

Fra NASA til middagsbordet: Naturvidenskaben vogter din mad

Bag hvert måltid ligger et usynligt naturvidenskabeligt sikkerhedsnet – et kontrolsystem, som oprindeligt blev udviklet af NASA i 1960'erne. Metoden bygger på systematisk risikovurdering i hele produktionen. Dødelige listeriaudbrud i fiskefrikadeller og methanolforgiftninger i Laos viser, hvorfor dyb naturvidenskabelig forståelse er afgørende for fødevarer sikkerheden.

■ Af Lene Vammen Søndergaard



LENE VAMMEN SØNDERGAARD

Cand. agro, ph.d. og seniorkonsulent ved Teknologisk Institut. Hendes faglige profil kombinerer 10 års erfaring som gymnasielærer med praktisk erfaring fra fødevarerbranchen, hvor hun som kvalitetschef har siddet med ansvar for HACCP og fødevarer sikkerhed i en produktionsvirksomhed. I dag underviser og rådgiver hun virksomheder om fødevarer sikkerhed, kvalitetsledelse og HACCP.

lvs@teknologisk.dk

Hver dag spiser vi mad, der er transporteret over kontinenter, har mødt sprøjtemidler og forurening på markerne og gennemgået højteknologisk forarbejdning på fabrikkerne. Men hvordan sikrer vi, at den globale forsyningskæde ikke serverer livsfarlige bakterier eller kemiske giftstoffer? Svaret skal findes i et system udviklet til rumrejser – og i en dyb, levende forståelse af biologi og kemi.

Forestil dig, at du sidder i en rumkapsel 400 kilometer over Jorden. Pludselig rammes du af en voldsom madforgiftning med dertilhørende opkast og diarré i vægtløs tilstand. Det er ikke blot ekstremt ubehageligt; det er potentielt dødbringende for både dig og missionen.

Som man kan læse i NASA's historiske arkiver, stod det amerikanske rumfartsagentur i 1960'erne over for netop dette skrækszenarie, da de skulle sende de første astronauter i kredsløb. De traditionelle metoder til kvalitetskontrol af fødevarer, hvor man udtog stikprøver af det færdige produkt, var utilstrækkelige. Hvis man tester fem procent af maden og finder ud af, at den er fin, hvad så med de resterende 95 procent?

I begyndelsen af 1960'erne udviklede NASA, U.S. Army Natick Laboratories og levnedsmiddelkoncernen Pillsbury Company i fællesskab det forebyggende fødevarer sikkerhedssystem Hazard Analysis and Critical Control Point – i dag kendt som HACCP. Dette system er ikke længere forbeholdt astronauter – det danner selve fundamentet for fødevarer sikkerhed i både dansk og international lovgivning. Men HACCP er ikke bare en administra-

tiv metode – det er anvendt naturvidenskab i sin mest potente form.

Når maden bliver en trussel

Vores moderne fødevarer system er et logistisk mesterværk, men det er også sårbart. Vi spiser i stigende grad industrielt fremstillet mad, og vores globale forsyningskæder er ekstremt komplekse. Samtidig vokser den del af befolkningen, som ikke tåler selv små fejl i produktionen – herunder ældre, gravide, små børn og mennesker med allergier eller nedsat immunforsvar.

Når det går galt, går det virkelig galt. I sommeren 2026 sporede Statens Serum Institut et salmonellaudbrud, der ramte 109 personer i 10 europæiske lande – heriblandt fire danskere. 17 blev indlagt, og en person mistede livet. Sporingen pegede på lucernespirer som den sandsynlige smitekilde.

Det er ikke tilfældigt: De varme, fugtige forhold, der får frø til at spire, er også ideelle for bakterier. Høj vandaktivitet og en temperatur omkring 20-25 °C giver *Salmonella* gode vilkår for at formere sig – længe før spiren når forbrugerens tallerken. Undersøgelser tyder på, at nogle af lucernefrøene allerede var forurenede ved import fra Indien. Herfra blev de distribueret til spireproducenter i flere europæiske lande. Sagen viser, hvor sårbar den globale forsyningskæde er: En forurening opstået ét sted i verden kan via frø og import sprede sig til middagsbordet i et helt andet.

Endnu mere tragisk var hændelsen i Laos i 2024, hvor flere udenlandske turister, herunder to unge danske kvinder, mistede livet



Fra risikovurdering til virkelighed: Kontrol og dokumentation sikrer, at HACCP-planen efterleves i den daglige produktion. Foto: Shutterstock.



HACCP i praksis: Ingredienser bliver til genstand for videnskabelig analyse, før de når forbrugers bord. Foto: Shutterstock

HVAD ER HACCP?

Hazard Analysis Critical Control Point (risikofaktoranalyse og kritiske styringspunkter) er et systematisk værktøj, der bruges til at identificere, vurdere og styre biologiske, kemiske og fysiske risici i fødevareproduktionen. HACCP er beskrevet i Codex Alimentarius' General Principles of Food Hygiene. Systemet, som i dag anbefales af FN's fødevareorganisation (FAO), bygger på syv grundlæggende principper, herunder identifikation af risici, fastlæggelse af kritiske grænseværdier og løbende overvågning.

efter at have drukket alkohol forurenet med methanol. Methanol – også kendt som træsprit – kan anvendes som en billig erstatning for ethanol, men selv små mængder kan føre til blindhed, organsvigt og død. Sagen illustrerer, hvordan kemiske risici i fødevarer og drikkevarer kan få katastrofale følger, hvis kontrolsystemerne svigter.

For at forhindre sådanne hændelser må fødevareproducenterne agere videnskabelige detektiver. De skal kende deres fjender til bunds: de biologiske og kemiske risikofaktorer.

De usynlige biologiske fjender

De hyppigste syndere bag fødevareoverførte sygdomme er mikroorganismer. For bakterier er vores fødevarer blot et næringsrigt substrat – de anser med andre ord vores mad for at være deres mad. Opfyldes mikroorganismernes specifikke fysiologiske vækstbetingelser, kan de overleve i, formere sig i og kolonisere fødevaren, som derved bliver kilde til infektion eller forgiftning.

Tag for eksempel bakterien *Listeria monocytogenes*. DTU Fødevareinstituttet peger i deres risikovurderinger på denne bakterie som en af de største udfordringer i fødevareindustrien. Den kan nemlig – i modsætning til de fleste andre bakterier – formere sig ved køleskabstemperaturer og trives i fugtige produktionsmiljøer. For en sund voksen giver den måske kun milde symptomer, men for en gravid eller en svækket ældre person kan den føre til hjernehindebetændelse, abort eller død. Det så man et alvorligt eksempel på i efteråret 2022, hvor Statens Serum

Institut og Fødevarestyrelsen måtte spore et alvorligt listeriaudbrud tilbage til fiskefrikadeller produceret hos en dansk fødevareproducent. Her blev mindst syv personer smittet med den samme stamme af *Listeria monocytogenes*, og en person døde, fordi listeriabakterien havde fundet vej til de færdige frikadeller.

For at dæmme op for så hårdføre mikroorganismer må fødevareproducenterne skrue på de knapper, der styrer mikrobiel vækst. Skal man producere en mikrobiologisk sikker fødevare – hvad enten det er en fiskefrikadelle eller en salat med lucernespirer – skal man derfor mestre mikrobiologiens tre fundamentale parametre:

Vandaktivitet (a_w): Et mål for det frie, biologisk tilgængelige vand i fødevaren. Bakterier skal bruge vand for at formere sig. Ved at tørre eller salte maden sænkes vandaktiviteten, så mikroorganismene ved osmose "tørster" ihjel eller går i dvale.

pH-værdi: De fleste patogene (sygdomsfremkaldende) bakterier foretrækker et neutralt miljø ($pH \approx 7$). Ved at fermentere maden (for eksempel yoghurt eller salami) danner mælkesyrebakterier mælkesyre, der sænker pH-værdien og derved konserverer produktet ved at forringe vækstbetingelserne for skadelige mikroorganismer.

Temperatur: Varmebehandling (pasteurisering) får bakteriernes proteiner, herunder enzymer, til at denaturere, mens hurtig nedkøling forhindrer overlevende sporer i at spire.

Uden en dyb forståelse af disse biologiske mekanismer famler fødevareproducenten i blinde.

Kemiske farer i råvarerne

Hvor de biologiske risici ofte handler om levende organismer, handler de kemiske risici om molekyler, der er giftige og kan skade menneskekroppen – enten akut eller over tid. Et af de mest kritiske områder er allergener. Ifølge EAACIs (European Academy of Allergy and Clinical Immunology)

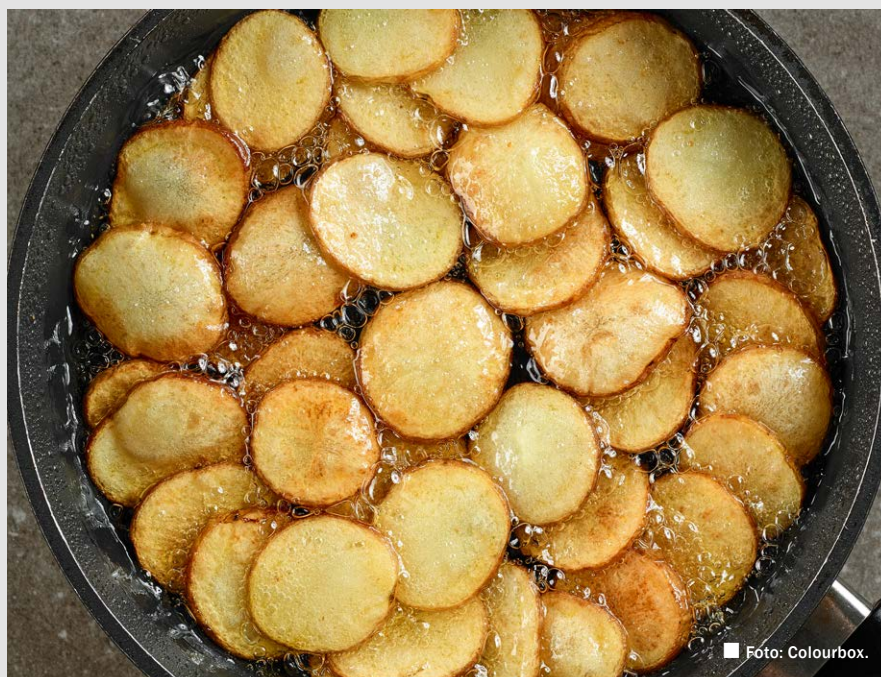


Hygiejne og kontrol i fødevareproduktionen: Beskyttelsesudstyr og løbende inspektion er afgørende led i HACCP-systemet. Foto: Shutterstock.

	Min. a_w for vækst	Min. pH for vækst	Max. pH for vækst
Salmonella	0,94	4,5	9,5
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,92	4,4	9,6
<i>Clostridium botulinum</i>*	0,94 - 0,97	4,6	9,0

Tabellen viser de absolutte minimumskrav til vandaktivitet (a_w) og pH-værdi, som tre udvalgte bakterier skal have opfyldt for at kunne vokse i en fødevare. Hvis producenten formår at holde produktets værdier under disse grænser (for eksempel ved at salte eller syrne), kan bakterierne ikke formere sig, og maden forbliver sikker. Egen sammenstilling efter ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods).

* Grænserne for *Clostridium botulinum* afhænger af den specifikke stamme i fødevaren. De kuldetolerante (ikke-proteolytiske) stammer, som ofte findes i for eksempel vakuumpakket fisk, er mere følsomme og kræver en højere vandaktivitet (min. 0,97) og højere pH (min. 5,0) for overhovedet at kunne vokse. De mere hårdføre (proteolytiske) stammer kan vokse helt ned til pH 4,6 og a_w 0,94.

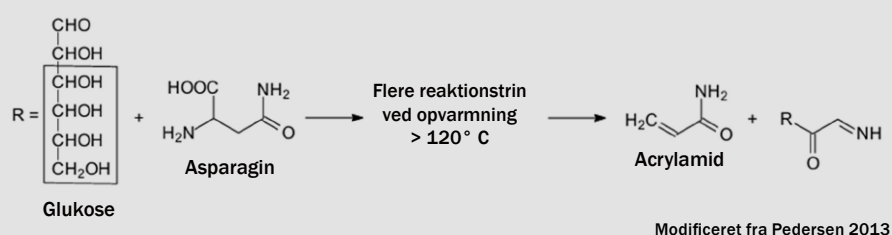


guidelines for fødevareallergi og anafylaksi er proteinerne i for eksempel peanuts ikke bare mad for en allergiker – de udløser immunforsvarets kraftigste alarmberedskab. Ved kontakt danner kroppen antistof-fet IgE, der sætter sig på overfladen af særlige immunceller (mastceller) og får dem til at frigive store mængder histamin. Det kan udløse et anafylaktisk chok, hvor blodtrykket falder dramatisk, og luftvejene snører sig sammen. Fødevareproducenten skal derfor have fuldstændig styr på at undgå krydskontaminering. Det kræver for eksempel, at en maskine, der har kørt med peanuts, rengøres så grundigt, at allergenholdige proteinrester fjernes fra overfladerne, før maskinen bruges til andre produkter. Her kommer kemisk viden om rengøringsmidler ind i billedet; man skal forstå, hvordan midlernes kemiske egenskaber – såsom pH-værdi og overfladeaktive stoffer (tensider) – nedbryder og opløser de genstridige proteinstrukturer, så de slipper maskinens overflader.

Andre kemiske trusler opstår undervejs i forsyningskæden eller selve produktionen:

MOSH/MOAH: Mineralske olier, der kan vandre fra genbrugspap og trykssvæerte i emballagen over i for eksempel ris og havregryn. Den Europæiske Fødevaresikkerhedsautoritet (EFSA) advarer om, at MOSH ophober sig i vores organer, mens MOAH mistænkes for at være kræftfremkaldende. Derfor arbejder EU på at indføre harmoniserede grænseværdier og anvender allerede en meget restriktiv tilgang til forekomst af MOAH i fødevarer.

Mycotoxiner: Giftstoffer dannet af skimmel-svampe på marken eller under lagring af for eksempel korn og nødder. De kan give akutte forgiftninger, men den største trussel er langtidseffekterne: Visse mycotoxiner, orchra-toksin A, angriber leveren og nyrerne, mens andre, som aflatoxiner, skader cellernes DNA og klassificeres som kræftfremkaldende af Det Internationale Kræftforskningscenter (IARC). Da stofferne er ekstremt varmestabile, overlever de uforstyrret processer som bagning og ristning.



MAILLARD-REAKTIONEN OG AKRYLAMID

Den Europæiske Fødevaresikkerhedsautoritet (EFSA) har længe haft fokus på akrylamid i vores mad. Når vi bager brød eller steger pommes frites i oven eller friture, sker der en kompleks serie af kemiske reaktioner mellem proteiner og kulhydrater. Ved temperaturer typisk over cirka 120 °C, reagerer aminosyren asparagin og danner det potentielt kræftfremkaldende stof akrylamid.

Ved at forstå denne kemiske reaktion kan producenter minimere dannelsen af akrylamid, for eksempel ved at kontrollere stivelsesindholdet i kartoflerne eller optimere bageprocessen.

Akrylamid: Et kræftfremkaldende stof, der utilsigtet dannes, når stivelsesrige fødevarer (som kartofler eller brød) opvarmes til over 120° C. Det sker via Maillard-reaktionen, hvor aminosyren asparagin reagerer med reducerende sukkerarter (for eksempel glukose). Det giver den brune farve og sprøde skorpe, vi elsker – men altså med en kemisk bagside.

Detektiven i hvid kittel: Risikovurderingen

Hvordan omsætter man så al denne kemiske og biologiske viden til praksis? Det gør man gennem HACCP-analysen. I den globale standard for fødevarerhygiejne fra Codex Alimentarius – FN's globale organ for fødevaresikkerhed – beskrives denne proces som en systematisk og videnskabelig kortlægning i flere trin:

1. Produktbeskrivelse:

Man kortlægger produktets indre kemi. Hvad er pH-værdien? Hvad er vandaktiviteten? Er der allergener til stede?

2. Procesdiagram:

Hele rejsen fra råvaremodtagelse til færdigt pakket produkt tegnes op trin for trin i et flowdiagram.

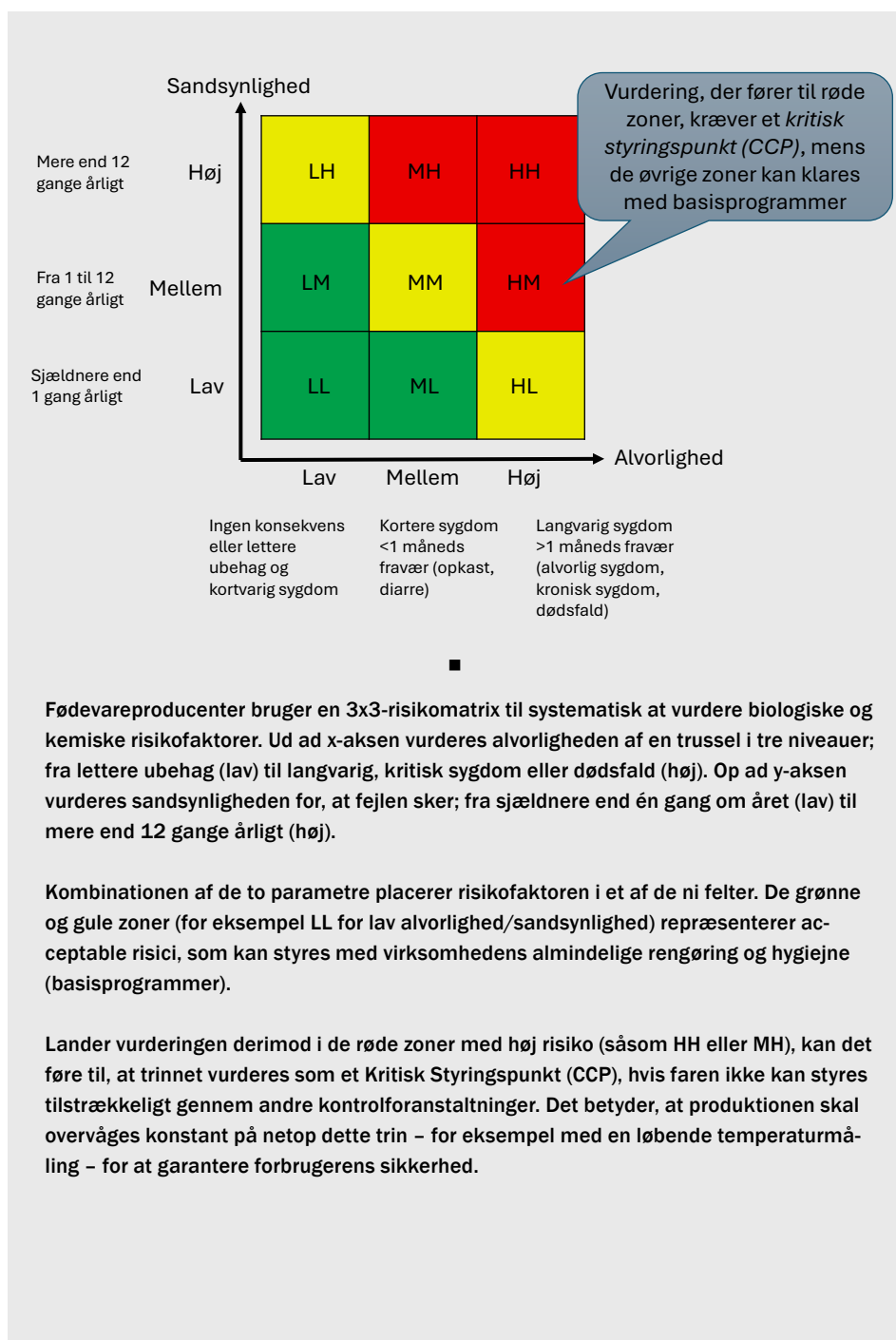
3. Risikofaktoranalyse:

For hvert eneste trin spørger man: Hvilke risikofaktorer kan introduceres, overleve eller vokse her?

4. Vurdering (Alvorlighed x Sandsynlighed):

Man vurderer, hvor alvorlig konsekvensen er for forbrugeren, og hvor sandsynligt det er, at en fare optræder.

Hvis sandsynligheden er høj, og konsekvensen er alvorlig (for eksempel overlevelse af *Clostridium botulinum*-sporer i konserves), udpeges dette trin som et Kritisk Styringspunkt (CCP). Her opstilles præcise krav til processen – for eksempel en bestemt kombination af temperatur og tid, som videnskabeligt er dokumenteret at uskadeliggøre bak-



terien. Hvis målingen viser, at kravet ikke er opfyldt, spærres partiet øjeblikkeligt.

Mindre kritiske risici styres af mere generelle procedurer – de såkaldte basisprogrammer – som sikrer alt det, der ligger rundt om selve produktion: At der er rent, at der ikke er skadedyr, at medarbejderne vasker hænder osv.

Fra teori til bureaukrati:

At bevise sikkerheden

I praksis stopper arbejdet ikke, når risiciene er kortlagt på papiret. For en fødevarevirksomhed kræver HACCP et omfattende dokumentationsarbejde. Det er ikke nok at have en god plan; man skal også kunne bevise, at den virker. Her skelner man mellem to afgørende begreber:

Validering (Virker vores plan på papiret?):

Før en ny proces startes op, skal virksomheden videnskabeligt bevise, at den valgte metode reelt kan eliminere truslen. Det gøres for eksempel via laboratorieforsøg eller videnskabelig litteratur.

Verificering (følger vi planen i virkeligheden?):

Dette er den løbende kontrol af, at planen faktisk bliver overholdt i hverdagen. Det sker gennem interne audits med inspektion, kalibrering af måleudstyr og mikrobiologiske analyser af de færdige produkter.

Hvis en måling eller kontrol ikke er skrevet ned og dokumenteret, betragtes det i fødevarekontrollens øjne som "ikke sket".

Selvom dette kontrolapparat kan virke som et tungt, bureaukratisk papirvælde, er det i virkeligheden her, teorien møder virkeligheden. Det er det administrative skjold, der sikrer, at den naturvidenskabelige viden ikke blot bliver i laboratoriet, men rent faktisk beskytter forbrugeren hver eneste dag.

Naturvidenskab med kniv og gaffel

Kradser man i overfladen af de tørre paragrafer og HACCP-skemaer, finder man alt andet

end kedsommeligt kontorarbejde – man finder pulserende naturvidenskab.

At arbejde med fødevarer sikkerhed er at bruge biologi og kemi til at løse virkelige problemer, der direkte redder menneskeliv hver eneste dag. Det kræver, at man forstår bakteriers evolutionære overlevelsesstrategier og de komplekse kemiske reaktioner, der finder sted i råvarerne, under forarbejdningen og i det endelige produkt.

Rumfarten har givet os mange opfindelser, vi i dag tager for givet: velcrobåndet på børnenes vinterjakke, det isolerende foliestof i redningsfolien i bilens nødudstyr, og memoryfoam-madrassen, vi sover på hver nat. HACCP hører til i samme kategori af diskrete, men gennemgribende teknologi-overførsler fra rummet til hverdagen. Forskellen er blot, at hvor velcro og redningsfolie er synlige, konkrete objekter, er HACCP en usynlig infrastruktur af tænkning – et system, der ikke sidder i en genstand, men i den måde, hele fødevareindustrien systematisk tænker risiko på.

Tilbage i 1960'erne handlede NASA's udvikling af systemet om et afgrænset, men eksistentielt problem: At beskytte en enkelt astronaut i en lille kapsel, hvor der ingen skadestue var inden for rækkevidde. I dag er den samme grundlæggende udfordring blot skaleret op. Vores globale fødevarer system er selv blevet en slags rumfartøj – et lukket, sammenkoblet kredsløb, hvor en fejl ét sted i verden, som de forurenede lucernefrø fra Indien, hurtigt kan nå middagsbordet et helt andet sted.

Næste gang du tager en bid af en fiskefrikadelle, åbner en pose nødder eller spiser en salat med spirer, så send en kærlig tanke til naturvidenskaben. Det er de hvide kitler i laboratoriet og HACCP-systemets skarpe logik, der holder vores fælles rumskib på sikker kurs, måltid for måltid. ■

VIDERE LÆSNING

NASA (2024). Food Safety Program for Space Has Taken Over on Earth.

Honeyman, D. & Heslop, D. (2025). Deadly Mass Methanol Poisoning in Laos, 2024. *Journal of Global Biosecurity*.

Codex Alimentarius Commission (2022). *General Principles of Food Hygiene*.

DTU Fødevareinstituttet: EU strammer reglerne for listeria i spiseklare fødevarer. www.food.dtu.dk

Statens Serum Institut (2022). Fiskefrikadeller årsag til sygdomsudbrud med listeria.

ICMSF (2023). *Microorganisms in Foods 8: Use of Data for Assessing Process Control and Product Acceptance*. Springer.

EAACI Food Allergy and Anaphylaxis Guidelines: diagnosis and management of food allergy. doi.org/10.1111/all.12429

EFSA (2023). Mineral Oil Hydrocarbons (MOSH/MOAH). doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8215

IARC (2002): Aflatoxins (IARC Monographs, Volume 82). International Agency for Research on Cancer.

EFSA CONTAM Panel. Scientific Opinion on Acrylamide in Food.