

Weniger Salz, Zucker und Fett – ein Beitrag zur Reduzierung von Zivilisationskrankheiten

Jan Fritsche

Max Rubner-Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch

Zivilisationskrankheiten wie nichtübertragbare Krankheiten (noncommunicable diseases, NCDs) sind weltweit die häufigste Todesursache und eine der größten gesundheitlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Im September 2011 wurde auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen in New York eine politische Erklärung abgegeben, um die globalen und nationalen Maßnahmen zur Verhinderung und Kontrolle von nichtübertragbaren Krankheiten zu verstärken (1). Im Rahmen dieser UN-Erklärung wurde der **Weltgesundheitsorganisation (WHO)** eine Führungsrolle eingeräumt und der globale WHO Aktionsplan 2013-2020 zur Prävention und Bekämpfung von NCDs (Global NCD) im Rahmen der Weltgesundheitsversammlung 2013 verabschiedet (1-3). Der Aktionsplan umfasst einen globalen Überwachungsrahmen, der auch neun bis 2025 zu erreichende freiwillige globale Ziele beinhaltet (2). Diese Ziele stimmen mit denen für nichtübertragbare Krankheiten überein, die in der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung enthalten sind. Die Ziele wurden sowohl auf dem Gipfel der Vereinten Nationen im September 2015 für nachhaltige Entwicklung angenommen, als auch auf dem 13. Allgemeinen Arbeitsprogramm der WHO 2019–2023 (GPW13) verabschiedet, welches im Mai 2018 von der

Weltgesundheitsversammlung beschlossen wurde (4-7). Das erste globale Ziel ist eine relative

Senkung der Gesamtsterblichkeit um 25% bei den vier wichtigsten NCDs (Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Diabetes und chronische Atemwegserkrankungen) (2). Weitere Ziele beziehen sich auf die Verringerung der NCD-Risikofaktoren, einschließlich Verhaltensrisikofaktoren (schädlicher Alkoholkonsum, körperliche Inaktivität, Salz-/ Natriumzufuhr und Tabakkonsum) sowie auf Risikofaktoren für den Stoffwechsel (erhöhter Blutdruck, erhöhter Blutzucker und Fettleibigkeit) (2).

Eine hohe Natriumaufnahme führt nachweislich zum Anstieg des Blutdrucks (8). Bluthochdruck stellt wiederum einen der wichtigsten Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen dar (9). Der Großteil des Natriums wird alimentär in Form von Kochsalz aufgenommen, das in westlichen Ländern vorrangig über verarbeitete Lebensmittel konsumiert wird (10). In vielen Ländern liegt die durchschnittliche Natriumaufnahme über der von der WHO empfohlenen maximalen Zufuhr von 2 g (5 g NaCl) pro Tag (2). Laut einer im Jahr 2010 von der Europäischen Kommission durchgeführten Studie lag der tägliche Salzkonsum in den meisten EU-Mitgliedsstaaten zwischen 8 und 12 g (11). Die WHO schätzt, dass jährlich 2,5 Mio. Todesfälle verhindert werden könnten, wenn die globale Salzaufnahme auf das empfohlene Maß reduziert würde (12). Daher haben sich die WHO-Mitgliedsstaaten im Jahr 2013 auf das freiwillige Ziel geeinigt, die durchschnittliche Salzaufnahme in der Bevölkerung weltweit bis 2025 um 30% zu reduzieren (2).

Das **Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)** hat im Dezember 2018 eine nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten verabschiedet (13). Basis der Strategie bildet eine Grundsatzvereinbarung zwischen Politik und Lebensmittelwirtschaft, nach der die Lebensmittelwirtschaft sich freiwillig verpflichtet, messbare Beiträge zur Förderung einer gesünderen Ernährung in Deutschland zu leisten.

Die Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten verfolgt die übergeordneten Ziele, eine gesunde Lebensweise zu fördern, den Anteil der Übergewichtigen

und Adipösen in der Bevölkerung, insbesondere bei Kindern und Jugendlichen, zu senken und die Häufigkeit von Krankheiten, die durch Ernährung mitbedingt werden, zu verringern (13).

Die Strategie baut auf dem wissenschaftlichen Grundkonsens auf, dass die Entstehung von nichtübertragbaren Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes mellitus Typ 2 multikausal bedingt ist und dass ein übermäßiger Konsum von Zucker, bestimmten Fetten und Salz das Risiko für diese Krankheiten erhöhen kann. Gleichzeitig berücksichtigt die Strategie, dass der Konsum von Zucker, Fetten und Salz in Deutschland trotz umfangreicher Aufklärungs- und Informationsmaßnahmen und bereits erreichter Fortschritte über den wissenschaftlichen Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung liegt. Ziel sollte eine ausgewogene Energiezufuhr und Nährstoffversorgung der Bevölkerung sein (13).

Der Strategieprozess wird durch ein umfangreiches, **wissenschaftliches Monitoring** begleitet, welches vom Max Rubner-Institut, einer BMEL-Ressortforschungseinrichtung mit dem Schwerpunkt des gesundheitlichen Verbraucherschutzes im Bereich Ernährung und Lebensmittel, durchgeführt wird. Das Monitoring wird einerseits auf Produktebene darüber Auskunft geben, in welchem Umfang sich die Zucker-, Fett- und Salzanteile sowie der Energiegehalt in Fertigprodukten verändern. Andererseits beobachtet das Monitoring, inwiefern die Strategie Auswirkungen zeigt auf das Ernährungsverhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher. Das Ernährungsverhalten kann neben zahlreichen anderen Faktoren den Gesundheitszustand der Bevölkerung mittelbar mit beeinflussen (13).

Die Verbände der Lebensmittelwirtschaft werden die Grundsatzvereinbarung durch die Abstimmung detaillierter Prozess- und Zielvereinbarungen mit ihren Mitgliedsunternehmen konkretisieren und dies transparent machen.

In Abhängigkeit der Produkte und Produktkategorien können **Reformulierungen**, also Rezepturänderungen, zielführend sein. Aber auch weitere Maßnahmen kommen in Betracht, beispielsweise Innovationen bei der Herstellungstechnologie. Der gewählte Weg ist europaweit einzigartig und auf drei Kernelemente fokussiert (13):

- **Gemeinsam:** Die Strategie baut auf der Überzeugung auf, dass eine nachhaltige Veränderung des Ernährungsverhaltens nur das Ergebnis einer gemeinsamen Anstrengung sein kann, d.h. einer Zusammenarbeit von Beteiligten der Bundesregierung, der Bundesländer sowie von Verbänden aus den Bereichen Ernährung, Gesundheit, Lebensmittelwirtschaft, Verbraucherschutz und Wissenschaft.
- **Fokussiert:** Die Strategie verfolgt eine klare Schwerpunktsetzung. Die Konzentration auf den Bereich der Fertigprodukte, die Teil eines modernen Lebensstils geworden sind und nicht selten einen hohen Gehalt an Zucker, Fetten und Salz aufweisen, adressiert eine Schlüsselstelle, um die Ernährung im Alltag nachhaltig zu verbessern. Die Definition von klar umrissenen weiteren Handlungsfeldern ermöglicht eine zielgerichtete Steuerung.
- **Innovativ:** Die Strategie schafft und stärkt Bedingungen für neue, innovative Ansätze in der Lebensmittelproduktion, um die Reduktionsziele zu erreichen. Damit wird nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Lebensmittelwirtschaft insgesamt gefördert. Von der Innovationsförderung sollen insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen sowie das Lebensmittelhandwerk profitieren.

Die dritte starke Säule der Strategie – neben Reformulierung und Monitoring – umfasst den **Bereich der Aufklärung und Weiterbildung**. Zucker-, fett- und salzreduzierte Produkte können nur dann einen positiven Effekt auf das Ernährungsverhalten der Bevölkerung entfalten, wenn die Verbraucherinnen und Verbraucher sie zu einem Bestandteil einer insgesamt ausgewogenen Ernährung machen. Die Strategie setzt daher starke Impulse, um sowohl auf Produzenten- als auch auf Verbraucherseite das Bewusstsein für gesunde Ernährung zu schärfen. Ganz besonders im Fokus stehen dabei Kinder und Jugendliche, die zu den besonders vulnerablen Bevölkerungsgruppen gehören (13).

Die Reduktion von Zucker, Fetten und Salz kann neben dem Geruch und Geschmack der Produkte auch deren Herstellung, ihre Konsistenz und Haltbarkeit beeinflussen. Ebenso spielt die **Frage der Verbraucherakzeptanz** eine wesentliche Rolle. Daher erhalten Maßnahmen der Forschungs- und Innovationsförderung bis hin zu Modell- und Demonstrationsvorhaben einen besonderen Stellenwert. Speziell die Umsetzbarkeit von neuartigen Methoden und Verfahren zur Reduktion von Zucker, Fetten und Salz in die Praxis soll wissenschaftlich unter anderem durch das Max Rubner-Institut begleitet werden. Auch die Wirtschaft hat zugesagt, ihre langjährige Expertise zu teilen, um die Effektivität und Praxisrelevanz der verschiedenen Maßnahmen zu gewährleisten (13).

Das BMEL wird zur Begleitung der Strategie zusätzliche Forschungs- und Innovationsvorhaben bis zum Jahr 2025 durch Prioritätensetzung im Rahmen der verfügbaren Haushaltsansätze für Forschung und Innovation erhebliche Mittel zur Verfügung stellen. Startpunkt sind mehrere Bekanntmachungen zur Förderung von Innovationsvorhaben, bei denen Wissenschaft und Wirtschaft – in besonderem Maße Handwerksunternehmen sowie KMU – gemeinsam innovative Lösungswege im Sinne der Strategie entwickeln (13).

Derzeit forschen an vier Standorten sechs **MRI-Institute im Bereich der Reformulierung von Lebensmitteln** zu folgenden Themenfeldern:

- Fettreduktion bei Siedegebäcken (MRI Detmold)
- Oleogele statt trans-Fett bei Backwaren (MRI Detmold)
- Specksubstitution bei Rohwürsten (MRI Kulmbach)
- Salzreduktion bei Fischprodukten (MRI Kiel)
- Salzreduktion bei Schnittkäse (MRI, Kiel)
- Salzreduktion bei Gemüsesäften und –pürees (MRI, Karlsruhe)
- Ballaststoffreiches Frühstück (MRI Karlsruhe, KIT)
- Steigerung der Süßkraft bei Milcherzeugnissen (MRI Kiel)

In den **Kieler MRI-Instituten** - dem Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch und dem Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie - werden derzeit folgende Forschungsprojekte bearbeitet:

Salzreduktion bei Fischerzeugnissen

Obwohl Fischprodukte nicht die Hauptaufnahmequelle für alimentäres Natrium darstellen, existieren wirtschaftlich relevante Fischprodukte auf dem europäischen Markt, die relativ hohe Salzgehalte aufweisen, z.B. Matjes nordische Art und kaltgeräucherter Lachs. Kaltgeräucherter Lachs enthält typischerweise zwischen 2 und 4% Salz, Matjes nordische Art in der Regel über 6%, sofern keine Konservierungsstoffe eingesetzt werden. Sowohl kaltgeräucherter Lachs als auch Matjes nordische Art werden ohne Wärmeeinwirkung hergestellt. Dies bedeutet, dass Mikroorganismen während der Verarbeitung nicht vollständig inaktiviert werden und das Salz über seine Senkung der Wasseraktivität die wichtigste Barriere gegen mikrobielles Wachstum darstellt (14). Daher muss die Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit bei der Salzreduktion in diesen Produkten ganz besondere Aufmerksamkeit erfahren.

Salz beeinflusst jedoch nicht nur die Produktsicherheit, sondern auch den Geschmack, die Farbe und die Textur (14). Salzaustauschstoffe wie Kalium-, Magnesium- und Calciumsalze können unerwünschte Fehlnoten verursachen, da sie neben salzig auch als bitter, metallisch, sauer oder adstringierend wahrgenommen werden können (14). Eine Reformulierung kann nur dann als erfolgreich betrachtet werden, wenn mikrobielle Gefahren beherrscht werden und die von den Verbraucherinnen und Verbrauchern erwartete Produktqualität erhalten bleibt. Außerdem müssen Material- und Verarbeitungskosten berücksichtigt werden (15).

Ziel einer am MRI-Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch durchgeführten Studie war die Bewertung des Einflusses einer Natriumreduktion durch den Einsatz von Salzaustauschstoffen auf die Sicherheit und Qualität von zwei beliebten deutschen Fischprodukten, kaltgeräucherten Lachs und Matjes nordische Art. Die natriumreduzierten Fischmuster wurden umfassend analysiert, indem diverse chemisch-physikalische, mikrobiologische und sensorische Parameter während der Lagerung unter praxisüblichen Bedingungen untersucht und die Akzeptanz der Muster bei Konsumentinnen und Konsumenten ermittelt wurde. Durch das Zusammenführen von objektiven sensorischen Daten, die mithilfe eines Expertenpanels generiert wurden, und hedonischen Bewertungen von ungeschulten Verbraucherinnen und Verbrauchern liefert die vorliegende Studie einen holistischen wissenschaftsbasierten Ansatz zur Reformulierung von Fischerzeugnissen (16).

Salzreduktion bei gereiftem Käse

Versuche zur Verringerung und Substitution von NaCl bei gereiftem Käse wurden in den vergangenen Jahrzehnten zahlreich beschrieben. Ende der 1980er Jahre wurden an der damaligen Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel institutsübergreifende Arbeiten zur Reduzierung des Kochsalzes in Schnittkäse durchgeführt (17,18). Ziel war es, einen sensorisch akzeptablen naturgereiften Edamer Käse mit maximal 0,45 g Na/100 g herzustellen. Um diesen Wert zu erreichen, wurde die Zeit im Salzbad verkürzt, während keinerlei ergänzende Aroma- oder Reifungskulturen verwendet wurden. Die Ergebnisse dieser Pilotstudie zeigten, dass es möglich war, einen solchen Edamer herzustellen, der geschmacklich den Qualitätsanforderungen an eine Standardsorte genügte und eine befriedigende Haltbarkeit über 10 Wochen aufwies. Versuche, Natrium ganz oder teilweise durch Kalium zu ersetzen, waren bislang nicht zielführend. Bei einer Literaturrecherche von Hoffmann (19) wurden fast 50 weltweit publizierte Arbeiten aus den Jahren 1982-2013 analysiert, die sich mit der Substitution von NaCl durch KCl beschäftigten. Inzwischen sind weitere Arbeiten zur Kochsalzverringerung bzw. -substitution erschienen, überwiegend zum Hartkäse Cheddar, bei dem der Bruch trocken gesalzen wird (20-27). Weitere Arbeiten über Schnittkäse wurden zu Gouda (28), zu dänischem Samsøe (29) und zu Tybo (30) publiziert. Bei der Studie zu Gouda (28) wurde ein Drittel des Natriums im Salzbad durch KCl substituiert und neben den üblichen Kulturen noch *Lb. helveticus* und *Lb. paracasei* eingesetzt. Sensorische

Unterschiede wurden zwar wahrgenommen, waren aber akzeptabel. Die Natriumgehalte der Produktmuster mit und ohne KCl wurden aber nicht genannt. Insgesamt zeigte sich, dass die sehr komplexe Rolle des Natriums und die große Vielfalt an Käsesorten mit ihren unterschiedlichen Herstellungsverfahren und Produkteigenschaften anspruchsvolle Herausforderungen bei der Salzreduktion darstellen.

Auch dort, wo potentielle Anwendungen für KCl gezeigt wurden, ist die Überführung in die industrielle Praxis (salzarme Varianten von bestehenden Käsesorten oder auch neue Käseprodukte) technisch sehr anspruchsvoll. Flavour-Fehler, insbesondere Bitterkeit und ein Verlust des Salzgeschmacks, bleiben ein sensorisches Problem.

Daher müssten neue Forschungsansätze auch versuchen, eine Maskierung des KCl-spezifischen Flavours vorzunehmen. Im Handel gibt es sog. Flavour-Enhancer bzw. KCl-Masker, deren Wirkungen aber bei gereiftem Käse wissenschaftlich noch nicht geprüft wurden. Insbesondere die Kombination technologischer, chemischer und mikrobiologischer Stellschrauben zur industriellen Produktion salzreduzierter Käse mit sensorischer Akzeptanz wurde bisher nicht beschrieben. Bei der Verwendung von reinen Salzen wie NaCl, KCl oder ihren Kombinationen aus dem Chemikalienhandel werden keine Schutzrechte verletzt. Kommerziell erhältliche Mineralstoffmischungen, „Flavour Enhancer“ bzw. –„maskers“ oder Mischungen aus beiden sind dagegen geschützt, können aber für Versuche und spätere Produktionen bezogen werden. Gleiches gilt für Reifungs- und Aromakulturen zur Käseherstellung, die von den einschlägigen Herstellern angeboten werden.

Süßkraftverstärkte Milchprodukte

Poutanen et al. (31) haben Lactose-hydrolysierten Süßmolken Sirup (25% Glucose, 25% Galactose, 9% Lactose) als Substrat zur Isomerisierung mit Glucoseisomerase (GI) eingesetzt. Die relative Süßkraft des resultierenden Sirups (Grad der Isomerisierung DI = 25-36%) betrug etwa 80% von der einer Saccharoselösung mit gleicher Konzentration. Chiu und Kosikowski (32) nutzten Lactose-hydrolysiertes UF-Permeat (6,9% Glucose, 6,9% Galactose), das aus rekonstituiertem Süßmolkenpulver hergestellt worden war, als Substrat. Sie stellten fest, dass die Süßkraft des Sirups nach Isomerisierung (DI 50-52%) bei gleicher Konzentration mit der einer Saccharoselösung vergleichbar war. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Studien haben Abril und Stull (33) das UF-Permeat von Sauermolke als Substrat eingesetzt. Dabei resultierte die zeitgleiche Zugabe der β -Galactosidase und Glucoseisomerase in einem Lactosehydrolysegrad von 85% DH und einem DI von 52,6%.

Vor diesem Hintergrund sollte geprüft werden, ob ein bi-enzymatisches Verfahren, bestehend aus β -Galactosidase und Glucoseisomerase, zur Herstellung von süßkraftverstärkten Joghurt- und Milchmischerzeugnissen eingesetzt und in die Verfahrensabläufe zur Produktion dieser Milcherzeugnisse integriert werden kann. Hierfür sollten geeignete Parameter der enzymtechnologischen Umsetzung erarbeitet und die Kinetik einer möglichen Endprodukthemmung der GI untersucht werden, um einen möglichst effektiven Umsatz der Lactose in Glucose, Galactose und Fructose zu erzielen. Anschließend sollten prozessoptimierte Joghurt- und Puddingerzeugnisse im Technikum und durch Kooperationspartner im Industriemaßstab hergestellt und das sensorische Profil der Produkte im Vergleich mit dem von herkömmlichen Erzeugnissen geprüft werden.

Referenzen:

- Vereinte Nationen (2012). United Nations General Assembly Resolution A/RES/66/2. Political Declaration of the High-level Meeting of the General Assembly on the Prevention and Control of Non-communicable Diseases, New York. https://digitallibrary.un.org/record/720106/files/A_RES_66_2-EN.pdf. Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2013). Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020, Genf. http://www.who.int/nmh/events/ncd_action_plan/en/. Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2013). World Health Assembly Resolution WHA66.10. Follow-up to the Political Declaration of the High-level Meeting of the General Assembly on the Prevention and Control of Non-communicable Diseases, Genf. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA66/A66_R10-en.pdf?ua=1. Zugriff am 26. März 2019
- Vereinte Nationen (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, New York. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Zugriff am 26. März 2019
- Vereinte Nationen (2015). United Nations General Assembly Resolution A/RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, New York. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2018). Thirteenth General Programme of Work, 2019–2023, Genf. <https://www.who.int/about/what-we-do/thirteenth-general-programme-of-work-2019-2023>. Zugriff am 26. März 2019
- WHO (2018). World Health Assembly Resolution WHA71.1. Thirteenth General Programme of Work, 2019–2023, Genf. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA71/A71_R1en.pdf. Zugriff am 16. August 2018
- Aburto, N.J., Ziolkovska, A., Hooper, L., Elliott, P., Cappuccio, F.P., Meerpohl, J.J. (2013). Effect of lower sodium intake on health: systematic review and meta-analyses. *BMJ*, 346, f1326.
- Mozaffarian, D., Fahimi, S., Singh, G.M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Engell, R.E., Lim, S., Danaei, G., Ezzati, M., Powles, J. (2014). Global sodium consumption and death from cardiovascular causes. *NEJM*, 371, 624-634.
- Allison, A., Fouladkhah, A. (2018). Adoptable Interventions, Human Health, and Food Safety Considerations for Reducing Sodium Content of Processed Food Products. *Foods*, 7, 16.
- Europäische Kommission (2014). Survey on Member States' Implementation of the EU Salt Reduction Framework, Brüssel. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail//publication/df7ef17e-d643-4593-94b3-84bacfa7a76a>. Zugriff am 12. Januar 2019
- WHO (2016). Salt reduction, Genf. <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/salt-reduction>. Zugriff am 12. Januar 2019
- BMEL (2018). Nationale Reduktions- und Innovationsstrategie für Zucker, Fette und Salz in Fertigprodukten, Bonn. https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/_Texte/ReduktionsstrategieZuckerSalz-Fette.html. Zugriff am 18. März 2019
- Barat, J.M., Pérez-Esteve, E., Aristoy, M.C., Toldrá, F. (2013). Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts. A review. *Plant Soil*, 368, 179188.

- Hoppu, U., Hopia, A., Pohjanheimo, T., Rotola-Pukkila, M., Mäkinen, S., Pihlanto, A., Sandell, M. (2017). Effect of Salt Reduction on Consumer Acceptance and Sensory Quality of Food. *Foods*, 6, 103.
- Giese, E., Meyer, C., Ostermeyer, U., Lehmann, I., Fritsche, J. (2019). Sodium reduction in selected fish products by means of salt substitutes. *Eur Food Res Technol* (Manuskript angenommen).
- Barth, C., Krusch, U., Meisel, H., Prokopek, D., Schlimme, E., de Vrese, M. (1989). Möglichkeiten und Grenzen des Kochsalzgehaltes in Schnittkäse. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 41, 105-136.
- Prokopek, D., Barth, C., Klobes, H., Krusch, U., Meisel, H., Schlimme, E. et al. (1990). Reduzierung des Kochsalzgehaltes in Edamer Käse bei industrieller Herstellung. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 42, 565-596.
- Hoffmann, W. (2014). Partial substitution of sodium chloride by potassium chloride in natural cheeses. *IDF, SI 1401*, 74-83.
- Ganesan, B., Brown, K., Irish, D.A., Brothersen, C., McMahon, D.J. (2014). Manufacture and sensory analysis of reduced- and low-sodium Cheddar and Mozzarella cheeses. *J Dairy Sci*, 97, 1970-1982.
- Hystead, E., Diez-Gonzalez, F., Schoenfuss, T.C. (2013). The effect of sodium reduction with and without potassium chloride on the survival of *Listeria monocytogenes* in Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 96, 6172-6185.
- Khetra, Y., Kanawjia, S.K., Puri, R. (2016). Selection and optimization of salt replacer, flavour enhancer and bitter blocker for manufacturing low sodium Cheddar cheese using response surface methodology. *LWT - Food Sci Technol*, 72, 99-106.
- Lu, Y., McMahon, D.J. (2015). Effects of sodium chloride salting and substitution with potassium chloride on whey expulsion of Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 98, 78-88.
- McCarthy, C.M., Wilkinson, M.G., Kelly, P.M., Guinee, T.P. (2015). Effect of salt and fat reduction on the composition, lactose metabolism, water activity and microbiology of Cheddar cheese. *Dairy Sci Technol*, 95, 587-611.
- McCarthy, C.M., Kelly, P.M., Wilkinson, M.G., Guinee, T.P. (2017). Effect of fat and salt reduction on the changes in the concentrations of free amino acids and free fatty acids in Cheddar-style cheeses during maturation. *J Food Compos Anal*, 59, 132-140.
- McMahon, D.J., Oberg, C.J., Drake, M.A., Farkye, N., Moyes, L.V., Arnold, M.R. et al. (2014). Effect of sodium, potassium, magnesium, and calcium salt cations on pH, proteolysis, organic acids, and microbial populations during storage of full-fat Cheddar cheese. *J Dairy Sci*, 97, 4780-4798.
- Murtaza, M.A., Huma, N., Sameen, A., Murtaza, M.S., Mahmood, S., Mueen-ud-Din, G. et al. (2014). Texture, flavor, and sensory quality of buffalo milk Cheddar cheese as influenced by reducing sodium salt content. *J Dairy Sci*, 97, 6700-6707.
- Ruyssen, T., Janssens, M., Van Gasse, B., Van Laere, D., Van der Eecken, N., De Meerleer, M. et al. (2013). Characterisation of Gouda cheeses based on sensory, analytical and high-field ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy determinations: Effect of adjunct cultures and brine composition on sodium-reduced Gouda cheese. *Int Dairy J*, 33, 142-152.
- Sondergaard, L., Ryssel, M., Svendsen, C., Hoier, E., Andersen, U., Hammershoj, M. et al. (2015). Impact of NaCl reduction in Danish semi-hard Samsøe cheeses on proliferation and autolysis of DL-starter cultures. *Int J Food Microbiol*, 213, 59-70.

Sihufe, G.A., De Piante Vicin, D.A., Marino, F., Ramos, E.L., Nieto, I.G., Karlen, J.G. et al. (2018). Effect of sodium chloride reduction on physicochemical, biochemical, rheological, structural and sensory characteristics of Tybo cheese. *Int Dairy J*, 82, 11-18.

Poutanen, K., Linko, Y.Y., Linko, P. (1978). Enzymatic isomerisation of glucose in hydrolysed whey lactose syrup. *Nordeuropäisk Mejerie Tidsskrift*, 78, 90-95.

Chiu, C.P., Kosikowski, F.V. (1986). Conversion of glucose in lactose-hydrolyzed whey permeate to fructose with immobilized glucose isomerase. *J Dairy Sci*, 69, 959-964.

Abril, J.R., Stull, J.W. (1989). Lactose hydrolysis in acid whey with subsequent glucose isomerisation. *J Sci Food Agric*, 48, 511-514.