



UNIVERSITEIT TWENTE.



DE ONTWIKKELING VAN **3D-FOODPRINTING**

L.A. BOON

TITELPAGINA

De ontwikkeling van 3D-Foodprinting

Liza Arieke Boon (s0200212)

Dit verslag is gemaakt voor de bij het Foodatelier uitgevoerde bacheloropdracht van de opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente.

Universiteit Twente
Opleiding Industrieel Ontwerpen
Postbus 217
7500AE Enschede

Opdrachtgever:
Het Foodatelier
Hulsmaatstraat 41
7523WB Enschede

Examencommissie:
Universiteit Twente Roland ten Klooster
Universiteit Twente Wieteke de Kogel
Het Foodatelier Marc Oude Luttikhuis

Datum: 6-11-2012
Oplage: 4 stuks
11 bijlagen

Datum bachelorexamen: 22-11-2012

VOORWOORD

Ter afsluiting van de bachelor Industrieel Ontwerpen voeren alle studenten een bacheloropdracht uit om te laten zien dat ze bezitten over de vaardigheden die in de bachelor geleerd zijn.

In de periode van half juni tot half oktober 2012 ben ik bezig geweest met deze opdracht: het onderzoeken en ontwerpen van mogelijkheden van 3D-Foodprinting bij het in Enschede gevestigde bedrijf het Foodatelier. Gedurende de eerste weken werkte ik parttime, vanaf het begin van de zomervakantie heb ik me fulltime met de opdracht bezig gehouden.

Eén van de projecten waar het Foodatelier op dit moment mee bezig is, is het ontdekken van de mogelijkheden van 3D-foodprinting. Door het ontwikkelen van inspirerende maar realistische 3D-foodprinting concepten wil het Foodatelier de commerciële sector enthousiast maken voor de toepassing van 3D-foodprinting binnen verschillende industrieën. Het externe doel van het Foodatelier is om uiteindelijk een uitgewerkt concept te hebben voor een 3D-foodprinter met commerciële potentie.

Het ontwikkelen van (een onderdeel van) een nog nieuw te ontwikkelen product was een uitdaging. De techniek van 3D-printing is inmiddels redelijk bekend, met name door aandacht in de media, maar bij 3D-Foodprinting kon mijn omgeving zich vaak nog weinig voorstellen. Maar na een korte uitleg reageerde bijna iedereen enthousiast op het project. Deze leuke en enthousiaste reacties waren een goede motivator tijdens het hele project.

Graag wil ik nog een aantal personen te bedanken die tijdens het project hebben geholpen.

- Wieteke de Kogel voor de begeleiding vanuit de Universiteit Twente. Voor vragen kon ik altijd terecht, ook heeft ze geholpen bij het nemen van bepaalde ontwerpbeslissingen en ideegeneratie. Nienke Peeters nam deze rol over in de vakantieperiode, maar ook later kon ik weer bij haar terecht voor advies over mijn eindconcept;
- Roland ten Klooster voor zijn adviezen over verpakken;
- Marc Oude Luttikhuis voor het aanbieden van de mogelijkheid om deze opdracht uit te voeren en zijn begeleiding, tips en meedenken vanuit het Foodatelier;
- Bart Oude Luttikhuis voor de hulp met het installeren van de Fab@Home 3D-foodprinter en zijn adviezen;
- Alle andere medewerkers van het Foodatelier voor het af en toe meedenken, de motivatie en de gezellige tijd die ik tijdens deze periode.

Veel plezier met het lezen van mijn verslag!

Liza Boon

SAMENVATTING

Het kunnen printen van voedsel klinkt als een futuristisch scenario, maar het is waarschijnlijk eerder mogelijk dan je nu zou denken. Deze bacheloropdracht is gericht op de ontwikkeling van 3D-foodprinting, waarbij het specifieke doel was om een verpakking voor de levensmiddelen in de printer te ontwikkelen. De opdracht is gedaan voor het in Enschede gevestigde bedrijf 'het Foodatelier'. Het externe doel van het Foodatelier is om uiteindelijk een 3D-foodprinter te ontwikkelen die op commercieel niveau verkocht kan worden.

De techniek van 3D-foodprinting is niet nieuw. De techniek berust op dezelfde principes als het driedimensionale printen dat in de metaal- en plasticindustrie gebruikt wordt, vaak Rapid Prototyping en Rapid Manufacturing genoemd. De driedimensionale printtechnieken kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën, gebaseerd op de staat waarin ze zich bevinden tijdens het printen: vaste stoffen, vloeistoffen en poeders.

Een marktonderzoek naar bestaande concepten, prototypes en vergelijkbare producten van 3D-foodprinters laat zien dat het aanbod nog minimaal is op dit moment. De conceptuele modellen en prototypes ontbreekt het nog aan gebruiksvriendelijkheid, snelheid en aantrekkelijkheid van de geprinte gerechten. Daarom ligt er op dit vlak de mogelijkheid voor het Foodatelier om binnen dit gebied een nieuwe, gebruiksvriendelijke 3D-foodprinter te ontwikkelen die lekkere en mooie gerechtjes kan printen. De primaire doelgroep voor 3D-foodprinting zijn de food-professionals, waarbij de focus ligt op chef-koks die in restaurant in het luxere segment werken. De secundaire doelgroep zijn de gasten van deze restaurants, die uiteindelijk een 3D-geprint gerecht uit de printer kunnen bestellen van het menu.

Verschillende groepen ingrediënten werden overwogen om in de 3D-foodprinter gebruikt te worden. Dit waren ijs & likeur, patisserie, fruit, moleculair koken en kandij/snoepjes. Hartige ingrediënten werden ook overwogen, echter hun nadeel is dat bijna elk ingrediënt gepureerd moet worden voor gebruik, waardoor ze hun textuur en zelfs hun smaak kunnen verliezen, zoals bijvoorbeeld bij vlees het geval is. Door een interview uit te voeren in restaurants en bakkerij werd ook duidelijk dat er een voorkeur bestaat voor zoete ingrediënten wat betreft 3D-foodprinting. Uiteindelijk is een range van zeven ingrediënten uit de patisserie en fruit categorieën gekozen en gebruikt tijdens de rest van het project. Deze ingrediënten zijn in semi-vloeibare staat, dit betekent dat ze geprint kunnen worden, maar geen vaste vorm aannemen na het printen. Daarom is het printproces ook afhankelijk van het medium waarop geprint wordt. In dit geval is dit een eetbaar of niet-eetbaar bord zijn, bijvoorbeeld een wafel of een stuk chocolade.

Voor de 3D-foodprinter en de verpakking werd een programma van eisen opgesteld, waarbij het eerste vooral dienst deed om de randvoorwaarden van de verpakking vast te stellen. Deze randvoorwaarden en het algemene werkingsprincipe zijn belangrijk voor de manier waarop de verpakking functioneert. Uit vier mogelijke werkingsprincipes van het systeem werd één principe gekozen. Dit systeem bestaat uit vier stilstaande verpakkingen en een bewegende printkop die de levensmiddelen verspreidt. Om een duidelijk overzicht te krijgen over de belangrijkste onderdelen van de verpakking en de printer werd een House of Quality analyse uitgevoerd. Deze analyse liet zien dat het belangrijk is om voldoende aandacht te besteden aan de manier van bevestigen in de printer, het materiaal van de verpakking en het volume.

Er werden drie concepten voor de verpakking gemaakt, onder andere door het gebruik van een morfologisch schema. Het gekozen concept, dat doorontwikkeld is tot het eindresultaat, is een disposable, rigide verpakking met een vaste doorsnede in de verticale richting. De kernaspecten van deze verpakking zijn het gebruiksgemak en de uitwisselbaarheid met andere smaken uit de genoemde range van ingrediënten. Het levensmiddel rust in de verpakking op een beweegbaar platform. De verpakking kan in de 3D-foodprinter geplaatst worden nadat deze gedraaid is naar de bottom-up stand. Vervolgens kan een schuifje geopend worden waarna een slang die de cassette verbindt met de printkop geplaatst kan worden. Door middel van extrusie kan nu het platform naar beneden bewegen waardoor het levensmiddel naar de printkop geleid wordt waar het vervolgens gedoseerd wordt op het medium waarop geprint wordt.

SUMMARY

Being able to print your food sounds like a future scenario, but it may be coming to a kitchen near you sooner than you might think. This bachelor assignment focuses on the development of 3D-foodprinting and is specifically aimed to develop the casing of the used foodstuffs. The assignment is carried out for 'Het Foodatelier', based in Enschede, the Netherlands. The goal for Het Foodatelier is to eventually develop a commercially viable 3D-foodprinter.

The technique of 3D-foodprinting is not new: the same principle that is used in three-dimensional printing techniques in the metal and steel industry, often called Rapid Prototyping and Rapid Manufacturing, applies for 3D-foodprinting. The three-dimensional printing techniques can be divided into three types based on their state when printing: solids, liquids and powders.

A market analysis of existing 3D-foodprinter concepts, prototypes and similar products shows that the supply of working 3D-foodprinters is still minimal. Both the conceptual models and the prototypes cannot be considered full-grown products yet. In this segment there is a possibility for het Foodatelier to develop a new, user-friendly 3D-foodprinter that adds new value to the experience of eating. The primary target group for 3D-foodprinting is considered to be the higher level food-professionals, mainly focussing on the chefs working in highly appreciated restaurants. The secondary target group are the guests of these restaurants who will eventually be able to order 3D-printed food from the printer.

Different groups of ingredients were considered to be used in the 3D-foodprinter. These included ice&liquor, pastry, fruits, molecular cooking and sugar candy/sweets. Savory ingredients were also considered, their downside is that most of them need to be puréed and might lose their texture by doing so, in the case of meats for example. By interviewing restaurants and bakeries in the Netherlands, a preference for sweet ingredients was distinguished and new ideas for the appliance of 3D-foodprinting were acquired. Eventually a range of seven ingredients from the pastry and fruit categories was chosen and used during the rest of the project. These ingredients are all in the semi-liquid state, so they can be printed, but do not form a solid structure afterwards. Therefore the described printing progress relies on the medium to be printed on, which should be an edible or non-edible solid plate, for example a wafer or a piece of chocolate.

A list of requirements was made for both the 3D-foodprinter and the casing, the prior being only to portray the boundary conditions in which the casing should be able to function. These boundaries and the overall working principle are important for the way the casing works. Out of four possible different working principles of the system, one was chosen. This system consists of four stationary casings and a moving printer head which distributes the ingredient. To make a clear overview of the most important parts of the casing and the printer a House of Quality analysis was conducted, showing special attention needed to be given to the way of mounting the casing, the material of the casing and the volume of the casing.

Three concepts for the casing were drafted using the approach of a morphological diagram. The chosen concept, which was developed into the final result, is a disposable rigid container with a fixed section profile on the vertical axis. The foodstuff inside the casing is separated from outside by a movable platform. The main aspects of the casing are usability and exchangeability with other casings from the range. The casing can be placed into the 3D-foodprinter where it needs to be rotated bottom-up. A slider mechanism can be slid open, subsequently a flexible hose can be secured inside the casing, connecting the casing with the printer head. By means of extrusion the platform can move downwards, injecting the foodstuff into the flexible hose, continuing its way into the printer head to be eventually dosed properly onto the medium to be printed on.

INHOUDSOPGAVE

Inleiding	8
Begrippenlijst	9
Hoofdstuk 1: 3D-(food) printing	10
1.1 Wat is 3D-(food)printing?	10
1.2 Marktanalyse 3D-foodprinting	14
1.3 2D-Foodprinting	14
1.4 Conceptuele 3D-foodprinters	15
1.5 Gerealiseerde 3D-foodprinters	18
Hoofdstuk 2: Doelgroep	24
2.1 Mogelijke doelgroepen	24
2.2 Stakeholders	24
2.3 Interviews	25
2.4 Omgeving	26
2.5 Scenario's	26
Hoofdstuk 3: Ingrediënten	29
3.1 Juiste eigenschappen levensmiddelen	29
3.2 Uitsplitsing ingrediënten	30
3.3 Conceptrichtingen ingrediënten	31
Hoofdstuk 4: Conceptontwikkeling	34
4.1 Programma van eisen en wensen	34
4.2 Basisprincipes werking 3D-foodprinter	35
4.3 Ideegeneratie	39
4.4 Conceptkeuze	43
4.5 Overige ideegeneratie	44
Hoofdstuk 5: Conceptuitwerking	45
5.1 Morfologisch schema	45
5.2 Volume van de cassette	45
5.3 Vorm van de cassette	47
5.4 Bevestiging van de cassette	49
5.5 Materiaal van de cassette	50
5.6 Etiket	51
5.7 Eindconcept	54
Hoofdstuk 6: Evaluatie van het ontwerp	56
6.1 Toetsing aan Programma van Eisen	56
Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen	58
7.1 Conclusies	58
7.2 Aanbevelingen	58
Referenties	60

INLEIDING

Het zelf kunnen printen van voedsel met één druk op de knop klinkt voor velen als toekomstmuziek. Het roept science-fiction beelden op, zoals dat van Star Trek, waarbij Captain Picard al in de jaren '60 in zijn ruimteschip een 'replicator' in zijn ruimteschip had en daarbij een 'Tea, Earl Grey, Hot' kon bestellen, welke dan onmiddellijk voor zijn neus stond. [1]

Er is een kleine groep experts die zich bezig houdt met het ontwikkelen van deze techniek, waarmee laag voor laag voedsel geprint kan worden. Zij zien de potentie van deze techniek en werken aan het marktrijp maken van het apparaat.

Het Foodatelier behoort ook tot deze groep experts die onderzoek doet naar 3D-foodprinting. Het Foodatelier is een bedrijf gevestigd in Enschede dat werkt voor de levensmiddelenindustrie. De expertise van het Foodatelier richt zich op vier gebieden: kwalitatief marktonderzoek, marketing & productmanagement, productontwikkeling en verpakking & design. Op die manier wordt in opdracht van klanten gewerkt aan nieuwe, niet altijd voor de hand liggende ideeën in food waarvoor deeloplossingen of totaaloplossingen ontwikkeld worden.

Door 3D-foodprinting verder te ontwikkelen wil het Foodatelier de commerciële sector enthousiast maken voor de toepassing van 3D-foodprinting binnen verschillende industrieën. Het Foodatelier ziet reële kansen in de toepassing van 3D-foodprinting. Het voedsel dat de te ontwikkelen 3D-foodprinter zal kunnen printen moet zich kunnen onderscheiden van conventioneel voedsel en op die manier van toegevoegde waarde zijn. Het externe doel van het Foodatelier is om uiteindelijk een uitgewerkt concept te hebben voor een 3D-foodprinter met commerciële potentie.

Een begin aan dit onderzoek is al gemaakt door Jorn van Manen, een student Industrieel Ontwerpen die ook in het kader van de bacheloropdracht bij het Foodatelier onderzoek heeft gedaan naar de commerciële kansen van 3D-foodprinting. Kennis over 3D-printing en 3D-foodprinting door deze student al in kaart gebracht. Ook werd in april 2012 een workshop georganiseerd waar verschillende professionals uit de voedsel- en kookwereld aanwezig waren.

Uiteindelijk heeft de opdracht geleid tot een concept voor een printbaar ijsklontje, met verschillende kamers die kunnen worden opgevuld met een likeur of drank. Zodra het ijs smelt verandert de smaak van het drankje.

Op basis van deze opdracht is opnieuw een analyse uitgevoerd van de huidige staat van 3D-foodprinting. Het doel van de opdracht was het ontwikkelen van een verpakking voor levensmiddelen die in de 3D-foodprinter worden gebruikt. Door de markt te analyseren, de doelgroep te kiezen en de te gebruiken groep ingrediënten te definiëren kon een eindconcept gemaakt worden van deze verpakking. De verpakking wordt binnen deze opdracht geplaatst in de context van de 3D-foodprinter, waarvoor de randvoorwaarden in deze opdracht opgesteld zijn. De detailuitwerking en technische details van het systeem zijn niet inbegrepen in deze opdracht en kunnen mogelijk in een later project verder uitgewerkt worden.

De opdracht startte met een analysefase waarin onderzocht is wat de huidige ontwikkelingen binnen 3D-printing en 3D-foodprinting zijn. Er is onderzocht wie de actoren en stakeholders zijn die bij 3D-foodprinting betrokken zijn. De doelgroep en hun eisen en wensen zijn onderzocht door middel van interviews en literatuurstudie, verder zijn ook mogelijke ingrediënten voor 3D-foodprinting onderzocht.

Vervolgens is een programma van eisen opgesteld aan de hand van alle verzamelde informatie en is gebruik gemaakt van een House of Quality om de belangrijkste eisen en onderdelen te definiëren. Er zijn drie conceptringen uitgewerkt en in overleg met de opdrachtgever is daaruit een keuze gemaakt. Deze richting is vervolgens probleemgericht uitgewerkt tot een eindconcept met hulpmiddelen als collages, schetsen en een morfologisch schema. Vervolgens is dit eindconcept uitgewerkt tot op het niveau van presentatietekeningen en renders.

BEGRIPPENLIJST

3D-foodprinting: 3D-printing waarbij als grondstof een of meerdere levensmiddelen worden gebruikt.

3D-foodprinter: apparaat waarmee 3D-foodprinting uitgevoerd kan worden.

3D-printing: het fabriceren van een fysiek object via een digitaal model dat door de 3D-print techniek omgezet wordt tot dit fysieke object.

Cassette: de te ontwerpen verpakking waarin levensmiddelen opgeslagen, gedoseerd en bewaard kunnen worden.

Concept: een uitwerking, beschrijvend of grafisch, van het idee voor het te maken ontwerp.

Conceptrichting: een uitwerking, beschrijvend of grafisch, van meerdere ideeën met één of meerdere overeenkomsten van waaruit een concept uitgewerkt kan worden.

Doelgroep: persoon of instantie die bereid is om 3D-foodprinting te gaan gebruiken.

Geprint voedsel: eetbare objecten die de output zijn van de 3D-foodprinter.

Grondstof: stof die (in ruwe vorm) als input dient voor de 3D-foodprinter.

House of Quality: maakt deel uit van Quality Function Deployment, een methode om klantwensen in beeld te brengen. Een analyse waarbij de belangrijkste eisen en wensen overzichtelijk in beeld gebracht kunnen worden.

Hydrocolloïde: een substantie waarvan de deeltjes (colloïden) verspreid zijn in water. Afhankelijk van de concentratie van deze hydrofiele deeltjes kan de substantie van de stof veranderen van een dikke gel naar een vloeistof

Levensmiddelen: eetbare stoffen in vloeibare, vaste of poedervorm die gebruikt kunnen worden voor 3D-printing.

Support-structuur: een bij sommige 3D-print processen gebruikte benaming voor een ondersteunend materiaal, anders dan het hoofdmateriaal, dat ervoor zorgt dat overhangende en complexe geometrieën mogelijk zijn om te printen.

HOOFDSTUK 1: 3D-(FOOD) PRINTING

1.1 WAT IS 3D-(FOOD) PRINTING?

3D-foodprinting heeft als doel een eetbaar object te creëren, door middel van het laagje voor laagje opbouwen van dit object met een levensmiddel.

Op dit moment is 3D-foodprinting nog volop in ontwikkeling en bestaan er nog geen toepassingen voor de consument. Toch gaan de huidige ontwikkelingen in sneltreinvaart en zijn verschillende partijen

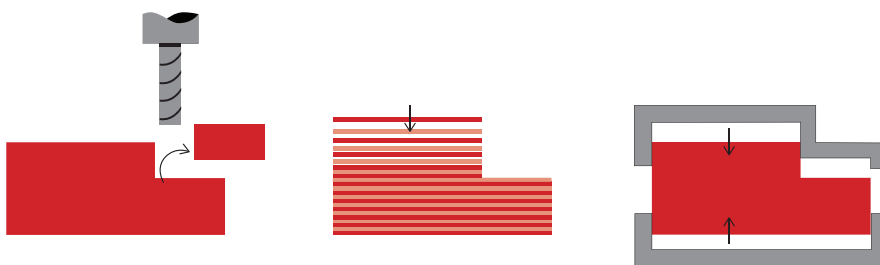
bezig met het ontwikkelen van de techniek. Het concept van de foodprinter is eenvoudig. Verschillende voedingsingrediënten worden gecombineerd en kunnen geprint worden in de gewenste consistentie. Laag voor laag wordt zo een eetbaar 3D-model opgebouwd.

Technisch gezien is 3D-foodprinting geen nieuwe ontwikkeling. In essentie berust de techniek op dezelfde principes als het driedimensionale printen in de metaal- en plasticindustrie, vaak rapid prototyping (RP) of rapid manufacturing (RM) genoemd. Deze technieken zijn al sinds eind jaren '80 van de vorige eeuw in ontwikkeling en zijn ondertussen uitgegroeid tot volwassen technieken die en op verschillende manieren het ontwerpproces kunnen versnellen. Maar als het mogelijk is om te printen met allerlei verschillende kunststoffen, waarom zou het dan niet kunnen met chocolade, kaas of glazuur? Binnen deze gedachte is 3D-foodprinting ontstaan en de praktijk toont aan dat het inderdaad goed mogelijk is met deze levensmiddelen 3D-modellen op te bouwen.

1.1.1 3D-PRINTING

Binnen 3D-printing zijn vele verschillende technieken, een verzamelnaam voor deze technieken is additive manufacturing. 'Additief', omdat materiaal wordt toegevoegd om 'niets' om te vormen tot 'iets'. Het tegenovergestelde van een additief proces is een substractief proces. Hieronder vallen verspanende processen zoals (CNC) frezen en draaien, waarbij vanuit een blok materiaal wordt weggehaald om een product te vormen. Ook bestaat er nog het formatieve proces,

waarbij vormloos materiaal gevormd wordt door een externe mal of matrijs, zoals bij alle gietprocessen.[2]



Figuur 1. Formatief, additief en substractief proces

De eerste ontwikkelingen begonnen aan het begin van de jaren '80 van de vorige eeuw. In 1977 werd het eerste patent voor een techniek gebaseerd op een laser die een bepaalde baan maakt door een vat met vloeibare monomeren, die daardoor uitgehard worden. Daardoor ontstaat binnen in het vat een vast product dat de vorm heeft van de banen die de laser zojuist gemaakt heeft. Deze ontwikkeling leidde tot het Stereolithography Apparatus (SLA), de eerste RM techniek.[3]

1.1.2 LAAG VOOR LAAG

Een belangrijke overeenkomst tussen alle rapid manufacturing technieken is dat het product laag voor laag wordt opgebouwd, alleen de manier waarop verschilt per techniek. Dit heeft vooral te maken met de fase waarin het materiaal dat gebruikt wordt zich bevindt: vaste stof, vloeistof of poeder.

1.1.3 VASTE STOFFEN [3]

Hierbij worden twee types onderscheiden, laminated object manufacturing en fused deposition modeling.

LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM) stamt in eerste instantie af van een handmatig proces: het snijden van doorsnedes uit karton en deze op elkaar plakken. LOM is dus een combinatie van een substractief (uitsnijden) en additief (opplakken) proces. De doorsnedes worden gemaakt met een laser die exact op de goede afstand afgesteld is zodat deze genoeg vermogen heeft om alleen de bovenste laag in de goede vorm te snijden. Het materiaal wat bij LOM wordt gebruikt is meestal karton. Maar ook plastics,

metalen en keramische tapes kunnen gebruikt worden en eigenlijk elk materiaal dat op een rol verpakt kan worden. Er is veel nabewerking nodig, omdat het overtollige materiaal weggehaald moet worden met bijvoorbeeld een beitel.

FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) is een veelgebruikte techniek die gebaseerd is op het laag na laag op elkaar leggen van gesmolten, geëxtrudeerd materiaal. Het kunststof materiaal is opgeslagen in het apparaat op een spoel of in een cartridge in de vorm van een filament-draad. Aandrijfwielletjes zorgen ervoor dat dit filament door een extrusiekop wordt geleid, waar het verwarmd wordt tot het zich in semi-vloeibare staat bevindt. Hierna kan het materiaal laag voor laag geëxtrudeerd worden in de gewenste vorm.

1.1.4 VLOEIBARE STOFFEN [3]

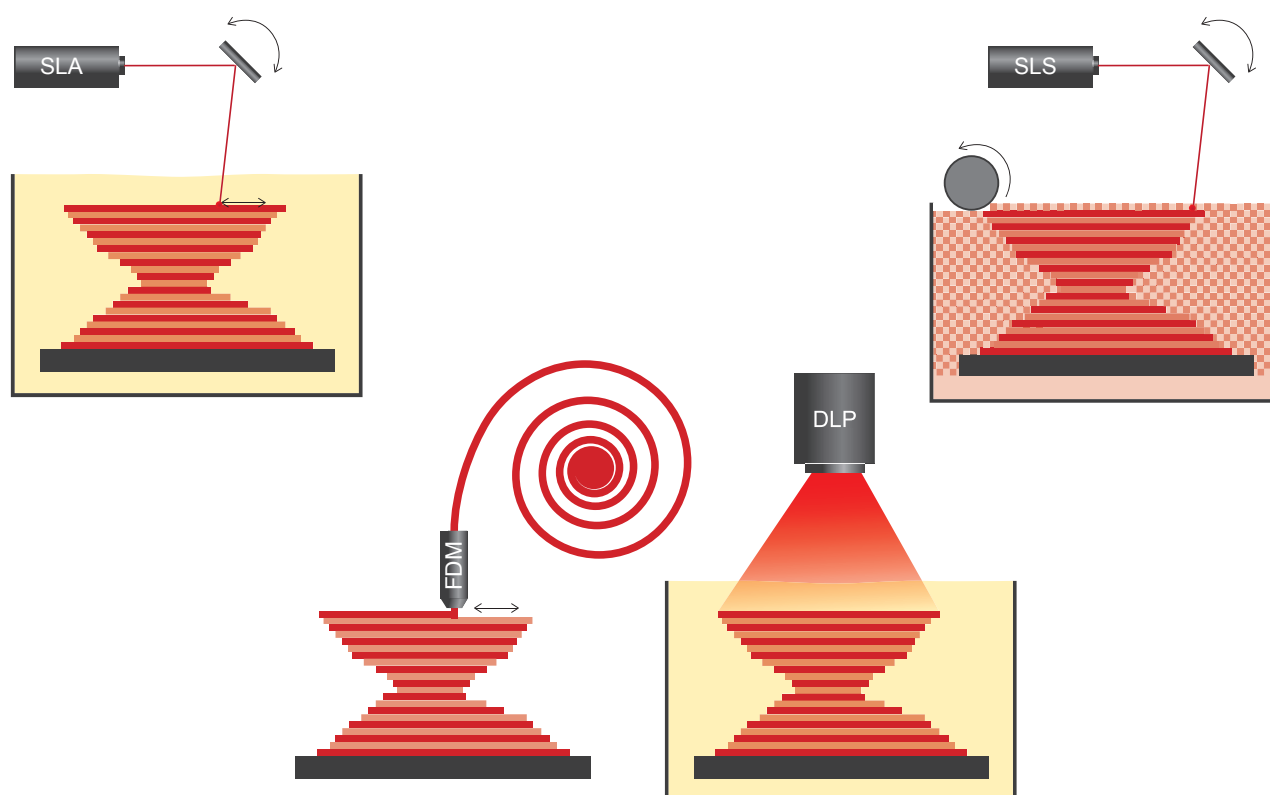
STEREOLITHOGRAPHY APPARATUS (SLA) was het eerste commercieel verkrijgbare systeem. Bij stereolithografie zit een vloeibare kunststof hars die gevoelig is voor licht in een reservoir. Een laser schijnt vervolgens met exact de juiste sterkte op deze kunststof waardoor het juist op die plek kan uitharden. Doordat de laser beweegt en op die manier laag voor laag de juiste doorsnede van de kunststof laat uitharden, kan de gewenste vorm gemaakt worden. Een voordeel van SLA is dat de hars ervoor zorgt dat er geen support-structuren nodig zijn om overhangende delen te ondersteunen.

DIGITAL LIGHT PROCESSING (DLP) berust op hetzelfde werkingsprincipe als SLA. Door middel van lichtprojecties wordt bij DLP een vloeibare kunststof hars uitgehard, waardoor de 2D-doorsnedes gevormd worden. De complete doorsnede van het product wordt simpelweg geprojecteerd op de bak met vloeibaar materiaal door een projector. Hierdoor kunnen hoge resoluties behaald worden. Dit wordt herhaald totdat de gewenste vorm verkregen is. [4]

1.1.5 POEDERS [3]

SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) maakt gebruik van poedervormig materiaal, dit kan een kunststof zijn maar ook metalen zijn mogelijk. Door een rol wordt een laag poeder op een werkoppervlak verspreid. Een CO²-laser beweegt over dit werkoppervlak heen en smelt het poeder aan elkaar waardoor de 2D-doorsnede ontstaat. Dit wordt herhaald totdat de gewenste vorm verkregen is.

THREE-DIMENSIONAL PRINTING (3DP) maakt gebruik van een materiaal gebaseerd op gips waaraan additieven zijn toegevoegd. Door een rol wordt ook hier een laag poeder op het werkoppervlak verspreid. Een printkop met een binder erin beweegt over het werkoppervlak en lijmt het poeder aan elkaar. Het unieke bij 3DP is dat deze binder ook gekleurd kan zijn waardoor het model in het volledige kleurenspectrum geprint kan worden.



Figuur 2. De principes van FDM, SLS, SLA en DLP

1.1.6 VOORBEELDEN 3D-PRINTING

GROOT - DUUR - BEWEZEN - BETROUWBAAR - PROTOTYPING - BASIS VOOR MALLEN



Figuur 3.
3D-system's Project HD 3500



Figuur 4.
Dimension 1200es series



Figuur 5.
EOSINT P760



Figuur 6.
zCorp ZPrinter 450

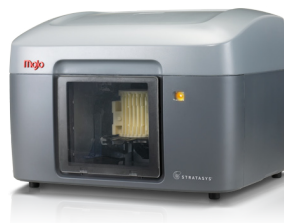
DESKTOPFORMAAT - KLEINE BROERTJE VAN - PROTOTYPING & FUN - GEBRUIKSVRIENDELIJK



Figuur 7.
Stratasys uPrint



Figuur 8.
Objet24 Desktop 3D printer

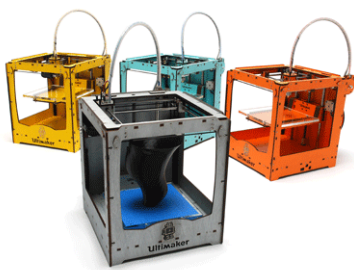


Figuur 9.
Stratasys Mojo 3D-printer



Figuur 10.
3D-system's Cube 3D-printer

KLEIN - GOEDKOOP - OPEN SOURCE - COMMUNITY-BASED ONTWIKKELING - WHY? FUN!



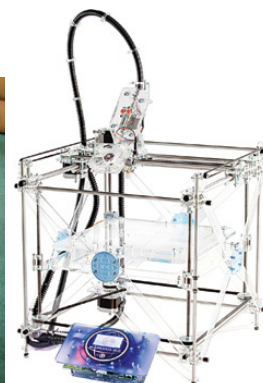
Figuur 11.
Ultimaker



Figuur 13.
B9Creator via Kickstarter



Figuur 12.
MakerBot Replicator



Figuur 14.
RepRap RepMan

HOGE NAUWKEURIGHEID - PRECIEZE AFWERKING - VELE MATERIALEN MOGELIJK



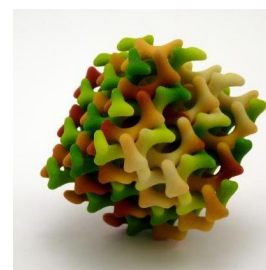
Figuur 15.
Klein bottle
Roestvrij staal



Figuur 16.
Porous bracelet
Wit polyamide



Figuur 17.
Rocket espresso cup
Geglazuurd keramiek



Figuur 18.
Double gyroid
Gekleurd zandsteen

HOGE BRUIKBAARHEID - NAUWKEURIGHEID IS LAGER - VOORAL KUNSTSTOFFEN



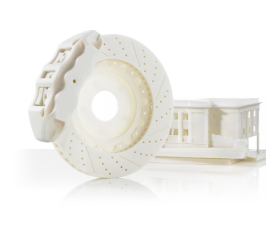
Figuur 19.
Armbanden, schoenen
Recyclable plastic



Figuur 20.
Robotjes
Recyclable plastic



Figuur 21.
Ringen
Recyclable plastic



Figuur 22.
Functionele mock-up
ABS

LAGERE BRUIKBAARHEID - THUIS PRODUCTEN MAKEN - ONLINE COMMUNITY



Figuur 23.
One small step
maurerpe@Thingiverse



Figuur 24.
Twisted vase, makerbot
MaakMijnIdee@Thingiverse



Figuur 25.
Micro dumper toys
bleheimer@Thingiverse



Figuur 26.
Spherical Containers
pmoews@Thingiverse

1.2 MARKTANALYSE 3D-FOODPRINTING

Er bestaat nog geen enkele gebruiksvriendelijke 3D-foodprinter die makkelijk te gebruiken is én goede resultaten bereikt. De printers die er zijn, kunnen opgedeeld worden in twee categorieën: conceptuele printers (tot op het niveau van visualisaties van ideeën) en printers die al gerealiseerd zijn. Een aparte categorie is de '2D-foodprinter' waarbij vooral taarten gepersonaliseerd kunnen worden door op een plak marsepein een foto of logo te printen met eetbare inkten.

	CONCEPTING	PROTOTYPE	PRODUCT
MIT	X	X	
Electrolux	X		
Philips	X		
Cornell University & FCI	X	X	
ChocEdge & University of Exeter			X
CandyFab		X	
University of the West of England		X	
TNO	X	X	
De Grood Innovations/Foodjet			X
RFP/University of Missouri Rolla/McGill University		X	
Het Foodatelier & Universiteit Twente	X	X	
2D foodprinting			X

Deze tabel vat samen dat er veel concepten en prototypes zijn maar in verhouding nog maar weinig echte producten. De enige 3D-foodprinter die ten tijde van schrijven commercieel verkrijgbaar is, is de ChocEdge. De Foodjet printer en de toepassingen van 2D-foodprinting zijn ook commercieel verkrijgbaar maar deze blijven voornamelijk in het tweedimensionale vlak. Op dit moment heeft de te ontwikkelen 3D-foodprinter dus nog weinig concurrentie. In de volgende paragrafen zullen alle in de tabel genoemde spelers op de markt verder toegelicht worden.

1.3 2D-FOODPRINTING

Hieronder vallen de decoratieve tweedimensionale opdrukken voor gebak en taarten die al enkele jaren makkelijk verkrijgbaar zijn voor de consument. Met een eetbare print kan geprint worden op een plak marsepein, frosting sheet of een ouwel (eetpapier).

Vaak wordt dit product gebruikt voor speciale gelegenheden: het vieren van verjaardagen, een bedrijfsuitje met een taart met het bedrijfslogo of als cadeautje van de dealer bij de aanschaf van een nieuwe auto of nieuw huis.

Voor het 2D-printen kan een gewone inkjetprinter gebruikt worden. Deze printer moet nieuw zijn en mag nog niet in aanraking geweest zijn met inkt. De standaard inktcartridges moeten vervangen worden door cartridges met eetbare inkt. Het bedrijf Bouwhuis levert een starterspakket met een printer van Canon, eetbare inkt en allerlei soorten sheets om op te printen (FIGUUR 27). [29]

Ook bestaat er al speciale software die makkelijk te begrijpen is voor bakkers waarmee de opdrukken

geprint kunnen worden. Via een magnetische mal kunnen deze vrij snel verwerkt worden in bijvoorbeeld bonbons. [30]



Figuur 27. Canon printer met eetbare inkt en eetpapier

Naast de mogelijkheid om zelf een 2D-foodprinter aan te schaffen is het ook mogelijk bij diverse supermarkten,

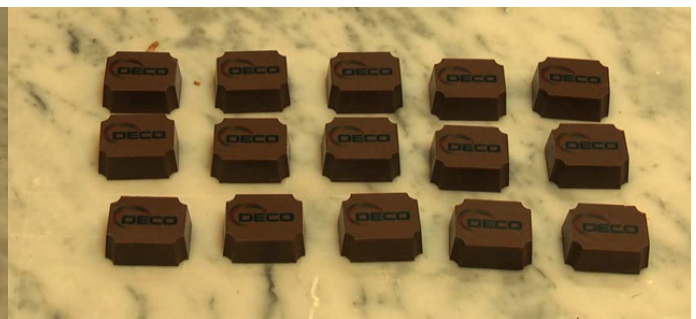
warenhuizen en banketbakkers een complete gepersonaliseerde fototaart te bestellen (FIGUUR 28). [31] [32] [33]

Ook bieden bedrijven die in het bezit zijn van een 2D-foodprinter hun services aan zodat een consument hier een velletje marsepein met opdruk kan bestellen. [34]

Het zelf decoreren van taarten lijkt een behoorlijke hype te zijn op dit moment. Voor degene die zelf geen investering wil doen in een 2D-foodprinter kunnen dit soort bedrijven uitkomst bieden bij het maken van gepersonaliseerde taarten.



Figuur 28. Taarten met foto en logo



Figuur 29. Het decoreren van chocoladebonbons met een logo

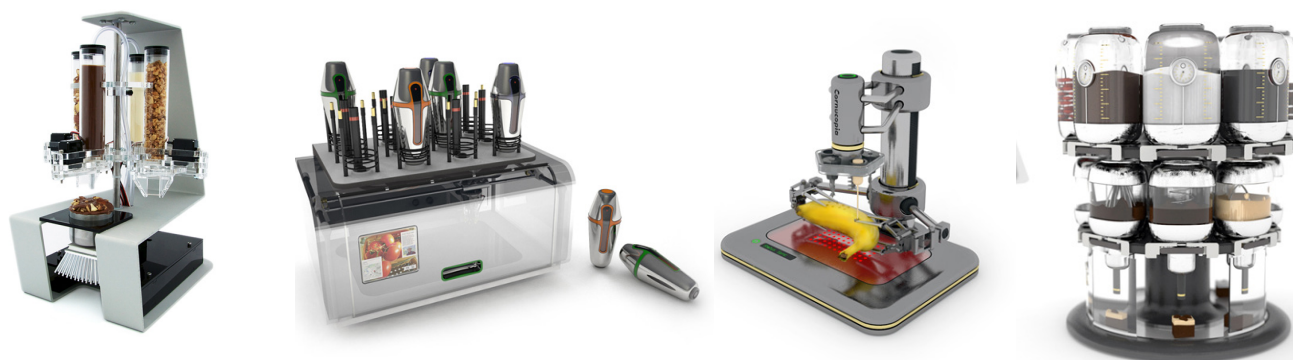
1.4 CONCEPTUELE 3D-FOODPRINTERS

1.4.1 MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT) - CORNUCOPIA CONCEPT (2010) [5]

In 2010 lanceerden Zoran en Coelho van het MIT Media Lab de Cornucopia-serie. De serie bestaat uit 4 verschillende concepten. Dit zijn de Digital Chocolatier, de Digital Fabricator, de Robotic Chef en de Virtuoso Mixer (FIGUUR 30).

De DIGITAL CHOCOLATIER is een concept en prototype voor een soort 3D-foodprinter met vier verschillende ingrediënten. Er zijn twee spuitopeningen met chocolade en twee met noten. De spuitopeningen kunnen ronddraaien in een carroussel. Door middel van een grafische user interface kan de gebruiker een recept selecteren of zelf ingrediënten selecteren. Vervolgens worden de ingrediënten in de thermo-elektrische beker gedoseerd. De beker kan snel afkoelen waardoor de chocolade hard wordt. Zo kan de gebruiker zijn eigen snoepjes en bonbons maken. Mocht het een succesvol recept zijn dan kan de gebruiker het opslaan om het later nog eens te maken.

De DIGITAL FABRICATOR komt het meeste in de buurt van een echte 3D-foodprinter. Dit conceptuele ontwerp schetst een beeld waarbij cartridges bovenin de ingrediënten opslaan, mixen, koelen en vervolgens printen in de box die er onder zit. Tijdens het printen kunnen de ingrediënten op de juiste temperatuur gehouden worden in zowel de printkop als de box in de fabricator. Door een ingebouwde user-interface die op het internet is aangesloten kan de gebruiker recepten delen en zo helemaal onder controle hebben hoeveel calorieën hij binnen krijgt, hoe het gerecht smaakt en hoe het gerecht gewaardeerd wordt door andere gebruikers. De Digital Fabricator blijft bij een



Figuur 30. Cornucopia concept - v.l.n.r. Digital Chocolatier, de Digital Fabricator, de Robotic Chef en de Virtuoso Mixer.

concept, het is niet bekend of MIT ook hiervan een prototype gaat ontwikkelen.

De overige twee concepten zijn minder toegespitst op 3D-foodprinting. De ROBOTIC CHEF is een mechanische arm bedoeld om een steak, vis of fruit chemisch of fysiek te veranderen. Door middel van boorkoppen en injecties van kruiden en smaken kan het object dan bewerkt worden en kan het ook verwarmd worden door een laser-diode.

De VIRTUOSO MIXER bestaat uit een ronddraaiende carrousel van drie lagen. Met de mixer kunnen koks makkelijk meerdere ingrediënten mengen en experimenteren met verschillende samenstellingen van die ingrediënten. In de acht grote containers bovenop kunnen koks de levensmiddelen bijvullen; deze worden zorgvuldig in de gaten gehouden via weegschalen, temperatuursensoren en luchtvochtigheidsmeters.

Bij een eerder project met studenten van het MIT in 2007 genaamd 'how to make almost anything' werd al geprint met pastadeeg. De studenten testten kaas, chocolade(saus), marshmallow, vanilleglazuur, pastadeeg en pindakaas. Ze vonden het pastadeeg het meest geschikt door de structuur en de droogeigenschappen. Ze doopten de experimentele printer die ze bouwden de 'FABARONI'[6].

1.4.2 NICO KLAEBER - ELECTROLUX MOLÉCULAIRE (2009) [7]

Elk jaar organiseert Electrolux, maker van huishoudelijke consumentenproducten, een design-wedstrijd genaamd Electrolux Design Lab. Bij deze wedstrijd mag echt out of the box gedacht worden en de meest futuristische concepten worden dan ook ingeleverd. Nico Klaeber leverde in 2009 ook zo'n futuristisch concept voor de Moléculaire in (FIGUUR 31). De Moléculaire moet de amateurkok thuis in staat stellen om zelf moleculaire gastronomie op tafel te zetten.

Moleculaire gastronomie is het toepassen van wetenschap en chemie in de keuken. Het begrip 'moleculaire gastronomie' is bedacht door natuurkundige Nicholas Kurti, later is het vooral bekend geworden door restaurants El Bulli in Spanje en The Fat Duck in Engeland geleid door respectievelijk Ferran Adria en Heston Blumenthal. Enkele vragen die de moleculaire gastronomie probeert te beantwoorden zijn:

Hoe veranderen ingrediënten door verschillende kookmethoden? Hoe werkt onze perceptie van smaak en aroma's? Hoe voelt voedsel aan en waarom vinden we dat wel of niet lekker? Hoe werkt ons brein samen met onze receptoren om de smaak van voedsel te beschrijven? [8] [9] Enkele voorbeelden zijn in FIGUUR 32,33 EN 34 te vinden.

Figuur 31. De Electrolux Moléculaire met verschillende conceptuele gerechten en het voorstel voor het binnenwerk.



Dit resulteert vaak in abstracte gerechten waarbij het uiterlijk losgekoppeld is van de smaak van het gerecht. Niks is daarbij gek genoeg: zo hoef je binnen de moleculaire wereld niet meer op te kijken van watermeloenkaviaar, octopuslollies of roomijs van met vloeibaar stikstof gekoeld roerei en bacon (The Fat Duck).

Met het concept van de Moléculaire van Electrolux is iedereen in staat om deze gecompliceerde gerechten te bereiden. Met een druk op de knop, nadat je een maaltijd-cartridge geplaatst hebt, stelt het apparaat iedereen in staat om een volledig moleculaire maaltijd te bereiden. Door laag voor laag de verschillende ingrediënten te doseren kunnen precies uitgebalanceerde hapjes geprint worden. Deze kun je delen met je vrienden via internet. Hoe de Moléculaire technisch gezien in elkaar zou moeten zitten is nog onbekend.

1.4.3 PHILIPS - FOOD CREATION [10]

Het onderzoek dat Philips doet heet Philips Food Design Probes, hierbij ligt de focus vooral op het vlak van gezondheid. Hoe kun je zo doseren, dat iemand exact de juiste voedingsstoffen binnenkrijgt? Hierbij wordt ook gedacht aan mensen met specifieke ziektes die baat hebben bij een zo nauwkeurig uitgebalanceerd mogelijk eetpatroon. Ook zou het preventief eten van het juiste voedsel een positief effect kunnen hebben op het vermijden van ziektes.

Het concept van Food Creation biedt de mogelijkheid om moleculaire gastronomie naar de keukens van de consument te brengen. De printer is cilindervormig en heeft bovenin ruimte om ingrediënten in te voeren. Vervolgens doet de printer het werk en komt het



Figuur 32. Yoghurt met fruitkaviaar

Figuur 33. Nitro-scrambled egg & bacon ice cream

Figuur 34. Tonic met 'spherified' fruitsap

gerechtje zo uit de printer rollen.

Ook bij deze Food Printer (FIGUUR 35) is het nog onduidelijk hoe dit technisch gezien mogelijk gemaakt zou kunnen worden.



Figuur 35.

Food Printer van het Philips Food Design Probes project



Figuur 36.

Philips Food Printer voedsel: v.l.n.r. papayasorbet omhuld met yoghurt, druivensculptuur, soep van kip en suikermaïs en mojito mis en bouche.

1.5 GEREALISEERDE 3D-FOODPRINTERS

1.5.1 CORNELL UNIVERSITY & FRENCH CULINARY INSTITUTE

De Cornell University begon in 2005 met het ontwikkelen van de nu populaire open-source Fab@Home 3D-printer. Een groep wetenschappers, geleid door Daniel Cohen en Jeffrey Lipton, begon na kunststoffen al snel met het uitproberen van printbare voedingsmiddelen als een goedkoop alternatief. Er volgde een uitgebreid onderzoek naar 3D-foodprinting. “3D-foodprinting gaat echt de nieuwe fase van digitale revolutie worden”, aldus Lipton.

De Cornell University is een samenwerking aangegaan met het French Culinary Institute en voerde experimenten uit op de Fab@Home printer. Daarbij werd een brede range van materialen getest – het uitgangspunt is: als je denkt dat een materiaal door een injectiespuit geëxtrudeerd kan worden, is het waarschijnlijk geschikt (FIGUUR 37). Ook is er al succesvol geprint met twee verschillende materialen in één model, waarbij glazuur gebruikt werd als ondersteuningsmateriaal voor een kunststoffen bolvorm. Ook werd een wit koekje geprint met in het midden een bruine letter C. Hiervoor zijn twee spuitmonden nodig. Een ander experiment met twee spuitkoppen was een combinatie van selderij met kalkoenvlees. Vervolgens kon dit blokje van kalkoen met een binnenkant van selderij sous-vide gekookt worden. Ook bleek dat sint-jacobsschelpen veranderd konden worden in een printbare substantie door het toevoegen van transglutaminase. Door na het pureren het enzym transglutaminase toe te voegen kunnen de ewitbindingen die door het pureren verbroken zijn weer hersteld worden. [11]

Door de samenwerking met het French Culinary Institute was het voor Cornell University mogelijk om ook te onderzoeken wat voor effect verschillende hulpstoffen op het voedsel hebben om het printbaar te maken.

Zo werd er een zogenaamde ‘mondgevoel-matrix’ opgesteld, waarin veel gebruikte ingrediënten (in de Verenigde Staten) als referentiepunt gebruikt zijn. Deze matrix heeft op de x-as een schaal van glad tot korrelig en op de y-as van zwak tot stevig. [12] (FIGUUR 38) Vervolgens werd een experiment met verschillende mixen van hydrocolloïden uitgevoerd. Dit waren gelatine en xanthaangom. De resultaten werden door een proefpanel vergeleken met de ingrediënten uit de mondgevoel-matrix. Zo is er een tweede mondgevoel-matrix gemaakt van deze hydrocolloïden (FIGUUR 39). Nu ligt er een basis om ook rauw voedsel zoals groente- en fruitpurees te gaan testen.

1.5.2 CHOCEDGE & UNIVERSITY OF EXETER [13] [14]

Het bedrijf Choc Edge werd gelanceerd in april 2012 en zegt de eerste commerciële chocoladeprinter te gaan verkopen: de Choc Creator. Choc Edge is een spin-off bedrijf van de Exeter University. Deze universiteit uit Engeland begon in 2007 met het ontwikkelen van de ChocALM (Chocolate Additive Layer Manufacturing). Het project, geleid door Dr. Liang Hao, wordt een succes en in 2011 wordt Choc Edge opgericht.

De Choc Edge moet een revolutie teweeg brengen in het maken van chocolade. Zo kan er een creatieve maar toch gezonde manier van chocoladeconsumptie ontstaan. Choc Edge zegt elke gebruiker als een co-creator te behandelen, dit betekent dat de terugkoppeling van gebruikers daadwerkelijk gebruikt wordt voor het verder ontwikkelen van de techniek. Het is nu nog onduidelijk hoeveel mensen de Choc Creator al gebruiken en wie nou precies de doelgroep is die de Choc Edge zal kopen. De prijs van de Choc Edge is omgerekend van ponden naar euro's €3138,- (augustus 2012).

De Choc Edge print vooralsnog alleen maar met chocolade. Er wordt gebruikt gemaakt van een injectiespuit-extruder. Door de Choc Creator geprinte producten zien er goed uit, maar de uitvoering blijft tot nu toe bij simpele 3D-vormen zoals kubussen en 2D-decoraties. De printer is uitgerust met een CE-



Figuur 37. 3D-foodprinting op de Cornell University in samenwerking met het French Culinary Institute

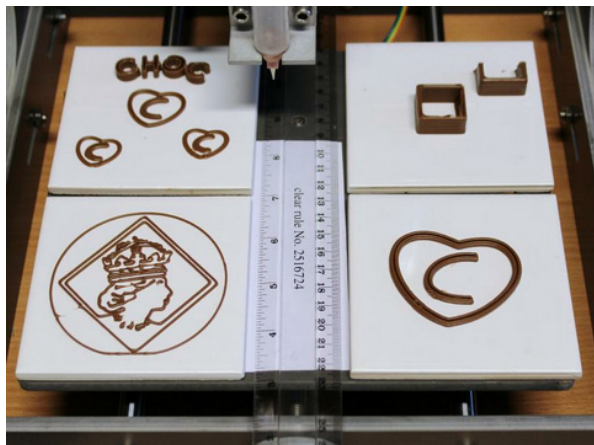
MEEST STEVIG	Chocolade				Gebakken vis	Wortel	Biscotti
		Champignons			Appel	Gekookte kip	Cracker
		Banaan	Gekookte spaghetti	Verse mozzarella	Tomaat		Hardgekookt eigeel
	Pindakaas	Marshmallow fluff	Meringue				Gehakt
	Jell-O pudding						
MEEST ZWAK	Jus (gravy)	Aardappelpuree	Cakeglazuur			Bruine bonenpuree	
	Self-supporting gel				Wit brood	Polenta	
	Non-self-supporting gel	Pudding	Cakebeslag	Frambozencoulis	Appelmoes	Risotto	
	Melk	Roomijs			Sorbet		Gemalen koffie
MEEST GLAD				MEEST KORRELIG			

Figuur 38. Cornell University's Mouthfeel-matrix

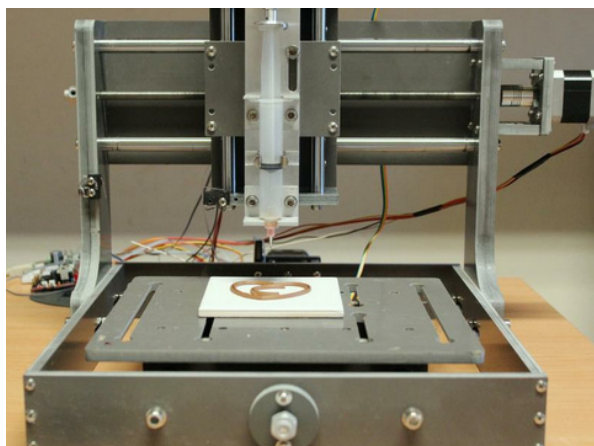
MEEST STEVIG						
	4% gelatine Chocolade/ champignons					
			16% xanthaan Gekookte spaghetti			
					1% gelatine, 8% xanthaan Tomaat	
	2% gelatine Jell-O pudding		2% gelatine, 8% xanthaan Meringue/ Cakeglazuur	0,5% gelatine, 8% xanthaan Meringue/ Cakeglazuur		
MEEST ZWAK		4% xanthaan Aardappelpuree				
	1% gelatine Self-supporting gel					
	2% xanthaan Non-self- supporting gel				0,5% gelatine, 4% xanthaan Appelmoes	1% gelatine, 4% xanthaan Risotto
	0,5% gelatine Melk					
MEEST GLAD				MEEST KORRELIG		

Figuur 39. Cornell University's Mouthfeel matrix ingevuld met hydrocolloiden gelatine en xanthaan.

markering, dit geeft aan dat deze voldoet aan de Europese regelgeving op het gebied van veiligheid en gezondheid. Hoe gebruiksvriendelijk de printer en de bijgeleverde software daadwerkelijk zijn is niet volledig duidelijk. De printer en enkele resultaten zijn te zien in FIGUUR 40 EN 41.



Figuur 40. Geprinte chocolaatjes van de ChocEdge



Figuur 41. De ChocEdge printer

1.5.3 CANDYFAB [15] [16] [17]

Candyfab is een op poeder gebaseerd systeem. Het poeder zit in een reservoir, waar een heteluchtpistool overheen beweegt zodat een 2D-doorsnede gevormd kan worden. Het poeder is bij de Candyfab, zoals de naam al doet vermoeden, kristalsuiker. Laagje voor laagje kan de Candyfab daarmee solide objecten maken van aan elkaar gekarameliseerde suiker. Het hoofddoel van Candyfab is vooral om een goedkoop alternatief te bieden voor dure kunststoffen en om met een groot bouwvolume ook grote modellen te kunnen printen. Eigenlijk is het dus niet bedoeld als 3D-foodprinter, hoewel de ontwikkelaars van 'Evil Mad Scientist Laboratories' zeggen dat de objecten prima eetbaar zijn

en tijdens het printen de geur van gekarameliseerde suiker in ieder geval een stuk aangenamer is dan die van gesmolten kunststof. Er bestaan nu twee versies van het apparaat, de Candyfab 4000 en 6000. De 6000 is de nieuwste versie die in 2009 is ontwikkeld waarvoor toen aangekondigd werd dat er Open Source zelfbouw-kits voor te koop zouden komen. De afgelopen drie jaar lijkt het project echter niet meer verder te zijn ontwikkeld en de zelfbouw-kits zijn niet verkrijgbaar.



Figuur 42. De Candyfab printer en twee modellen die ermee gemaakt zijn

1.5.4 UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND - EDIBLE 3D-PRINTING [18]

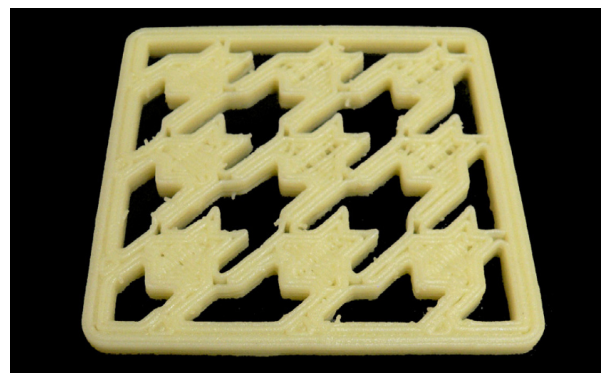
In 2011 schreven D. Southerland et al. van de University of the West of England een artikel over hun experimenten met 3D-foodprinting. Deze universiteit is in het bezit van een Z-Corp machine, welke gebruik maakt van de 3DP techniek met een poeder en een binder die het poeder aan elkaar lijmt. Er zijn drie experimenten uitgevoerd:

1) Het maken van een mal met het normale Z-Corp poeder en binder. Van deze mal werd een siliconen afgietsel gemaakt waarin chocolade werd gegoten in de vorm van een bom. Deze techniek bleek op esthetisch vlak het minst succesvol: dunne stukken chocolade braken te snel af en de ruwheid van de originele mal is erg goed terug te zien in het chocolade.

2) Het vullen van de Z-Corp machine met suiker en een soortgelijk proces uitvoeren zoals bij de Candyfab. Er zijn verschillende mixen van poedersuiker en kristalsuiker getest, de combinatie van 50% poedersuiker en 50% kristalsuiker gaf de beste resultaten. Aangezien de gewone Z-Corp binder is gebruikt is niet zeker of de geprinte modellen eetbaar zijn.

3) Printen met de RapMan 3.1 3D-printer om eetbare ingrediënten te extruderen. De RapMan printer is een open-source project ontwikkeld door BitsFromBytes. De RapMan werd aangepast door er een andere extrude nozzle in te bouwen, een zogenaamde auger valve die onder constante druk de extrusie constant houdt. Er werden verschillende materialen getest, onder andere chocolade, glazuur, instant aardappelpuree, echte aardappelpuree en roomkaas. Het testen bleef vooral beperkt tot 2D-vormen met een beperkte hoogte. De resolutie van de prints met roomkaas en instant aardappelpuree ziet er aantrekkelijk uit. Southerland et

al. Beschrijven deze techniek als de meest succesvolle van de drie omdat deze de meeste creativiteit biedt en hiermee echt eetbare producten gemaakt kunnen worden.



Figuur 44. Geprinte modellen met roomkaas (boven) en instant aardappelpuree (onder) bij de University of the West of England

1.5.5 DE GROOD INNOVATIONS - FOODJET PRINTING [22] [23]

Bij FoodJet printing ligt de focus op in massa geproduceerd voedsel. Vloeistoffen met een hoge viscositeit kunnen in hoge snelheid geprint worden op een vaste bodem zoals een pizza of een koekje. Door gebruik te maken van camera's kan er ook onafhankelijk



Figuur 43. Chocolade printen met de Rapman 3D-printer bij de University of the West of England

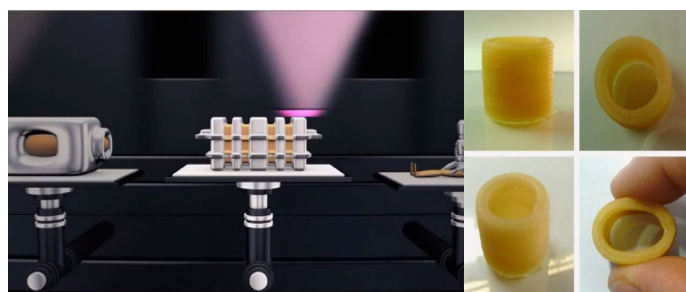
van de vorm van de ondergrond een deel van het midden van het deegwaar geprint worden. Zo kan op elke vorm pizza netjes de tomatensaus uitgesmeerd worden zodat een rand van 2cm vrij blijft. Als een pizzavorm te veel afwijkt van de standaard kan de machine deze pizza negeren en kiezen hier geen tomatensaus op te doseren. Door camera's te gebruiken kunnen de producten ook via een 'random product supply' op de lopende band onder de machine door rollen. Ook simpele toppings zoals het welbekende fondant op de roze koek wordt op deze manier 'geprint' op hoge snelheid. FoodJet printing is echter meer 2,5D dan 3D-printing. Er kunnen nog geen echte 3D-vormen gemaakt worden, maar toch gaat deze techniek alweer een grote stap verder dan 2D-foodprinting zoals de decoratieve opdruk op taarten.



Figuur 45. Foodjet printing

1.5.5 TNO - NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK [19] [20] [21]

TNO houdt zich op een vrij breed vlak bezig met 3D-foodprinting. TNO definieert de 3D-foodprinter als 'een apparaat dat voedsel kan produceren vanuit een aantal basisingrediënten, gebruik makend van printen óf van andere doseertechnieken'. Daaronder vallen dus ook SLS en SLA, waarmee respectievelijk vormen van Nesquick-poeder en van gelaserd eiwit gemaakt werden. Met de FDM techniek zijn ook cilindervormige winegums geprint. Deze voelen en smaken als een echte



Figuur 46. TNO concept hoge snelheid en 3D-geprinte flexibele winegum

winegum, alleen de cilindrische vormfactor maakt het bijzonder. TNO geeft zelf al aan dat er nog veel interessantere vormen mogelijk zijn dan deze cilinder. TNO laat weten dat de echte 3D-foodprinter die een complete maaltijd op tafel kan zetten, er nog lang niet is en ook nog wel even op zich laat wachten. Een belangrijke vraag die TNO probeert te beantwoorden is: 'hoe kun je op de juiste snelheid en schaal produceren met 3D-foodprinting? Een nieuwe ontwikkeling in rapid manufacturing, die nu nog niet voor voeding gebruikt wordt, is een hogesnelheidslijn met 100 bouwplatformen waaroverheen de printkoppen erg snel bewegen met een snelheid van 2 m/s. Volgens TNO kan er zo in een paar seconden een volledig product gebouwd worden. Binnen een jaar zal een nieuw project starten waarin dit systeem voor voedselprinten wordt geoptimaliseerd.

1.4.7 RAPID FREEZE PROTOTYPING [3] [24] [25] [26] [27]

Rapid Freeze Prototyping (RFP) is een techniek waarmee driedimensionale objecten van ijs gemaakt kunnen worden. Dit gebeurt door laag voor laag water te deponeren en steeds snel te bevriezen. Het doel van deze techniek ligt nog niet bij het maken van eetbare objecten, maar in de toekomst zal dit misschien verschuiven. RFP wordt nu gezien als een schone en goedkope manier om bijvoorbeeld een gietmal te maken, door de verloren-model methode toe te passen op het model van ijs.

Meerdere universiteiten wereldwijd werken aan de ontwikkeling van Rapid Freeze Prototyping, 3D-printen met water dat bevriest en zo een driedimensionaal model van ijs vormt. In 1998 begon de University of Missouri, Rolla al met het ontwikkelen hiervan. Ook professoren van de McGill University (Montreal, Canada) zijn er al in geslaagd om een 3D-ijsprinter te ontwikkelen.

Bij de McGill University werden twee machines geschikt gemaakt om te printen met ijs: de Fab@Home en een Cobra-600 robot. Met de Cobra-600 robot werden de beste en meest nauwkeurige resultaten behaald.

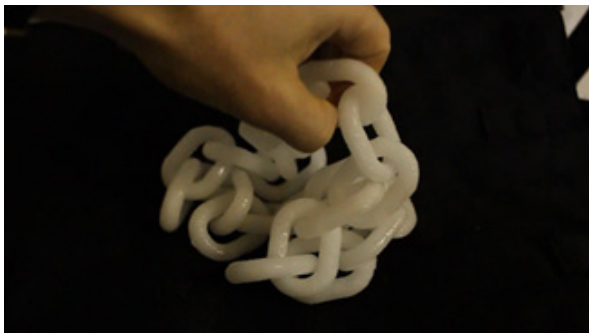
Op de University of Missouri Rolla is een ijsprinter gebouwd die ook gebruik kan maken van lokale bevrozing met vloeibare stikstof van -196 °C. Daarmee kan de snelheid verhoogd worden, maar het bevroren van elke laag blijft de bepalende factor voor de printtijd. Bij overhangende onderdelen is een supportstructuur nodig van het juiste materiaal, hiervoor is een

extra sproeikop nodig. Dit materiaal moet andere smelteigenschappen hebben dan het water. Voorbeelden van goede support materialen zijn pekkel (Kaliumchloride of natriumchloride oplossing) of een suikeroplossing. Van deze drie stoffen heeft de mens maar een kleine hoeveelheid nodig.

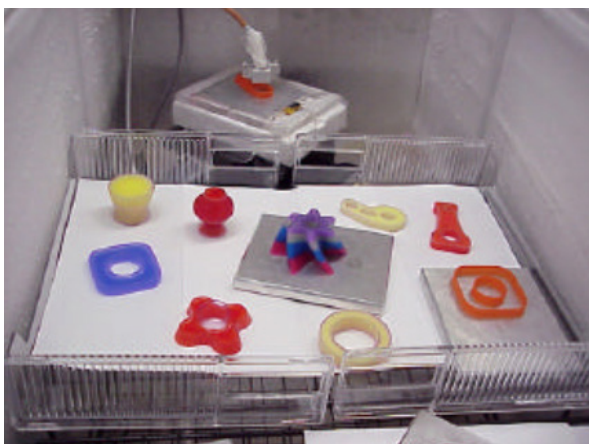
Als de geprinte modellen in de toekomst wel geschikt gemaakt worden om op te eten moet er dus goed op gelet worden dat het ondersteuningsmateriaal volledig weggesmolten is en er geen zouten op het ijsmodel achter blijven. Dit zou ook de smaak in negatieve mate kunnen beïnvloeden.

1.4.8 HET FOODATELIER & UNIVERSITEIT TWENTE [28]

In 2011 werd de interesse van het Foodatelier voor 3D-foodprinting gewekt. In samenwerking met de Universiteit Twente werd een presentatie gehouden voor verschillende bedrijven over de kansen van 3D-foodprinting. Met de getoonde interesse werd besloten een vervolgonderzoek te doen naar de commerciële kansen van 3D foodprinting. Om te bepalen wat 3D foodprinting aantrekkelijk maakt voor



Figuur 47. Ketting van ijs, geprint door McGill University

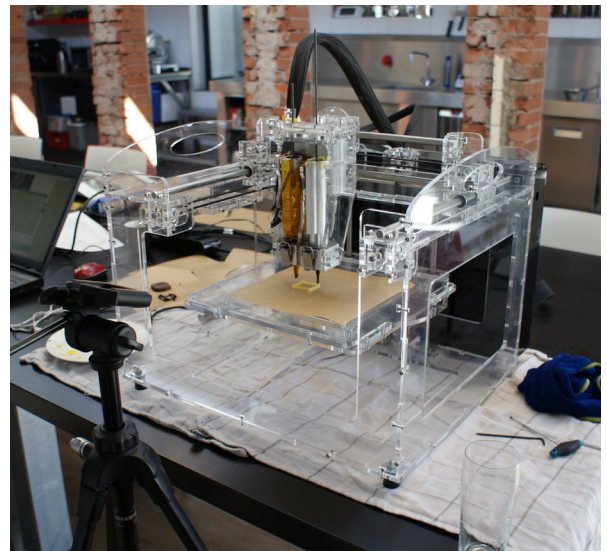


Figuur 48. Setup en experimentele ijsmodellen geprint door de University of Missouri, Rolla.

de commerciële sector, is er in april 2012 een workshop gegeven om bedrijven uit verschillende sectoren te informeren over de huidige stand van zaken van 3D foodprinting en om te bepalen waar de commerciële kansen van 3D foodprinting liggen. Naar aanleiding van deze workshop zijn meerdere ideeën voor de toepassing van 3D-foodprinting bedacht. Eén daarvan is uiteindelijk uitgewerkt tot het 'ice sensation' concept, het al eerder genoemde ijsklontje. Hierbij ligt de focus ook op het integreren van social media om op die manier een gepersonaliseerd ijsklontje te kunnen printen in een horecagelegenheid met je eigen naam of foto.

Ook is het Foodatelier in het bezit van een Fab@Home printer waarbij de standaard injectiespuiten zijn vervangen door aluminium cassettes ontworpen door B. Oude Luttikhuis (FIGUUR 49).

Hierin is een temperatuurregelingssysteem aangebracht zodat chocolade geprint kan worden. De aluminium cartridges zijn functioneel voor dit doel maar laten wat betreft functionaliteit nog wat te wensen over. Het concept van het ijsblokje was in eerste instantie het uitgangspunt van deze opdracht, maar na het onderzoek in de analysefase is toch een andere richting gekozen.



Figuur 49. Aangepaste Fab@Home aanwezig bij het Foodatelier



Figuur 50. Concept Ice Sensation door Jorn van Manen

HOOFDSTUK 2: DOELGROEP

2.1 MOGELIJKE DOELGROEPEN

Het is belangrijk om de doelgroep van de 3D-foodprinter goed in te kaderen. De doelgroepen onderscheiden zich op twee niveau's: professioneel en niet-professioneel.

PROFESSIONEEL NIVEAU

- ☐ Bakkerij
- ☐ Restaurant
- ☐ Eetcafé
- ☐ Club
- ☐ Bar
- ☐ Cocktailbar
- ☐ Café
- ☐ Catering
- ☐ Producent/industrie
- ☐ Supermarkt
- ☐ Gezondheidszorg

NIET-PROFESSIONEEL NIVEAU

- ☐ Consument

Daarbij moet wel vermeld worden dat elke categorie zijn gradaties kent. Bij met name de restaurants zijn er veel niveauverschillen. Zo zijn er vooruitstrevende restaurants die nieuwe ingrediënten en kooktechnieken zoals moleculaire gastronomie proberen. Andere restaurants houden het liever traditioneler en blijven bij een klassieker keuken. Daarbij is het bij de eerstgenoemde groep aan restaurants waarschijnlijker dat zij 3D-foodprinting willen uitproberen.

De te ontwikkelen foodprinter zal vallen in de bovengenoemde professionele sector. Ontwikkelingen voor een betaalbare printer voor de niet-professionele gebruiker zullen waarschijnlijk vanzelf volgen als 3D-foodprinting in de professionele sector een succes wordt.

2.2 STAKEHOLDERS

In een context diagram (FIGUUR 51) zijn alle stakeholders die te maken kunnen krijgen met de 3D-foodprinter uiteengezet.

PRIMAIRE GEBRUIKER

De primaire eindgebruiker is de persoon die uiteindelijk gebruik maakt van de 3D-foodprinter om hiermee

voedsel te bereiden. De primaire eindgebruiker maakt deel uit van de werkende beroepsbevolking binnen de sector food. Hij of zij maakt gebruik van de 3D-foodprinter op de werkplek, zoals in een restaurant of (banket)bakkerij. Hij of zij is dus werkzaam als kok, in de bediening of als verkoopmedewerker.

SECUNDAIRE GEBRUIKER

De secundaire gebruikers zijn de personen die uiteindelijk door de 3D-foodprinter bereid voedsel zullen consumeren.

ONTWERPER

Degene die de printer ontwikkelt en ontwerpt, in dit geval het Foodatelier en de Universiteit Twente.

ONTWIKKELAAR

Een partij die de 3D-foodprinter op technisch aspect doorontwikkelt en klaarmaakt voor productie.

PRODUCTIE

Een partij die de daadwerkelijke printer zal gaan produceren.

DEALER

Mogelijk verkooppunt waar een 3D-foodprinter verkocht kan worden aan de primaire gebruiker. Dit zou een horecagroothandel zoals Hanos kunnen zijn. Ook zou de dealer weggelaten kunnen worden uit het proces als de productiefaciliteit zelf ook verkoopmogelijkheden heeft.

TRANSPORT

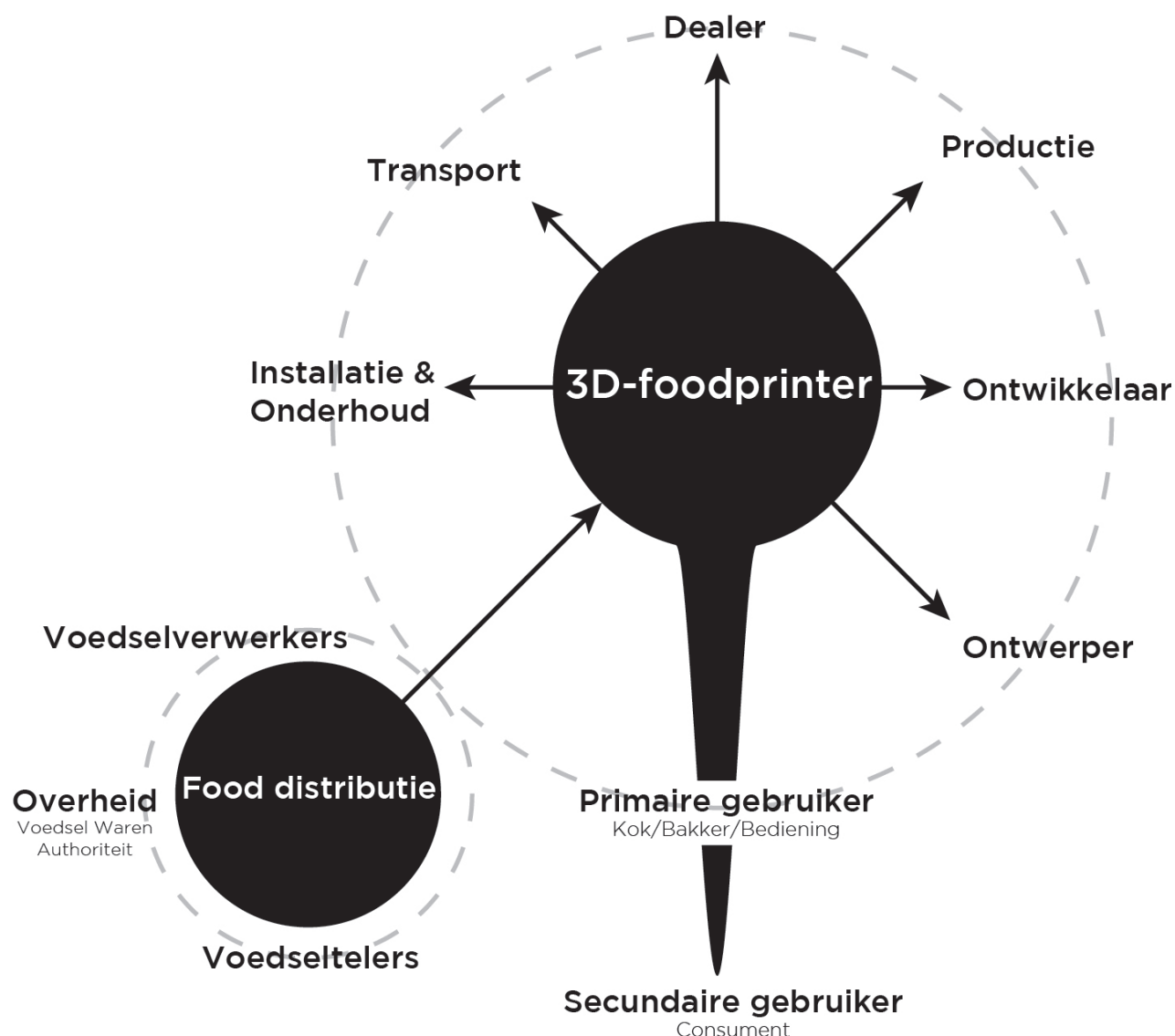
Het vervoer vanaf de productiegelegenheid naar de dealer maar ook het vervoer vanaf de dealer naar de primaire gebruiker. De 3D-foodprinter moet tijdens dit transport niet kapot gaan.

INSTALLATIE & ONDERHOUD

Alle personen die komen kijken bij het installeren van de 3D-foodprinter en die de 3D-foodprinter kunnen repareren als dat nodig is.

FOOD DISTRIBUTIE

Deze losse keten in het context diagram staat voor het aanleveren van de levensmiddelen die in de printer



Figuur 51. Context diagram

gebruikt gaan worden. Deze worden verbouwd door telers, verwerkt en verpakt door voedselverwerkers. De overheid controleert de kwaliteit en hygiëne door de Nederlands Voedsel en Waren Autoriteit. De 3D-foodprinter in combinatie met levensmiddelen zal deze keuring in horeca-gelegenheden moeten kunnen doorstaan.

2.3 INTERVIEWS

Om de vertaalslag te maken van het definiëren van deze groepen en het definiëren van ingrediënten naar een keuze voor een bepaalde conceptring, zijn er (kwalitatieve) interviews gehouden met een viertal professionals in de foodindustrie. Deze professionals zijn werkzaam in (high-end) restaurants, een eetcafé en een bakkerij. De volledige interviews zijn toegevoegd in BIJLAGE 1.

Het doel van deze interviews was met name het vaststellen van ingrediënten die de doelgroep het

meest aanspreken. Ook was het een nuttige peiler om te inventariseren hoe professionals reageren op 3D-foodprinting en er achter te komen hoe zij het in hun sector zouden willen toepassen. Het belangrijkste resultaat uit de interviews is dat alle respondenten aangeven 3D-foodprinting liever te willen gebruiken met zoete ingrediënten dan met hartige ingrediënten of dranken. Er zijn vier eigenaren/chef-koks geïnterviewd, daarbij gaat het in dit geval om een kwalitatieve analyse van hun meningen en input op het gebied van 3D-foodprinting. Deze steekproef was over het algemeen enthousiast over 3D-foodprinting, echter is deze steekproef te klein om hier op kwantitatief niveau conclusies over te trekken.

De belangrijkste resultaten uit deze interviews vormden de input voor het programma van eisen en zijn in het kort weergegeven op de volgende pagina.

RESTAURANT 1 [35]

Dit restaurant is erg enthousiast over het loskoppelen van smaak en vorm - dit is iets wat nu ook al toegepast wordt in dit restaurant. Een voorbeeld is het vloeibaar maken van ui in een schuimige vorm, om deze te kunnen gebruiken in een saus.

De chef-kok geeft aan dat bij een toepassing met moleculair koken goed opgepast worden dat niet bepaalde aanbevolen dagelijkse hoeveelheden worden overschreden. Dit is iets wat vrij makkelijk kan gebeuren bij bijvoorbeeld jodium. Om moleculair koken goed te kunnen toepassen moet je veel van chemie afweten, deze kennis heeft lang niet elke kok.

Dit restaurant zou een 3D-foodprinter neerzetten in de keuken en daarmee buiten het zicht van de gasten gerechtjes printen. Ze zouden niet op het menu vermelden dat er een 3D-foodprinter gebruikt wordt.

RESTAURANT 2 [36]

Dit restaurant maakt nu al zelf tien verschillende soorten koffiesnoepjes. Aan die collectie kan ook een 3D-geprint snoepje toegevoegd worden.

Een idee is om een voorgerecht van bijvoorbeeld zalm, quinoa en komkommer te printen in de vorm van een roos en deze in een vaas op tafel zetten dat het zo realistisch lijkt dat de gasten niet doorhebben dat hun voorgerecht al op tafel staat.

De eigenaar geeft aan dat hij de 3D-foodprinter zou neerzetten in het restaurant zelf, maar zou er geen grote show van maken. “Als gast wil je ontspannen eten, als er dan een 3D-printer onder je neus gedrukt wordt móet je wel de hele tijd blijven kijken. Je kunt dan beter mensen uitnodigen om even te komen kijken bij de 3D-foodprinter als ze dat leuk vinden”, aldus de eigenaar van dit restaurant.

EETCAFÉ / RESTAURANT [37]

De chef-kok van deze gelegenheid zou 3D-foodprinting willen gebruiken voor het printen van eiwitschuim op een limoentaart of voor sinaasappelsaus bij eendenborst. De saus kan dan in een complexe vorm geprint worden. Zijn erg enthousiast, de chef-kok ziet dit over vijf jaar wel in restaurants verschijnen. Waarschijnlijk slaat 3D-foodprinting niet zo snel aan in eetcafé's maar eerder in het hogere segment restaurants.

Zou juist van 3D-foodprinting een show maken. Als gast moet je zien hoe het gebeurt. Maar je zorgt ervoor dat de gast niet op de knoppen kan drukken of tussentijds al bij het eten kan.

Koken efficiënter maken door 3D-foodprinting zou geweldig zijn.

Zou één of twee gerechten aanbieden als een speciaal menu. Niet te groot maken, het gaat nog steeds om gewoon lekker eten. Zou liever de ingrediënten zelf bedenken en bereiden dan een kant-en-klare cartridge gebruiken.

BAKKERIJ [38]

Enkele jaren geleden kwam de trend van de fototaart, dit is 2D-foodprinting. Een taart kan op die manier een gepersonaliseerd tintje krijgen, denk aan verjaardagstaarten met een foto van de jarige of een gratis taart bij een nieuwe auto.

3D-foodprinting zou een Unique Selling Point zijn in de bakkerij.

Er lijkt een trend te zijn om weer thuis taart te bakken. Ook bieden verschillende kookstudio's steeds vaker taarten en cupcakes aan. Naar de bakker gaan voor een taart is dus niet zo vanzelfsprekend meer.

Een hele interessante toepassing zouden bruidstaarten kunnen zijn, hier wordt altijd veel gewerkt met marsepein en unieke ruimtelijke creaties.

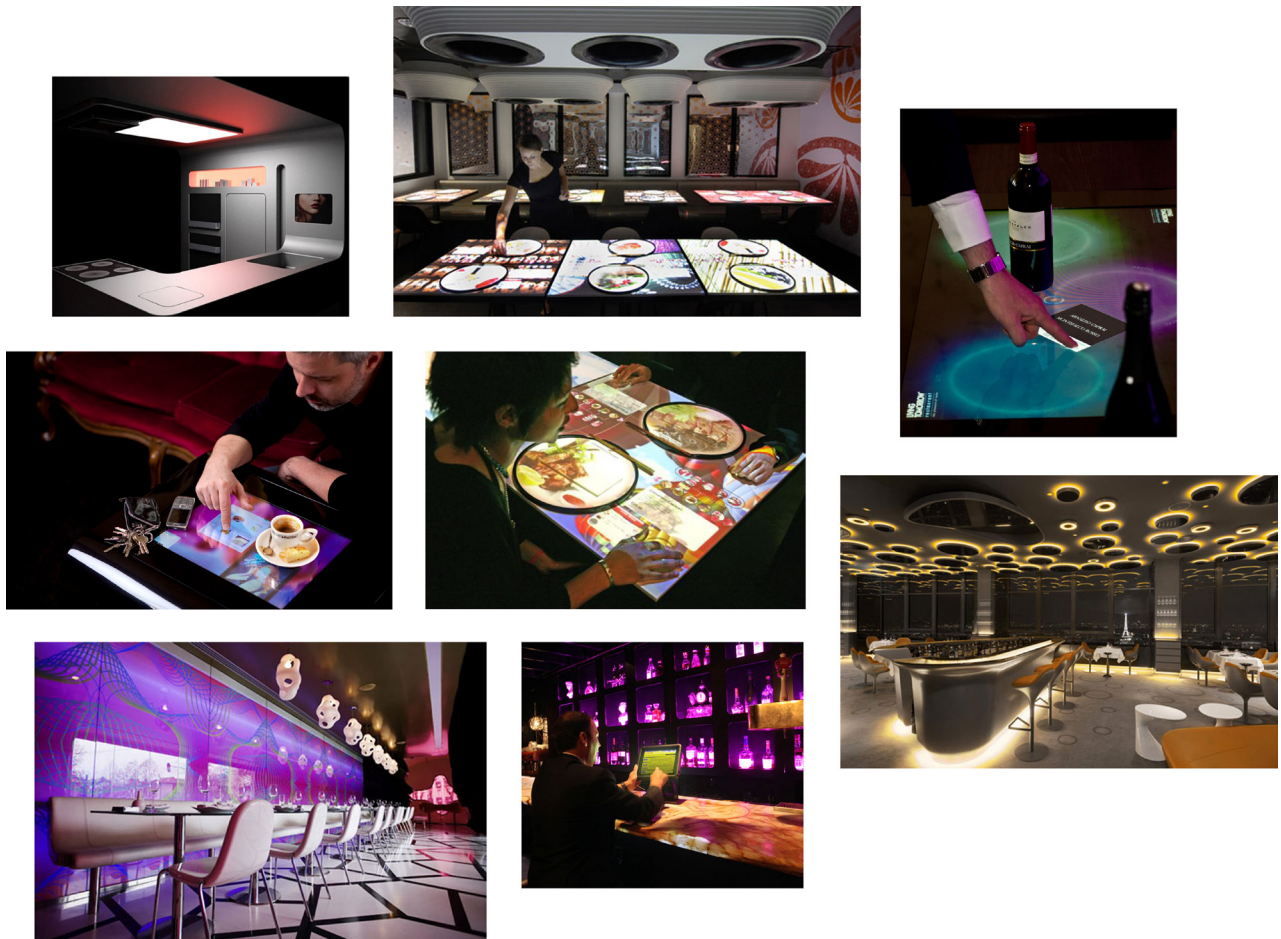
2.4 OMGEVING

Aan de hand van de interviews blijkt dat restaurants in het hogere segment waarschijnlijk een goede omgeving bieden om 3D-foodprinting te introduceren aan de consument. Hierbij zal in de toekomst eerst een pilot gedraaid moeten worden met de printer, waarna verbeteringen kunnen worden doorgevoerd.

In FIGUUR 52 is een moodboard te zien waar de sfeer van verschillende vooruitstrevende horecagelegenheden duidelijk wordt gemaakt. In enkele gelegenheden is het al mogelijk om te bestellen via een scherm dat in de tafel is ingebouwd. Mogelijk is het interessant om deze ontwikkeling te combineren met 3D-foodprinting.

2.5 SCENARIO'S

Er zijn twee verschillende fictieve scenario's geschreven om het gebruik van de 3D-foodprinter in de omgeving van het restaurant te beschrijven. Het eerste scenario beschrijft de situatie van de primaire gebruiker, een chef-kok. Het tweede beschrijft hoe de gasten bij dit restaurant gaan eten en een speciaal menu bestellen waar een deel van het nagerecht geprint is door de 3D-foodprinter.



Figuur 52. Moodboard omgeving 3D-foodprinter

2.5.1 SCENARIO CHEF-KOK

Herman Postma (41) is chef-kok in restaurant ‘Kaatje bij de Oude Sluis’. (FIGUUR 53) Het restaurant staat er om bekend gerechten te maken van de beste producten en vele andere restaurants te overtreffen op het gebied van innovatieve gerechten. De gasten die komen dineren bij ‘Kaatje bij de Oude Sluis’ vallen onder een redelijk jong en hip publiek in de categorie ruim modale tweeverdieners.

Recentelijk is Herman in aanraking gekomen met een nieuw apparaat voor in het restaurant: een 3D-foodprinter. Kort daarna heeft hij besloten dat hij de investering tot aanschaf van dit apparaat wil maken. Zover hij weet is er nog geen ander restaurant dat deze nieuwe techniek in huis heeft, dus voor ‘Kaatje bij de Oude Sluis’ is dit zeker nu nog een Unique Selling Point waarmee het restaurant flink wat media-aandacht kan trekken. En uiteraard kunnen de gasten straks genieten van een geprint dessert in combinatie met het vakmanschap van Herman. Een cakeje met unieke chocoladetopping of een geprint snoepje bij de koffie. Ook is Herman van plan om een mooie actie te koppelen aan zijn nieuwe aanschaf: een menu met in elke menugang (amuses, voorgerecht, hoofdgerecht en



Figuur 53. Chef-kok Herman

desserts) een of meerdere geprinte onderdelen, voor een actieprijs van slechts €50,- per persoon.

De 3D-foodprinter is ondertussen geïnstalleerd en opgehangen in een schot tussen de keuken

en het restaurant. Zo kan Herman of een van de bedieningsmedewerkers de printer rustig bedienen. De printer heeft gewoon een plug-and-play USB aansluiting, waardoor ze zelf kunnen kiezen waarmee ze 'm bedienen. Soms wordt de laptop gebruikt maar soms ook een tablet. Bij de printer zelf werden vele basis-3D bestanden al meegeleverd, via internet download Herman ook regelmatig nieuwe bestanden om uit te proberen.

Tijdens het printen kunnen de gasten tegelijkertijd uitgenodigd worden om een kijkje te komen nemen bij deze 'show' en zien hoe een deel van hun toetje geprint wordt.

2.5.2 SCENARIO GASTEN RESTAURANT

Clara (31) en Anton (32) (FIGUUR 54) houden wel van lekker eten. Clara werkt als sales manager bij een groot modemerken, Anton is eigenaar van een reclamebureau met 10 werknemers. Ze besluiten een reservering te maken bij 'Kaatje bij de Oude Sluis' want daar is net een leuke actie: een menu voor €50,- met gerechten uit een '3D-foodprinter'. Wat ze daar precies van moeten verwachten weten ze nog niet, maar op de foto's ziet het er goed uit en 'Kaatje bij de Oude Sluis' serveert altijd de beste ingrediënten, dus ongetwijfeld wordt het lekker. Die avond laten ze zich lekker verrassen wat er op het menu staat.

Wanneer ze allebei klaar zijn met werken, nog snel even omkleden en dan een klein stukje rijden naar Kaatje bij de Oude Sluis. Ze worden welkom geheten met een welkomstdrankje en worden dan naar de tafel geleid. Clara gaat voor het eten nog even naar het toilet; op de terugweg valt haar oog op de 3D-foodprinter die in het restaurant uitgesteld staat. In sneltreinvaart worden allerlei lekkere decoraties voor op een taart geprint van chocolade en karamel. In het voorbijgaan lacht iemand uit de bediening haar hartelijk toe: "Loopt het water je al in de mond?" Ze legt Clara snel uit hoe het werkt en zegt haar vooral nog even geduld te hebben tot het dessert straks op tafel staat. Clara vindt het heel interessant hoe hun eten zo geprint wordt, ze wenkt naar Anton dat hij ook moet komen en beide staan versteld van de manier waarop de printer met verschillende printkoppen chocolade, karamel en marsepeinen objecten print.

Later bij het toetje krijgen ze een etagère op tafel met meerdere lagen van kleine zoete hapjes. De serveerster zegt: alles op het bovenste plateau komt uit de printer! Clara is benieuwd en pakt meteen iets van het bovenste

plateau: het is een knapperig wafeltje, gevuld met pure chocoladeganache. Als ze een hap neemt, kijkt ze verrast op: er zitten kleine, sappige bolletjes sinaasappel in de chocolade die zo op je tong smelten. Anton pakt een kubus van chocolade die op een macaron-koekje is geprint. Als hij deze doormidden bijt blijkt ook hier een verstopt ingredient aanwezig te zijn: een heerlijk frisse frambozen-crème. Na nog een aantal meer hapjes en ook nog een 'gewoon' kopje koffie kijken ze met een voldaan gevoel op hun avond uit eten terug.



Figuur 54. Clara en Anton

HOOFDSTUK 3: INGREDIËNTEN

3.1 JUISTE EIGENSCHAPPEN LEVENS MIDDELEN

In hoofdstuk 1 is duidelijk geworden hoe ver de techniek op het gebied van 3D-(food)printing al is. Technisch gezien is 3D-foodprinting erg goed mogelijk, de bottleneck op dit moment is nog het gebrek aan goed printbare materialen en de toepassing daarvan bij de juiste doelgroep.

Allereerst moet hierbij onderzocht worden van welke eigenschappen het wel- of niet printbaar zijn afhangt. Er zijn een aantal materiaalafhankelijk eigenschappen die belangrijk zijn voor een goed te printen materiaal. Ook als een materiaal theoretisch gezien geschikt is, is het heel handig om het te testen. De onderzoekers van de Cornell University zeiden al eerder: ‘als je je voor kan stellen dat je het ingrediënt door een injectiespuit kan doseren, is het waarschijnlijk geschikt’.

3.1.1 BINGHAM PLASTIC

Een ideaal ingrediënt voor 3D-foodprinting zou zich moeten gedragen zoals een ‘Bingham plastic’. Een ‘Bingham plastic’ (ontdekt door Eugene C. Bingham) is een materiaal dat neigt naar een ideaal viscoelastisch materiaal. Een Bingham plastic gedraagt zich bij lage spanningen als een vaste stof (rigid body), bij hogere spanningen gedraagt het zich als een viskeuze vloeistof. Om printbaar te zijn met een 3D-printer moeten de eigenschappen van een materiaal zoveel mogelijk lijken op die van een Bingham plastic. [39]

Voorbeelden van Bingham plastics zijn mayonaise, tandpasta, klei en pindakaas. De eigenschappen ontstaan fysisch gezien door de aanwezigheid van kleine korreltjes (bij klei) of grote moleculen (bij polymeren) in de vloeistof. Hierdoor ontstaat een zwakke maar solide structuur. Een bepaalde hoeveelheid spanning is nodig om de spanning te breken, als dit eenmaal gebeurd is bewegen de deeltjes in de vloeistof onder de viskeuze krachten. Als de spanning op het materiaal weggehaald wordt gaan de deeltjes weer terug naar de oorspronkelijke staat. [40]

Een voorbeeld hiervan: tandpasta zal niet uit de tube komen totdat er een bepaalde spanning op komt te staan door in de tube te knijpen, vanaf dat moment komt de

pasta er uit als een solide prop. Een materiaal zoals tandpasta zou daarom zeer geschikt zijn om in een 3D-printer te gebruiken.

3.1.2 VISCOSITEIT [40]

Viscositeit is een materiaaleigenschap die de mate van stroperigheid van een vloeistof aangeeft. Ook de viscositeit is van belang voor 3D-foodprinting. Viscositeit wordt gedefinieerd als de kracht, die uitgeoefend wordt op een vloeistof in evenwijdige richting (ook wel de afschuifspanning) in relatie met de snelheid in die richting (de afschuifsnelheid).

Bij een zogenaamde Newtoniaanse vloeistof is deze relatie evenredig. Suspensies, emulsies en polymeeroplossingen echter gedragen zich vaak juist niet-Newtoniaans. Water op kamertemperatuur heeft een viscositeit van 1,0 mPa.s. Hoe stroperiger een vloeistof wordt, hoe hoger deze waarde is.

3.1.3 TEMPERATUUR

Sommige ingrediënten zoals glazuur, fijngemalen kaas of houmous zijn van zichzelf goed extrudeerbaar bij kamertemperatuur. Chocolade is ook erg goed extrudeerbaar maar hiervoor is wel een temperatuurregelingssysteem nodig. Tijdens het extruderen moet de chocolade vloeibaar zijn, voor de meeste chocolades ligt dat punt rond de 36°C. Bij het printen van water zoals bij het Rapid Freeze prototyping moet ook de temperatuur in de ruimte waarin geprint wordt geregeld worden. Temperatuurregeling is belangrijk als de 3D-foodprinter uiteindelijk moet gaan voldoen aan wettelijke veiligheidseisen omdat een juiste temperatuur er voor zorgt dat het voedsel minder snel door bacteriën en schimmels aangetast wordt.

3.1.4 TEXTUUR

Een goed extrudeerbaar materiaal is viskeus maar wel glad - er mogen geen stukjes of klontjes in zitten, deze zorgen voor een onregelmatige extrusie. Ook luchtbellen zijn niet wenselijk, deze zorgen bij het printen voor ongewenste haperingen in het uiteindelijke model. Voor de meeste voedingsmiddelen heeft dit als gevolg dat zij eerst bewerkt moeten worden voordat ze geschikt zijn om te printen.

Verder hebben materialen zoals chocolade als ze koud zijn een harde textuur en als ze warm zijn een zachte, vloeibare textuur.

3.2 UITSPLITSING INGREDIËNTEN

3.2.1 ZOET

FRUIT

Fruit moet gepureerd worden. Afhankelijk van de hoeveelheid water die in het fruit aanwezig is zal de substantie verdikt moeten worden met een bindmiddel (maïzena, zetmeel) of een hydrocolloïde (gelatine, agar-agar). Sommige soorten fruit zijn van zichzelf al vlezig en zullen een dikkere massa opleveren (banaan, mango), andere soorten leveren na pureren of persen een waterige vloeistof (citrusvruchten, druiven). Aan deze laatste soort zal dus meer bindmiddel toegevoegd moeten worden. In welke mate dit de smaak beïnvloedt zal in de praktijk onderzocht moeten worden.

CHOCOLADE

Chocolade smelt, wanneer het verwarmd wordt tot rond 36°C. In vloeibare staat is chocolade goed te extruderen, dit blijkt uit het segment aan printers en experimenten op de huidige markt. Wanneer chocolade te snel gekoeld wordt kan de oppervlakte er dof uit zien en kunnen er witte plekken ontstaan, veroorzaakt door het te snel kristalliseren. Dit beïnvloedt de smaak overigens niet, maar om een aantrekkelijke glans te behouden moet men de chocolade ‘temperen’. Hierbij wordt de gesmolten massa teruggekoeld en vervolgens weer opgewarmd. In deze gecontroleerde omstandigheden verloopt het kristallisatieproces zo dat er een stabiele en glanzende chocoladeoppervlakte ontstaat.

Het printen van chocolade kan alleen in de vloeibare fase gebeuren, daarna moet het zo snel mogelijk stollen en overgaan naar de vaste fase. Dit moet vrij nauwkeurig gebeuren, waardoor er soms ook gewacht moet worden tot de vorige laag volledig gestold is. Het eindresultaat is een opzichzelfstaand object wat opgetild kan worden.

PASTA'S

Er kan ook geprint worden met pasta's die bij kamertemperatuur al de juiste printeigenschappen hebben. Hierbij hoeft er niet verwarmd te worden en treedt dus een tijdsinstaat op doordat het materiaal niet eerst hoeft te stollen. Hiermee ontstaat een object dat niet opgetild kan worden, maar wel geserveerd kan worden op de solide ondergrond waarop geprint is, zoals een

bord of een koekje. In overleg met de opdrachtgever is gekozen om verder te werken met de laatstgenoemde range aan ingrediënten: ‘pasta’s’ die niet hoeven stollen.

ROOM, CREME, KARMEL, DEEG

Er bestaat nog een grote groep aan patisserie-ingrediënten die geschikt is of geschikt gemaakt zou kunnen worden om mee te 3D-printen. Dit blijkt ook uit het onderzoek van de Cornell University met de mondgevoel-matrix en het toevoegen van gels. Het uitgangspunt hierbij is dat door middel van het toevoegen van bindmiddelen of gels en optimalisatie van de omgevingstemperatuur altijd een optimum gevonden kan worden waarmee het materiaal goed te extruderen is.

3.2.2 HARTIG

GROENTE

Groente moet net als fruit gepureerd worden, daarbij komt nog dat vele soorten groenten niet geschikt zijn om rauw te eten. Deze zullen voorgedroogd moeten worden alvorens ze te pureren en eventueel in te binden. Sommige purees zoals aardappelpuree zijn van nature geschikt om te extruderen. Cornell University experimenteerde al met het printen van gepureerde selderij waaraan agar-agar toegevoegd is.

VLEES & VIS

Vlees en vis bevatten complexe interne structuren waarbij door pureren belangrijke bindingen verloren gaan. De bindingen tussen de eiwitten worden verbroken en deze zijn alleen weer terug te krijgen door een enzym toe te voegen (transglutaminase) welke de bindingen als het ware weer aan elkaar lijmt.

Aan meerdere universiteiten waaronder de TU Eindhoven is men bezig gekweekt vlees te ontwikkelen. In een petrischaaltje kunnen al eetbare, uit stamcellen opgebouwde spierweefsels gemaakt worden. Onderzoeker Boonen van de TU Eindhoven stelt dat slagers in de toekomst hun vlees in kunnen kopen bij een fabriek en dat het gekweekte vlees gecombineerd met eetbare gels nauwelijks te onderscheiden is van echt vlees. [41]

3.2.3 VLOEIBAAR

Water kan met Rapid Freeze Prototyping geprint worden. Door de koude omgevingstemperatuur bij RFP kan het water tot ijs sublimeren. Ook zou dit te combineren zijn met verschillende likeuren of siropen. Het smeltpunt van likeuren ligt lager dan dat van water, hoe veel lager is onder andere afhankelijk van het alcoholpercentage.

In ieder geval zal de omgevingstemperatuur ten minste -20°C of lager moeten zijn om ervoor te zorgen dat de vloeistoffen snel genoeg stollen.[27]

3.3 CONCEPTRICHTINGEN INGREDIËNTEN

Na een eerste sessie waarbij individueel gebrainstormd is over mogelijke conceptrichtingen met de interviews als input zijn vijf conceptrichtingen ontstaan op basis van de te gebruiken ingrediënten.

3.3.1 CONCEPTRICHTINGEN

IJS

Verdere uitwerking van het bestaande Ice Sensation concept dat uitgewerkt in de opdracht van van Manen bij het Foodatelier zoals genoemd in hoofdstuk 1, met water/ijs/likeur. Hier ligt al een concept klaar dat binnen een vorige bacheloropdracht is uitgewerkt.

PÂTISSERIE

Omvat decoratie van taarten, cakes, bonbons, wafels, etc. Er is een hele wijde range aan levensmiddelen

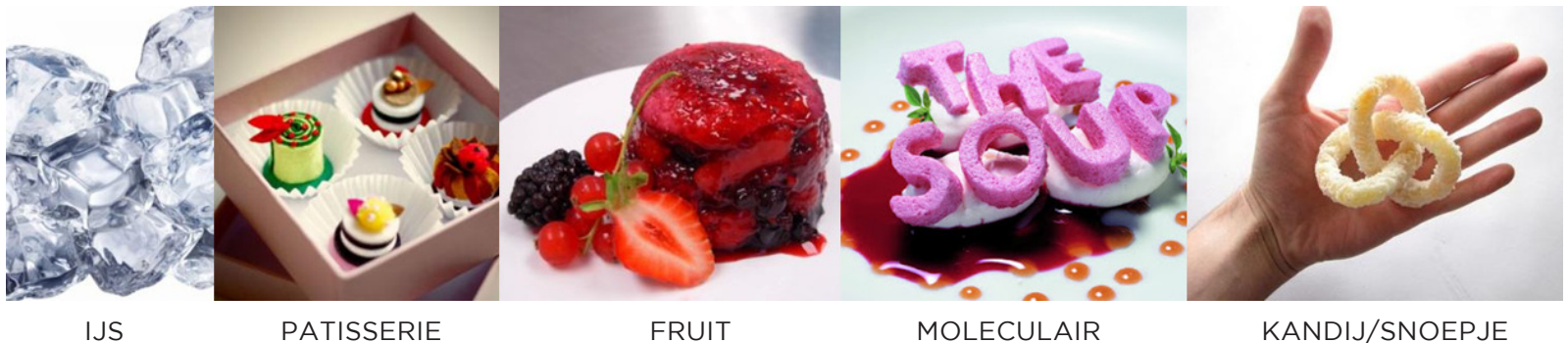
KANDIJ/SNOEPJE

Deze richting maakt gebruik van de methode die ook bij de CandyFab gebruikt wordt. Door losse suiker in een bak aan elkaar te branden met een heat-gun kunnen vormen gemaakt worden. Aan die losse suiker zou je smaakmakers als kaneel, koffiëpoeder of vanillesuiker kunnen toevoegen voor een unieke smaak.

3.3.2 KEUZE CONCEPTRICHTING INGREDIËNTEN

De richtingen molecuair en kandij/snoepje zijn afgefallen na overleg met de opdrachtgever. De richting molecuair viel af omdat het vermoeden is dat een nauwkeurig doseersysteem op zichzelf meer nut heeft dan de mogelijkheid om vormen in 3D te kunnen printen bij molecuair koken.

Ook zal molecuair koken in de toekomst nog steeds iets blijven wat alleen gedaan kan worden in restaurants in het hogere segment. Deze richting heeft daarom weinig



Figuur 55. Conceptrichtingen

mogelijk zoals: chocolade, marsepein, glazuur, botercreme, karamel, custard en amandelspijs.

FRUIT

Toepassen van vers fruit of fruitpurees. De fruitpurees zouden kant en klaar aangeleverd kunnen worden of er kan gewerkt worden met vers fruit. Een combinatie van puree en vers fruit is ook mogelijk. Dit zou ook toegepast kunnen worden binnen de patisserie of voor sauzen op hartige gerechten.

MOLECULAIR

Duidt op de moleculaire gastronomie zoals beschreven bij de Electrolux Moléculaire. Voedsel dat op deze manier bereid is, is al “abstract” eten en slaat goed aan in restaurants. Het vereist een erg nauwkeurige dosering, dus is juist geschikt voor een 3D-printer.

kans om in de toekomst ook opgepakt te worden door het lagere segment.

De richting kandij/snoepje is afgefallen omdat het werkingsprincipe van het aan elkaar smelten van suiker te ver af staat van het bij de start beoogde principe van extruderen. De oorspronkelijke opdracht van het ontwikkelen van een cassette voor de levensmiddelen zou niet meer uit te voeren zijn als deze richting werd gekozen.

Van de richtingen ijs, patisserie en fruit is vervolgens een haalbaarheidsanalyse gemaakt (FIGUUR 56). Hieruit is uiteindelijk de keuze voor de conceptrichting op het gebied van de te gebruiken ingrediënten bepaald.

IJS	PATISSERIE	FRUIT
VOORDELEN		
Uniek concept, nog geen bestaande toepassingen	Meerdere ingrediënten zijn geschikt	Uniek concept, nog geen bestaande toepassingen.
	Is een laagdrempelig concept en het eerste waar men aan denkt bij 3D-foodprinting	Smaak van (vers) fruit spreekt erg aan.
	Redelijk snelle printtijden haalbaar	
NADELEN		
Printtijd is met huidige techniek nog veel te lang om te passen binnen een commercieel concept	Heeft al concurrentie (ChocEdge), echter biedt de ChocEdge nog lang niet het gewenste gebruiksgemak en kan ChocEdge slechts met chocolade printen.	Nog weinig bekend over het geschikt maken van fruitpurees tot een stropigere massa – niet zeker of een geprint model ‘blijft staan’
Van de drie richtingen grootste kans op een mislukt model: erg temperatuursafhankelijk.		Vorgevulde cassette is nodig, dus conservering nodig om het fruit zo vers mogelijk te houden.
Ijsklontje met logo/gezicht is nog weinig functioneel (te weinig volume voor likeur), functioneel gevuld ijsklontje is handiger maar niet aantrekkelijk.		

Figuur 56. Haalbaarheidsanalyse voordelen en nadelen

Naar aanleiding van de haalbaarheidsanalyse is er gekozen om verder te gaan met een gecombineerde richting van fruit en patisserie. Het uitgangspunt hierbij is dat door middel van het toevoegen van bindmiddelen of gels en optimalisatie van de temperatuur altijd een optimum gevonden kan worden waarmee het materiaal goed te extruderen is. De richting van ijs wordt binnen deze opdracht niet verder onderzocht. Een lijst van

enkele goed mogelijke ingrediënten is opgesteld en weergegeven in de collage in FIGUUR 58.

Uit deze ingrediënten is een selectie van 7 ingrediënten gemaakt die steeds gebruikt zijn als productrange van de ingrediënten waarmee de cassette gevuld kan worden. Dit zijn aardbei, framboos, sinaasappel, karamel, witte chocolade, melkchocolade en pure chocolade (FIGUUR 57).



Figuur 57. De range van de zeven gekozen ingrediënten



Figuur 58. Ingrediënten patisserie en fruit

HOOFDSTUK 4: CONCEPTONTWIKKELING

4.1 PROGRAMMA VAN EISEN EN WENSEN

De focus ligt op de manier waarop levensmiddelen in de 3D-foodprinter worden opgeslagen en gedoseerd. Hierbij zal er altijd sprake zijn van een omhulsel waarin dit zal gebeuren. Vanaf nu wordt dit omhulsel ‘cassette’ genoemd.

Om er achter te komen welke eisen er aan de cassette gesteld moeten worden, zijn er randvoorwaarden nodig voor de omgeving waarin de cassette functioneert: de 3D-foodprinter. Zonder een algemeen beeld van de 3D-foodprinter voor ogen is het niet mogelijk een cassette te ontwerpen. Daarom is er in overleg met de opdrachtgever een programma van eisen opgesteld voor de 3D-foodprinter zelf. Daarna is ook het programma van eisen en wensen voor de cassette opgesteld. Beide zijn terug te vinden in BIJLAGE 4. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste eisen en wensen van de 3D-foodprinter en de cassette.

4.1.1 BELANGRIJKSTE EISEN 3D-FOODPRINTER

In totaal zijn er 19 eisen opgesteld voor de 3D-foodprinter. De belangrijkste categorie hierbij is het gebruiksgemak waarvoor 6 eisen zijn opgesteld. Zo moet een gebruiker zonder voorkennis van 3D-modelleren de printer goed kunnen bedienen, terwijl een gebruiker die wél zelf een model heeft gemaakt deze ook moet kunnen aanleveren via een User Interface. Verder moet de dosering nauwkeurig zijn, maar moet de printer wel snel genoeg zijn om goed toepasbaar te zijn binnen de setting van de doelgroep. De printer moet herkenbare vormen kunnen printen waarbij verschillende padbreedtes mogelijk zijn. Een wens is dat de volledige printer een verkoopprijs heeft die niet hoger is dan € 1000,-.

4.1.2 BELANGRIJKSTE EISEN CASSETTE

Voor de cassette zijn 28 eisen opgesteld. Ook bij de cassette ligt de focus op het gebruiksgemak, evenals de algemene kenmerken van het product en het plaatsen en verwijderen van de cassette in de 3D-foodprinter.

De belangrijkste algemene eisen zijn een minimale inhoud van 100 ml en de verkrijgbaarheid van de cassette: vooraf afgevuld, via directe distributiekkanalen. Een andere algemene eis is dat er zo weinig mogelijk resten van het levensmiddel achterblijven in de cassette.

Het openen en klaarmaken voor gebruik moet makkelijk zijn, hiervoor moet niet veel kracht benodigd zijn. In maximaal 5 handelingen en maximaal 30 seconden moet een cassette in de 3D-foodprinter geplaatst (of verwijderd) kunnen worden. Verder moet een cassette die niet in één gebruikscyclus opgemaakt is, tijdelijk uit de 3D-foodprinter verwijderd kunnen worden om te bewaren en deze later opnieuw te kunnen plaatsen.

De levensmiddelen in de cassette moeten ten minste 7 dagen houdbaar blijven als de cassette in de koelkast bewaard wordt. Daarom moet de verpakking alle reacties met invloeden van buitenaf zoveel mogelijk tegengaan. De levensmiddelen in de cassette mogen geen luchtbellens bevatten omdat een 3D-geprint model daardoor kan mislukken en omdat deze luchtbellens een negatieve invloed kunnen hebben op de houdbaarheid van het levensmiddel. De cassette moet veilig zijn en mag daarom uitsluitend food-safe materialen bevatten. Ook moet de verpakking ervoor zorgen dat de inhoud er niet uit kan lekken tijdens het bewaren.

De cassette moet de gebruiker informeren: het moet duidelijk zijn dat het product bestemd is om te gebruiken in een 3D-foodprinter.

4.2 BASISPRINCIPES WERKING 3D-FOODPRINTER

Ongeacht de manier waarop de cassette eruit komt te zien en zal functioneren, zijn er een aantal basisprincipes voor de 3D-foodprinter waaruit een keuze gemaakt moet worden voordat de cassette verder ontwikkeld wordt.

Er zijn voor de printer en voor de cassette vele ontwerpeisen, 19 en 28 stuks respectievelijk. Om deze tijdens het verdere proces overzichtelijk te houden is er gebruik gemaakt van een House of Quality-analyse. In deze analyse worden de ontwerpeisen uitgezet tegen de klantwensen. Er zijn twee House of Quality analyses gemaakt, waarbij dezelfde opsplitsing aangehouden is zoals in het programma van eisen: de 3D-foodprinter en de cassette. Het aantal klantwensen is ingekort tot de vijf belangrijkste wensen: veilig zijn, lage prijs, attractief uiterlijk, groot gebruiksgemak en smaakvolle en mooie gerechten printen. Ook hier is de splitsing gemaakt tussen de printerspecifieke en de cassette-specifieke ontwerpeisen.

4.2.1 HOUSE OF QUALITY

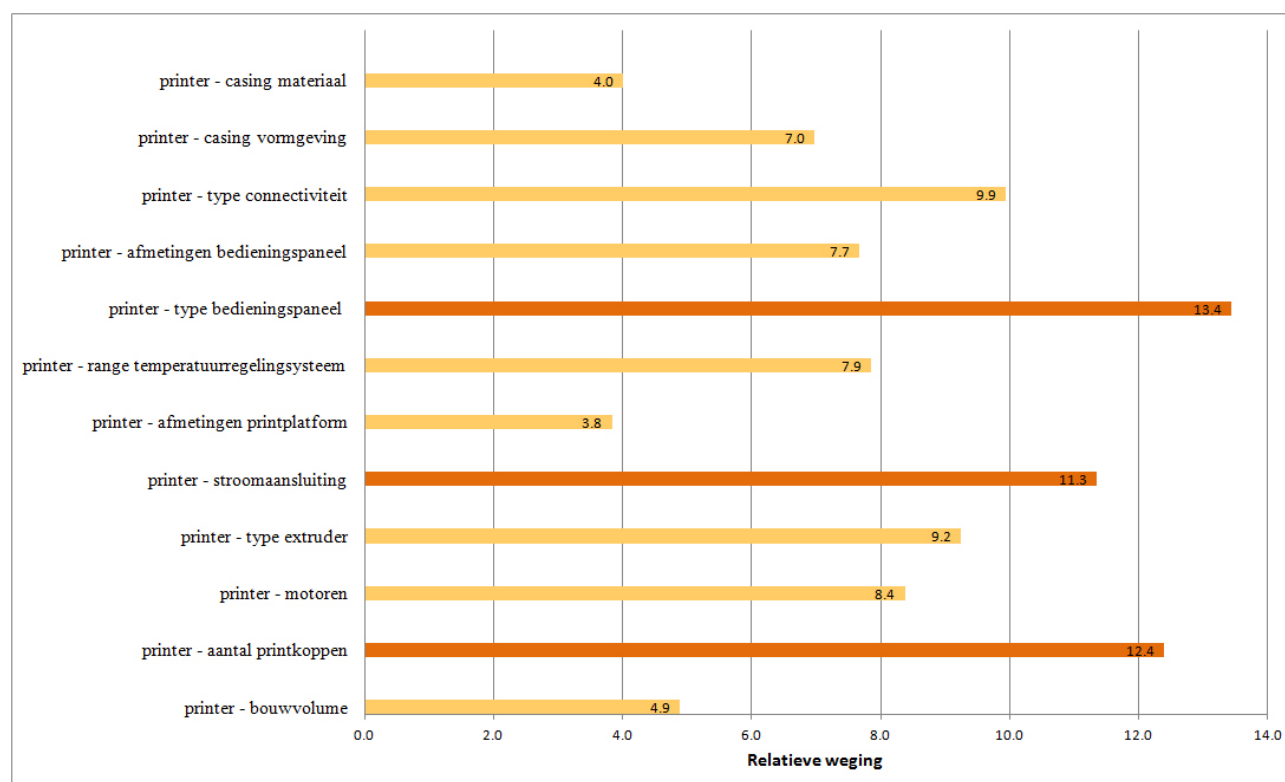
In de House of Quality analyse geeft een hoge relatieve wegingswaarde aan dat deze ontwerpeis belangrijk is. Een lage waarde geeft aan dat de eis minder belangrijk is om te voldoen aan de klantwensen. Bij de analyse

van de 3D-foodprinter (FIGUUR 59) komt hierbij naar voren dat het type bedieningspaneel (score 13,4) en het aantal printkoppen (12,4) de belangrijkste ontwerpeisen zijn. Dit heeft voornamelijk te maken met hun sterke relatie met respectievelijk ‘gebruiksgemak’ en ‘lekkere en mooie gerechten printen’. Ook het type stroomaansluiting scoort hoog (11,3), dit heeft voornamelijk te maken met de sterke relatie met veiligheid.

Bij de analyse van de cassette (FIGUUR 60) komt de manier van bevestigen in de printer naar voren als belangrijkste ontwerpeis. De manier van bevestigen heeft een sterke relatie met het gebruiksgemak. Ook het volume van de cassette is belangrijk: wordt er één groot opslagvat gebruikt of zou het mogelijk zijn een kleinere cassette te gebruiken waarvan er meerdere aanwezig zijn? Dit hangt uiteraard ook sterk samen met het aantal printkoppen uit de vorige analyse van de printer zelf. Ook het materiaal waarvan de cassette gemaakt is scoort hoog omdat de invulling van deze eis grotendeels de prijs van het product en het attractief uiterlijk zal bepalen.

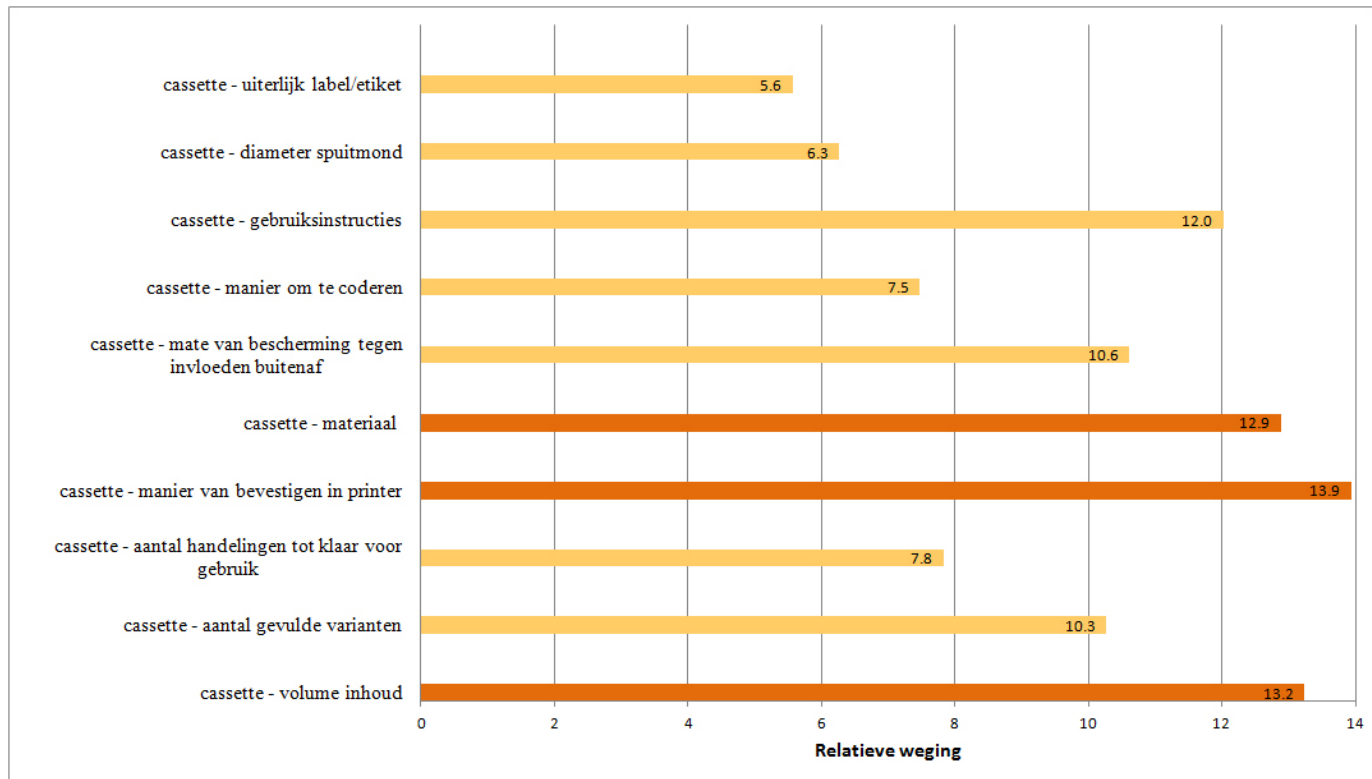
Na het uitvoeren van het House of Quality is het volledige PvE aangepast, ook later werd het PvE nog verschillende malen aangepast omdat dit door verschillende factoren nodig bleek te zijn.

3D-FOODPRINTER SPECIFIEK - UITKOMSTEN HOUSE OF QUALITY



Figuur 59. Printer specifieke ontwerpeisen en hun relatieve weging

CASSETTE SPECIFIEK - UITKOMSTEN HOUSE OF QUALITY



Figuur 60. Printer specifieke ontwerpeisen en hun relatieve gewing

Een punt uit het House of Quality dat direct relevant was om uit te werken, was het volume van de cassette binnen de basiswerking van de printer. Hierbij zijn vier varianten te onderscheiden:

1. Eén grote cassette die zelf beweegt;
2. Eén stilstaande grote cassette met een losse printkop die beweegt;
3. Meerdere kleine cassettes die zelf bewegen;
4. Meerdere kleine cassettes met een losse printkop die beweegt.

Door de grotere massa van een grote cassette zal optie 1 (FIGUUR 61) het minst snel kunnen accelereren dus zal hiervoor ook een krachtiger motor nodig zijn, wat weer negatieve consequenties zal hebben op de nauwkeurigheid van het doseren.

Ditzelfde geldt voor optie 3 (FIGUUR 63) waarbij de bewegende onderdelen ook een grote massa hebben. Optie 1 en optie 3 vallen hierdoor af. De voorkeur ligt bij optie 2 (FIGUUR 62) of optie 4 (FIGUUR 64) waarbij een losse printkop door middel van flexibele slangen in verbinding staat met de cassette(s). Deze losse printkop en het printplatform bewegen in totaal over drie vrijheidsgraden. Het voordeel van optie 4 is dat er op deze manier meerdere smaken tegelijk geprint kunnen worden waardoor er een grotere variatie aan

gerechten mogelijk is.

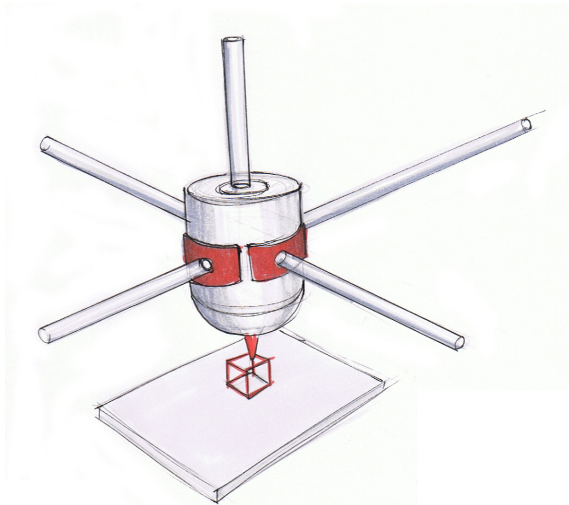
Optie 4 heeft dus de voorkeur omdat deze nauwkeurig en snel diverse ingrediënten zou kunnen printen. Vanaf nu wordt er verder ontwikkeld met optie 4. Een uitwerking van een mogelijke configuratie van deze optie, waarbij het printplatform beweegt in de Y- en Z-richting en een losse printkop in de X-richting is te zien in FIGUUR 65. Hier ontbreken echter nog de slangen die naar de printkop lopen.

4.2.2 BASISONDERDELEN 3D-FOODPRINTER

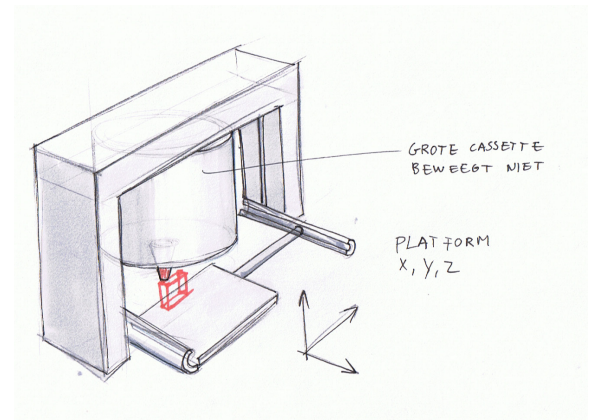
Aan de hand van het programma van eisen voor de 3D-foodprinter en de analyse van het House of Quality zijn de basisonderdelen die de printer moet bevatten opgesteld. Hiermee wordt het referentiekader waarbinnen de cassette ontworpen moet worden nog verder verkleind.

ASSEN X, Y EN Z

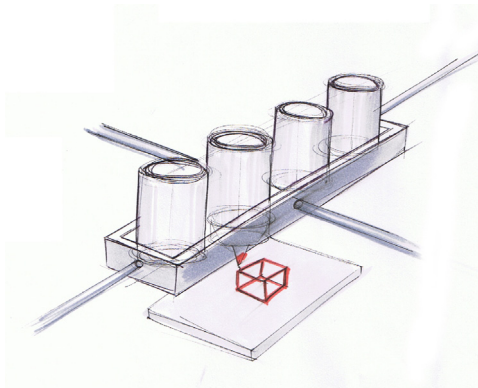
Voor 3D-printen zijn drie vrijheidsgraden nodig. Het systeem moet dus kunnen bewegen in drie vrijheidsgraden over de X-, Y- en Z-as. Dit kan ingevuld worden door meerdere bewegende onderdelen - de printkop en het printplatform. Het is mogelijk dat één van beide niet beweegt en het andere onderdeel beweegt over alle drie de assen. Een veel



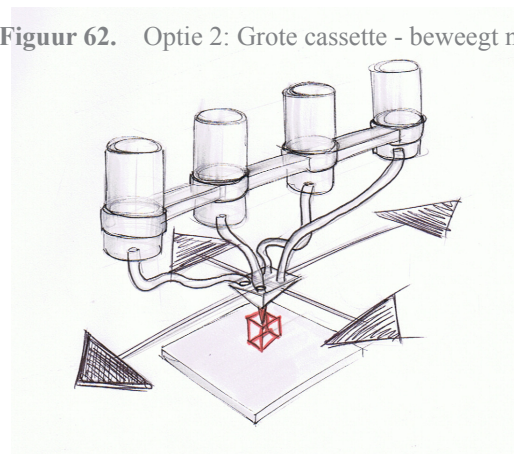
Figuur 61. Optie 1: Grote cassette - beweegt



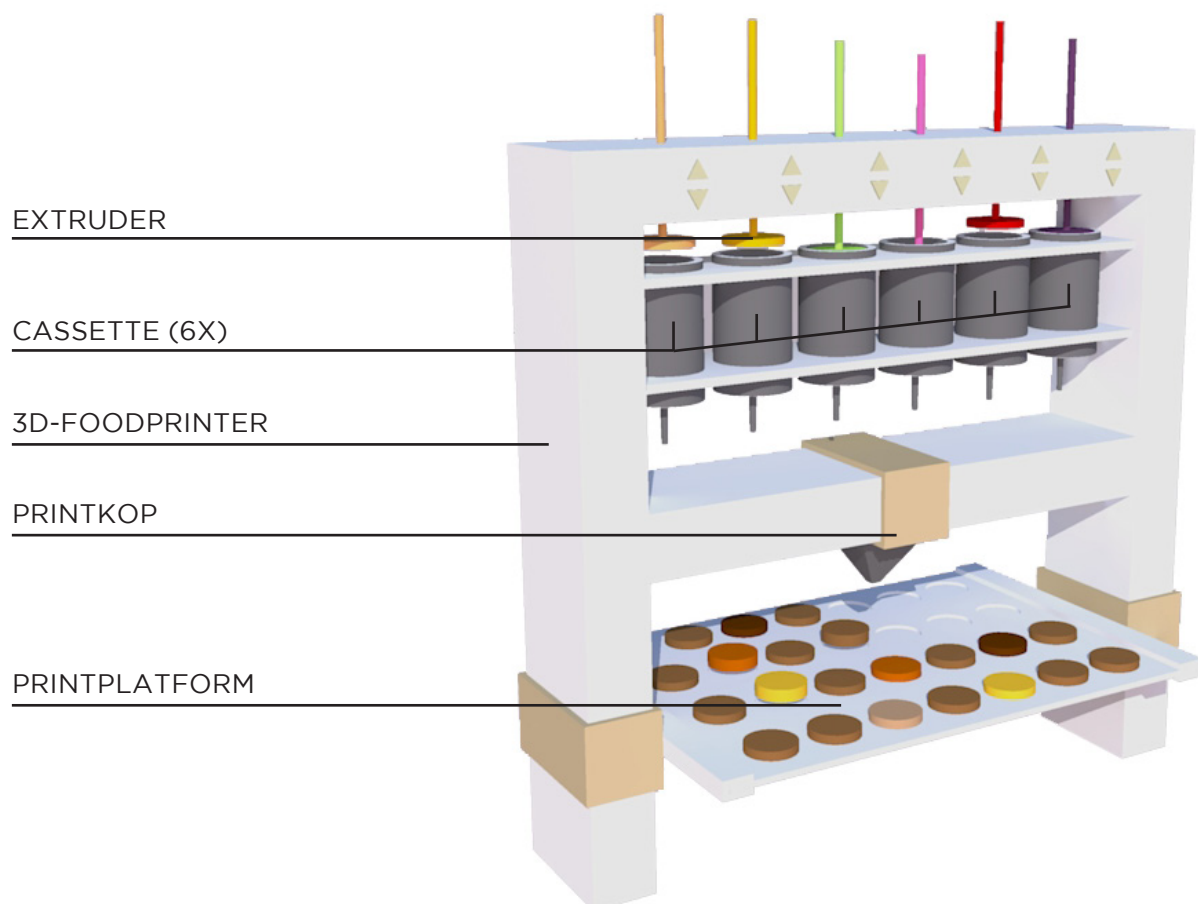
Figuur 62. Optie 2: Grote cassette - beweegt niet



Figuur 63. Optie 3: Kleine cassettes - bewegen



Figuur 64. Optie 4: Kleine cassettes - bewegen niet



Figuur 65. Idee voor een 3D-foodprinter vanuit House of Quality analyse

voorkomende combinatie bij bestaande 3D-printers is een printplatform dat in de Z-richting beweegt en een printkop die over de X- en de Y-richting beweegt.

BEDIENINGSPANEEL

Met het bedieningspaneel kan de gebruiker de 3D-foodprinter aansturen. Dit paneel kan bevestigd zijn op het apparaat zelf of het zou een losse unit kunnen zijn. De User Interface (UI) van het paneel kan ingevuld worden met een touchscreen of met dedicated knoppen. Een gebruiker zonder voorkennis moet het apparaat kunnen bedienen maar een ervaren gebruiker moet ook zelf een bestand kunnen aanleveren om te printen. Daarom moet de UI voor beide groepen geschikt zijn. Een aantal voorgeïnstalleerde templates van gerechten die samengesteld kunnen worden op het bedieningspaneel kunnen de eerste groep uitkomst bieden. Zo'n soort 'FoodCAD' systeem moet vooral simpel en niet te uitgebreid zijn.

BEVESTIGINGSSYSTEEM CASSETTE

De manier waarop de cassette bevestigd kan worden. Schuiven, klikken, draaien of via de geometrie zijnmogelijke opties.

CASSETTE

De container die de levensmiddelen bevat en die geplaatst kan worden om mee te printen.

EXTRUDER

Zorgt ervoor dat het levensmiddel gedoseerd kan worden. De extruder kan een piston zijn die het levensmiddel naar beneden drukt of gebruik maken van een knijpende beweging met een flexibele verpakking.

PRINTKOP

De printkop zorgt ervoor dat het levensmiddel op de juiste plek en in de juiste hoeveelheid op het printplatform terecht komt.

VERBINDING TUSSEN CASSETTE EN PRINTKOP

Doordat de printkop en het printplatform bewegen naar de juiste positie om in te doseren en de cassette stil zal staan in de 3D-foodprinter (zie FIGUUR 64) is het nodig om een flexibele verbinding te hebben tussen de cassette en de printkop. Hiervoor is dus een flexibele slang waardoor de levensmiddelen naar de printkop geleid kunnen worden.

PRINTPLATFORM

Hierop komen de geprinte gerechten terecht. Het platform moet uit te breiden zijn door een bord of serveerschaaltje te kunnen plaatsen. Hierop kan dan rechtstreeks geprint worden en kan het geprinte direct uit de printer genomen worden. Ook is het een optie om te printen op een papieren of eetbare caisse, bijvoorbeeld een wafeltje of een stuk chocolade.

(STAPPEN)MOTOREN

De motoren bewegen de printkop en eventueel het printplatform naar de juiste plek. Ook moet een motor de extruder bedienen. Er zijn dus ten minste vier motoren aanwezig in de 3D-foodprinter.

STROOMAANSLUITING

De aansluiting van de 3D-foodprinter aan het lichtnet. Eventueel zou de printer ook gevoed kunnen worden door batterijen.

TEMPERATUURREGELINGSSYSTEEM

Een temperatuurregelingssysteem is nodig binnen de printer om de geprinte gerechten te koelen om negatieve invloeden van buitenaf zoveel mogelijk te vermijden met het oog op de houdbaarheid. Eventueel is het ook nodig om de levensmiddelen te koelen of te verwarmen op het moment dat ze geprint worden.

CONNECTIVITEIT

De gebruiker moet zelf ook bestanden kunnen aanleveren. Hiervoor moet een type connectiviteit gekozen worden en toegepast worden binnen de printer. Daarom zal de printer uitgerust moeten worden met een USB-, Bluetooth-, internet- of andere aansluiting die de gebruiker in staat stelt zelf bestanden naar de 3D-foodprinter aan te leveren.

4.3 IDEEGENERATIE

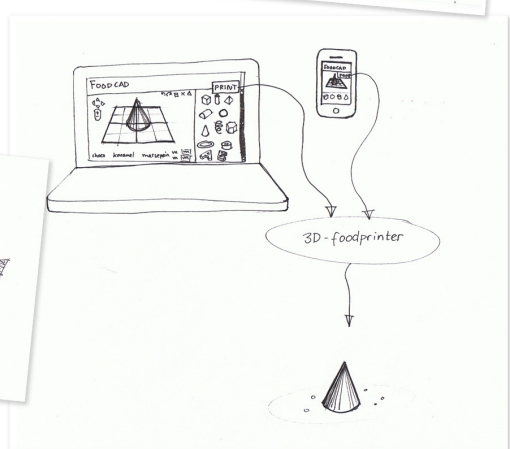
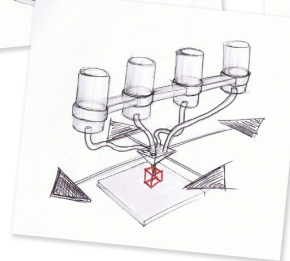
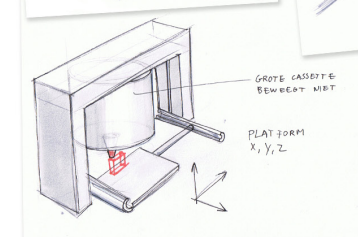
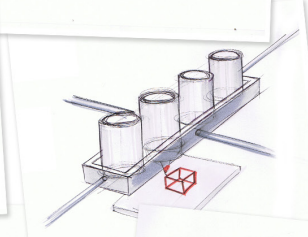
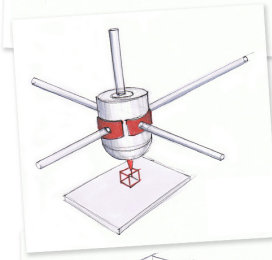
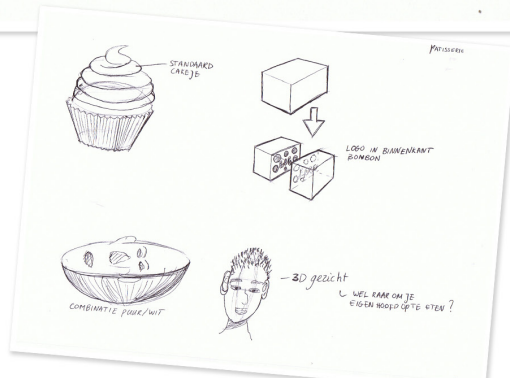
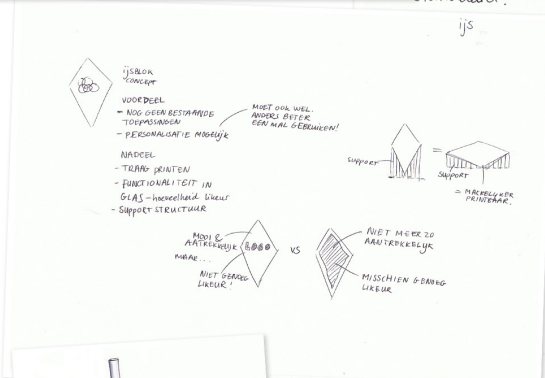
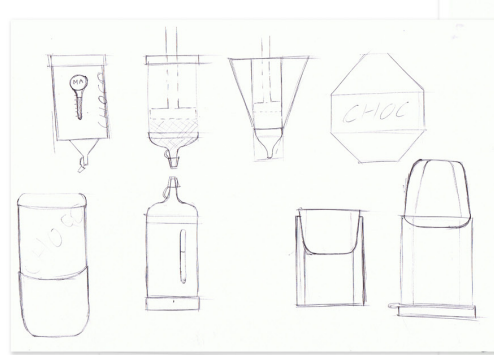
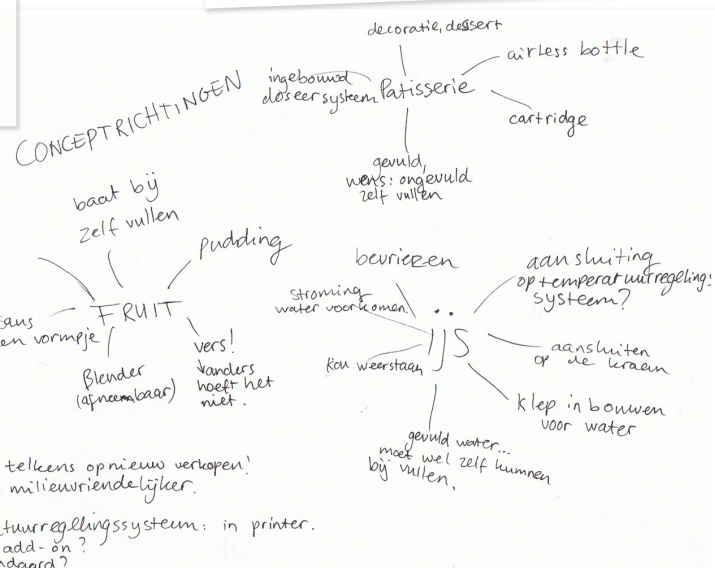
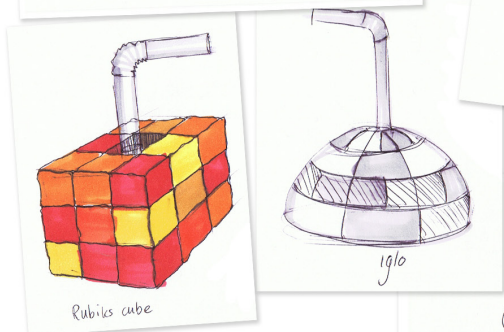
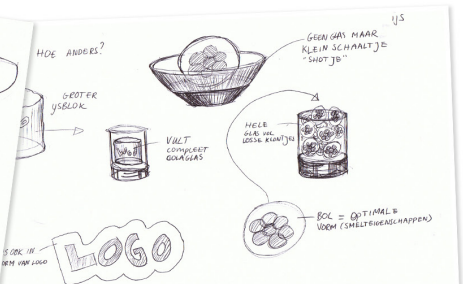
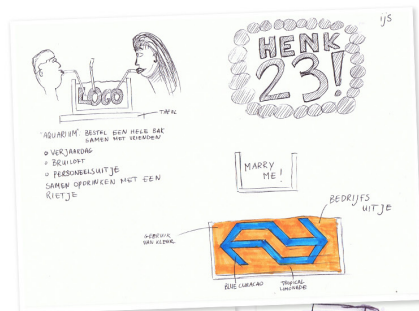
Het morfologisch schema in FIGUUR 66 vormde de basis voor de ideegeneratiefase. In BIJLAGE 5 is het schema nogmaals weergegeven, hierbij zijn de afbeeldingen vervangen door omschrijvingen. Verschillende aspecten van de cassette en het algemene werkingsprincipe van de printer werden in de ideegeneratiefase uitgewerkt waarbij voor elk aspect mogelijke oplossingen zijn bedacht. Enkele schetsen zijn te zien in FIGUUR 67, ook is er inspiratie opgedaan door collages te maken vergelijkbare producten en verpakkingen. Deze zijn terug te vinden in BIJLAGE 6. Vervolgens zijn er verschillende conceptrichtingen ontstaan die in deze paragraaf besproken worden. Eén daarvan is gekozen en vervolgens verder uitgewerkt tot een eindconcept.

	1	2	3	4	5	6	7
WERKINGSPRINCIPE							
INFORMEREN							
MATERIAAL							
BEWAREN							
GARANDEREN HOUDBAARHEID							
PLAATSING							
POSITIONEREN							
CONSERVEREN							
DECOREREN							
VERWIJDEREN							
SCHOONMAKEN							

Figuur 66. Morfologisch schema



Figuur 67. Een selectie van schetsen uit de ideegeneratiefase



4.3.1 CONCEPTRICHTING 1: FLEXIBELE POUCH

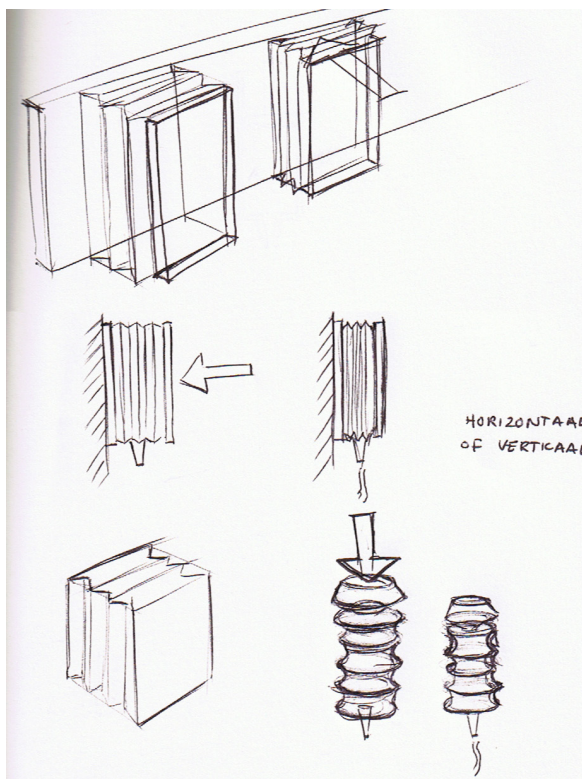
Bij deze conceptrichting (FIGUUR 68) wordt een flexibele verpakking opgehangen in de 3D-foodprinter en wordt gedoseerd volgens het werkingsprincipe van knijpen. Aan de onderkant zit een tuitje waar de vloeistof uit de pouch kan. Dit gebeurt door twee pistons die in tegengestelde richting op de pouch drukken zodat de vloeistof uit het tuitje komt. Een pouch kan gemaakt zijn van kunststof folie (bijvoorbeeld LDPE of PET) en kan versterkt zijn met aluminium, wat zorgt voor gunstige barrière-eigenschappen van het materiaal. Flexibele pouches worden al gebruikt voor vele soorten vloeibare voedselproducten zoals fruitpurees, yoghurtranken, vruchtensappen en soepen.

Voordelen flexibele pouch:

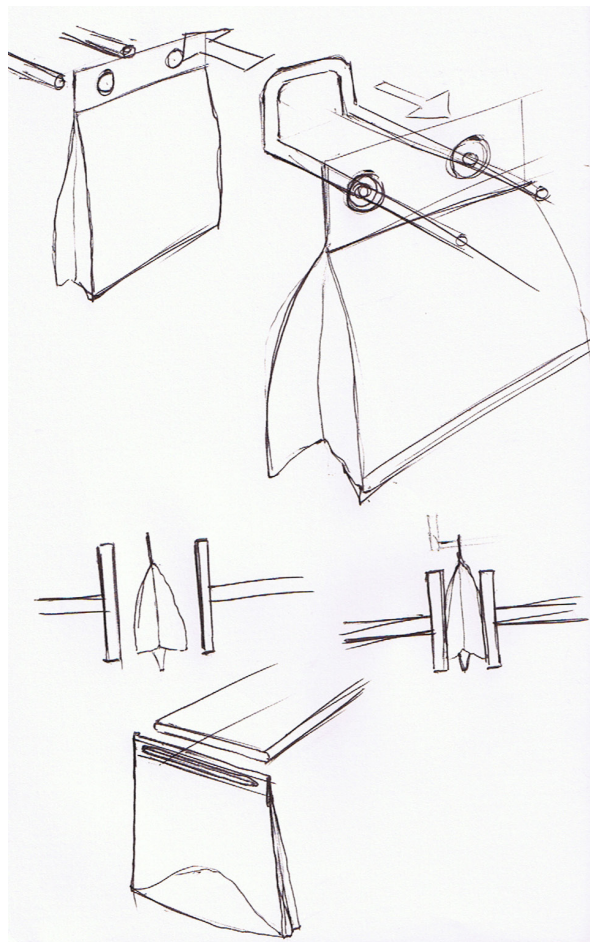
- Licht en weinig verpakkingsmateriaal nodig
- Goedkoop te produceren
- Aantrekkelijke uitstraling

Nadelen flexibele pouch:

- Er blijft altijd vloeistof achter in de pouch, dit zorgt ervoor dat er relatief veel levensmiddelen weggegooid zullen moeten worden
- Onduidelijk hoe nauwkeurig dit systeem is door de flexibiliteit van de pouch
- Lastig om het doseertuitje op de goede plek te houden als vanaf twee kanten geknepen wordt.



Figuur 69. Conceptrichting harmonica



Figuur 68. Conceptrichting flexibele pouch

4.3.2 CONCEPTRICHTING 2:

HARMONICA

Bij deze conceptrichting (FIGUUR 69) verandert de verpakking mee naarmate er meer van de inhoud gebruikt is. Ook deze conceptrichting maakt gebruik van het werkingsprincipe knijpen. De harmonica is een semi-rigide verpakking van kunststof of karton. In horizontale of verticale richting kan er gedoseerd worden door vanaf de onderkant of de zijkant op de verpakking te drukken terwijl deze aan de andere kant is vastgeklemd in de 3D-foodprinter. Dit principe komt onder andere ook voor in de medische wereld waar het als balg in pipetten wordt gebruikt. De inhoud van de balg zelf bevat in dit geval de vloeistof. Aan de harmonica kan een tuitje bevestigd worden waar de vloeistof uit komt.

Voordelen harmonica:

- Hygiënisch, geen contact met de rest van de onderdelen van de 3D-foodprinter
- Handig om in één oogopslag te kunnen zien hoeveel voorraad je nog hebt van een ingrediënt

Nadelen harmonica:

- Relatief veel materiaal nodig en redelijk complex in zijn productiestappen: de vouwlijnen en dergelijke moeten allemaal gerild worden
- Er blijft vloeistof achter in de harmonica, relatief veel afval
- Gevoelig voor mechanische beschadiging, als er een deuk in de buitenkant komt werkt het systeem niet meer

4.3.3 CONCEPTRICHTING 3: RIGIDE

VERPAKKING MET EXTRUDER

Bij deze conceptrichting (FIGUUR 70) is de verpakking een rigide buis met een constante doorsnede in de verticale richting. Het werkingsprincipe hierbij is het naar beneden duwen van een piston zodat de vloeistof geëxtrudeerd wordt. Dit principe is zoals dat van een injectiespuit en ook het systeem wat nu in de Fab@Home 3D-printer wordt toegepast. Het nadeel van deze systemen is dat de onhygiënische piston rechtsstreeks in aanraking komt met het voedsel. Daarom kan binnen dit concept een soort dubbele bodem toegepast worden in de vorm van een platform. Dit systeem wordt nu al gebruikt voor allerlei cosmetica zoals tandpasta en haargel. Deze verpakking kan van een kunststof, metaal of eventueel zelfs van dik karton gemaakt worden. Aan de buis kan een tuitje bevestigd worden waaruit gedoseerd kan worden.

Voordelen rigide verpakking met extruder:

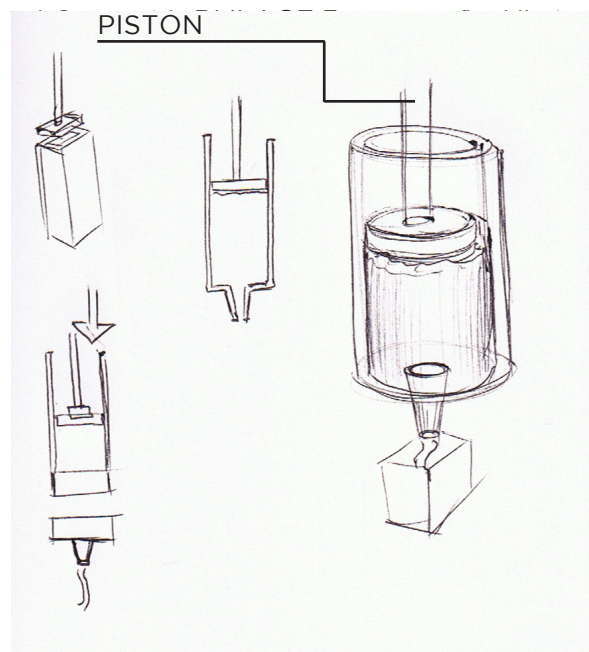
- Nauwkeurig doseren
- Er blijft weinig tot geen vloeistof achter
- Minder gevoelig voor mechanische beschadigingen van buitenaf

Nadelen rigide verpakking met extruder:

- Minder hygiënisch als de piston de vloeistof direct raakt
- Doorsnede moet constant zijn in verticale richting, minder ontwerprijheid

4.4 CONCEPTKEUZE

Met deze voordelen en nadelen en na overleg met de opdrachtgever is gekozen om conceptrichting 3, de rigide verpakking met extruder, verder uit te werken. Het is zeer ongewenst als er lucht bij de verpakte levensmiddelen kan komen, ten eerste omdat zij daardoor sneller zullen bederven en ten tweede omdat daardoor de geprinte modellen (deels) zullen mislukken. Bij het testen en vullen van de huidige cassette van de



Figuur 70. Conceptrichting rigide verpakking met extruder

bleek ook in de praktijk hoe belangrijk het is dat er geen luchtbellens in de verpakking kunnen komen. In dat geval zal namelijk een gat in de 3D-print ontstaan. Bij het handmatig vullen van de Fab@Home met banketbakkersroom, waarbij continu de substantie van de room naar beneden gedrukt werd met een kleine lepel, bleek het alsnog onmogelijk om geen luchtbellens te laten ontstaan. Wat in de praktijk nog storender was, was het feit dat het niet mogelijk is om de cassette te bewaren voor later gebruik als de cassette pas half leeg is. Door het ontstane vacuüm aan de onderkant van de cassette is het erg lastig om de piston omhoog te halen. Waarschijnlijk moet eerst de volledige inhoud uit de cassette worden geëxtrudeerd. Mocht het toch lukken om de piston omhoog te halen, dan is het niet mogelijk om de piston opnieuw in de cassette te plaatsen door de aanwezige lucht tussen het ingrediënt en de bovenkant van de cassette. Een verdere uitwerking van de tests die met de Fab@Home gedaan zijn is te vinden in BIJLAGE 3.

Dit probleem kan opgelost worden door de al eerder genoemde dubbele bodem. Door de piston op de dubbele bodem te laten drukken komt deze niet in aanraking met het voedsel en kan deze ook tussentijds verwijderd worden zodat de cassette opgeborgen kan worden om te bewaren voor later gebruik. De dubbele bodem moet door zijn geometrie exact in de cassette

passen met een losse passing. In bestaande producten die met dit principe werken zit aan de bovenkant van het product een pompje met doseertuit. Wanneer op deze pomp gedrukt wordt ontstaat een onderdruk in het product waardoor de dubbele bodem omhoog beweegt en zo de substantie door de doseertuit wordt gedrukt. Dit systeem wordt een airless system of airless pump system genoemd. De airless packaging wordt vooral in de cosmetische en medische industrie toegepast. In ieder geval zijn foundation, haargel en tandpasta al in dit soort verpakkingen te koop op de Nederlandse markt. De verpakking wordt nog nauwelijks toegepast voor voedsel. De Nederlandse distributeur van één van de merken die deze verpakking produceert liet weten dat de airless packaging al wel gebruikt wordt om mosterd in te verpakken. [42]

4.5 OVERIGE IDEEGENERATIE

Buiten de genoemde concepten zijn er nog meer ideeën gegenereerd die niet in de concepten terecht gekomen zijn. Een aantal ideeën die mogelijk in een vervolproces alsnog toegepast kunnen worden wordt in deze paragraaf besproken.

FILTERS

Door het gebruik van een los filter dat onderaan de cassette geplaatst kan worden zou er een smaakje of kleurstof door het ingrediënt gemengd kunnen worden vlak voordat het ingrediënt geprint wordt. Dit filter zou een fijn membraan moeten zijn waar het ingrediënt doorheen kan terwijl tegelijkertijd de kleurstof er aan kan hechten. Zo kan bijvoorbeeld een standaard wit glazuur voor de ene gelegenheid in het roze geprint worden terwijl voor de andere gelegenheid blauw nodig is.

MIXER/BLENDER

Als de cassette door de gebruiker ook zelf gevuld kan worden zou er een mixer of blender geïntegreerd kunnen worden. Door de mogelijkheid om verse ingrediënten te snijden en pureren kan er met de meest verse ingrediënten geprint worden. Echter moet wel de juiste consistentie en viscositeit behaald worden om te kunnen printen. Dit zou wel getest moeten kunnen worden door de gebruiker. Een andere optie is om de gebruiker een voorgevulde cartridge te laten personaliseren door het zelf toevoegen van toppings of extra ingrediënten, bijvoorbeeld sinaasappelsap bij pure chocolade.

ZELF VULLEN

Het zelf kunnen vullen van een cassette is voor de gebruiker wel wenselijk, maar alleen als het gemakkelijk is om de basisingredienten die de gebruiker hiervoor wil benutten makkelijk tot de juiste consistentie te brengen zijn. Het is erg waarschijnlijk dat de gebruiker ten minste één van de volgende handelingen moet uitvoeren alvorens het zelf kunnen vullen: snijden, pureren, mixen, smelten, bindmiddelen toevoegen, verdunnen met water, inkoken en/of zeven. Als er een grote kans is dat het zelf vullen van de cassette mislukt, kan beter alleen een voorgevulde cassette aangeboden worden. Over het algemeen is het kunnen (na)vullen van de cassettes niet wenselijk omdat in dat geval het product maar éénmalig verkocht wordt. Bij een disposable wordt het product keer op keer opnieuw verkocht, dit levert een hogere omzet op. De situatie dat een gebruiker juist het disposable product zelf gaat proberen na te vullen zonder verdere instructies zou wel kunnen ontstaan. Deze situatie is natuurlijk bekend vanuit het geval van de inkjetprinter: omdat nieuwe cartridges in verhouding behoorlijk duur zijn vullen veel gebruikers ervan hun oude cartridges zelf na. Bij de 3D-foodprinter is het daarom belangrijk dat er naar de wensen van de doelgroep wordt geluisterd bij het ontwikkelen van nieuwe smaken. Door de ingrediënten van de voorgevulde cassettes goed af te stemmen is het niet nodig dat de gebruiker zelf moet experimenteren om een ontbrekend ingrediënt te fabriceren.

HOOFDSTUK 5: CONCEPTUITWERKING

In dit hoofdstuk zal de verdere uitwerking van de cassette besproken worden.

5.1 MORFOLOGISCH SCHEMA

Om de cassette verder vorm te geven is opnieuw gebruik gemaakt van een morfologisch schema (FIGUUR 71). Hierbij komen de vormfactor, het extruderen, het informeren van de inhoud, het doseren, het markeren en het informeren in het algemeen naar voren.

VORMFACTOR

In verband met het extruderen kan de cassette elke vormfactor aannemen met een constante doorsnede in de verticale richting. In het schema zijn veelhoeken met 3, 4, 5 en 6 zijdes toegevoegd. Ook is een vierkant met afgeronde hoeken, een cilinder en een vrije vorm toegevoegd.

De meest aansprekende vormen zijn de cilinder en het vierkant met afgeronde hoeken.

EXTRUDEREN

Er kan op verschillende manieren geëxtrudeerd worden. Het uitgangspunt hierbij is een piston die de vulling naar beneden drukt. De piston maakt deel uit van de 3D-foodprinter en is niet in de cassette zelf aanwezig. De piston kan in direct contact staan met de vulling of afgescheiden worden door middel van een beweegbaar platform. Dit laatste heeft vanwege hygiënische overwegingen de voorkeur. In de grootte van de piston kan in dat geval gevarieerd worden. Om extra wrijving van de piston met de binnenkant van de cassette te voorkomen kan in dat geval een piston met een kleinere diameter dan het platform gebruikt worden.

INHOUD INFORMEREN

Het informeren van het resterende volume dat in de cassette aanwezig is kan worden gedaan door transparantie toe te passen. Dit kan variëren van geen transparantie tot volledige transparantie. Op verschillende manieren kan er door het toepassen van een etiket of verschillende materialen in de buitenwand een transparant gedeelte in de buitenkant aangebracht worden om zo de gebruiker te informeren over de resterende inhoud. Hierbij kunnen in alle gevallen ook maatstreepjes aangebracht worden.

BEVESTIGING DOSEERDOP

De doseerdop kan geïntegreerd zijn met de cassette en dus al vastzitten aan de cassette. Het is echter wel wenselijk dat er gewisseld kan worden naar een dop met een andere diameter. Dit kan via een schroefverbinding of een klikverbinding. Ook zou het mogelijk kunnen zijn dat een dop met kleinere spuitmond over een grotere spuitmond bevestigd kan worden. Zo kan dan zonder de handeling van het demonteren van de grote dop nauwkeuriger gedoseerd worden.

MARKEREN

Om houdbaarheid van de cassette te garanderen moet er gemarkeerd worden op welke dag de cassette voor het eerst gebruikt wordt. Dit kan gefaciliteerd worden door op de cassette een dagmarkering aan te brengen die omcirkeld kan worden met pen. Ook stickers zijn een gebruikelijke methode om op dag te coderen.

INFORMEREN

Bij de aanschaf van de cassette moet in ieder geval duidelijk zijn wat de inhoud van de cassette is, wat de uiterste gebruiksdatum is en hoe de cassette gebruikt moet worden in de 3D-foodprinter. Dit kan door middel van een etiket in verschillende mogelijke vormen, een opdruk rechtsstreeks op de verpakking of een secundaire verpakking met eventueel een bijsluiters.

5.2 VOLUME VAN DE CASSETTE

Het volume van de cassette hangt af van een aantal factoren:

- Hoeveel cassettes kunnen er geplaatst worden? Is het handiger om meerdere kleinere cassettes te hebben of liever twee grote cassettes?
- Hoeveel mililiter is er nodig per gerechtje?
- Hoeveel gasten zijn er aanwezig in het restaurant? Hoeveel van hen willen iets bestellen uit de 3D-foodprinter? Dus, hoeveel 3D-geprinte couverts worden er op een gemiddelde avond geserveerd?



Figuur 71. Morfologisch schema voor de conceptuitwerking

Deze factoren zijn tegen elkaar uitgezet in een schema waarin elke factor gevarieerd wordt. Het volume van de cassette is gevarieerd tussen 100 en 300 ml, het aantal cassettes is gevarieerd van minimaal 2 tot maximaal 6. Voor het aantal milliliter per gerechtje is een optie met 20ml en een met 50ml uitgewerkt. Vervolgens varieert het aantal couverts wat daarmee geprint kan worden dan tussen 10 en 90 stuks. Het volledige schema is te vinden in BIJLAGE 7.

Van de genoemde variaties bleken 4 cassettes van 250ml of 4 cassettes van 300ml de beste opties te zijn op het gebied van het aantal gerechtjes (couverts) dat er van gemaakt kan worden en zodat zij nog voldoende keuzeruimte bieden om verschillende smaken te gebruiken. Daarbij is ook meegenomen dat het hebben van 4 of 6 cassettes zorgt voor een efficiëntere plaatsing van de aansluiting op de printkop dan bij 5 cassettes. Bij een aantal van 4 cassettes heeft de gebruiker nog steeds veel vrijheid om verschillende ingrediënten in één gerecht te gebruiken, maar is er minder kans dan bij 5 of 6 cassettes dat het product over datum gaat omdat de doorloopsnelheid niet snel genoeg is. Daarom is er gekozen voor vier cassettes met een volume van 250 milliliter.

5.3 VORM VAN DE CASSETTE

5.3.1 ALGEMENE VORM

De cassette moet in verticale richting een constante doorsnede hebben in verband met de extruder. Er zijn voor de vorm van de cassette drie eerste opties uitgewerkt: vierkant, rond en rechthoekig met sterk afgeronde hoeken (respectievelijk FIGUUR 72, 73 EN 74).

Na het uitwerken van deze drie vormen is gekozen om verder te werken met de cilindervormige cassette.

Een cirkelvormige doorsnede van het platform kan de krachten die door de piston worden geleverd het beste weerstaan.

5.3.2 DOSEERDOPPEN

Vervolgens zijn er drie verschillende doppen uitgewerkt voor deze cilindrische cassette: een klikdop, een schroefbare doseerdop en een schuifdop.

KLIKDOP (FIGUUR 75)

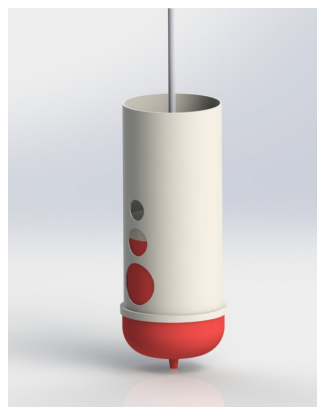
In eerste instantie werd uitgegaan van een losse doseerdop die door middel van een klikverbinding aan de cassette bevestigd wordt. Daar overheen kan nog een losse overcap bevestigd worden met een klikverbinding. Na het uitwerken van deze drie vormen is gekozen voor de cilindervormige cassette. Een cirkelvormige doorsnede van het platform kan de krachten die door de piston worden geleverd het beste weerstaan. Vervolgens zijn nog twee andere doppen uitgewerkt voor deze cilindrische cassette: een schroefbare doseerdop en een schuifdop.

De cassette is in dit geval een simpele holle buis waarbinnen het platform bevestigd is. Er is in dit geval geen mogelijkheid om de cassette te sealen, tenzij de losse doseerdop in een schone omgeving geproduceerd wordt en de diameter en wanddikte van het tuitje vergroot worden zodat er een aluminium seal aangebracht kan worden op dezelfde manier als bij tandpastatubes gebruikelijk is.

Het niet kunnen sealen van de dop is een groot nadeel. Vooral voor de (verse) fruitpurees is het nodig dat ze geseald worden om ten minste een week houdbaar te zijn.



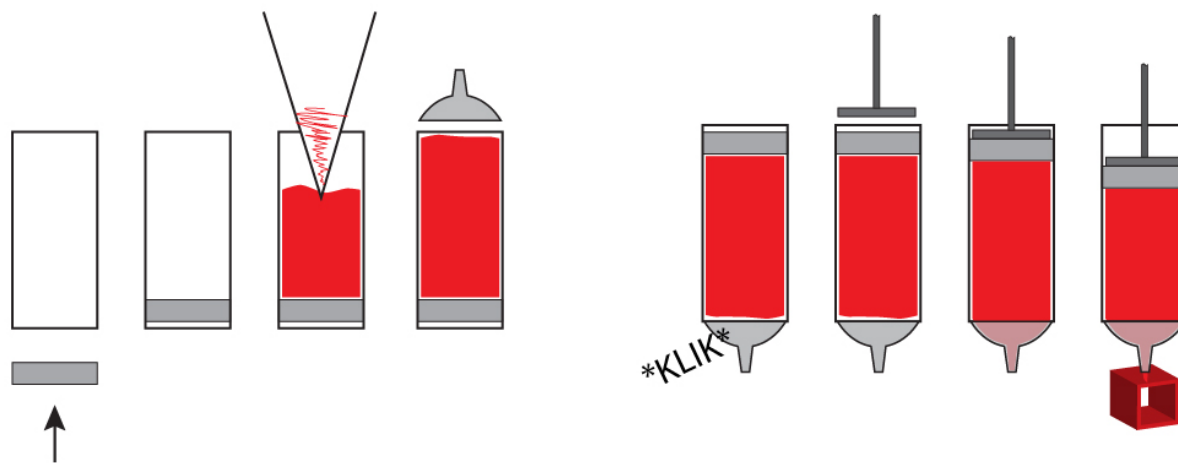
Figuur 72. Vierkante cassette



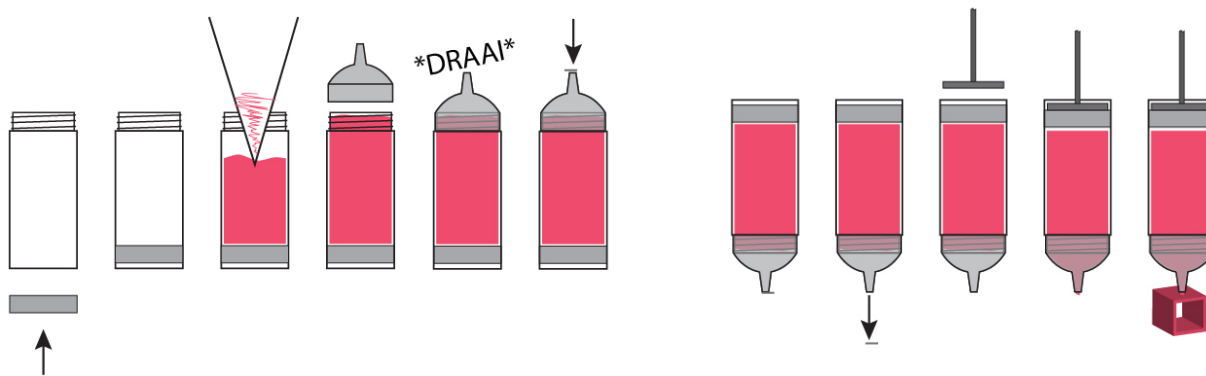
Figuur 73. Cilindrische cassette



Figuur 74. Rechthoekige cassette met afgeronde hoeken



Figuur 75. Klikdop

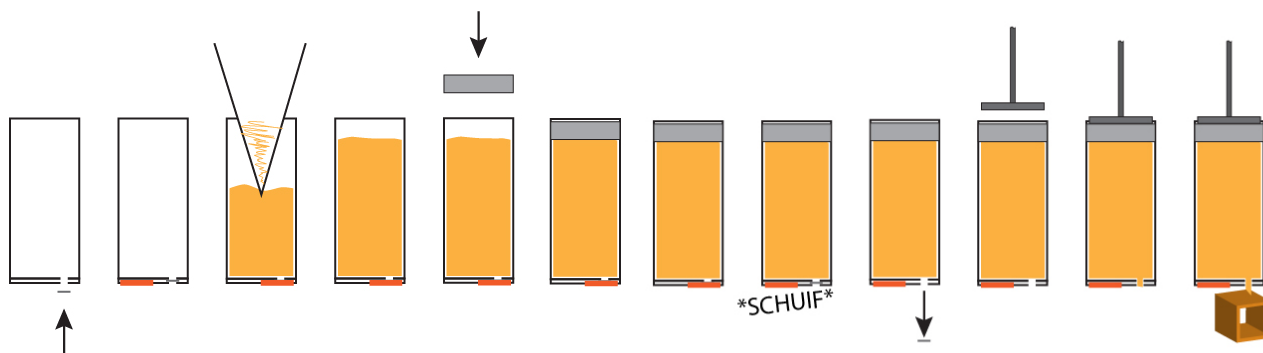


Figuur 76. Draaidop

DRAAIDOP (FIGUUR 76)

Bij een cassette met draaidop moet er schroefdraad aangebracht worden aan de buitenkant van de cassette en aan de binnenkant van de draaidop. Het voordeel van een draaidop is dat het mogelijk is om verschillende doppen bij te leveren die allen een andere diameter van het tuitje kunnen hebben. Op die manier zou de gebruiker verschillende doppen kunnen gebruiken bij gerechten die baat hebben bij een grotere of juist kleinere grootte van de dosering van het levensmiddel. De draaidop heeft een tuitje waarop de slang bevestigd kan worden.

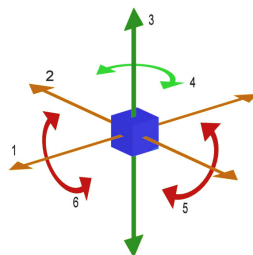
Voor de draaidop gelden echter dezelfde nadelen als bij de klikdop. De draaidop moet volledig schoon zijn wanneer deze op de cassette gedraaid wordt en er moet een seal aangebracht worden op het tuitje.



Figuur 77. Schuifstelsysteem

SCHUIFSYSTEEM (FIGUUR 77)

Een derde mogelijkheid voor het afsluiten van de cassette waarbij tegelijkertijd een doseermogelijkheid aangeboden wordt is het aanbrengen van een schuifje in de verpakking. Dit schuifje kan opengeschoven worden waarna de slang bevestigd kan worden binnenin de cassette. Het verschil tussen de schuifdop en de twee eerder genoemde doppen is dat de opening waaraan de flexibele slang bevestigd moet worden in dit geval direct op de cassette aanwezig is. De cassette en de rails waarin het schuifje bevestigd wordt kunnen in één productiestap vervaardigd worden. Deze opening kan wel geseald worden, omdat de cassette in zijn geheel schoongemaakt kan worden om de verpakking te beschermen tegen invloeden van buitenaf. Na het afvullen kan het rechthoekige schuifje geplaatst worden in de rails. Dit systeem wordt al toegepast in losse doppen voor droge producten zoals melkpoeder (FIGUUR 79). Het schuifje zorgt ervoor dat de inhoud van de cassette niet gaat lekken. Tijdens transport en bewaren is het nog wel nodig om ook een overcap te gebruiken.



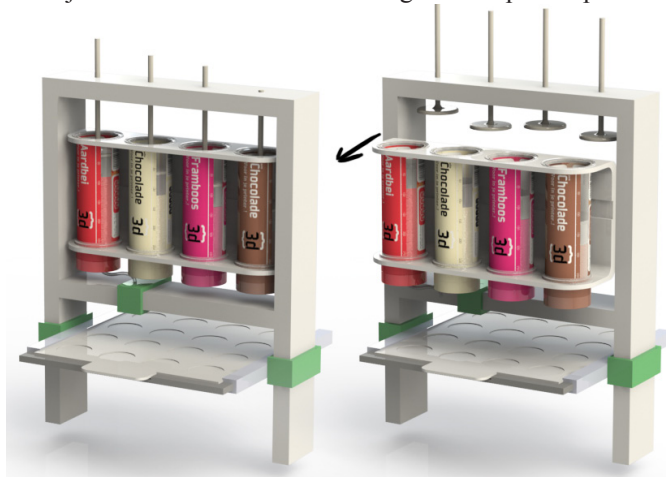
Figuur 78.
Vrijheidsgraden



Figuur 79. 'Slide and Sprinkle cap' van Cornelis Caps and Closures

5.4 BEVESTIGING VAN DE CASSETTE

De cassette moet binnen 30 seconden in de geplaatst en verwijderd kunnen worden. De slang van de printkop



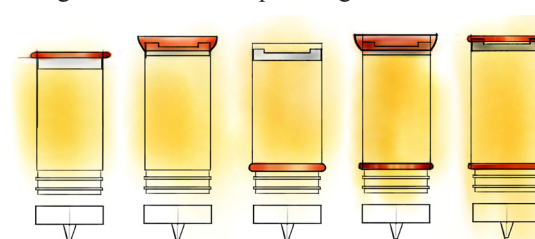
Figuur 80. Uitschuifbare houder voor de fixatie van de cassettes

moet geplaatst kunnen worden aan de onderkant van de cassette. Tevens moet de cassette stevig vastzitten in de 3D-foodprinter maar toch makkelijk verwijderd kunnen worden.

5.4.1 FIXATIE VAN DE CASSETTE

Voor het plaatsen van de cassette is gekozen voor een simpele oplossing: het ophangen van de vier cassettes in een uitschuifbare houder. Door twee fixatiepunten op de cassette te maken die overeen komen met cilindrische uitsparingen in de houder kan de cassette al beperkt worden van beweging in 4 van de 6 vrijheidsgraden in rotatie en translatie. Alleen de translatie en rotatie om de Y-as (pijl 3 en 4 in FIGUUR 78) worden niet beperkt door deze fixatiepunten.

De houder kan in de 3D-foodprinter bevestigd worden door een rail-systeem. Net als een lade kan de houder dan grotendeels uit de printer getrokken worden nadat



Figuur 81. Schets fixatiepunten

alle pistons omhoog zijn bewogen. Daarna kunnen één of meerdere cassettes geplaatst of verwijderd worden. Het verder uitwerken van de houder wordt buiten beschouwing gelaten.

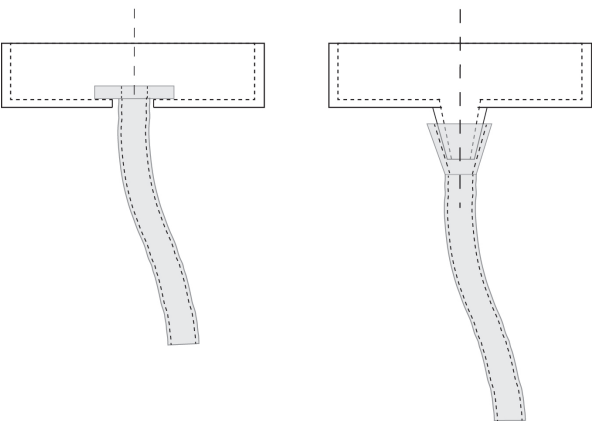
De fixatiepunten zijn in dit geval een verbreding in de wanden van de cassette. De plaatsing hiervan is op verschillende manieren mogelijk, zie FIGUUR 81. Er is gekozen voor de vierde variant van links met (in top-down stand) een smallere ring onderaan en een bredere, taps toelopende ring aan de bovenkant.

Het taps toelopende fixatiepunt zit aan de onderkant tijdens het bewaren en zorgt er dan ook voor dat de cassette tijdens het bewaren een groter grondoppervlak heeft en dus stabiel staat.

5.4.2 PLAATSEN VAN DE SLANG

De connectie tussen de cassette en de printkop wordt gemaakt door er tussen een flexibele slang te plaatsen. De slang kan onder andere geplaatst worden (1) door de slang ergens in te steken of (2) door de slang ergens

omheen te klemmen (FIGUUR 82). Afhankelijk hiervan kan het uiteinde van de slang ook anders ontworpen worden. Voor het gekozen schuifstelsel is de eerste optie waar de slang binnen de cassette geplaatst wordt het meest geschikt. Deze optie biedt ook de meeste weerstand tegen het wegslijpen van de slang door het ringvormige oppervlak dat zich binnen in de cassette bevindt. De slang moet dan van volledig flexibel materiaal gemaakt zijn zodat deze geplaatst kan worden door de bovenkant met de vingers in te knijpen en in de cassette te bevestigen.



Figuur 82. Plaatsing van de slang, links (1) er in steken, (2) er omheen klemmen

5.5 MATERIAAL VAN DE CASSETTE

5.5.1 KWETSBAARHEID TEGENOVER

MECHANISCHE INVLOEDEN

De cassette moet het drukken van de piston tegen het platform kunnen weerstaan, daarbij mag geen tot weinig rest achterblijven. Daarom is een rigide materiaal nodig. Een flexibel materiaal zoals een folie of karton zal waarschijnlijk vervormen of stuk gaan door de kracht die door de piston geleverd wordt.

ONTWERPVRIJHEID

In FIGUUR 83 is te zien hoe kunststof, metaal, karton, glas en hout met elkaar vergeleken kunnen worden op een aantal aspecten. De ontwerpvrijheid van kunststoffen is verreweg het grootst door de mogelijkheden die het spuitgietproces biedt.

5.5.2 BARRIÈRE-EIGENSCHAPPEN

De cassettes moeten bewaard kunnen worden in de koelkast en daarbij ten minste 1 week houdbaar zijn. Metalen bieden een uitstekende barrière tegen factoren die de levensmiddelen kunnen beschadigen. Kunststoffen bieden (op enkele uitzonderingen na) een minder grote barrière tegen invloeden van buitenaf. Daarom is het bij een keuze voor een kunststof verpakking nodig om een seal aan te brengen om zo de barrière te vergroten.

De houdbaarheid van het product heeft een sterk verband met de wijze van bewaren (in de koeling of op kamertemperatuur) en de vormgeving van de verpakking (barrières tegen zuurstof, micro-organismen, schimmels en UV-licht). Voor gebruik binnen de setting van de doelgroep is het belangrijk dat de houdbaarheid van het product verlengd wordt om zo een hogere mate van flexibiliteit te hebben bij een piek of een dal in de verkoopcijfers van de gerechtjes die met de printer vervaardigd worden. Daarbij kan er gewerkt worden met een kleine voorraad cassettes die dan niet meteen de THT datum hoeven te overschrijden. Er wordt uitgegaan van een minimale houdbaarheid van een week om ten minste deze mate van flexibiliteit te bieden. Deze houdbaarheid kan bijvoorbeeld door High Pressure Processing (HPP) verkregen worden. HPP is met name geschikt voor de fruitsmaken. Door het fruit gedurende een korte periode onder zeer hoge druk te zetten worden schimmels, gisten en bacteriën gedeactiveerd. [43] Alsnog is het dan nodig het product schoon te verpakken. Alleen een overcap waarvan niet zeker is dat deze schoon is volstaat niet. Er moet dus

	Barrière-eigenschappen [44]	Ontwerp-vrijheid [44]	Kwetsbaarheid tegenover mechanische invloeden [44]	Bedrukking [44]	Mogelijkheden hergebruik materiaal [44]	Thermal conductor of isolator [45]
KUNSTSTOF	Variabel	Groot	Variabel	Beperkt	Variabel	Isolator
METAAL	Zeer goed	Variabel	Goed	Goed	Goed	Conductor
KARTON	Matig	Beperkt	Beperkt	Goed	Goed	Isolator
GLAS	Zeer goed	Beperkt	Beperkt	Beperkt	Goed	Isolator
HOUT	Matig	Beperkt	Goed	Beperkt	Beperkt	Slechte isolator

Figuur 83. Eigenschappen van materialen

een seal aangebracht worden. Aluminium is hiervoor erg geschikt vanwege de goede zuurstofbarrière die dit materiaal biedt.

5.5.3 GELEIDING VAN WARMTE

De thermische eigenschappen van het materiaal zijn belangrijk als er de mogelijkheid bestaat dat een temperatuurregelingssysteem later toch nog toegepast gaat worden. Vanuit dit oogpunt zou een metaal, over het algemeen goede geleiders, goed dienst kunnen doen. Andere materialen geleiden warmte een stuk minder goed en zijn zelfs isolatoren. Maar met de gekozen range aan pasta-vormige materialen is het niet nodig om te verwarmen bij het printen. Daarmee biedt bijvoorbeeld kunststof een grotere ontwerpvrijheid tegen een lagere prijs.

5.5.4 MATERIAALKEUZE

Een verpakking van kunststof heeft de voorkeur vanwege de grote ontwerpvrijheid. Binnen de kunststoffen zijn Polyetheen (PE) en Polypropreen (PP) de meest gebruikte. Van alle kunststof verpakkingen is 80% vervaardigd uit één van deze twee plastics. Dit kan verder uitgesplitst worden naar een aandeel van 70% voor PE en 10% voor PP. Het is niet verwonderlijk dat PE en PP dan ook de goedkoopste kunststoffen zijn. Dit betekent dat er voor de andere soorten kunststoffen speciale redenen aanwezig moeten zijn om deze te kiezen. [44]

De eerder genoemde airless-verpakkingen zijn vervaardigd uit polypropreen met een wanddikte van 1,5 mm. Bij deze dikte is PP niet volledig transparant, de verpakkingen hebben een melkachtige gloed en hebben ook een mindere glans. Vanuit de bestaande airless-verpakking bestaat dus het proof-of-concept dat PP een geschikt materiaal is voor de productie van de cassette.

5.5.4 WETGEVING [46]

Materialen die tijdens het volledige proces in aanraking komen met het voedsel worden voedselcontactmaterialen genoemd. Dit zijn dus de machines die tijdens de productie gebruikt worden maar ook keukenapparaten (de 3D-foodprinter), servies en bestek van de gebruiker. Deze materialen die met het voedsel in aanraking komen, kunnen toxische stoffen overbrengen op het voedsel en zo gevaar opleveren voor de gezondheid.

In Nederland moeten verpakkingen die met levensmiddelen in aanraking komen voldoen aan de Nederlandse én Europese wetgeving. Wat betreft

de Nederlandse wetgeving moet een verpakking voldoen aan het Warenwetbesluit Verpakkingen en gebruiksartikelen. Dit besluit stelt dat “verpakkingen geen stoffen in zodanige hoeveelheden aan eet- en drinkwaren mogen afgeven dat ze een gevaar opleveren voor de volksgezondheid. Ook mogen verpakkingen of gebruiksartikelen niet op onaanvaardbare wijze de eet- of drinkwaren veranderen”. Denk daarbij aan verandering in de samenstelling, geur, smaak, kleur en consistentie.

Voor de productie van verpakkingen mogen uitsluitend materialen gebruikt worden die op een lijst staan zoals uitgewerkt in de Regeling Verpakkingen en Gebruiksartikelen. Dit geldt voor deze materialen: kunststoffen, papier, karton, rubberproducten, metalen, glas, keramische materialen. Voor de materialen die (enigszins) schadelijk zijn is een limiet vastgesteld van de hoeveelheid stof die in vanuit de verpakking in de levensmiddelen terecht mag komen.

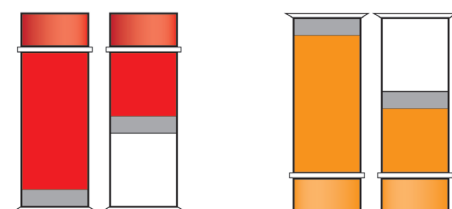
Op Europees niveau is er een algemene regelgeving, van toepassing op alle materialen en voorwerpen bestemd om in contact te komen met levensmiddelen. Verder is er specifieke regelgeving voor een aantal materialen, stoffen en testmethodes. De cassette moet aan deze Europese en Nederlandse regelgeving voldoen.

5.6 ETIKET

Ook het etiket van de cassette is ontworpen. Hiervoor wordt eerst besproken hoe de oriëntatie van de cassette in de 3D-foodprinter hierbij van belang is. Vervolgens zal het ontwerp besproken worden.

5.6.1 TOP-DOWN VS. BOTTOM-DOWN

De cassette wordt top-down in de houder van de 3D-foodprinter geplaatst. Eventueel zou de cassette ook tijdens het bewaren en het verkopen top-down neergezet kunnen worden, zoals bij vele cosmeticaproducten en sausverpakkingen al gebruikelijk is. De andere optie is om de cassette met de overcap naar boven neer te



Figuur 84. Bottom-down (rood, links) en top-down (oranje, rechts)



Figuur 85. Oriëntatie van het etiket met de cassettes in de houder; links met top-down configuratie, rechts zijwaarts

zetten (bottom-down) tijdens het bewaren. Hierbij zal dus naarmate de cassette leger wordt door gebruik, de vloeistof meer bovenin de cassette terechtkomen. Een nadeel hiervan is de verhoging van het zwaartepunt, waardoor de cassette minder stabiel staat. Een voordeel is het visueel aantrekkelijke effect van het ‘zweven’ van de vloeistof en de mogelijkheid om de dop te gebruiken voor een uiting van het merk met een embossing of opdruk bovenop.

De plaatsing van het etiket is hierbij de belangrijkste indicatie voor de gebruiker hoe het product neergezet moet worden. Door het etiket zo te plaatsen dat de tekst leesbaar is in top-down of in bottom-down configuratie, is de tekst niet meer leesbaar als de gebruiker de cassette omdraait. Bij de bottom-down configuratie resulteert dit in een geroteerd etiket wanneer de cassette

5.6.2 ONDERDELEN VAN HET ETIKET

Door andere etiketten van levensmiddelen te bestuderen is besloten dat op het etiket van de cassette in ieder geval de volgende elementen aanwezig zijn:

- ☐ Naam van het product
- ☐ Aantal mililiter of aantal gram
- ☐ ‘Ten minste houdbaar tot’ datum
- ☐ Declaratie van de ingrediënten
- ☐ Voedingswaarde
- ☐ Eventuele allergiën of sporen van allergiën
- ☐ Contactadres van de producent
- ☐ Streepjescode
- ☐ Eventuele keurmerken zoals ‘FSC’, ‘TetraPak’ of ‘kies bewust’



Figuur 86. Richting van het etiket afhankelijk van de configuratie

in de printer geplaatst is. Dit is niet wenselijk. Daarom zou de tekst zijwaarts op de cassette geplaatst kunnen worden, hiermee is het probleem van leesbaarheid in alle configuraties opgelost (FIGUUR 85 EN 86). Hierdoor kan de gebruiker zelf kiezen of hij het product wil top-down of bottom-down wil bewaren.

De T.H.T. datum moet te allen tijde terug te vinden zijn op de verpakking. Een bedrukking op de overcap met een verwijzing naar deze bedrukking op het etiket is hiervoor een makkelijke oplossing aangezien de bovenkant van deze dop een plat oppervlak is en dus makkelijk te bedrukken na het afvullen.

Ook is het voor de cassette wenselijk dat de gebruiker te allen tijde weet hoeveel er nog in zit, dit kan gedaan worden door een

deel van de cassette onbedekt te laten of transparantie toe te passen als een kunststof etiket gebruikt wordt.

5.6.3 ONTWERP ETIKET

Voor het ontwerp van het etiket is het fictieve merk ‘3d’ gebruikt. Vanuit een simpel etiket is het ontwerp steeds verder uitgebreid. Eerst is begonnen met een

strookvormig ontwerp. Daarbij zou er één strook op de cassette geplaatst worden, de rest van de cassette is transparant. Er zijn verschillende configuraties van het etiket uitgewerkt, waaronder met afbeeldingen van het product wat er in zit, puur typografisch of met een 'doorkijkvenster' in verschillende vormen (FIGUUR 87). Echter bleek dat alle in paragraaf 5.6.2 genoemde elementen van het etiket niet op deze strook pasten. Daarom is het etiket vergroot, zodat juist de transparantie een langwerpige strook wordt (FIGUUR 88). Er zijn op de zijkant van het etiket maatstreepjes geplaatst voor het aflezen van het etiket. In BIJLAGE 8 zijn de etiketten op groter formaat bijgevoegd.



Figuur 87. Proces van ideeën voor etiketten (boven)

Figuur 88. Uiteindelijke etiketten (rechts)

5.7 EINDCONCEPT

Het eindconcept van de cassette bestaat uit 5 onderdelen:

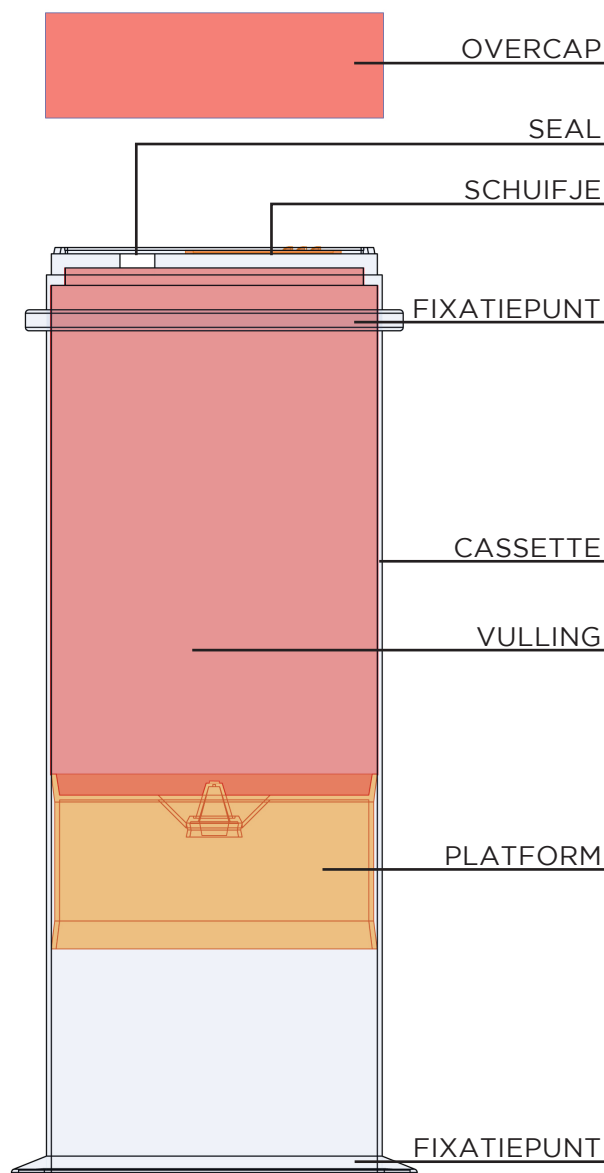
1. De cassette
2. Het schuifje
3. De aluminium seal
4. De overcap
5. Het platform

Het zesde onderdeel dat altijd nodig zal zijn is de flexibele slang. Omdat de slang lastig schoon te maken zal zijn, is ook de slang een disposable onderdeel. Per cassette wordt één slang meegeleverd. De slang kan meegeleverd worden door deze op te rollen en binnen de overcap te plaatsen. Daarbij is de slang uit het zicht en is er toch een handige opbergplaats voor de slang. Een andere optie is om de slang in een klein flowpackje te verpakken en te bevestigen op de zijkant van de verpakking, te vergelijken met de verpakking van drinkkietjes voor dranken in kleine kartonnen verpakkingen.

De stappen die de gebruiker dan moet ondernemen om de verpakking te gebruiken zijn als volgt:

1. Verwijder de overcap.
2. Plaats de cassette in de houder.
3. Verschuif het schuifje naar de open stand.
4. (Bij eerste gebruik: verwijder de aluminium seal).
5. Pak de slang en stop deze in de opening.
6. Kies een gerecht om te printen of upload zelf een nieuw model.

Visualisaties van de cassette zijn te vinden in FIGUUR 92 en in BIJLAGE 9. De maatvoering is te vinden BIJLAGE 11.

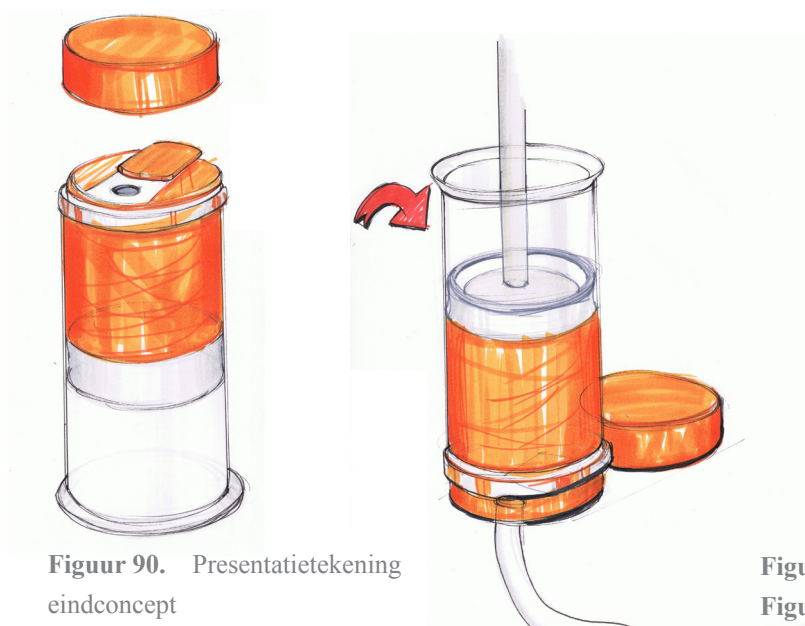


Figuur 89. De onderdelen van de cassette



Figuur 91. Exploded view cassette

Figuur 92. (pagina rechts) renders van de cassette



Figuur 90. Presentatietekening eindconcept



HOOFDSTUK 6: EVALUATIE VAN HET ONTWERP

In dit hoofdstuk wordt het eindconcept van de cassette onderworpen aan een kritische beoordeling. Er is nagegaan in hoeverre het ontwerp aansluit bij het programma van eisen en welke beperkingen er mogelijk nog in het ontwerp zitten. Door het ontwerp te evalueren kunnen er ook een aantal aanbevelingen gedaan worden voor een eventuele verder uitwerking van het ontwerp.

6.1 TOETSING AAN PROGRAMMA VAN EISEN

De 28 eisen van de cassette zijn getoetst aan het programma van eisen. In FIGUUR 93 is te zien dat er 15 eisen gehaald zijn en 2 eisen gedeeltelijk gehaald zijn. Van 11 eisen is onzeker of ze wel of niet gehaald worden. Er is geen eis waarvan met zekerheid te zeggen is dat deze niet gehaald wordt. De volledige toetsing is terug te vinden in BIJLAGE 10. In deze paragraaf wordt een selectie van opvallendheden uit de toetsing besproken.

Aanvankelijk was het een wens om de cassette ook onge vuld verkrijgbaar te maken (#2). Deze wens bleek gaandeweg het proces toch minder wenselijk, gezien een onge vulde cassette maar één keer verkocht hoeft te worden. Een wegwerpbare verpakking kan keer op keer verkocht worden en biedt daarom een beter perspectief op succesvolle verkoopcijfers van het product.

De eis die stelde dat de cassette geen luchtbellen mag bevatten (#4) is gedeeltelijk gehaald, door het toepassen van het platform zitten er geen luchtbellen in de cassette. De al bestaande airless-verpakkingen tonen dit aan. Echter is het onzeker is hoe goed de verpakking na het eerste gebruik, wanneer de seal verwijderd is, luchtdicht blijft. Het schuifje sluit de opening af, maar deze afsluiting moet waarschijnlijk nog uitgebreid worden met een luchtdicht-afsluitende seal van een flexibele kunststof, of een laminaat waarin een laag EVOH aangebracht wordt. EVOH heeft erg goede barrière-eigenschappen maar kan alleen in een laminaat met andere kunststoffen aangebracht worden.

#	GEHAALD	GEDEELTELIJK GEHAALD	ONZEKER OF GEHAALD
1	X		
2	X		
3			X
4		X	
5			X
6	X		
7	X		
8	X		
9	X		
10	X		
11	X		
12	X		
13		X	
14	X		
15			X
16			X
17			X
18			X
19	X		
20			X
21	X		
22			X
23			X
24	X		
25	X		
26			X
27			X
28	X		
15		2	11

Figuur 93. Toetsing programma van eisen

De andere eis die gedeeltelijk gehaald is, is #13: het vermelden van wettelijke specificaties op de verpakking. De eis is gedeeltelijk gehaald; wettelijk verplichte informatie zoals de naam, de inhoud, de contactgegevens en de houdbaarheidsdatum zijn aanwezig op het etiket. Echter zijn deze nu nog fictief en zal het etiket later

nog aangepast worden met de juiste gegevens. Ook is het bijvoorbeeld onduidelijk of er allergenen in de fruitpurees, karamel of chocolade aanwezig zullen zijn en is het nu dus ook nog niet nodig om deze allergenen op het etiket te vermelden.

Door het platform in de cassette toe te passen wordt eis #7 gehaald, waarin gesteld wordt dat er zo min mogelijk resten van het levensmiddel in de cassette achter mogen blijven. De bestaande airless verpakkingen laten zien dat, door het gebruik van het platform, er zeer weinig restproduct achter zal blijven in de cassette.

Eis #9 is gehaald, de gebruiker kan zich bij normaal gebruik niet bezeren aan de cassette omdat deze geen uitstekende of scherpe onderdelen bevat. Wel moet opgemerkt worden dat het schuifje een klein onderdeel is, dat mogelijk los zou kunnen raken. Mogelijk zou dit in de handen van kleine kinderen verslikkingsgevaar op kunnen leveren. Dit moet verder onderzocht worden.

Het is voor de gebruiker te allen tijde duidelijk hoeveel vulling er nog in de cassette aanwezig is (#14), door het toepassen van transparantie van het materiaal van de cassette en de op het etiket afgedrukte maatstreepjes.

Het is onduidelijk of de eis met betrekking tot het niet lekken van de vulling uit de cassette (#22) gehaald wordt. De aansluiting van het schuifje kan nog geoptimaliseerd worden om mogelijk lekken beter tegen te gaan.

Over de invloeden van schadelijke stoffen van buitenaf (#15 tot en met 18) is in dit stadium geen zekere uitspraak te doen. Door af te vullen in een schone verpakking met seal en het bewaaradvies om het product in de koeling te bewaren, wordt wel verwacht dat de verpakking bijdraagt aan het vormen van een barrière tegen micro-organismen, schimmels en zuurstof. Door de cassette het bewaaradvies in de koelkast mee te geven wordt de mogelijke schadelijke invloed van UV-licht geminimaliseerd.

De eis voor het kunnen plaatsen van de cassette in maximaal 5 handelingen (#25) wordt in principe gehaald. Zoals genoemd in paragraaf 5.7 is de cassette bij het eerste gebruik in zes stappen klaar voor gebruik, waarbij de zesde stap het kiezen van een te printen gerecht is en dus eigenlijk geen handeling is wat betreft het plaatsen. Bij alle volgende keren gebruik hoeft de seal niet meer verwijderd te worden en kan de cassette sowieso in vijf handelingen geplaatst worden. Het

echter niet zeker of het plaatsen en verwijderen (#26 en 27) mogelijk is binnen 30 seconden. Om hierover een uitspraak te kunnen doen moet eerst een test uitgevoerd worden.

HOOFDSTUK 7: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 CONCLUSIES

In het eerste deel van het project is 3D-printing, 3D-foodprinting en de huidige markt onderzocht. Hieruit blijkt dat er nog geen gebruiksvriendelijke 3D-foodprinter bestaat en er dus goede kansen liggen voor het Foodatelier om een 3D-foodprinter te ontwikkelen. In deze opdracht is de cassette voor het gebruik in de 3D-foodprinter ontwikkeld. Een kleine eerste stap, in een eventuele vervolgoopdracht kan de printer verder ontwikkeld worden. Belangrijke aspecten voor deze verdere ontwikkeling zijn het implementeren van werkende techniek en het toevoegen van een goed ontworpen user interface.

Doordat de keuze is gemaakt om eerst de cassette uit te werken, zijn nu duidelijke randvoorwaarden opgesteld waaraan de rest van de 3D-foodprinter moet voldoen om te kunnen werken met deze cassette. De Fab@Home printer die bij het Foodatelier aanwezig is en de overige printers op de markt hebben hebben dienst gedaan als proof of concept van 3D-foodprinting.

Het is verder belangrijk om de doelgroep bij 3D-foodprinting te blijven betrekken. Wanneer uiteindelijk een gebruiksvriendelijke 3D-foodprinter ontwikkeld is zou er een pilot uitgevoerd kunnen worden bij een restaurant om te testen hoe de primaire doelgroep (chefs, bediening) en de secundaire doelgroep (gasten) zullen reageren op de 3D-foodprinter en de gerechtjes die er uit komen. De haalbaarheid van 3D-foodprinting binnen deze pilot hangt vooralsnog af van een aantal factoren:

- De uniekheid van de gerechtjes die aangeboden worden
- De smaak van deze gerechtjes. Zijn ze lekker en mooi genoeg om zich ook te kunnen onderscheiden van 'gewone' gerechtjes?
- Alle soorten van promotie vooraf en tijdens de pilot-periode
- De bereidheid van de gasten om de gerechtjes uit te proberen

De cassette is nu een ontwikkeld onderdeel in een nog niet-bestaand systeem. In dit systeem is de cassette

één van de belangrijkste onderdelen. De rest van het systeem van de 3D-foodprinter kan nu om de cassette heen ontworpen worden, waarbij het ontwerp van de cassette continu geëvalueerd en zo nodig aangepast moet worden als dit binnen het systeem beter blijkt te werken.

Binnen nu en enkele jaren zal het zeker mogelijk zijn om een pilot met 3D-foodprinting te organiseren. Als de primaire en secundaire gebruikers er enthousiast over zijn, de gerechten een toegevoegde waarde hebben en de prijs niet te hoog wordt kan een 3D-foodprinter een waardevolle investering zijn voor een restaurant, met name om zich te onderscheiden van andere restaurants. Als dit het geval is zal het ook mogelijk zijn voor 3D-foodprinting om verder te groeien: een 3D-foodprinter in je eigen keuken of een 3D-foodprinter in plaats van de snoepautomaat waar je een euro in kan gooien voor een zoete snack: het zijn geen ondenkbare scenario's voor de toekomst van deze techniek.

7.2 AANBEVELINGEN

Er kan een aantal zaken opgenoemd worden, waarvan nu al bekend is dat ze veranderd of beter uitgezocht moeten worden om het ontwerp van de cassette te optimaliseren.

- Er moet verder onderzocht worden hoe de slang het beste aan de cassette bevestigd kan worden. Sluitingen zoals een bajonetsluiting zouden hierbij uitkomst kunnen bieden.
- De 3D-foodprinter zelf moet verder ontworpen worden. Deze moet passen binnen de omgeving van een restaurant en kunnen voldoen aan de eisen die in dit project aan de 3D-foodprinter gesteld zijn.
- De te gebruiken ingrediënten moeten in de praktijk getest worden. Aan de hand van testen kan bepaald worden of de range van zeven smaken voldoende is voor het uitvoeren van een pilot.
- Bij het testen van de ingrediënten kan onderzocht worden welke nieuwe smaken ontwikkeld

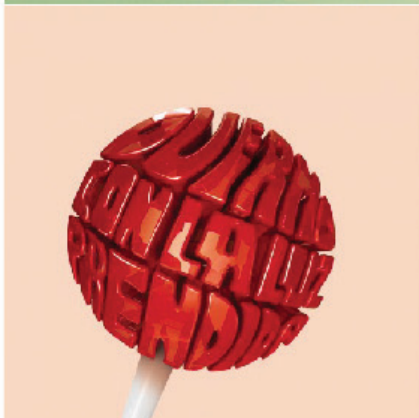
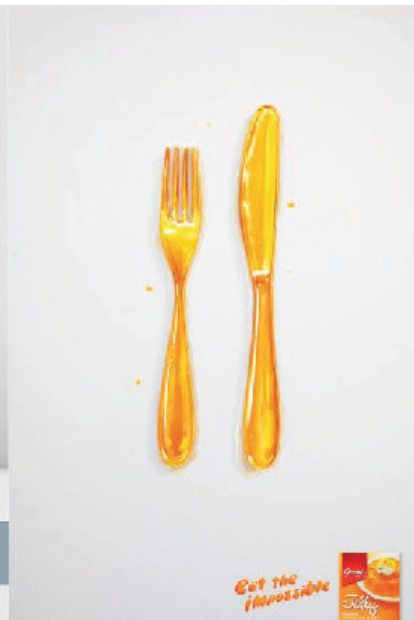
- kunnen worden voor later gebruik.
- Er moet onderzocht worden welke krachten op het platform komen te staan en welke invloed deze hebben op de vervorming van het platform zelf en de andere componenten van de cassette.
 - Er moet een kostenschatting gemaakt worden voor de kostprijs van de cassette.
 - De cassette is nu een wegwerpverpakking. Wellicht is het ook mogelijk de cassette een aantal malen schoon te maken en te hervullen. Dan kan er gewerkt worden met een statiegeldheffing over de cassette.
 - De secundaire gebruiker is (nog) niet bij het ontwerpproces betrokken geweest. Het is aan te bevelen dit in een eventueel vervolgproject wel te doen. Door het vragen van feedback aan consumenten kan onderzocht worden of de juiste keuzes gemaakt zijn. De consument moet wel eerst uitgelegd worden wat 3D-foodprinting is. Wanneer de consument dit begrip kent zal hij/zij ook direct enthousiast gemaakt kunnen worden om 3D-foodprinting in de toekomst uit te proberen.

REFERENTIES

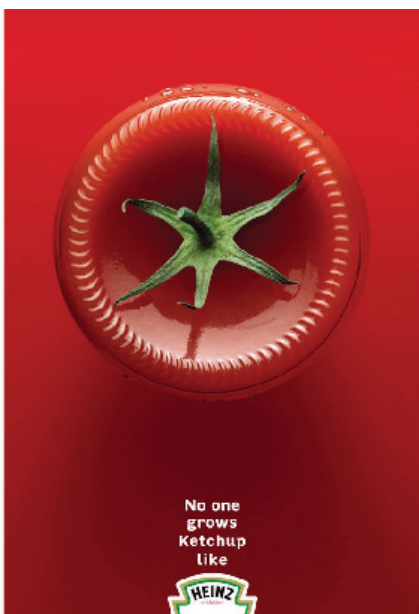
1. Roddenberry, G. (1987-1994). Star Trek: The Next Generation.
2. Kals, H.J.J. (2007). Industriële productie - het voortbrengen van mechanische producten: Academic Service.
3. Chua, C.K., Leong, K.F. and Lim, C.S. (2003). Rapid Prototyping, Principles and Applications (Second Edition). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. .
4. Joyce, M. (2012). B9Creator - A High Resolution 3D Printer. 2012 verkregen july 2012 van <http://www.kickstarter.com/projects/b9creations/b9creator-a-high-resolution-3d-printer>.
5. Coelho, M. (2010). Cornucopia, Prototypes and Concept Designs for a Digital Gastronomy. 2010 verkregen July 27 2012 van <http://web.media.mit.edu/~marcelo/cornucopia/>.
6. Berrigan et al. (2007). Fabaroni, a homemade 3D printer. 2007 verkregen july 2012 van <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/863.07/11.05/fabaroni/>.
7. Kläeber, N. (2010). Moleculaire - Food Printer Concept. 2010 verkregen july 2012 van <http://www.coroflot.com/nicoklaeber/Moleculaire-Food-Printer-Concept>.
8. Lang de H. (2008). Moleculaire Gastronomie. 2008 verkregen july 2012 van <http://www.kennislink.nl/publicaties/moleculaire-gastronomie>.
9. Adria, F., Blumenthal, H. et al., (2006). Statement on the 'new cookery'. 2006 verkregen july 2012 van <http://www.guardian.co.uk/uk/2006/dec/10/foodanddrink.obsfoodmonthly>.
10. Today and Tomorrow magazine (2009). Philips Food Design Probes 2009 verkregen july 2012 van <http://www.todayandtomorrow.net/2009/08/20/philips-food-design-probes/>.
11. Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N. and Lipson, H. (2010). Multi-Material Food Printing with Complex Internal Structure Suitable for Conventional Post-Processing in 21st Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'10): Austin Tx, USA.
12. Cohen, D., Lipton, J., Cutler, M., Coulter, D., Vesco, A. and Lipson, H. (2009). Hydrocolloid Printing: A Novel Platform for Customized Food Production, in Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'09): Austin Tx, USA.
13. University of Exeter (2011). Chocolate research shapes the future of gift shopping. 2011 verkregen July 24 2012 van http://www.exeter.ac.uk/news/research/title_145191_en.html.
14. Choc Edge Limited. (2012). Choc... Revolutionise Chocolate Making. 2012 verkregen august 2012 van <http://www.chocedge.com/>
15. Evil Mad Scientist Laboratories (2009). The Revolution will be Caramelized - The CandyFab Project. 2009 verkregen july 2012 van <http://candyfab.org/>.
16. 3dprinter.nu (Unknown). Suikerprinter CandyFab. Unknown verkregen july 2012 van <http://www.3dprinter.nu/candyfab.php>.
17. Evil Mad Scientist Laboratories (Unknown). CandyFab: The Revolution Will be Caramelized. Unknown verkregen august 2012 van <http://wiki.candyfab.org/>.
18. Southerland, D., Walters, P. and Huson, D. Edible 3D Printing. in NIP 27: International Conference on Digital Printing Technologies and Digital Fabrication 2011. 2011. Minneapolis, USA.
19. Bommel K. van. Presentatie, Making the Future - the 3D Food Printer. in TEDx Brainport 2012. 2012. Eindhoven, the Netherlands.
20. Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (2012). New food processing technologies. 2012 verkregen september 2012 van www.tno.nl/foodlab.
21. Bommel K. van (2012). TEDxBrainport 2012 - Kjeld van Bommel - Making the food of the future.
22. Foodjet (2012). FoodJet Printing. 2012 verkregen july 2012 van <http://foodjet.nl/>.
23. Bakkers in bedrijf (2010). Cake en koekjes decoreren met de food jet printer.

- verkregen van http://bakkersinbedrijf.nl/wp-content/uploads/2012/02/innovatief_0310.pdf.
24. Zhang, W., Leu, M.C. and Zhiming, J. (1999) Rapid Freezing Prototyping with Water.
 25. Sijpkens, P., Barnett, E., Angeles, J. and Pasini, D. (2009) The architecture of phase change at McGill.
 26. Barnett, E., Angeles, J., Pasini, D. and Sijpkens, P. (2004) Robot-Assisted Rapid Prototyping for Ice Structures.
 27. Bryant, F.D. and Leu, M.C. (2004) Study on incorporating support material in Rapid Freeze Prototyping.
 28. Manen, J.W.v. (2012). Coming soon: 3D Foodprinting! - De commerciële kansen van 3D Foodprinting. 2012 verkregen van.
 29. Bouwhuis (2012). Bouwhuis - De grootste professionele bakwinkel online. 2012 verkregen september 2012 van <http://www.bouwhuis.com/Foodprinters>.
 30. Chocolate-artist.com (Onbekend). The art of printing chocolate. Onbekend verkregen september 2012 van <http://chocolate-artist.com/index.php?lang=dutch>.
 31. HEMA (2012). Gebak met foto. 2012 verkregen september 2012 van <http://www.hema.nl/winkel/eten-en-drinken/gebak/taarten-en-gebak-met-eigen-foto>.
 32. Jumbo Supermarkten (2012). Gebak bestellen - Foto Taarten. 2012 verkregen september 2012 van <http://www.jumbosupermarkten.nl/Homepage/Bestellen/Gebak-Shop/Overzichtpagina/120963/Foto-Taarten>.
 33. Bakker Bart (2012). Fotovlaai en fototaart. 2012 verkregen oktober 2012 van <http://www.bakkerbart.nl/assortiment/vlaaien/foto>.
 34. Cake picture (2012). De lekkerste 100% eetbare fotoprints. 2012 verkregen september 2012 van <http://www.cakepicture.nl/>.
 35. Tukker, M. (2012). Interview restaurant Villa van Heek - Mark Tukker: Enschede.
 36. Dankers, W. (2012). Interview restaurant Dorset - Willem Dankers: Borne.
 37. Klein Polhuis, I. (2012). Interview eetcafé ONS - Ingrid Klein Polhuis: Enschede.
 38. Beunders, R. (2012). Interview bakkerij Beunders - Robert Beunders: Enschede.
 39. Lipton, J. (2011). Ideal viscosity for the fab@home. 2011 verkregen august 2012 van <http://www.fabathome.org/?q=node/219>.
 40. Sahin, S. and Sumnu, S.G. (2006). Physical Properties of Food. Ankara, Turkey: Department of Food Engineering, Middle East Technical University, Springer Science + Business Media.
 41. Schalij, N. (2009). Gekweekt vlees stapje dichterbij. 2009 verkregen august 2012 van <http://www.kennislink.nl/publicaties/gekweekt-vlees-stapje-dichterbij>.
 42. Oosterbeek verpakkingen b.v. (2012).
 43. Promatec (Unknown). Promatec Food Ventures levert High Pressure Processing technologie speciaal voor de voedingsindustrie. Unknown verkregen van http://www.promatecfoodventures.com/kk_1100023.html.
 44. Klooster, R.t., Dirken, J.M., Lox, F. and Schilperoord, A.A. (2008). Zakboek verpakkingen. Doetinchem: Reed Business.
 45. (2012). Cambridge Engineering Selector Edupack 2012.
 46. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit - Ministerie van Economische Zaken, L.e.I. (2012). Wat is de regelgeving voor verpakkingen en gebruiksartikelen? . 2012 verkregen van <http://www.vwa.nl/onderwerpen/regels-voor-ondernemers-eten-en-drinken/dossier/verpakkingen/wat-is-de-regelgeving-voor-verpakkingen-en-gebruiksartikelen>.

Omslag: fotografie 'Creative Foods' door Jean Francois de Witte.



BIJLAGEN



أَكْثَرُونَ: الْكَتْفَةُ الْخَمْرِيَّةُ فِي قِطْعَةِ اللَّحْمِ الْخَائِبَةِ بِكَ



¡Píngalo lo sabroso!




Fresh All Summer




Open all winter




BURSTING WITH BIG FRUIT



Ait: Amami de la France pour les bouillottes de viande au chutpalle



¡Píngalo lo sabroso!



Zelni



Soft, chocolate with coffee inside.



megroty



www.megroty.com




Crispy baked pieces of ice (top). The snack nature intended.

