter

<http://www.foto-net.de/net/objektive/filter.html>

SCHULZE, W. (1975)

Farbenlehre und Farbmessung, 3. Auflage

Springer Verlag, Berlin

ISBN 3-540-07214-4

SCHWÄGELE, F (1999)

Kühlung, Kühlagerung und Fleischreifung – Chemische und physikalische

Grundlagen – 2. Biochemische Vorgänge

Fleischwirtschaft 79(6): 103-106

SEBASTIÁN, I., LHOUTELLIER, V. S., MARTY-MAHÉ, P., WISEL, P., BROSSARD, D.,
LE POTTIER, G. und MONIN, G. (2003)

Characterization of turkey breast meat quality using colour image analysis

Proceedings XVIth European Symposium on the quality of poultry meat & Xth

European Symposium on the quality of eggs and egg products

Saint-Brieuc, France; S. 54-59

SEIDEMANN, S. C., CROSS, H. R., SMITH, G. C. und DURLAND, P. R. (1984)

Factors affecting fresh meat colour: a review

Journal of Food Quality 6(3): 211-237

SESSELMANN, U., BRUNNER, E. und ZELLNER, M. (1995)

Farbstoffe in Fleischerzeugnissen. Neue Möglichkeiten aufgrund der „EG-Richtlinie über Farbstoffe, die in Lebensmitteln verwendet werden dürfen“

Fleischwirtschaft 75: 1288-1291

SHAHIDI, F. and PEGG, R. B. (1991)

Encapsulation of the pre-formed cooked cured-meat pigment

Journal of Food Science 56(6):1500-1504

SILBERNAGL, S. und DESPOPOULOS, A. (1991)

Taschenatlas der Physiologie

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

ISBN 3-13-567704-0

SILVESTRINI, N. und FISCHER, E. P. (1989)

Farbsysteme in Kunst und Wissenschaft

DuMont Bucherverlag, Köln

ISBN 3-770-4397-3

SIMON, G. (1977)

Licht und Farbe in Verkaufsräumen für Fleisch und Fleischerzeugnisse

Fleischwirtschaft 75(8): 1448-1455

SIMON, K. (2007)

Farbe im Digitalen Publizieren

Konzepte der digitalen Farbwiedergabe für Office, Design und Software

Springer Verlag Berlin, Heidelberg

ISBN 3-5403-7327-6

SORHEIM, O., JOHANNESSEN, C. T., CORNFORTH, D., LANDSRUD, O., BERG, P. and NESBAKKEN, T. (2004)

Carbon monoxide as a substitute for nitrite in meat batter systems
50th Int. Congr. Meat Science and Technology, Helsinki, 6.31; S. 307

STEINER, I. und SCHARNHORST, K. (2008)

Anforderungen an Bestrahlungslampen für Verkaufstheken im Lebensmittelhandel
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften
Publikation Technische Universität Wien

STEINHAUF, D., PAHL, G. H. M. und WENIGER, J. H. (1964)

Methoden zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit
1. Mitteilung: Ein Gerät zur objektiven Bestimmung der Fleischfarbe
Fleischwirtschaft 44(4): 318-320

STEINHAUF, D., WENIGER, J. H. und PAHL, G. H. M. (1965)

Methoden zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit
3. Mitteilung: Farbe und Zähigkeit
Fleischwirtschaft 45(1): 29-33

STEVENSON, J. M., SEMAN, D. L., WEATHERALL, I. L. und LITTLEJOHN, R. P. (1989)

Evaluation of venison colour by an objective method using CIE Lab values
Journal of Food Science 54(6): 1661-1662

STIEBING, A. und ARNETH, W. (1998)

Handbuch Fleisch und Fleischwaren, 3. Erg.-Lfg.
Behr's Verlag, Hamburg
ISBN 978-3-86022-279-9

STIEBING, A. und KLETTNER, P. G. (1980a)

Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen
2. Praktische Erfahrungen mit dem Elrephomat DFC 5
Fleischwirtschaft 60(12): 2179-2180, 2182-2183, 2208

STIEBING, A. und KLETTNER, P. G. (1980b)

Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleischerzeugnissen
Mitteilungsblatt BAFF 69: 4228-1232

STOLLE, A. (1987)

Zur Durchführung der amtlichen Hilfsuntersuchungen (VwV FIHG) bei abweichenden
Fleischqualitätsparametern
Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung 39(8): 166-168

STOLLE, A. (2001)

Fleisch und Wurst richtig beleuchten
Fleischwirtschaft 81(8): 47-48

STROMSTAD, G. M., SORHEIM, O., HOYEM, T. und LEA, P. (1993)

Use of vacuum or nitrogen gas flushing during chopping to improve cured colour of
cooked sausage
39th Int. Congr. Meat Science and Technology, Calgary, S7P34.WP

STÜMPEL, G. (1997)

Eigenschaften von mit Karmin, Betanin und β -Carotin gefärbter Brühwurst
Fleischwirtschaft 77: 435-438

TAN, T. SCHMITT, V. und ISZ, S. (Oktober 2001)

Electronic Tongue: a new dimension in sensory analysis
Food Technology; S. 44 - 50

TAUSCHITZ, B., WASHÜTTL, M., WEPNER, B. und TACKER, M. (2003)

MAP-Verpackungen: Ein Drittel nicht optimal
Pack aktuell (3): 6-8

TERSTIEGE, H., KLETTNER, P.-G. (1992)

Anforderungen an Lampen zur Beleuchtung von Fleischwaren
10. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der
Niederlande, Österreichs und der Schweiz, 14.-17.09.1992 in Saarbrücken
Tagungsberichte; S. 563-576

TERPLAN, G. (1969)

Biologische, chemische und physikalische Vorgänge bei der Herstellung von gepökelten und gereiften Fleischwaren

Gerhard Röttger Verlag

Habil. Vet. Med., München

THIEMIG, F., BUHR, H. und OELKER, P. (2000)

Gibt es Alternativen zum Pökeln mit Nitrit?

Fleischwirtschaft 80(1): 106-110

THIEMIG, F., TSEDENDAMBA, U. und OELKER, P. (2001)

Umrötung von Brühwurstbrät mit einem Gasgemisch aus Stickoxid und Stickstoff

Fleischwirtschaft 81(9): 101-105

TIERSCHUTZSCHLACHTVERORDNUNG (TierSchlV) (1997)

Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung

Zuletzt geändert durch BGBl. I S. 855 vom 13. April 2006

Diese Verordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 93/119/EG

TIERSCHUTZTRANSPORTVERORDNUNG (TierSchTrV) (2009)

Verordnung zum Schutz von Tieren beim Transport und zur Durchführung der VO (EG) 1/2005

BGBl. I S. 375

TILGNER, (1979)

Textur – ein sensorischer Qualitätskomplex, Teil I und II

Fleischwirtschaft 59: 932-938, 1094-1102

VAN DE WATER, G., VERJANS, F und GEERS, R. (2003)

The effect of short distance transport under commercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal

Livestock Production Science 82(2/3): 171-179

VAN OECKEL, M. J., WARNANTS, N., BOUCQUÉ, C. V. (1999)

Measurement and prediction of pork colour

Meat Science 52(4):347-354

VO (EG) 1/2005

über den Schutz von Tieren beim Transport und damit zusammenhängenden Vorgängen sowie zur Änderung der Richtlinien 64/432/EWG und 93/119/EG und der VO (EG) 1255/97

Amtsblatt des Rates L 3 vom 05.01.2005; S. 1

VO (EG) 178/2002

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 28.01.2002

Art. 14 Abs. 1 i. V. m. Abs. 2

VO (EG) 208/2005

zur Änderung der VO (EG) 466/2001 im Hinblick auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Amtsblatt der Europäischen Union L 34/3 vom 08.02.2005

Anhang, Abschnitt 7, „Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe“

VO (EG) 244/2009

zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht

Amtsblatt der Europäischen Union L 76/3 vom 18.03.2009

VO (EG) 852/2004

Amtsblatt der Europäischen Union L 139/1 vom 29. April 2004

Anhang II, Kapitel I, Nr. 7

VO (EG) 853/2004 (2004a)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004

Kapitel 1, Artikel 1, Absatz 1, Buchstabe c)

VO (EG) 853/2004 (2004b)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004
Anhang I, Nr. 1.

VO (EG) 853/2004 (2004c)

Amtsblatt der Europäischen Union L139 vom 30.04.2004
Anhang I, Nr. 7.1.

VO (EG) 853/2004 (2004d)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004
Anhang III, Abschnitt I, Kapitel VII

VO (EG) 853/2004 (2004e)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004
Anhang III, Kapitel III

VO (EG) 853/2004 (2004f)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004
Kapitel III, Abschnitt V, Kapitel I, Nr. 3

VO (EG) 853/2004 (2004g)

Amtsblatt der Europäischen Union L 139 vom 30.04.2004
Anhang III, Abschnitt V, Kapitel III

VO (EG) 853/2004 (2004h)

Amtsblatt der Europäischen Union L139 vom 30.04.2004
Abschnitt V, Kapitel I Nr. 5

VO (EG) 882/2004

über amtliche Kontrollen zur Überprüfung der Einhaltung des Lebensmittel- und
Futtermittelrechts sowie der Bestimmungen über Tiergesundheit und Tierschutz
Amtsblatt des europäischen Parlamentes und des Rates L 165 vom 30.April 2004

VÖSGEN, W. (1992)

Pökeln. Nitrit bzw. Nitrat als Pökelfstoffe notwendig oder überflüssig?
Fleischwirtschaft 72: 439-448

VON HELMHOLTZ, H. (1896)

Handbuch der physiologischen Optik
Voss Verlag, Hamburg

VON KRIES, J. (2007)

Allgemeine Sinnesphysiologie
Erstauflage 1923
Vdm-Verlag Dr. Müller
ISBN 978-3-83642-957-3

WAGNER, F. S. (2008)

Räuchern, Pökeln, Würsten: Schwein, Rind, Wild, Geflügel
Stocker-Verlag
ISBN 978-3-70201-197-0

WAGNER, J. (2006)

Messung der Farbe als Qualitätsparameter bei Rindfleisch im Hinblick auf die
Festlegung von Richtwerten in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift
Lebensmittelhygiene
Vet. Med. Diss., LMU München

WALSH, H. M. and KERRY, J. P. (2002)

Meat packaging
In: Kerry, J., Kerry, J. and Ledward, D. (Hrsg.) Meat processing, improving quality
420. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England

WEBER, H. (2003)

Haltbarkeit und sensorische Qualität von Brühwurst
Mikrobiologische Aspekte und deren Auswirkungen
Fleischwirtschaft 83(2): 89-93

WINZIG, M. (2002)

Die objektive Bestimmung der Farbe des Fettgewebes von Schweineschlachttierkörpern durch Farbmessung mit dem Chroma-Meter CR 300
Vet. Med. Diss., Freie Universität Berlin

WIRTH, F. (1985)

Pökeln. Farbbildung und Farbhaltung bei Brühwurst
Fleischwirtschaft 65: 423-435

WIRTH, F. (1991)

Einschränkung und Verzicht bei Pökelfstoffen in Fleischerzeugnissen
Fleischwirtschaft 71: 228-229

WITTKOWSKI, R. (1985)

Phenole im Räucherrauch: Nachweis und Identifizierung
Weinheim, VCH (Wissenschaftliche Arbeitspapiere der Senatskommission der DFG zur Prüfung von Lebensmittelzusatz- und Inhaltsstoffen)
ISBN 3-527-27505-3

WULF, D. M., O'CONNOR, S. F., TATUM, J. D. und SMITH, G. C. (1997)

Using objective measures of muscle colour to predict beef longissimus tenderness
Journal of Animal Science 75(3): 684-692

X-RITE

TeleFlash™ System, Grandville, Michigan, USA

ZHU und BREWER (2007)

Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality
In: Nollet, L. M. L. (Hrsg.)
Verlag Blackwell Publishing, ISBN 978-0-8138-2446-8

ZIMMERMANN, M. (1995)

Das somatoviszzerale sensorische System
In: Physiologie des Menschen, 26. Auflage. Schmidt, R. F., und Thews, G. (Hrsg.)
Springer Verlag, S. 216-235

ZIPFEL, W. und RATHKE, K. (2008)

Verlag C. H. Beck

ISBN 978-3-406-39820-9

ZUSATZSTOFFVERKEHRSVERORDNUNG (ZVerkV) (1998)

VO über Anforderungen an Zusatzstoffe und das Inverkehrbringen von Zusatzstoffen für technologische Zwecke

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 15.12.2008

ZUSATZSTOFFZULASSUNGSVERORDNUNG (ZZuIV) (2008a)

VO über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technol. Zwecken

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 30.09.2008

Anlage 4, Teil A

ZUSATZSTOFFZULASSUNGSVERORDNUNG (ZZuIV) (2008b)

VO über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technol. Zwecken

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 30.09.2008

Anl. 4, Teil B

ZUSATZSTOFFZULASSUNGSVERORDNUNG (ZZuIV) (2008c)

VO über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technol. Zwecken

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 30.09.2008

Anlage 5, Teil C

ZUSATZSTOFFZULASSUNGSVERORDNUNG (ZZuIV) (2008d)

VO über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technol. Zwecken

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 30.09.2008

Anlage 7, Nr. 9

ZUSATZSTOFFZULASSUNGSVERORDNUNG (ZZuIV) (2008e)

VO über die Zulassung von Zusatzstoffen zu Lebensmitteln zu technol. Zwecken

Vom 29.01.1998, zuletzt geändert durch V. v. 30.09.2008

Anlage 3

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Meinem Doktorvater Andreas Stolle für seine wohlwollende Unterstützung und Motivation trotz der eingetretenen Schaffenspausen aufgrund der Geburt meines Sohnes. Des Weiteren danke ich ihm für das äußerst angenehme Arbeitsklima, die ausgesprochen zügige Korrektur und die konstruktive Kritik vor der endgültigen Fertigstellung.

Frau Manuela und Herrn Ludwig Schelkopf für das bereitwillige zur Verfügung stellen und lagern des Untersuchungsmaterials. Insbesondere danke ich für die freundschaftliche Beratung bei allen Fragen rund um die Wurst.

Allen ehemaligen Kollegen der Polizeiinspektionen 29 und 14, die mir die dienstlichen Freiheiten ermöglicht haben, während meiner Beschäftigung als Polizistin die organisatorischen Hürden für ein paralleles Studium bewältigen zu können.

Meinem Lebensgefährten Christoph für die Geduld und das Verständnis, das er mir während der Anfertigung der Arbeit entgegenbrachte sowie für die Übernahme des Managements unseres gemeinsamen Sohnes in dieser Zeit.

Meinen Eltern für ihre Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit und Dissertation; insbesondere meinem Vater für die zeitintensive sprachliche Durchsicht der Arbeit.

Herrn Richard Bates für die prompte und rettende Hilfe nach dem Formatierungs-GAU sowie für seine sprachlichen Korrekturen bei der Erstellung der Summary.

Herrn Dr. Rampp und Herrn Dr. Bucher vom Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit für den gewährten Dispens in der turbulenten Endphase der Arbeit.

Allen Mitarbeiterinnen des Instituts, die sich zur Teilnahme an den sensorischen Untersuchungen bereit erklärten sowie Herrn Prof. Dr. Küchenhoff und seinen Mitarbeitern vom Stablab der LMU für die unentbehrliche Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Meinem Sohn Christian dafür, dass es ihn gibt.