

**MONITORING IN DE COLD-CHAIN, NUTTIG MAAR KETENINTEGRATIE NOODZAKELIJK
"WELKE KETEN WIL ER MET DE BILLEN BLOOT?"**

M. van der Klein, Hogeschool Rotterdam, Kenniscentrum Duurzame Havenstad.

J.H.R. van Duin, Hogeschool Rotterdam, Kenniscentrum Duurzame Havenstad/ Technische Universiteit Delft, Faculteit Techniek, Bestuur en Management.

Samenvatting

Metingen naar omgevingsfactoren, zoals temperatuur, kan de kwaliteit van bederfelijke goederen in de cold chain ten goede komen. De huidige stand van techniek stelt ketenspelers al in staat om gedeeltes van de cold chain online en real-time te monitoren. Omdat niet alle informatie met elkaar gedeeld wordt, worden de organisatorische en technische mogelijkheden die er zijn echter niet ten volle benut. Twee temperatuurgerelateerde case-studies binnen een internationale maritieme cold chain laten zien dat werkelijke cold chain-condities kunnen afwijken t.o.v. de afgesproken condities en dat het aantal afwijkingen segmentafhankelijk is. Bepaalde schakels van de cold chain behoeven meer aandacht dan andere schakels. Bovendien wordt het beeld bevestigd dat er temperatuurverschillen zijn binnen een reefer-container zelf. In één van de case-studies is hier dieper op ingegaan. Door een innovatie zouden deze verschillen kunnen worden teruggebracht. Dit is bekeken door twee containers die waren uitgerust met deze innovatie te vergelijken met twee containers zonder deze innovatie. Er lijkt verschil te zijn, maar voor een goede validatie zijn wel meer meetgegevens nodig. Uit enquête-onderzoek is verder naar voren gekomen dat ketenpartners online en real time informatie van meetgegevens belangrijk vinden, maar dat het onderling delen van informatie op weerstand stuit. Dat laatste vormt een belemmering om monitoring op een hoger plan te brengen. Welke cold chain neemt de uitdaging aan en stelt de hele keten open voor uitgebreid onderzoek?

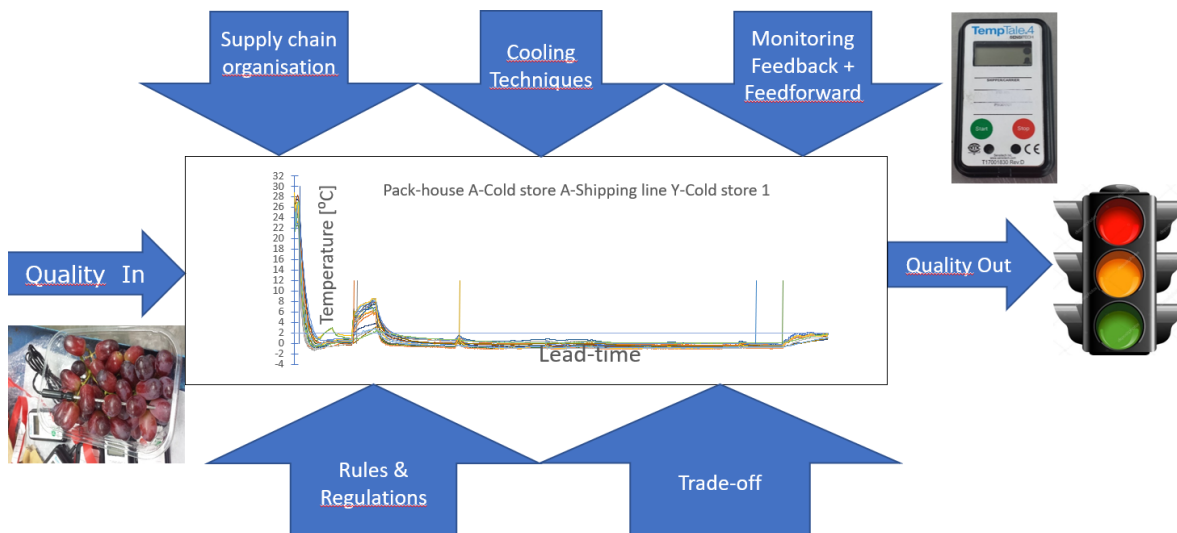
1. Inleiding koude ketens

De importantie van koude ketens is afgelopen jaren wel gebleken. Denk alleen al aan de corona-vaccins die op een bepaalde temperatuur gehouden moeten worden. Metingen naar de omgevingscondities binnen de gekoelde logistieke keten, "de cold chain", vinden al lang plaats. Het betreft dan vooral metingen naar de temperatuur, omdat temperatuur wordt gezien als de belangrijkste indicator voor wat betreft de kwaliteit van de bederfelijke goederen. Kwaliteit moet zodanig zijn dat de goederen nog geconsumeerd en verkocht kunnen worden. Een mindere kwaliteit betekent afval of een lagere opbrengst voor de verkoper. Afval moet, zeker in het licht van overbevolking, voedseltekorten en duurzaamheid, zo veel als mogelijk worden voorkomen.

Metingen doen, oftewel het monitoren van omgevingscondities kunnen bijdragen aan het terugdringen van kwaliteitsverlies. Het nut van monitoring is tweeledig. Het dient als feedback, maar kan ook worden ingezet als feedforward-instrument. Concrete toepassingen van laatstgenoemde zijn prioritering of bestemmingsveranderingen van zendingen die onderhevig zijn geweest aan suboptimale omstandigheden. Het moge duidelijk zijn dat metingen belangrijk zijn vanuit juridisch en verzekeringstechnisch perspectief.

Andere variabelen die bijdragen aan een betere kwaliteit van de vervoerde bederfelijke goederen (kwaliteit-uit) aan het eind van de supply chain zijn: de supply chain organisatie; de gebruikte koeltechnieken; en de kwaliteit-in (beginkwaliteit van de vervoerde goederen). Hoeveel optimalisatie van

deze variabelen plaatsvindt, hangt o.a. af van wet- en regelgeving en de commerciële afwegingen door de ketenspelers, tussen de extra kosten voor een beter eindproduct versus de baten, met als resultaat een compromis. In Figuur 1 is bovenstaand verhaal samengevat.



Figuur 3. Overzicht van een aantal variabelen (Van der Klein, 2018)

Deze paper heeft als doel twee case studies van metingen in een internationale deep-sea-cold chain voor het voetlicht te brengen. Wat kan daarvan geleerd worden? Verder zal uit (enquête-)onderzoek (Teeuw, 2020; Kraijo, 2021) naar voren komen onder welke condities de monitoring op een hoger niveau gebracht kan worden.

De opbouw van de paper is als volgt: Er zal eerst kort aandacht worden besteed aan een aantal kenmerken van de cold chain. Het volgende hoofdstuk beschrijft een aantal innovaties binnen de cold chain. Aansluitend worden er twee 'cold chain'-case-studies besproken. Binnen de tweede case-studie is een enquête afgenomen ten behoeve van een 'cold chain monitoring' start-up. Vanuit het perspectief van eerder onderzoek voor deze start-up, worden deze resultaten bekeken in het hoofdstuk "uitrol van monitoring in een bedrijfsomgeving". Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies, aanbevelingen en discussie.

2. Cold Chain

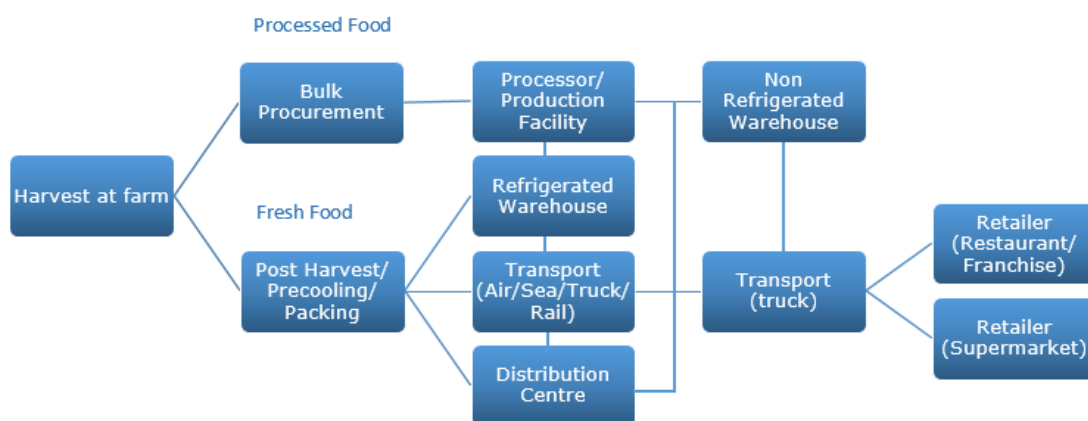
Voor een beter begrip komen in dit hoofdstuk een paar eigenschappen van de cold chain aan bod en wordt er verder ingegaan op een paar innovaties.

2.1 Eigenschappen

Een belangrijke term in de cold chain is het begrip shelf life. Jedermann et al (2014) omschrijft dat als het aantal dagen dat nog over is waarbij het product nog voldoende van kwaliteit is en veilig is om te consumeren. De duur van een goed-uitgevoerde supply chain moet binnen de shelf life vallen die geldt

vanaf het tijdstip van oogsten. Een temperatuur-technisch slecht uitgevoerde cold chain kan de shelf life dermate bekorten dat deze al verstreken is voordat het product bij de klant is. Er is dan sprake van waste in de meest letterlijke zin des woords.

Net als bij de "normale supply chain" is er bij de cold chain kans op suboptimalisatie, omdat er veel verschillende partijen met verschillende belangen betrokken zijn. Rodrique en Notteboom (2020) namen waar dat de cold chain in toenemende mate gespecialiseerd en gesegmenteerd is, maar dat integratie van de segmenten noodzakelijk is in verband met de temperatuursbeheersing. In Figuur 2 is een overzicht van een generieke cold chain te zien.



Figuur 2 overzicht van een generieke cold chain

De route door dit schema is afhankelijk van de wensen van de klant en de eigenschappen van het product. Door specialisatie zit er achter elk blokje uit Figuur 2 vaak een andere speler. Hoe complex een keten kan zijn blijkt uit een analyse van een visuele weergave van een cold chain vanuit Zuid-Afrika (Teeuw, 2020) waarbij naast de goederenstroom, de informatiestromen en geldstromen waren ingetekend. Na telling bleek dat er ruim 20 partijen ingetekend stonden die direct dan wel indirect met de cold chain te maken hadden. Door de vele spelers in een keten wisselen de goederen niet alleen fysiek van plaats gedurende hun reis door de keten, maar vallen ze organisatorisch gezien steeds onder een andere ketenspeler. Het is daarom belangrijk de segmentatie-informatie (waar zijn de goederen en wanneer) precies in kaart te brengen. Door segmentatie-informatie te koppelen aan de gemeten cold chain condities kan in kaart worden gebracht waar afwijkende omgevingsfactoren zijn opgetreden en wie daarvoor verantwoordelijk is (Dodd, 2010).

Een veelgebruikte laadeenheid binnen de cold chain is de reefer-container, die meestal in beheer is van de containercarrier. De reefer-container heeft eigen meetapparatuur voor de temperatuursbeheersing. Vanuit de kant van de ladingbelanghebbenden wordt er een eigen temperatuurmeter in de container geplaatst bij de deur, omdat dat de warmste plek is van de container. De gekoelde lucht komt namelijk van vooronder de container in.

2.2 Innovaties

Voor wat betreft de innovaties wordt in dit paper kort gekeken naar een koelingstechniek en naar ontwikkelingen van conditionele monitoring.

Een relatief nieuwe hardware-techniek van de firma Otflow® voor pallet-stacked containers bestaat uit een trapeziumvormige kartonnen mat die ervoor zorgt dat de koude lucht die de container wordt ingeblazen gelijkmatiger door de container wordt verdeeld. Het smalle gedeelte van de mat bevindt zich achterin de container opdat daar meer koude lucht kan worden vrijgegeven ten opzichte van de voorkant van de container. Volgens onderzoek reduceert deze innovatie het verschil tussen de warmste en koudste temperatuur met ongeveer 30% (Lukasse et al., 2017).

Qua monitoring is het tegenwoordig mogelijk informatie van de temperatuursensoren van de container online (semi-)realtime af te lezen door de verlader. Deze functionaliteit zorgt voor nieuwe toepassingsmogelijkheden, zoals Internet of Things en blockchain. Pang et al. (2015) noemt als mogelijkheden van Internet of Things: traceerbaarheid, shelf-life-voorspelling, sales-premium, precisie-landbouw en korting op verzekeringskosten. De shelf-life-voorspelling kan worden ingezet voor feedforward-sturing, waarbij gezegd moet worden dat shelf-life berekeningen niet eenvoudig zijn zoals Mercier et al (2017) aangeeft. Ten eerste, omdat temperatuur niet de enige variabele is en ten tweede, omdat er in de cold chain veel partijen zitten met eigen belangen. De feedforward-sturing kan leiden tot andere logistieke concepten, die niet tijdsafhankelijk zijn, zoals LIFO en FIFO, maar kwaliteitsafhankelijk, bijvoorbeeld FEFO (First Expires First out), LQFO (Low Quality First Out) of HQFO (High Quality First Out) (Dittmer et al., 2012).

De temperatuurmeters van de ladingbelanghebbenden zijn in principe niet gekoppeld aan het systeem van de containercarrier. De data op de sensoren kan via RFID-technieken, bij het passeren van RFID-ontvangers in bijvoorbeeld de koelhuizen, automatisch worden geüpload op het platform van de temperatuurmeterleverancier. Er is hierbij alleen een feedbacktoepassing mogelijk want online real-time monitoring tijdens het transport is niet mogelijk.

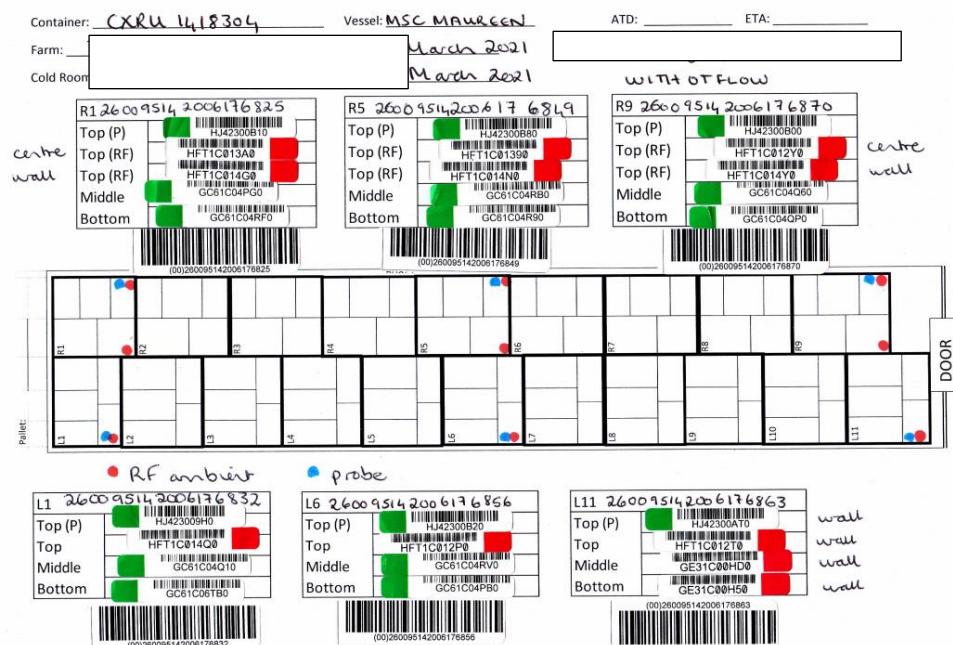
3. Case-studies

Binnen dit hoofdstuk wordt er ingegaan op enkele algemeenheden binnen temperatuurgerelateerde case-studies en worden de opzet en resultaten per case-studie uitgelicht.

3.1 Algemeen

De twee case-studies hebben gemeenschappelijk dat het een intercontinentale deep-sea cold chain van druiven was met als origine Zuid-Afrika en met als bestemming Europa. Het doel was om een gedeelte van de cold chain in kaart te brengen. Hiermee kan inzicht worden gecreëerd waar de cold chain kan worden verbeterd. Er werd bij deze trials gekeken naar temperatuur. De temperatuur moest binnen een vooraf opgegeven interval blijven. Bij overschrijding van de grenzen werd dit aangemerkt als een 'break'. Een break bij druiventransport wordt als volgt gedefinieerd: Als de temperatuur 90 minuten of langer boven de 2 °C komt of als de temperatuur 90 minuten of langer onder - 1,5 °C komt. In verband met

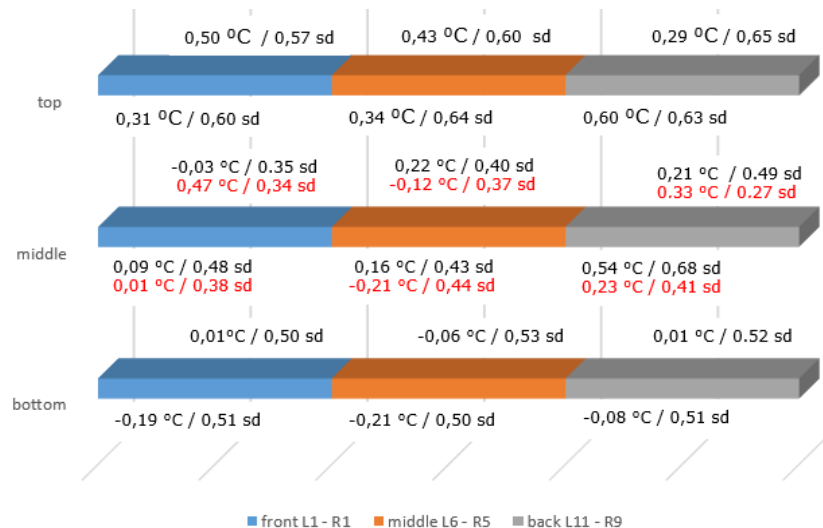
de temperatuurheterogeniteit binnen een container wordt er binnen een container op meerdere plekken gemeten. Vervolgens kan er gemeten worden waar in de keten de breaks zijn ontstaan, hoe lang deze duren en de gemiddelden en standaarddeviaties van de temperaturen per sensor, van alle sensoren te samen maar ook van alle sensoren per positie, dit over het hele traject en per segment. Een indicator van een slecht presterende container is als alle sensoren breaks waarnemen. Als maar enkele sensoren breaks waarnemen dan duidt dat op een gestoorde luchtverdeling waardoor er "hot spots" ontstaan. In Figuur 3 is een sensorplan weergegeven (Kraijo, 2021). Dit betreft een bovenaanzicht van de container met daarin de pallets en de kartons weergegeven. Het betreft hier de bovenste laag. Er kan ook in de hoogte worden geladen. Dit is weergegeven aan de twee zijanten van de container in Figuur 3. Er wordt gebruik gemaakt van Probe sensoren en Ambient sensoren voor respectievelijk de vruchtvlleestemperatuur en de omgevingstemperatuur.



Figuur 5. Verdeling sensoren over een container (Kraijo, 2021)

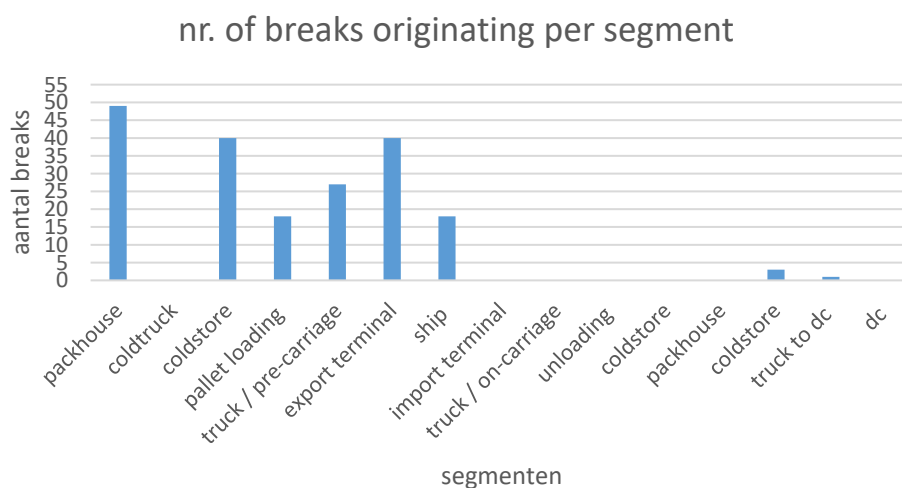
3.2 Case-study 1

Bij deze meting in 2018 (Van der Klein, 2018) zijn van de 216 sensoren 194 sensoren geanalyseerd verspreid over 11 containers. 18 sensoren waren kwijt geraakt, vier waren er kapot. Door de missende functionaliteit van real time uploading betekende dit direct het verlies van de meetgegevens. Er was gemeten vanaf het pakhuis (in Zuid-Afrika) tot en met het koelhuis van de importeur (194 x) en één schakel verder, tot en met het warehouse van de retailer (4 x). In Figuur 4 is een overzicht van de gemiddelde temperaturen en standaarddeviaties van de sensorposities weergegeven. De temperatuurheterogeniteit is goed te zien.



Figuur 6. Gemiddelde temperaturen en gemiddelde standaarddeviaties in de container, rood is probe, zwart is ambient, (Van der Klein, 2018)

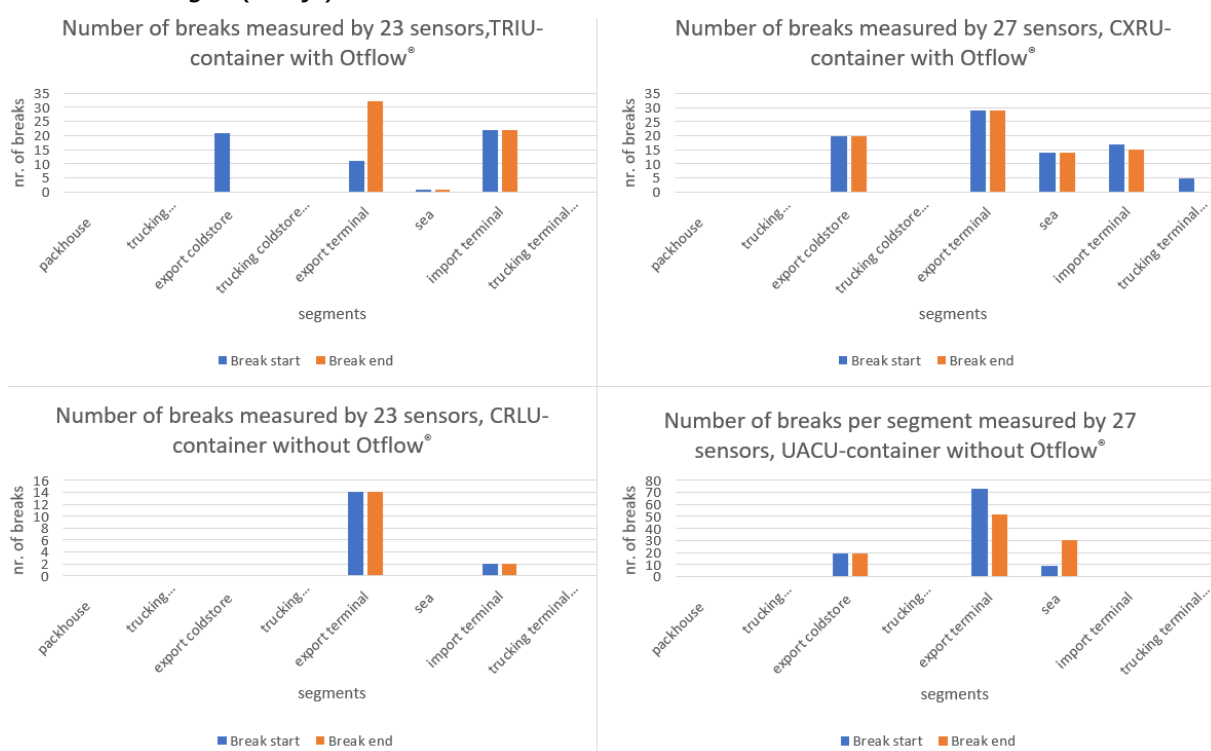
De variabelen doorlooptijd en temperatuur zijn afgezet tegen de kwaliteit-uit. Het bleek dat er niet direct een link te leggen was tussen de prestaties van de keten en de kwaliteit-uit. Sommige druiven met de snelste transittijd en met nul afwijkingen werden bij de kwaliteitscheck toch als slecht beoordeeld, terwijl het omgekeerde, een langzamere transittijd met meerdere afwijkingen maar met goede kwaliteit, ook het geval kon zijn. Mogelijke oorzaak kan de beginkwaliteit (kwaliteit-in) zijn van een zwakke batch aan het einde van het druivenseizoen. In Figuur 5 is het aantal breaks per segment weergegeven, waarbij bij de eerste twee segmenten een temperatuurgrens van 25 °C is aangehouden, omdat de druiven daar nog niet gekoeld zijn.



Figuur 7. Aantal breaks per segment (Van der Klein, 2018)

3.3 Case-Study 2

In deze meting (Kraijo, 2021) met vier containers werden 23-27 sensoren per container geplaatst. Alle sensoren werden veilig gesteld en daarmee alle meetgegevens. De vier containers werden per koppel geladen. Naast de ladingbelanghebbende wilde de firma Otflow® meedoen met deze trial. Otflow® wil graag meetgegevens hebben vanuit de cold-chain om haar innovatie te toetsen op haar werking. Bij elk koppel containers was één container uitgerust met de Otflow®-mat en één zonder. Er is gemeten vanaf de export packhouse (eerste twee containers, linkerkant Figuren 6 en 7) dan wel coldstore in Zuid-Afrika (laatste twee containers, rechterkant Figuren 6 en 7) tot de import coldstore in Nederland. Het pakhuis-, en het trucking-van-pakhuis-naar-coldstore-segment zijn bij deze meting buiten beschouwing gelaten. In Figuur 6 is aangegeven binnen welk segment de aantallen breaks ontstaan (blauw) en waar de breaks eindigen (oranje).



Figuur 8 aantal breaks per segment, bron Kraijo 2021

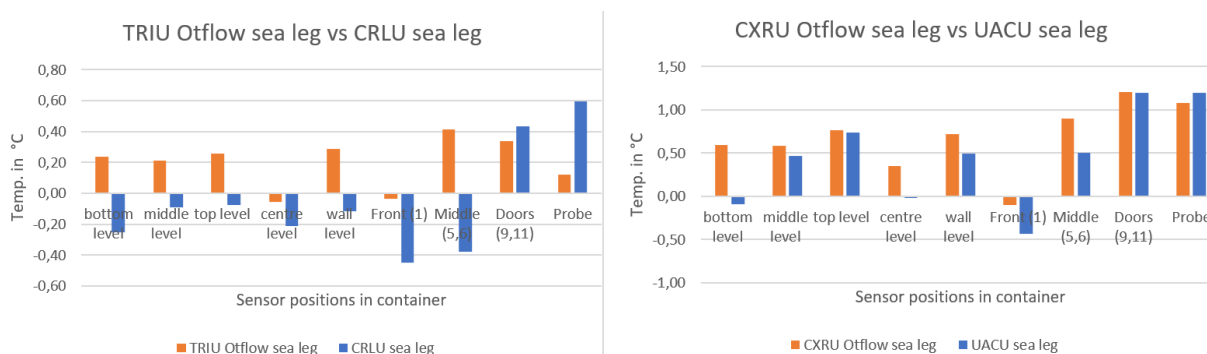
De uitkomsten laten, net zoals bij case-study 1, zien dat er tijdens meerdere segmenten sprake is van meerdere breaks, dat bepaalde segmenten beter presteren dan andere en dat de desbetreffende supply chains nog kunnen verbeteren.

Otflow®-mat

Bij één koppel (linkerkant Figuur 6 & 7) zijn de containers op dezelfde dag geladen en verscheept met hetzelfde schip en op dezelfde dag aangekomen bij de import coldstore, bij het andere koppel (rechterkant Figuur 6 & 7) zijn de containers met een verschil van zeven dagen geladen, verscheept op een ander schip en de aankomst bij de import coldstore verschilde 2 dagen, in het voordeel van de container die als eerst was geladen (zonder Otflow®). Om de Otflow®-innovatie op haar waarde te

beoordelen is alleen naar de sea leg gekeken, omdat dat het gedeelte is waarbij de container continu aangesloten is geweest op een stroomvoorziening. Een Otflow[®] heeft alleen effect als er een luchtstroom is. Gedurende het voor- en natraject waren de containers niet continu aangesloten geweest op een stroombron.

Wat uit Figuur 7, naast de temperatuurheterogeniteit, o.a. blijkt is dat de range van de temperaturen bij de Otflow[®]-containers kleiner is dan bij de niet-Otflow[®] containers. Dit betekent dat de Otflow[®]-mat waarschijnlijk een effect heeft op het verspreiden van de koude lucht. De rechterkant van figuur laat zien dat de temperatuur bij de deuren gelijk is. In principe zou dat niet moeten omdat de koude lucht door de innovatie de achterkant beter kan bereiken. Een lagere temperatuur voor de Otflow[®]-container wordt daar verwacht. Na bestudering van foto's van de geladen containers zou dit te verklaren kunnen zijn door de indeling van de pallets in de container. De pallets zijn in de Otflow[®]-container erg hoog gevuld en zijn aan beide kanten tegen de muur geplaatst. Hierdoor kan de lucht niet goed door de container circuleren. Nader onderzoek en meer gegevens en duidelijke instructies aan laadpersoneel hoe de container te beladen zijn noodzakelijk voor een zo goed mogelijke toetsing van de werking van deze mat en een eventuele verbetering daarvan.



Figuur 9: Zeetraject Otflow vs niet Otflow (Kraijo, 2021)

4. Uitrol van monitoring in een bedrijfsomgeving

Uit eerder onderzoek (Teeuw, 2020) in opdracht van een start-up, die online cold-chain informatie wil aanbieden met voorspellende waarde, kwam naar voren dat ketenpartners aangesloten kunnen worden op een, eventueel neutraal, centraal platform. Dit platform zou moeten werken met gestandaardiseerde informatie, of kan niet-gestandaardiseerde informatie omzetten naar gestandaardiseerde informatie en zou data moeten kunnen beheren op basis van afspraken aangaande het eigendom. Het belang hiervan is wel aangetoond uit de enquête die gelijktijdig met meting 2 is afgenomen (Kraijo, 2021). Deze enquête had als doel te kijken naar de value-proposition van dezelfde start-up en is gestuurd naar een aantal cold chain gerelateerde instellingen/bedrijven die te maken hebben met de groente- en fruithandel. Tien bedrijven hebben hierop gereageerd. De belangrijkste informatie die partijen willen hebben is temperatuur, gevolgd door luchtvochtigheid en locatie. De belangrijkste redenen die zij opgeven zijn: het kunnen monitoren van de cold chain; kwaliteits-, verzekerings- en claimdoeleinden, belang van real time IoT en het verbeteren van de cold chain. De respondenten zouden gemiddeld twee

sensoren in de laadeenheid willen gebruiken. Drie partijen hebben aangegeven concreet gebruik te willen maken van de diensten van de start-up. Voorts blijkt dat de helft van de partijen wel geïnteresseerd is in shelf life estimating tools maar dat het delen van informatie erg moeilijk wordt bevonden, bijvoorbeeld betreffende de kwaliteit-uit, wat men soms niet heeft of niet op kan sturen. Wat betreft de bereidheid om informatie te delen met ketenpartners, deze kan als laag worden ingeschaald. De meeste partijen willen niks delen. Anoniem delen van informatie met scholen behoort overigens wel tot de mogelijkheden.

Op basis van deze gegevens is het bouwen van een shelf life estimating tool voor deze start-up niet mogelijk. Het zal blijven bij het aanbieden van "het live kunnen volgen van zendingen". Bijvoorbeeld met behulp van een KPI-dashboard dat de meeste voorkeur geniet in de enquête. Gevolgd door notificaties wanneer er afwijkende waarden worden gemeten. De helft van het aantal respondenten zou het goed vinden om via blockchain geïnformeerd te worden. De minste voorkeur heeft de e-mail met de platte data.

5. Conclusies , aanbevelingen en discussie

De metingen binnen gedeeltes van de cold chain laten zien dat er breaks optreden. Maximum toegestane temperatuurwaarden worden overschreden. De metingen laten ook zien waar deze plaatsvinden. Dat betekent dat de onderzochte cold chains zich nog kunnen verbeteren. Inzicht in de hele keten is moeilijk, o.a. vanuit organisatorisch oogpunt. Sensoren raken makkelijk kwijt en niet alle partijen werken mee. Terwijl inzicht in de hele keten wel noodzakelijk is voor een juiste kwaliteitsinschatting, voor de ontwikkeling van shelf-life voorspellende modellen en voor het toetsen van de werking van innovaties. De enquête laat zien dat men gebruik wil maken van real time online-monitoring. Het openlijk willen delen van informatie met ketenpartners stuit op weerstand. Geanonimiseerd delen van data met scholen/universiteiten behoort wel tot de mogelijkheden. Het real time online verkrijgen van informatie heeft als voordelen dat gegevens toch beschikbaar zijn al gaan er sensoren verloren. Indien sensoren locatiegegevens doorgeven is segmentering van de keten eenvoudig en kunnen de verantwoordelijke ketenspelers worden uitgedaagd het beter te doen. Onderzoek blijft nodig. Welke ketens en daaraan gelieerde cold chain speler(s) willen voor langere tijd met de billen bloot voor onderzoek? Kunnen er gecoördineerde afspraken worden gemaakt en wie nemen het voortouw daarin? Een kosten-, batenanalyse voor wat betreft de monitoring zou een must-have zijn. Waar ligt het compromis tussen kosten en baten en welk soort monitoring hoort daarbij? Op welke manier kan de logistieke monitoring gedurende de hele keten op een efficiënte manier plaatsvinden waarbij rekening wordt gehouden met retourstromen van sensoren? Als de meest uitgebreide vorm van monitoring met voorspellende modellen ingezet wil worden, dan zou er wellicht eerst naar de cold chains met de meest waardevolle goederen gekeken moeten worden. Te denken valt dan aan avocado's waar 400 liter water nodig is om deze te produceren.

Bibliografie

- Dittmer, P., Veigt, M., Heidmann, N., & Paul, S. (2012). The intelligent container as a part of the Internet of Things. *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 209-214, doi: 10.1109/CYBER.2012.639255
- Dodd, M. (2010). Understanding the South African Export Supply Chain. Retrieved from http://coolchain.org/Websites/cca/Images/CCA_Workshop_SA_2010_Presentations/MalcolmDodd_UnderstandingtheSAFruitExportChain.pdf visited at 01-12-2017
- Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses by intelligent food logistics. *The Royal Society Publishing Philosophical Transactions A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **372**(20130302), 1-20. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0302>
- Kraijo, F. (2021). *Transport Monitoring Green Roots*. Bachelor thesis Rotterdam University of Applied Sciences.
- Lukass, L. J. S., Mensink, M. & Wissink, E. (2017). A floor cover to improve temperature distribution and quality preservation in maritime refrigerated container transport of grapes. *Wageningen Food & Biobased Research*, report 1733, Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/420926>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Uysal, I. (2017). Time-temperature Management Along the Food Cold Chain: A review of Recent Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **16**(4), 647-667
- Pang, Z. Chen, Q., Han, W, & Zheng, L. (2015) Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: Value creation, sensor portfolio and information fusion. *Information Systems Frontiers*, **17**(2) 289-319. <https://doi.org/10.1007/s10796-012-9374-9>
- Rodrique, J.P., & Notteboom, T.(2020). B9 The Cold chain and its Logistics. In ed. J.P. Rodrique, *The Geography of Transport Systems, Fifth edition*, Routledge: New York Routledge.
- Teeuw, J. (2020). *Koude Kwaliteitsinzichten. Haalbaarheidsonderzoek "markt en techniek" van een monitoring-prototype binnen een cold chain*. Bachelor Thesis Rotterdam University of Applied Sciences.
- Boll, R. (2016). Top Markets Report Franchising Overview and Key Findings. *ITA Franchising Top Markets Report*, **1**. U.S. Department of Commerce, International Trade Administration, Industry & Analysis (I&A)
- Van der Klein, M. (2018). An analysis of temperature breaks along the table grape export cold chain from exporter's pack-house to the importer's cold store and beyond. Master Thesis Rotterdam University of Applied Sciences.