

## Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung am Beispiel der Feinzerlegung von Schweinefleisch (Schinken)

(DFG/AiF-Cluster)

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)
<b>Laufzeit:</b>	2010 – 2013
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 2.965.050,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI und durch DFG)

### Ausgangssituation:

Prozessketten in der Lebensmittelproduktion befinden sich zunehmend im Spannungsfeld zwischen Kundenakzeptanz, Produktqualität, Automatisierungsgrad, Betriebsökonomie und Prozessökologie. Ungeachtet dessen fehlen bisher ganzheitliche Ansätze zu einem generalisierten Minimal Processing im Sinne einer Betrachtung aller relevanten Produkt-, Betriebsmittel-, Energie- und Informationsströme, um den Einsatz von betrieblichen Ressourcen sowie die Belastung der Umwelt unter strikter Wahrung von Lebensmittelsicherheit und Wirtschaftlichkeit zu minimieren.

Ein derartiges Minimal-Processing-Konzept erfordert eine automatisierte Produktionslogistik, welche ganzheitlich

- eine physikalische, biochemische und mikrobiologische Produkt- und Prozessbeobachtung realisiert,
- auf der Grundlage von hieraus abzuleitenden Prozessdiagnosen und -prognosen die Ströme an Materie, Energie und biologischer Aktivität einstellt und
- den effizienten, produktadaptiven Einsatz von Verarbeitungsprozeduren und -werkzeugen unter besonderer Berücksichtigung der maximalen Nutzung von wertgebenden Bestandteilen bei optimalem Hygienestatus ermöglicht.

Studien zum ganzheitlichen Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Lebensmittelverarbeitung fehlen bisher völlig, auch für den Bereich der Fleischzerlegung.

Während eine automatisierte Grobzerlegung von Fleisch Stand der Technik ist, erfolgt im Unterschied hierzu die Feinzerlegung von Schweinefleisch zur Herstellung von Schinken mangels Automatisierungsmöglichkeiten derzeit hauptsächlich noch in manueller Form. Das betrifft insbesondere das Auslösen von qualitativ hochwertigen Fleischteilen vom Knochen. Als Maxime gilt aus wirtschaftlicher Sicht die weitgehende Gewinnung aller wertvollen Bestandteile unter möglichst geringen Verlusten bzw. Verunreinigungen, beispielsweise durch Knochensplitter. Darüber hinaus trägt jeder Lebensmittelunternehmer hinsichtlich rechtlicher Anforderungen die Verantwortung für die Sicherheit und Qualität der Lebensmittel und hat gemäß Produkthaftungsgesetz die Haftung für fehlerhafte Produkte zu übernehmen.

In der manuellen Feinzerlegung nehmen die Produktionsfaktoren Arbeit und Humanwissen eine Schlüsselrolle ein: Die Mitarbeiter zerteilen die Fleischstücke, beurteilen zugleich die Qualität, sortieren die Stücke und legen die weitere Verwendung fest. Dabei geschieht auch eine visuelle Prüfung der Stücke bezüglich unerwünschter Gewebeveränderungen, z.B. durch Abszesse, und anderer Qualitätsfehler. Diese körperlich anstrengende Tätigkeit ist auf der einen Seite sehr monoton, da immer identische Arbeitsschritte anfallen, auf der anderen Seite erfordert die Variabilität der Einzelstücke eine jeweils individuelle Auswahl der optimalen Schnittführung. Erschwerend kommt hinzu, dass die Arbeitstemperatur aus hygienischen Gründen bei sehr niedrigen Werten, in der Regel unter 12 °C liegt.

Der derzeit geringe Automatisierungsgrad in der industriellen Praxis resultiert nicht zuletzt aus der physiko-chemischen Komplexität des Fleisches, die eine Informationsgewinnung durch Beobachtung von Produkt und Prozess deutlich erschwert. So führen mögliche Fehler bei der manuellen Fleischzerlegung und der Einstufung in unterschiedliche Qualitätsstufen zu einer Verschwendung von Ressourcen und zwar bezüglich Personal, Betriebs- und Hilfsmitteln, Lager- und Produktionsräumen sowie der Energie.

Die Herausforderungen für eine anlagentechnische Automatisierungslösung in diesem Produktionsfeld sind hoch: Die Detektion hoher struktureller Streuungen in den lokalen Verteilungen biologischer Materialien (wie Fleischgewebe und Knochen) und von Qualitätsmängeln (zum Beispiel Gewebeveränderungen und Blutgerinnsel) muss präzise und zuverlässig geschehen. Einzuleitende Ausschleusungsprozesse von qualitativ minderwertigen Teilen müssen automatisch und mit möglichst geringem Energieeinsatz erfolgen. Auch muss eine Funktionalität der Automatisierung auch bei den angewandten tiefen Temperaturen garantiert sein. Ferner hat eine Zerlegungsanlage die Anforderungen an Maschinen für den Lebensmittelbereich hinsichtlich Hygienic Design und Reinigbarkeit als Bausteine des zur präventiven Gefahrenabwehr und Eigenüberwachung erforderlichen Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)-Konzepts zu erfüllen.

Ziel des Clusters war es, vor diesem Hintergrund in einem breiten interdisziplinären Ansatz ein Minimal-Processing-Konzept für eine automatisierte Fleischverarbeitung zu entwickeln.

#### Forschungsergebnis:

Grundlage des Clusters bildete der Aufbau einer Datenbank, die alle anfallenden Rohdaten bzw. die in den einzelnen Teilprojekten vorprozessierten Daten vereinte und hinsichtlich der für die einzelnen Partner notwendigen Informationen auswertete (**Teilprojekt 1, Gruppe Delgado**). Die ausgedehnte Sammlung der anfallenden Betriebsdaten ermöglicht eine Simulation der Prozesskette sowie eine darauf aufbauende gesicherte Prozessführung der Feinerlegung von Schweinefleisch unter besonderer Berücksichtigung von Produkt- und Prozessvariationen. Die mittels Petri-Netzen erzielten Simulationsergebnisse dienten zunächst der Diagnose, Prognose und Optimierung der Feinerlegung. Darüber hinaus sollten sie Grundbaustein einer vorausschauenden Kapazitätsplanung sein.

Weitere zentrale Arbeiten befassten sich mit der Zerlegung an sich. Dazu wurden algorithmische und experimentelle Grundlagen zur Etablierung der Schnittführung mittels Roboter erarbeitet (**Teilprojekt 1, Gruppe Heinz**). Nach den Tests im Labor wurde der Roboter in die Zerlegebox (**Teilprojekt 3**) integriert. Die zuverlässige Positionierung und Fixierung des Fleischstückes bildete die essentielle Voraussetzung für eine korrekte Schnittführung. Im **Teilprojekt 2 (Gruppe Becker)** wurde für diese Aufgabe ein neuartiges Bildaufnahmesystem entwickelt, das die räumliche Lage und die Geometrie des Schinkens visuell erfasst, um 3D-Informationen zu gewinnen. Zusätzlich zu den Methoden der Oberflächenanalyse wurde im Rahmen von **Teilprojekt 2** ein Ultraschallsystem zur Tiefenanalyse entwickelt. Hierbei stand - zusätzlich zu der Erkennung der Lage der Knochen - die Detektion verborgener stofflicher Imperfektionen (z.B. Knochensplitter, Abszesse) im Mittelpunkt. Die Korrelation von Online-Daten mit Offline-Analysen erlaubte eine Referenzierung mit dem Zweck biochemischer, mikrobiologischer sowie physikalischer Bewertung (**Teilprojekt 6, Gruppe Schwägele**) und rechtlicher Bewertung (**Teilprojekt 6, Gruppe Diepolder**).

Die im Rahmen von **Teilprojekt 4 (Gruppen Bolling/Schlüter/Hitzmann)** mit Hilfe von Autofluoreszenzsignaturen durchgeführten Untersuchungen betrafen einerseits die bakterielle Oberflächenkontamination des bearbeiteten Fleischstückes. Andererseits ließen sich aus den diesbezüglichen Ergebnissen Randbedingungen für eine adaptive Schnittführung ableiten. Die im **Teilprojekt 5 (Gruppe Schmidt)** eingesetzte Raman-Spektroskopie ermöglichte es erstmalig, die Milchsäurebildung nach der Schlachtung nicht-invasiv zu bestimmen. Dadurch entfällt nicht nur die bisherige invasive pH-Bestimmung; die Raman-Spektroskopie erlaubt zugleich die Erkennung von Fleischvarietäten, z.B. von PSE- bzw. DFD-Fleisch. Zu den Hauptaufgaben von **Teilprojekt 6 (Gruppe Schwägele)** zählte, die in den **Teilprojekten 2, 4 und 5** entwickelten innovativen Verfahren mit geeigneten Methoden der Offline-Analytik zu validieren. Auch wurde in **Teilprojekt 6** der Frage nachgegangen, inwieweit sich gegenwärtige Offline-Messmethoden für den Online-Einsatz in der automatisierten Fleischzerlegungskette eignen bzw. adaptieren lassen. Des Weiteren wurde in **Teilprojekt 6** die innovative Idee verfolgt, aus standardmäßig aufgenommenen Daten online nicht oder nur sehr schwer ermittelbare Informationen über Fleischcharakteristika zu extrahieren.

Die Integration der in den Teilprojekten entwickelten Sensorik und der Zerlegeinstrumente erfolgte innerhalb einer dafür entwickelten Zerlegebox (**Teilprojekt 3, Gruppe Majschak**), die eine gegenseitige Kontamination von Zerlegeprozess und Umgebung verhindert. Ein zusätzlicher Schwerpunkt in der Realisierung der Zerlegebox lag in der Erarbeitung und Erprobung einer für die Fleischverarbeitung geeigneten Reinigungsmethodik. Der Reinigungserfolg musste während der Entwicklung mittels geeigneter Methoden untersucht (**Teilprojekt 6, Gruppe Schwägele**) und auf die Einhaltung rechtlicher Anforderungen (**Teilprojekt 6, Gruppe Diepolder**) hin überprüft werden. Letzteres geschah auch im Rahmen des entwickelten HACCP-Konzepts, das dann in die Datenbank als Standardprozedur Eingang fand (**Teilprojekt 1, Gruppe Delgado**).

Die erzielten Ergebnisse belegen, dass sich ein generalisiertes Minimal Processing nur mittels eines hohen Automatisierungsgrades und einer hoch entwickelten Informationsauswertung umsetzen lässt. Für eine Fleischverarbeitung mittels Roboter ist die materielle Konstitution des Fleisches geometrisch und physikochemisch detailgetreu zu charakterisieren. Hierzu wurde im Rahmen des Vorhabens ein Instrumentarium zur Online-Prozessbeobachtung entwickelt.

Das geschaffene Diagnoseinstrumentarium umfasst die dreidimensionale Online-Erfassung der äußeren Schinkentopologie, der Lage von Knochen und Faszien sowie die Detektion von Fleischimperfectionen (wie Abszessen). Dazu dienen - auch algorithmisch - hochentwickelte bildgebende Verfahren. Mit dem erstmaligen Einsatz der Raman-Spektroskopie kommt ein nicht-invasives, optisches Charakterisierungswerkzeug zum Einsatz, dessen Potentiale in der Lebensmittelverarbeitung bisher völlig unerkannt geblieben sind. Mit dieser Diagnose- und Prognosemethode konnten so unterschiedliche Größen, wie pH-Wert, Fleischqualität, Tropfsaftverlust) und Fleischfestigkeit, zuverlässig und praxistauglich bestimmt werden. Als weiteres nicht-invasives Diagnoseverfahren wurden Fluoreszenzmethoden zur Bestimmung des Hygienezustandes des Fleisches und der Zerlegebox eingesetzt.

Erstmalig in der Fleischwirtschaft wurden Referenz-Petri-Netze (RPN) eingesetzt, die den informationstechnologischen Kern der automatisierten, roboterbasierten Feinerlegung bilden. Sie bieten einzigartig gute Möglichkeiten, die Komplexität des Zerlegungsprozesses zu modellieren, zu simulieren und im Sinne des generalisierten Minimal Processing zu optimieren. Dabei berück-

sichtigen die RPN so unterschiedliche Informationen wie den minimalen Energieeinsatz und die optimale Schnittbahnführung für den Roboter sowie die Fleischqualität und das HACCP-Konzept andererseits.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

In Deutschland wurden im Jahr 2012 ca. 8,77 Mio. t Fleisch (davon ca. 5,5 Mio. t Schweinefleisch) erzeugt. Die Anzahl der Schlachtungen lag bei Schweinen bei 58,2 Mio. Tieren. In der Schlachtung (ohne Geflügel) und in der Fleischverarbeitung waren 2012 ca. 83.000 Beschäftigte in 1.260 Betrieben tätig. Der Umsatz der Branche betrug 36,7 Mrd. €.

Die Ergebnisse des Clustervorhabens sind nicht nur für die fleischverarbeitende Industrie von Relevanz, sondern gleichermaßen für den Maschinenbau und die Hersteller von Sensoren sowie für Unternehmen der Informations- und Automatisierungstechnik. Der Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinenbau gehört mit einem Produktionsvolumen von 11,4 Mrd. € (2012) zu den größten Fachzweigen im deutschen Maschinenbau. 600 Unternehmen mit etwa 58.000 Beschäftigten sind in diesem Sektor tätig. Dabei stellt der Fleischverarbeitungsmaschinenbau mit einem Produktionsvolumen von 845 Mio. € die größte Teilbranche dar. Die Bedeutung dieser Teilbranche zeigt sich auch darin, dass ihr Welthandelsanteil bei über 30 % liegt.

Die Erarbeitung einer neuartigen Zerletechnik für Fleisch, inkl. der Entwicklung der dazu notwendigen Sensor- und Automatisierungstechnik, bietet den Unternehmen dieses Bereichs die Chance, ihre Marktstellung durch innovative Produkte zu sichern und auszubauen.

#### Publikationen (Auswahl):

1. [Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung – Zentrale Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. \(Hrsg. FEI\). ISBN 978-3-925032-52-3 \(2014\).](#)
2. Bauer, A., Petzet, A., Schwägele, F., Scheier, R. und Schmidt, H.: Towards an online assessment of meat quality in pork. In: Proc. 59<sup>th</sup> Intern. Congr. Meat Sci. Technol. (ICoMST) 2013, Ege University Izmir, Food Engineering Dep., Paper S7B-20, 1-5 (2013).
3. Bolling, J., Fröhling, A., Durek, J. und Ghadiri, A.: Am Anfang steht das Erkennen -

- Kontaminations- und Qualitätserkennung bei Fleisch. Forschungsreport 1, 44-47. (2013).
4. Bolling, J., Fröhling, A., Durek, J., Schlüter, O., Paquet-Durand, O. und Hitzmann, B.: Kontaminationsmonitoring in der Fleischzerlegung mittels Autofluoreszenzsignaturen. *Fleischwirt.* 93 (3), 114-117 (2013).
  5. Delgado, A., Heinz, V., Xie, Q., Franke, K., Groß, F., Hupfer, S. und Nagel, M.: Automatisiertes Minimal Processing in der roboterbasierten Feinzerlegung von Schweinefleisch. *Fleischwirt.* 93 (6), 170-174 (2013).
  6. Durek, J., Becker, T., Bolling, J., Diepolder, H., Heinz, V., Hitzmann, B., Majschak, J.-P., Schlüter, O., Schmidt, H., Schwägele, F. und Delgado, A.: Minimal Processing an automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung. Eine Fallstudie am Beispiel der Feinzerlegung von Schweinefleisch (Schinken). *Fleischwirt.* 91 (4), 102-105 (2011).
  7. Fecht, N.: Online-Qualitätserfassung in der Fleischverarbeitung. *VDMA-Nachrichten* 90 (3), 66-72 und *Robot*, 214 (9), 43-45 (2013).
  8. Fröhling, A., Durek, J., Schnabel, U., Ehlbeck, J., Bolling, J. und Schlüter, O.: Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.* 16, 381-390 (2012).
  9. Geier, D., Hussein, W.B., Hussein, M.A. und Becker, T.: Physikalisches Imaging zur Struktur- und Texturerkennung bei der Fleischverarbeitung. *Fleischwirt.* 93 (2), 82-85 (2013).
  10. Hussein, W.B., Moaty, A.A., Hussein, M.A. und Becker, T.: A novel edge detection method with application to the fat content prediction in marbled meat. *Patt. Recog.* 44, 2959-2970 (2011).
  11. Mauermann, M., Lange, S. und Martin, A.: Maschinenkonzept für die maschinelle Feinzerlegung von Schinken. *Fleischwirt* 93 (7), 85-88 (2013).
  12. Mauermann, M.: Automatisierte Feinzerlegung von Schinken. *Rundsch. Fleischhyg. Lebensmittelüberw.* 12, 445-447 (2014).
  13. Scheier, R., Scheeder, M. und Schmidt, H.: Prediction of pork quality at the slaughter line using a portable Raman device. *Meat Sci.* 103, 96-103 (2015).
  14. Scheier, R., Bauer, A. und Schmidt, H.: Early postmortem prediction of meat quality traits of porcine semimembranosus muscles using a portable Raman system. *Food Bioprocess Technol.* 7, 2732-2741 (2014).
  15. Bauer, A.: Meat Quality – standard methods and new approaches. *Proc. 3<sup>th</sup> Ann. Conf. Body Carcass Eval., Meat Qual., Softw. Trace., Copenhagen Taastrup, Denmark*, 117-120 (2014).
  16. Delgado, A. et al.: Minimal Processing in automatisierten Prozessketten der Fleischverarbeitung - Zentrale Ziele und Ergebnisse des gleichnamigen DFG/AiF-Clusterprojektes. *Rundsch. Fleischhyg. Lebensmittelüberw.* 66, 262-266 (2014).
  17. Petzet, A., Scheier, R., Octoviani, A., Bauer, A., Hammon, A., Diepolder, H. und Schmidt H.: Entwicklung von Analysemethoden zur Etablierung einer online-fähigen Beurteilung der Fleischqualität. *Fleischwirt.* 93 (5) 84-87 (2013).
  18. Scheier, R. und Schmidt H.: Non-invasive pH measurement early postmortem in porcine *M. semimembranosus* using Raman spectroscopy. *58<sup>th</sup> Intern. Congr. Meat Sci. Technol.* 157, 1-4 (2012).
  19. Scheier, R. und Schmidt, H.: Measurement of the pH value in pork meat early postmortem by Raman spectroscopy. *Appl. Phys. B* 111, 289-297 (2013).
  20. Scheier, R., Köhler, J. und Schmidt H.: Identification of the early postmortem metabolic state of porcine *M. semimembranosus* using Raman spectroscopy. *Vibr. Spectr., DOI* 10.1016/j.vibspec.2013.10.001 (2013) in press.
  21. Scheier, R., Nache, M., Agarkov, N., Hitzmann, B. und Schmidt, H.: Raman-Sensorik zur automatisierbaren Beurteilung der Fleischqualität. *Fleischwirt.* 93 (4) 170-174 (2013).
  22. Scheier, R., Paquet-Durand, O., Schmidt, H. und Hitzmann, B.: Nicht-invasive pH-Messung mittels Ramanspektroskopie. *Verarbeitungsmasch. Verpackungstechn., VVD 2012, ISBN 978-3-86780-272-7*, 501-518 (2012).
  23. Scheier, R., Petzet, A., Bauer, A. und Schmidt, H.: Hand-held Raman system for an early postmortem detection of pH and drip loss of pork meat. In: *Proc. 59<sup>th</sup> Intern. Congr. Meat Sci. Technol. (ICoMST) 2013, Ege University Izmir, Food Engin. Dep., Paper O-20*, 1-5 (2013).
  24. Schmidt, A., Scheier, R., Octoviani, A., Agarkov, N. und Petzet, A.: Neue Ergebnisse zur Bestimmung der Qualität von Schweinefleisch mittels Raman-Spektroskopie. *Mittbl. Fleischforsch. Kulmbach* 51 (198), 219-225 (2012).

25. Schmidt, H., Scheier, R., Octoviani, A., Agarkov, N. und Petzet A.: Bestimmung der Qualität von Schweinefleisch mittels Raman-Spektroskopie. Rundschr. Fleischhyg. Lebensmittelüberw., 65, 17-19 (2013).

Das Cluster bestand aus folgenden zeitlich parallel bearbeiteten Teilprojekten:

**TP 1 (AiF):**

**Minimal Processing in der automatisierten Feinzerlegung von Schweinefleisch**

Universität Erlangen-Nürnberg  
Department für Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Prof. Dr. Antonio Delgado/Dipl.-Ing. Frauke Groß

Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V. (DIL), Quakenbrück,

Dr. Volker Heinz/Dr. Knut Franke

**TP 2 (DFG):**

**Physikalisches Imaging zur Struktur- und Texturerkennung bei der Fleischverarbeitung**

Technische Universität München  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW  
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie, Freising-Weihenstephan  
Prof. Dr. Thomas Becker

**TP 3 (AiF):**

**Reinigungs- und hygieneorientiertes Maschinenkonzept zur ganzheitlichen Umsetzung von Minimal Processing in der Fleischverarbeitung**

Fraunhofer-Anwendungszentrum für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik (AVV), Dresden

Prof. Dr. Jens-Peter Majschak/

Dr. Marc Mauermann

**TP 4 (DFG):**

**Differenzierung von Autofluoreszenzsignaturen zur Online-Erfassung bakterieller Kontaminanten in der automatisierten Fleischzerlegung**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam

Dr. Janina Saskia Bolling/Dr. Oliver Schlüter

Universität Hohenheim  
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie, FG Prozessanalytik und Getreidetechnologie  
Prof. Dr. Bernd Hitzmann

**TP 5 (DFG):**

**Grundlagenuntersuchungen zur Raman-Sensorik von Lactat für eine automatisierbare Beurteilung der Fleischqualität in der Prozesskette**

Universität Bayreuth  
Forschungsstelle für Nahrungsmittelqualität, Kulmbach  
Dr. Heinar Schmidt

Universität Hohenheim  
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie, FG Prozessanalytik und Getreidetechnologie  
Prof. Dr. Bernd Hitzmann

**TP 6 (AiF):**

**Entwicklung von Analysemethoden zur Etablierung einer online-fähigen Beurteilung von Fleisch**

Max-Rubner-Institut (MRI)  
Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel  
Arbeitsgruppe Analytik, Kulmbach  
Prof. Dr. Fredi Schwägele/Dr. Aneka Bauer

Universität Bayreuth  
Forschungsstelle für Nahrungsmittelqualität, Kulmbach  
Prof. Dr. Stephan Clemens/Dr. Heinar Schmidt

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), Erlangen  
Dr. Hubert Diepolder

**Weiteres Informationsmaterial:**

Universität Erlangen-Nürnberg  
Department für Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen

Tel.: +49 9131 8529-500

Fax: +49 9131 8529-503

E-Mail: antonio.delgado@Istm.uni-erlangen.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn

Tel.: +49 228 3079699-0

Fax: +49 228 3079699-9

E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

