

VELDBOON = HELDBOON!



Afstudeeronderzoek naar de
potentie van de veldboon
als vervanger van de
sojaboon in tofu

Bloemhof, M. & Quartel, B.P.

Juni 2019

FOOD AND DAIRY APPLIED RESEARCH CENTRE, VAN HALL LARENSTEIN, LEEUWARDEN

VELDBOON = HELDBOON!

Afstudeeronderzoek naar de potentie van veldboon als vervanger van sojaboon in tofu

Omslagfoto:

CropSolutions. (2017, 16 februari). Veldbonen [Foto]. Geraadpleegd van <https://docplayer.nl/57533497-Ruwvoeravond-passen-alternatieve-gewassen-bij-u.html>

Auteurs: Marloes Bloemhof (9903) & Beaudine Quartel (9843)

Datum: 12/06/2019

Versie: 1

Instituut: Van Hall Larenstein, University of Applied Sciences, Leeuwarden

Studie: Voedingsmiddelentechnologie, BSc

Opdracht: Afstudeeronderzoek

Periode: 04/02/2019 – 28/06/2019

Opdrachtgever: Dr. E. de Bruin, ARC Biobased Proteins

Eerste begeleider: Dr. J. Roelofsen

Tweede begeleider: Dr. M. Stoel

Praktijkbegeleider: W. Rietman BSc

VOORWOORD

Voor u ligt onze bachelor scriptie 'Veldboon = heldboon!'. Het onderzoek voor deze scriptie is uitgevoerd bij het Food Application Centre for Technology (FACT) op Hogeschool Van Hall Larenstein te Leeuwarden. Deze scriptie is geschreven in het kader van ons afstuderen aan de opleiding Voedingsmiddelentechnologie aan Van Hall Larenstein en in opdracht van het Applied Research Centre (ARC), eveneens gevestigd in het VHL-gebouw in Leeuwarden. Van februari 2019 tot en met juni 2019 zijn wij bezig geweest met het uitvoeren van het onderzoek en het schrijven van de scriptie. Het afstuderen is een leerzaam proces geweest waarbij we opgedane kennis en vaardigheden van de afgelopen vier jaar hebben kunnen toepassen tijdens de werkzaamheden omtrent het afstuderen. Tevens hebben wij nieuwe vaardigheden ontwikkeld en leren omgaan met tegenslagen. Het schrijven van deze scriptie en daarmee de afronding van de studie was niet mogelijk geweest zonder alle steun van onze vrienden, familie en docenten. Allereerst willen we dan ook onze begeleider, Han Roelofsen, bedanken voor de begeleiding, professionaliteit en kritische blik. Daarnaast willen we het FACT en het Water Application Centre (WAC) bedanken dat we gebruik mochten maken van de ruimtes/faciliteiten. Het onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de hulp van Wieneke Rietman, wie voor ons alle materialen heeft kunnen regelen, waardoor we ons onderzoek toch konden voortzetten, en bij wie we altijd ons hart konden luchten. Ook willen wij onze dank uitbrengen naar het ARC en in het bijzonder naar onze opdrachtgever, Eric de Bruin. Zijn enthousiasme en motiverende feedback op de juiste momenten heeft ons enorm geholpen in tijden dat we het even niet meer zagen zitten. Tot slot willen we onze vrienden en families bedanken voor hun betrokkenheid tijdens alle fases van de studie.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Marloes Bloemhof en Beaudine Quartel

Leeuwarden, 12 juni 2019

SAMENVATTING

De import van sojabonen vanuit niet-Europese landen naar Nederland is groeiende en zal naar verwachting de komende jaren nog meer toenemen, door de stijgende vraag naar plantaardige eiwitbronnen. De sojateelt in onder andere (Zuid-)Amerika heeft grote impact op de natuur door ontbossing en teelt in monocultuur en daarnaast is het transport erg belastend voor het milieu. Op het gebied van circulaire economie is het wenselijk om minder afhankelijk te worden van de eiwitimport en om kortere ketens te verkrijgen. Ook de Nederlandse overheid is zich bewust van de negatieve gevolgen van de soja-import en heeft besloten om de potentie van regionale, eiwitrijke gewassen te verkennen. De veldboon (*Vicia faba*) blijkt met een hoog eiwitgehalte en een hoge opbrengst geschikt als alternatief voor de sojaboon.

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen van kennis en inzicht over de veldboon; hoe de veldboon zich gedraagt tijdens de processtappen gedurende het tofuproductieproces. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe kan er tofu worden gemaakt met veldbonen welke vergelijkbaar is met de traditionele tofu gemaakt van sojabonen?*

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag is er een kwalitatief onderzoek uitgevoerd. Hierbij is er eerst onderzoek gedaan naar de geschikte methoden om sojamelk, sojatofu, veldbonenmelk en veldbonentofu te maken.

Traditionele tofu wordt gemaakt van sojabonen. Hierbij worden de sojabonen eerst verwerkt tot sojamelk. De tofu wordt verkregen door een coagulant aan de sojamelk toe te voegen. Hierdoor zal de sojamelk gaan coaguleren en ontstaat er een sojawrongel. De sojawrongel wordt vervolgens geperst tot tofu.

Uit het onderzoek is gebleken dat het niet mogelijk is om volgens het traditionele manier tofu te maken van veldbonen. Er is derhalve gekozen voor een hybride onderzoeksopzet, waarbij tijdens de experimenten van het volgende onderzoek tofu wordt gemaakt waarin de sojabonen in een oplopend percentage zijn vervangen door veldbonen. Om inzicht te krijgen in het gedrag van de veldboon tijdens de tofuproductie is er gekeken naar het effect van veldbonen op de opbrengst, het vochtgehalte, de textuur, de pH-waarde, de kleur en het eiwitgehalte.

Uit de resultaten van het onderzoek naar het effect van de veldboon op de fysisch-chemische aspecten van de tofu is gebleken dat naarmate er meer sojabonen worden vervangen door veldbonen, de opbrengst afneemt, het vochtgehalte toeneemt, de textuur vermindert, de pH-waarde afloopt, de kleur van de tofu groener en grauwer wordt en het eiwitgehalte in de wei afneemt. Het is mogelijk om de sojaboon te vervangen door de veldboon tot een percentage van 40%. Een hoger percentage resulteerde in tofu dat te veel afwijkt van de controle. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de veldboon een lager eiwitgehalte en een grotere hoeveelheid koolhydraten bevat, die de eiwitnetwerkvorming kan belemmeren.

Op basis van de resultaten wordt aanbevolen om de hoeveelheid koolhydraten te meten in de melk, opzoek te gaan naar methoden die dit kunnen verminderen en vervolgens het effect te achterhalen van de koolhydraten op de coagulatie. Ook kan er gestandaardiseerd worden op eiwitgehalte, omdat de veldboon minder eiwit bevat dan de sojaboon. Daarnaast worden verschillen in pH-waarde gezien (loopt af naarmate het percentage veldbonen in de tofu toeneemt). De pH is belangrijk bij de coagulatie van eiwitten, dus er zou gestuurd kunnen worden op pH.

Eventueel vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op het concentreren van veldbooneiwit uit de veldboon en ten behoeve van de duurzaamheid zouden de toepassingsmogelijkheden van reststromen, zoals het schroot (okara) en de wei, in kaart gebracht kunnen worden.

ABSTRACT

The import of soybeans from non-European countries to the Netherlands is growing and is expected to increase significantly in the coming years, due to the growing demand for vegetable protein sources. Soy cultivation in South America, among others places has a major impact on nature through deforestation and cultivation in monoculture, and transport is also very harmful to the environment. From the circular economy point of view, it is desirable to become less dependent on protein imports and to obtain shorter supply chains. The Dutch government is also aware of the negative consequences of soy import and has decided to explore the potential of regional, protein-rich crops. The field bean (*Vicia faba*), with a high protein content and a high yield potentially surpassing the soybean in sustainability and stimulates the local economy.

The purpose of the research is to gain knowledge and insight about the field bean; how the field bean behaves during the process steps during the tofu production. The following research question has been prepared for this: *How can tofu be made with field beans which is comparable to a traditional tofu made from soybeans?*

A qualitative study was carried out to provide an answer to the research question. To this end, experiments were first conducted to set up the appropriate methods for making soymilk, soy tofu, field bean milk and field bean tofu.

Traditional tofu is made from soybeans. The soybeans are first processed into soy milk. The tofu is obtained by adding a coagulant to the soymilk. This will cause the proteins from the soy milk to coagulate and create a soy curd. The soy curd is then pressed into tofu. For the field bean tofu, the soybeans were substituted by field beans.

This research has shown that it is not possible to make a field beans tofu in the traditional way. That is why a hybrid research design has been chosen, whereby tofu is made during the experiments. In the tofu batches soybeans are substituted by field beans in an increasing percentage. To gain insight into the behavior of the field bean during tofu production, we looked at the effect of field beans on yield, moisture content, texture, pH value, color and protein content.

The results of the research into the effect of the field bean on the physicochemical aspects of the tofu have shown differences between the batches. As more soybeans are substituted by field beans, the yield, texture, pH value and whey protein content decreases, the moisture content increases and the color of the tofu becomes greener and grayer. It is possible to substitute the soybean with the field bean up to a percentage of 40%. A higher percentage resulted in tofu that deviates too much from the control batch. A possible explanation for this is that the field bean contains a lower protein content and a larger amount of carbohydrates, which can hinder the tofu network formation.

Based on the results it is recommended to measure the amount of carbohydrates in the milk, to look for methods that can reduce the carbohydrates and then to find out the effect of them on coagulation. For the production it is also possible to standardize on protein content, because the field bean contains less protein than the soybean. In addition, differences in their pH value are seen (pH decreases as the percentage of field beans in the tofu increases). The pH is important in the coagulation of proteins, so the pH could be controlled.

Possible follow-up research could focus on concentrating field bean protein from the field bean. For the sake of sustainability, also the application possibilities of residual flows such as the scrap (okara), the whey and the starch could be mapped.

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
1.1	Onderzoeksvraag en deelvragen.....	4
1.2	Leeswijzer	4
2	Theoretisch kader	5
2.1	Productie van sojamelk	5
2.2	Productie van tofu	6
2.3	Coaguleren	6
2.4	Voedingswaarde.....	8
2.5	Eiwitkwaliteit.....	8
3	Materialen en methoden	10
4	Resultaten.....	13
4.1	Productiemethoden	13
4.2	Tofuproductie.....	15
5	Discussie	25
6	Conclusie.....	28
7	Aanbevelingen.....	29
8	Bibliografie.....	30
	Bijlagen.....	I
Bijlage I	Voedingswaardetabel sojaboon en veldboon.....	I
Bijlage II	Aminozuursamenstelling en -score	II
Bijlage III	Bereiding veldbonenmelk.....	IV
Bijlage IV	Bereiding sojamelk	V
Bijlage V	Bereiding tofu	VI
Bijlage VI	Processchema tofuproductie	VII
Bijlage VII	Proefopzet variaties.....	VIII
Bijlage VIII	Stikstofbepaling met Kjeldahl-methode.....	IX
Bijlage IX	Resultaten tofu-opbrengst	XII
Bijlage X	Resultaten vochtmeting	XIII
Bijlage XI	Resultaten Texture Analyzer	XIV
Bijlage XII	Resultaten pH-meting	XIX
Bijlage XIII	Resultaten kleurmeting	XX
Bijlage XIV	Resultaten Kjeldahl-analyse en berekeningen	XXI
Bijlage XV	Commerciële tofu.....	XXII

Bijlage XVI Resultaten overzicht..... XXIII

Bijlage XVII Persbericht XXIV

FIGUREN- EN TABELLENLIJST

<i>Figuur 1.</i> Broeikasgasemissies per productgroep in kg CO ₂ -eq per 100 gram product	1
<i>Figuur 2.</i> Marktgroei vleesvervangers van de afgelopen jaren en een voorspelling	2
<i>Figuur 3.</i> Flow diagram voor de productie van sojamelk volgens de Chinese methode.	5
<i>Figuur 4.</i> Flow diagram voor de productie van tofu.....	6
<i>Figuur 5.</i> Geleermechanisme van soja-eiwitten bij toevoeging van GDL of CaSO ₄	7
<i>Figuur 6.</i> Matrix batch variaties	16
<i>Figuur 7.</i> Informatie die kan worden verkregen uit de Texture Analyzer	11
<i>Figuur 8.</i> Kleurdiagram	12
<i>Figuur 9.</i> Geproduceerde tofu's, van de controle tot batch 8	17
<i>Figuur 10.</i> Tofu-opbrengst per 100 g droge bonen	18
<i>Figuur 11.</i> Vochtgehalte van de tofubatches	19
<i>Figuur 12.</i> Stevigheid van de tofu.....	19
<i>Figuur 13.</i> Samenhang van de tofu	19
<i>Figuur 14.</i> Veerbaarheid van de tofu	20
<i>Figuur 15.</i> Kleverigheid van de tofu	20
<i>Figuur 16.</i> Kauwbaarheid van de tofu	21
<i>Figuur 17.</i> pH van de tofu	21
<i>Figuur 18.</i> Lichtheid van de tofu.....	22
<i>Figuur 19.</i> Chroma van de tofu.....	22
<i>Figuur 20.</i> Hue angle van de tofu	23
<i>Figuur 21.</i> Eiwitgehalte van de tofuwei.....	24
<i>Figuur 22.</i> Processchema/massabalans van tofuproductieproces.....	VII
<i>Figuur 23.</i> Destillatieopstelling Kjeldahl-analyse.....	X
<i>Figuur 24.</i> Resultaten Texture Analyzer commerciële tofu.....	XIV
<i>Figuur 25.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 1	XV
<i>Figuur 26.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 2	XV
<i>Figuur 27.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 3	XVI
<i>Figuur 28.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 4	XVI
<i>Figuur 29.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 5	XVII
<i>Figuur 30.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 6	XVII
<i>Figuur 31.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 7	XVIII
<i>Figuur 32.</i> Resultaten Texture Analyzer batch 8	XVIII
<i>Figuur 33.</i> Overzichtsgrafiek van de tofu-resultaten.....	XXIII

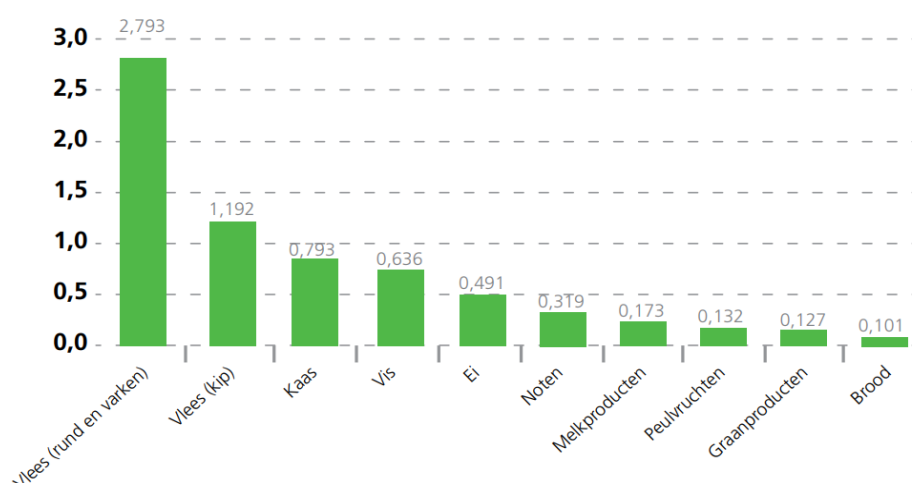
Tabel 1: <i>Macronutriënten sojaboon en veldboon</i>	8
Tabel 2: <i>Aminozuursamenstelling van sojaboon en de veldboon in g/100g eiwit</i>	9
Tabel 3: <i>Aminozuurscore (AAS) van de sojaboon en de veldboon</i>	9
Tabel 4: <i>Variaties onderzoek naar de methode voor sojamelk en sojatofu</i>	13
Tabel 5: <i>Variaties onderzoek naar de methode voor veldbonenmelk en veldbonentofu</i>	14
Tabel 6: <i>Voedingswaarde sojaboon en veldboon</i>	I
Tabel 7: <i>Aminozuursamenstelling sojaboon afkomstig uit drie verschillende artikelen</i>	II
Tabel 8: <i>Aminozuurscore sojaboon</i>	II
Tabel 9: <i>Aminozuursamenstelling veldboon afkomstig uit vier verschillende publicaties</i>	III
Tabel 10: <i>Aminozuurscore veldboon</i>	III
Tabel 11: <i>Variaties verhouding sojaboon : veldboon in tofu</i>	VIII
Tabel 12: <i>Resultaten opbrengst tofu per 100 gram gedroogde bonen</i>	XII
Tabel 13: <i>Vochtgehalte van de tofu monsters</i>	XIII
Tabel 14: <i>De textuur eigenschappen van de tofumonsters</i>	XIV
Tabel 15: <i>Resultaten pH-meting</i>	XIX
Tabel 16: <i>Resultaten kleurmeting commerciële tofu in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 17: <i>Resultaten kleurmeting controle in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 18: <i>Resultaten kleurmeting batch 1 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 19: <i>Resultaten kleurmeting batch 2 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 20: <i>Resultaten kleurmeting batch 3 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 21: <i>Resultaten kleurmeting batch 4 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 22: <i>Resultaten kleurmeting batch 5 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 23: <i>Resultaten kleurmeting batch 6 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 24: <i>Resultaten kleurmeting batch 7 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 25: <i>Resultaten kleurmeting batch 8 in triplo gemeten</i>	XX
Tabel 26: <i>Berekende eiwitgehaltes van sojamelk, veldbonenmelk en alle wei</i>	XXI
Tabel 27: <i>Resultaten fysisch-chemische analyse Jumbo Veggie Chef Naturel Tofu</i>	XXII

1 INLEIDING

De laatste jaren zijn mensen bewuster geworden van hun impact op het milieu en daarmee van hun vleesconsumptie. De groepen vleesmijders (4% van de Nederlandse bevolking in 2010) en vleesminderaars (26,5%) blijven groeien (De Bakker & Dagevos, 2010). In 2010 waren deze groepen slechts weinig zichtbaar, maar anno 2019 wordt daar al flink op ingespeeld door de voedingsmiddelenindustrie, wat de normalisering van vleesloos of vleesarm eten vooruithelpt (De Bakker & Dagevos, 2010). Ook de Nederlandse overheid richt zich tegenwoordig meer op alternatieve en plantaardige eiwitbronnen. Rijksoverheid schrijft over de verduurzaming van voedselproductie onder andere het volgende:

De productie van vlees en zuivel legt grote druk op het milieu en het klimaat. Zo komen bij productie, vervoer en bereiding van voedsel broeikasgassen in de lucht. Bij dierlijke producten is dat meer dan bij plantaardige producten. Producenten kunnen duurzamere eiwitbronnen halen uit: insecten, microalgen, zeewieren, peulvruchten, noten, paddenstoelen. (Rijksoverheid, 2019)

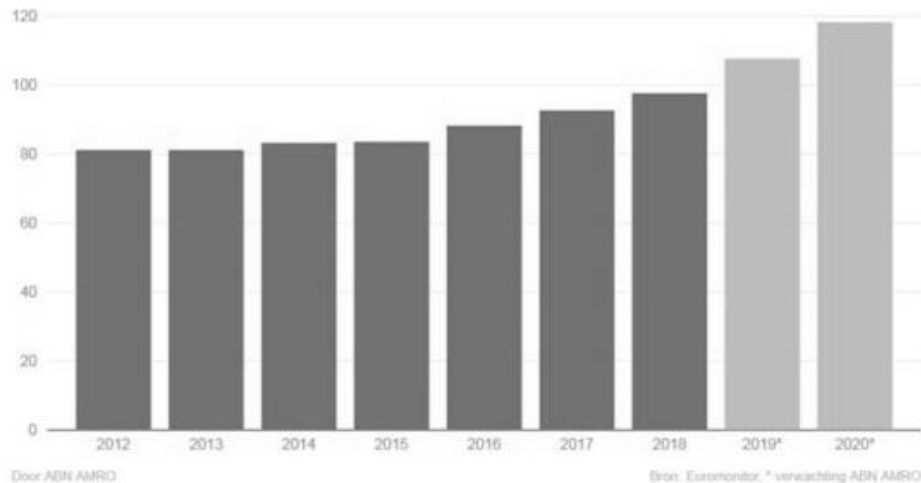
Dierlijke eiwitbronnen hebben een hogere milieu-impact dan plantaardige eiwitbronnen. Zoals in *Figuur 1* te zien is, heeft rund- en varkensvlees een CO₂-equivalent van 2,793, kippenvlees van 1,192 en peulvruchten van 0,132. Een CO₂-equivalent wordt gebruikt om de emissies van verschillende broeikasgassen te vergelijken op basis van hun Global Warming Potential, door hoeveelheden andere gassen om te zetten in dezelfde hoeveelheid koolstofdioxide met hetzelfde broeikaseffect (Eurostat, 2017).



Figuur 1. Broeikasgasemissies per productgroep in kg CO₂-eq per 100 gram product (Brink, Postma-Smeets, Stafleu, & Wolvers, 2018)

Naast de milieuaspecten spelen de gezondheidsrisico's van (te veel) vlees een rol in de verandering van het voedingspatroon. Volgens de Gezondheidsraad vermindert een voedingspatroon met minder dierlijke en meer plantaardige producten de kans op coronaire hartziekten en beroertes (Gezondheidsraad, 2015). Daarnaast verlaagt een dergelijk voedingspatroon de kans op diabetes en darmkanker (Van Dooren, 2018).

Om de consument tegemoet te komen in zijn voedingspatroon, zijn er tegenwoordig veel meer kant-en-klare vleesvervangers verkrijgbaar, waarvan het overgrote deel voldoende (vergelijkbaar met vlees) hoeveelheden eiwit, ijzer en vitamines B1 en B12 bevat. De afgelopen jaren is dan ook de verkoop van vleesvervangers aanzienlijk gestegen. In de afgelopen vijf jaar is de markt voor vleesvervangers jaarlijks met zo'n vier procent gegroeid, te zien in *Figuur 2*. De ABN-AMRO verwacht voor 2019 en 2020 dat de groei met 10 procent toeneemt (Merkveld, 2019).



Figuur 2. Marktgroei vleesvervangers van de afgelopen jaren en een voorspelling voor 2019 en 2020 (Merkveld, 2019)

Peulvruchten en producten op basis van peulvruchten kunnen dienen als een goede en duurzame basis voor vleesvervangers. In veel vleesvervangers wordt soja gebruikt als eiwitbron (USDA, 2018). Tegenwoordig is bijna 70% van de bonen die mensen en dieren in Nederland consumeren afkomstig uit het buitenland. Van de wereldwijde sojaproductie wordt ongeveer tweederdedeel geëxporteerd. Dit komt neer op zo'n 173 miljoen ton soja. Nederland importeert de meeste soja binnen de Europese Unie (Profundo Research and Advice, 2014): in 2013 werd er 8,3 miljoen ton soja geïmporteerd door Nederland, waarvan 5,9 miljoen ton weer naar andere landen werd geëxporteerd (Profundo Research and Advice, 2014). Van de overgebleven 2,4 miljoen ton soja in Nederland, werd 2,1 miljoen ton soja verwerkt tot veevoeder. Nederlanders consumeren zelf meer dan 1 miljoen ton soja (ruim 60 kg soja per persoon per jaar), dit zowel direct (door consumptie van sojaproducten) als indirect (door de consumptie van dierlijke producten) (Profundo Research and Advice, 2014).

De stijging in de wereldwijde vraag naar sojabonen veroorzaakt in de producerende landen (onder andere Brazilië, Argentinië en de Verenigde Staten) ontbossing en door de sojateelt in monocultuur vindt er bodemdegradatie plaats, wat resulteert in meer gebruik van kunstmest. Grote delen van de soja is genetisch gemodificeerd, om een goede oogst te garanderen (Profundo Research and Advice, 2014).

Verschillende Nederlandse partijen, waaronder de overheid, zijn zich bewust van de negatieve gevolgen van de soja-import en zoeken hiervoor duurzame alternatieven. Nederland zou zelf meer eiwitrijke gewassen, met hoog eiwitgehalte en goede opbrengst per vierkante meter, zoals erwten, lupinebonen, sojabonen en veldbonen van eigen bodem kunnen verwerken in producten, in plaats van de geïmporteerde soja. Op het gebied van circulaire economie – waarbij het hergebruik van water, land en stikstof wordt gemaximaliseerd en het gebruik van fossiele grondstoffen wordt geminimaliseerd – is het wenselijk om minder afhankelijk te worden van de eiwitimport en om kortere ketens te verkrijgen, waarbij plantaardige eiwitten direct gebruikt kunnen worden voor humane consumptie. Daarnaast is, door de stijgende eiwitprijzen op de wereldmarkt, de interesse in de teelt van eiwitrijke gewassen gestegen (Natuur en Milieufederatie Drenthe, 2018).

In 2017 is, op initiatief van de Natuur en Milieufederatie Drenthe, besloten de potentie van de veldboon te gaan verkennen. Hierbij hebben meerdere partijen hun interesse getoond en zich aangesloten bij het samenwerkingsverband 'Eiwit Anders'. Vanuit dit samenwerkingsverband wil men de regionale teelt, de afzet, de verwerking en de consumptie van de Nederlandse veldboon verhogen. Het grootste deel van de geteelde veldbonen in Nederland wordt momenteel gebruikt als veevoer, maar waar veldbonen voor toepassingen in het veevoeder een beperkte waarde en business potentie hebben, kan dit anders zijn voor de humane consumptie (Natuur en Milieufederatie Drenthe, 2018).

De veldboon (*Vicia faba*) is een peulvrucht en behoort tot de familie van de vlinderbloemigen. Tot de vlinderbloemigen behoren ook andere eiwitgewassen zoals bonen, erwten en pinda's. Vlinderbloemigen zijn door de symbiose met *Rhizobium*-bacteriën in staat stikstof uit de lucht als voeding te gebruiken. Een voordeel hiervan is dat veldbonen weinig tot geen stikstofbemesting nodig zullen hebben. De veldboon groeit van oudsher op Nederlandse grond en heeft een jaaropbrengst van zo'n 4,5 ton per hectare op Nederlandse zilte grond (Goud, 2016). Vroeger werd de Nederlandse veldboon relatief veel geteeld in Nederland en werd destijds gebruikt voor zowel veevoeder als voor humane consumptie. In 2010 werd er in Nederland 150 hectare aan veldbonen geteeld: een sterke daling ten opzichte van 1988, waarin er 14000 hectare werd geteeld (Goud, 2016). In Nederland wordt momenteel ongeveer 420 hectare veldbonen geteeld, waarvan het merendeel wordt gebruikt als veevoer (Natuur en Milieufederatie Drenthe, 2018).

Bij de toepassing van veldbonen in voedingsmiddelen dient er rekening gehouden te worden met de van nature aanwezige anti-nutritionele factoren (ANF) in veldbonen. ANF zijn stoffen die een plant aanmaakt om zich te beschermen tegen 'plagen en vraat'. Bij mensen en dieren kunnen ANF de stofwisseling en de gezondheid beïnvloeden. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot groeiachterstand door proteaseremmers (Kijlstra, Groot, Van der Roest, Kasteel, & Eijck, 2003) en tot vermindering van de opname van voedingsstoffen in de darm door fytinezuur (Fredlund, Isaksson, Rossander-Hulthén, Almgren, & Sandberg, 2006) (Lopez, Leenhardt, Coudray, & Remesy, 2002) (Lönnerdal, 2002). Bij de inname van hoge concentraties ANF kan acute toxiciteit optreden, maar de grootste zorg ligt met name bij de effecten van langdurige consumptie van kleine hoeveelheden ANF (Van Egmond, Speijers, & Wouters, 1990). Voordat (veld)bonen geschikt zijn voor consumptie dienen de anti-nutritionele factoren afdoende verminderd zijn. Veelgebruikte behandelmethoden voor het verminderen van de anti-nutriënten zijn ontvliezen, weken, ontkiemen, extruderen, fermenteren en verhitten (Alonso, Aguirre, & Marzo, 2000) (Bora, 2014).

De groei van de wereldbevolking (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017) en de toenemende welvaart (CBS, 2018) zullen gevolgen hebben voor de voedselconsumptie en -productie. De vraag is of er over enkele decennia sprake is van voedselzekerheid¹. Eiwitten spelen een belangrijke rol in het dieet en de laatste jaren wordt er veel gezocht naar alternatieve eiwitbronnen. Soja(eiwit) wordt nu gebruikt als goede en betaalbare eiwitbron, maar de sojaboon is niet het antwoord op de toenemende vraag naar plantaardige eiwitten. De veldboon is eiwitrijk en wordt lokaal geteeld, dus een potentieel interessante grondstof voor Nederlandse voedingsmiddelenbedrijven.

In de voedingsmiddelenindustrie wordt het meel van de veldboon reeds toegepast in bakkerijproducten als vervanger voor andere soorten meel. De eiwitcomponenten in de veldboon worden daarentegen nog niet specifiek gebruikt. Een sojaproduct dat zijn textuur te danken heeft aan de eiwitten in de sojaboon is tofu. In dit onderzoek is gekeken naar de veldboon als vervanger voor de sojaboon in tofu.

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen van kennis en inzicht over de veldboon; hoe de veldboon zich gedraagt tijdens de processtappen gedurende het tofuproductieproces, zodat er in de toekomst meer lokale eiwitbronnen toegepast kunnen worden binnen de Nederlandse voedingsmiddelenindustrie. Dit zal worden bereikt door literatuuronderzoek te combineren met experimenten: hierbij is onderzocht hoe er met veldbonen een tofu-achtig product gemaakt kan worden en dit vervolgens te vergelijken met traditionele tofu (gemaakt van 100% sojabonen).

¹ Volgens de VN is er sprake van voedselzekerheid als iedereen te allen tijde toegang heeft tot voldoende, veilig en voedzaam voedsel om aan zijn dagelijkse voedingsbehoefte en voedselvoorkeuren te voldoen voor een actief en gezond leven (VN, 2018).

1.1 Onderzoeksvraag en deelvragen

Hoe kan er tofu worden gemaakt met veldbonen welke vergelijkbaar is met de traditionele tofu gemaakt van sojabonen?

Productiemethoden

- Is het mogelijk om veldbonentofu te maken, volgens de productiemethode van traditionele tofu?
- Wat is de juiste methode voor de productie van sojamelk op labschaal?
- Wat is de beste methode voor de productie van veldbonenmelk op labschaal?
- Wat is de beste methode voor productie van tofu op labschaal?

Tofuproductie

- Wat is het effect van veldbonen op de opbrengst van de tofu?
- Wat is het effect van veldbonen op het vochtgehalte van de tofu?
- Wat is het effect van veldbonen op de textuur van de tofu?
- Wat is het effect van veldbonen op de pH-waarde van de tofu?
- Wat is het effect van veldbonen op de kleur van de tofu?
- Wat is het effect van veldbonen op het eiwitgehalte in de tofuwei?

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het theoretisch kader van dit onderzoek weergegeven, in hoofdstuk 3 worden de materialen en methoden beschreven en hoofdstuk 4 bevat de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd, in hoofdstuk 6 wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag in de conclusie en tot slot worden de aanbevelingen gedaan in hoofdstuk 7.

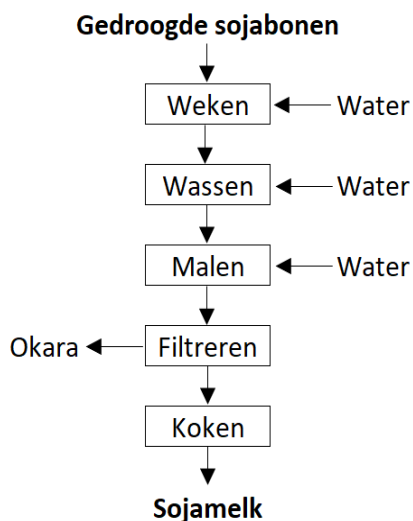
2 THEORETISCH KADER

Tofu is een eiwitrijk sojaproduct. De productiemethode van tofu heeft veel overeenkomsten met de kaasproductie, maar bij de tofubereiding wordt sojamelk gebruikt in plaats van koemelk. In het theoretisch kader is de productie van sojamelk en tofu beschreven, en wordt de coagulatie toegelicht. Daarnaast zijn de voedingswaarde en de eiwitkwaliteit van de veldboon vergeleken met die van de sojaboon.

2.1 Productie van sojamelk

Sojamelk is een waterextract van sojabonen. Bij de productie van sojamelk volgens de traditionele Chinese methode (*Figuur 3*) worden de gedroogde sojabonen eerst geweekt in water voor ongeveer 12 tot 24 uur. Het weken van de gedroogde sojabonen is een essentiële processtap bij de productie van sojamelk. Door de waterabsorptie tijdens het weken van de gedroogde sojabonen, veranderen de textuurkenmerken van de gedroogde sojabonen. Dit is later in het proces van invloed op het malen en de sojamelkextractie (Pan & Tangratanaalee, 2003). Na het weken worden de geweekte sojabonen gewassen, waarbij ongewenste deeltjes en het weekwater worden weggespoeld. De sojabonen worden daarna ontdaan van de vliezen, waarbij de 'off-flavor' en de hoeveelheid ANF worden verminderd. Veel commerciële sojamelkproducenten ontvliezen de sojabonen om de smaak van de sojamelk te verbeteren (Chen, 1989). Het gebruik van de hele sojaboon resulteert in een onstabiele sojamelk, met een slechte smaak en mondgevoel (Verenigde Staten Patentnr. 4041187, 1977). Na het ontvliezen worden de sojabonen gemalen met vers water, waardoor de eiwitten, vetten en andere vaste stoffen in de sojaboon oplosbaar of suspendeerbaar worden gemaakt in een sojaboon-water slurry (Liu, 1997). De slurry wordt vervolgens gefiltreerd door een doek, waarbij de melk van het residu, ook wel sojaschroot of okara genoemd, van elkaar worden gescheiden. De sojamelk wordt tot slot gekookt (Liu, 1997), wat zorgt voor het inactiveren van ANF, een verbetering van de eiwitkwaliteit, de smaak en de kleur, en het afdoden van ongewenste micro-organismen (Kwok & Niranjana, 1995).

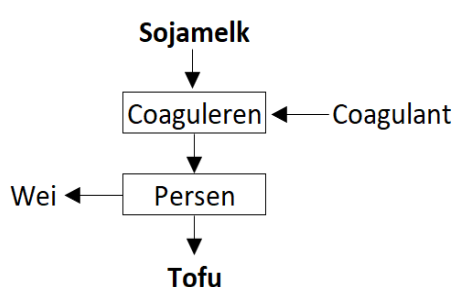
De Japanners hebben een iets andere methode voor het maken van sojamelk, waarbij de slurry eerst wordt verhit en daarna pas wordt gefiltreerd. Dit zou als voordeel hebben dat de extractie van de melk makkelijker gaat en de opbrengst wordt verbeterd, maar nadelig aan de Japanse methode is dat de slurry makkelijk aan de bodem van de kookunit kan branden en de energie input hoger is in vergelijking met de Chinese methode (Liu, 1997).



Figuur 3. Flow diagram voor de productie van sojamelk volgens de Chinese methode

2.2 Productie van tofu

Tofu wordt gemaakt van sojabonen. Bij het maken van tofu worden de sojabonen verwerkt tot sojamelk, zoals staat beschreven in paragraaf 2.1. De tofu wordt gevormd door de toevoeging van een coagulant aan de verwarmde sojamelk waardoor er een sojawrongel ontstaat (Huang & Kuo, 2015), zie *Figuur 4*. Na het koken van de sojamelk, wordt de sojamelk afgekoeld en wordt er een coagulant bereid (coagulant wordt gemengd met heet water, en geroerd tot een suspensie). Als de sojamelk is afgekoeld tot de coagulatietemperatuur wordt de coagulant-suspensie in de sojamelk gegoten en wordt er voor een korte tijd krachtig geroerd. Het vat wordt vervolgens afgesloten, om warmteverlies tegen te gaan. Na een coagulatietijd van 15 tot 30 minuten wordt de gevormde sojawrongel geroerd en vervolgens geperst. De stevigheid van de tofu hangt voor een groot deel af van de tijd en de druk van het persen, oftewel de hoeveelheid wei dat uit de tofu wordt geperst (Prabhakaran, Perera, & Valiyaveettil, 2006). De tofu dient gekoeld te zijn, alvorens het in de juiste vorm kan worden gesneden (Liu, 1997).



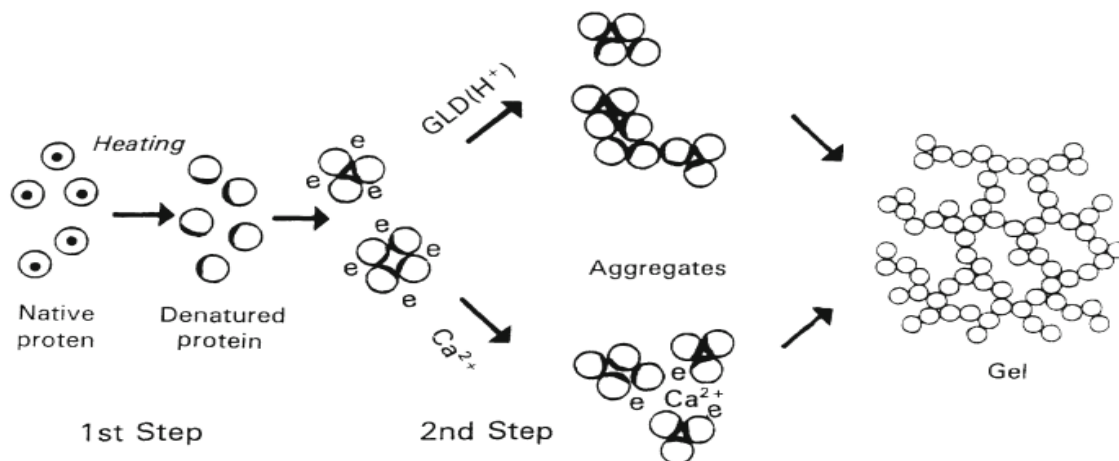
Figuur 4. Flow diagram voor de productie van tofu

Er zijn verschillende soorten tofu als het gaat om textuur, zoals extra stevige, stevige, zachte en zijdentofu. Extra stevige en stevige tofu hebben een stevige textuur doordat er meer water uitgeperst wordt en kan nadien makkelijk worden gesneden. Zachte en zijdentofu hebben een heel zachte textuur en zijn over het algemeen te zacht om te snijden (Tsai, Lan, Kao, & Chen, 1981). Zijdentofu wordt onder andere gebruikt als plantaardig alternatief voor room, sauzen of dips.

De textuur van stevige tofu moet soepel, stevig en coherent zijn, en niet hard en rubberachtig. Aangezien tofu een soja-eiwitgel is, is de hoeveelheid soja-eiwit dat aanwezig is in de sojamelk, cruciaal voor de tofu-opbrengst en tofu-kwaliteit (Poysa, Woodrow, & Yu, 2006)

2.3 Coaguleren

Coagulatie is de belangrijkste processtap bij het maken van tofu. Het zorgt voor de coagulatie van het eiwit in de sojamelk (McHugh, 2016). De coagulatie van de sojamelk door toevoeging van een coagulant verloopt in twee stappen, zoals te zien is in *Figuur 5*. Eerst worden de soja-eiwitten door het verwarmen gedenateerd. Denaturatie is een onomkeerbaar proces waarbij de structuur van het eiwit wordt verstoord, resulterend in gedeeltelijk of volledig verlies van functie. Dit kan worden veroorzaakt door hitte, pH, mechanische verstoring en zouten. In het tofuproces gebeurt het tijdens het verwarmen, waardoor de hydrofobe gebieden in de sojamelk worden blootgelegd. Deze eiwitassociatie (eiwit-eiwit interactie) leidt tot de vorming van soja-eiwitaggregaten met negatieve ladingen aan het oppervlak. Als tweede stap volgt de hydrofobe coagulatie van de eiwitten door het coagulant. Door de toevoeging van een coagulant worden de negatief geladen soja-eiwitaggregaten geneutraliseerd en worden deze vervolgens verder gecoaguleerd door hydrofobe interacties. Dit zal uiteindelijk een driedimensionaal eiwitnetwerk vormen (Huang & Kuo, 2015).



Figuur 5. Geleermechanisme van soja-eiwitten bij toevoeging van GDL of CaSO_4 (Liu, 1997)

De coagulatie van sojamelk wordt onder andere beïnvloed door de pH-waarde, de coagulatielijd en de coagulatielijdtemperatuur. Bij een hogere pH-waarde van sojamelk, nemen de negatieve ladingen van de eiwitten toe waardoor er meer coagulant nodig is om de negatieve ladingen van de soja-eiwitten te verminderen (Liu & Chang, 2004). De coagulatielijd en de coagulatielijdtemperatuur hebben effect op de opbrengst van de tofu. Bij een tofu met een korte coagulatielijd zal de opbrengst lager zijn ten opzichte van een tofu met een langere coagulatielijd (Cai & Chang, 1997). Als de coagulatielijdtemperatuur hoger wordt, wordt de opbrengst van de tofu lager en krijgt de tofu een harde oneven structuur. De tofu krijgt bij een lage coagulatielijdtemperatuur echter een zachte structuur. De optimum coagulatielijdtemperatuur ligt tussen de 70°C en 80°C (O'Toole, 2004).

Er zijn diverse soorten coagulanten, welke gebruikt worden voor de bereiding van verschillende soorten tofu. Elk coagulant produceert een tofu met een andere textuur en smaak (Poysa & Woodrow, 2002). De drie gebruikelijke coagulantsoorten zijn zouten, zuren en enzymen.

Gebruikelijke zout coagulanten zijn calciumsulfaat (CaSO_4), calciumchloride (CaCl_2), magnesiumsulfaat (MgSO_4), en magnesiumchloride (MgCl_2). Calciumsulfaat en magnesiumchloride zijn de meest gebruikte coagulanten voor de productie van tofu. Calciumsulfaat kan gebruikt worden bij het maken van elk soort tofu en heeft een hoge opbrengst (Li et al., 2015). Een nadeel van calciumsulfaat is, dat wanneer het wordt gemengd met water, het een onstabiele suspensie vormt, waardoor het lastig mengt met de sojamelk, wat kan resulteren in een tofu met verminderde consistentie (Liu, 1997). Magnesiumchloride produceert een tofu met een zachte en zoete smaak doordat het de oriëntale zoete smaak van de sojaboon behoudt (Li, Cheng, Tatsumi, Saito, & Yin, 2014). De textuur van de tofu gemaakt met magnesiumchloride is steviger dan dat van tofu gemaakt met calciumsulfaat (Liu, 1997). Een nadeel van magnesiumchloride is dat het een snel reagerend coagulant is, wat de coagulatie lastig te beheersen maakt. Dit kan resulteren in een harde en pluriforme tofu (Li, Cheng, Tatsumi, Saito, & Yin, 2014) met een lagere opbrengst (Li et al., 2015).

Glucono- δ -lactono (GDL) is een zuur coagulant. Het coaguleerproces verloopt hierbij door de werking van een zuur in plaats van door een zout. Bij het gebruik van GDL als tofu-coagulant, wordt een kleine hoeveelheid GDL gemengd met koude sojamelk waarna de container gelijk wordt gesloten. De container wordt in heet water gezet en de coagulatie begint (Liu, 1997). De tofu heeft een fijne en gladde textuur en kan een licht zure smaak hebben (McHugh, 2016).

Enzymen kunnen ook dienen als coagulant voor tofu. Proteases en papaïne zijn hier voorbeelden van. Deze enzymen zorgen, bij een bepaalde temperatuur, voor het stollen van de eiwitten waardoor er een sojawrongel ontstaat (Liu, 1997).

Als het gaat om het maken van een stevige tofu zijn calciumsulfaat en magnesiumchloride de meest geschikte coagulanten. GDL en andere coagulanten zijn meer geschikt voor het maken van een tofu met een zachte textuur (Tsai, Lan, Kao, & Chen, 1981).

2.4 Voedingswaarde

Bij de verkenning van de veldboon, waarbij wordt gekeken naar de potentie van de veldboon als vervanger van de sojaboon in tofu, speelt onder andere het verschil in voedingswaarde een rol. In Tabel 1 (een deel van Tabel 6 uit Bijlage I) zijn de hoeveelheden aanwezige macronutriënten van zowel de sojaboon en de veldboon weergegeven. Dit geeft een overzicht weer van de verschillen in voedingswaarde tussen de sojaboon en de veldboon. De veldboon bevat ongeveer 30% minder eiwit dan de sojaboon en bevat 90% meer koolhydraten.

De veldboon bevat minder eiwit dan de sojaboon, wat nadelig kan zijn bij de productie van veldbonentofu. Daarnaast bevat de veldboon ongeveer 40% ruw zetmeel op droge stof (Haase & Shi, 1991). Zetmeel heeft als eigenschap te gaan geleren bij verwarmen: de korrel neemt water op en gaat zwellen.

Tabel 1: Macronutriënten sojaboon en veldboon. Gehaltes afkomstig van USDA Food Composition Database (USDA, 2018)

Nutriënt	Unit	Sojaboon <i>per 100 g</i>	Veldboon <i>per 100 g</i>	Veldboon : sojaboon
Water	g	8,54	10,98	1,3
Energie	kcal	446	341	0,8
Eiwit	g	36,49	26,12	0,7
Vet	g	19,94	1,53	0,1
Koolhydraten	g	30,16	58,29	1,9
Vezels	g	9,3	25,0	2,7
Suikers	g	7,33	5,70	0,8

2.5 Eiwitkwaliteit

Bij de productie van tofu speelt de eiwitkwaliteit een grote rol, wegens de eiwitaggregatie tijdens het coaguleren. Om van veldbonen tofu te kunnen maken, is het van belang om de kwaliteit van het veldboneneiwit te vergelijken met de kwaliteit van het sojaboneneiwit. De eiwitkwaliteit kan worden bepaald op basis van het totaal eiwitgehalte, de verteerbaarheid en de aminozuursamenstelling. Er zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waarbij de eiwitkwaliteit van veldbonen (Alghamdi, 2009) (Kaldy & Kasting, 1974) (Mariscal-Landín, Lebreton, & Sève, 2002) en de eiwitkwaliteit van sojabonen (Zarkadas et al., 2007) (Zarkadas et al., 2007) (Jeunink & Cheftel, 1979) zijn bepaald. Hieruit blijkt er, door de brede teelt en verspreiding van de veldboon en de sojaboon over verschillende landen en regio's, een verschil te zijn in eiwitkwaliteit. Afhankelijk van de herkomst, kunnen zowel de veldboon als de sojaboon verschillen in eiwitgehalte, verteerbaarheid en/of aminozuursamenstelling.

De veldboon heeft over het algemeen een eiwitgehalte van 27-34% (Alghamdi, 2009), wat lager ligt ten opzichte van de sojaboon die een eiwitgehalte van ongeveer 36-38% heeft (Zarkadas et al., 2007).

De eiwitverteerbaarheid van de rauwe veldboon ligt tussen 70-80% en verbetert bij het toepassen van verschillende verwerkingsstappen, zoals koken (Alonso, Aguirre, & Marzo, 2000) (Elsheikh, Fadul, & El Tinay, 2000).

De aminozuursamenstellingen van de sojaboon en de veldboon staan weergegeven in Tabel 2. Hierbij is gebruik gemaakt van de aminozuursamenstelling uit verschillende artikelen (Hsu, Leung, Finney & Morad, 1980) (Kaldy & Kasting, 1974) (Palander, Laurinen, Perttilä, Valaja, & Partanen, 2006) (Jeunink

& Cheftel, 1979) (Zarkadas et al., 2007) (Zarkadas et al., 2007) en daarvan is het gemiddelde genomen (Tabel 7 en Tabel 9 in Bijlage II).

Met de aminozuursamenstelling kan de aminozuurscore (AAS) (middels Vergelijking 1) worden berekend. Hierbij wordt er berekend in hoeverre de eiwitbron voldoet aan de eisen voor de dagelijkse essentiële aminozuurbehoefte bij volwassenen (Seves, 2015). In Tabel 3 staan de aminozuurscores van de sojaboon en de veldboon weergegeven (zie Tabel 8 en Tabel 10 in Bijlage II voor de gebruikte gegevens). Als de AAS lager is dan 1, wil dat zeggen dat de eiwitbron niet optimaal is voor dat aminozuur (Seves, 2015).

Enkel de hoeveelheid methionine in de veldboon heeft een AAS lager dan 1 gescoord: de veldboon is geen optimale eiwitbron voor het aminozuur methionine. De rest van de aminozuren in de veldboon en de sojaboon hebben een AAS van 1 of hoger, wat aangeeft dat de bonen per gram eiwit net zoveel of meer van dat essentieel aminozuur bevat vergeleken met de behoefte. Hoewel alle andere aminozuren in de veldboon een AAS-score hebben boven de 1, ligt de AAS-score voor de sojaboon bij alle aminozuren, behalve lysine en cysteïne, hoger.

Tabel 2: Aminozuursamenstelling van sojaboon en de veldboon in g/100g eiwit

Aminozuur	Sojaboon ^a	Veldboon ^b
Alanine	4,4	4,2
Asparaginezuur	12,1	11,5
Cysteïne	1,8	1,8
Glutaminezuur	19,0	17,5
Tyrosine	3,9	3,1
Arginine	8,1	9,6
Glycine	4,0	4,2
Proline	5,2	4,4
Serine	5,4	4,8
Phenylalanine	5,5	4,3
Histidine	2,9	2,6
Isoleucine	5,0	4,0
Leucine	8,2	7,6
Lysine	6,7	6,6
Methionine	1,7	0,8
Threonine	4,5	3,4
Tryptofaan	1,3	1,0
Valine	5,2	4,0

^a gemiddelde waarde van drie artikelen

^b gemiddelde waarde van vier artikelen

Vergelijking 1: Aminozuurscore (AAS) (Seves, 2015)

$$\text{AAS: } \frac{\text{mg aminozuur per g testeiwit}}{\text{aminozuurbehoefte in mg per g}}$$

Tabel 3: Aminozuurscore (AAS) van de sojaboon en de veldboon, op basis van de essentiële aminozuurbehoefte bij volwassenen

Aminozuur	AAS sojaboon	AAS veldboon	Verhouding veldboon : sojaboon ^c
Histidine	1,9	1,7	0,9
Isoleucine	1,7	1,3	0,8
Leucine	1,4	1,3	0,9
Lysine	1,5	1,5	1,0
Methionine+ cysteïne	1,6	1,2	0,7
Methionine	1,1	0,5	0,5
Cysteïne	3,0	3,0	1,0
Phenylalanine+ tyrosine	2,5	1,9	0,8
Threonine	2,0	1,5	0,8
Tryptofaan	2,2	1,7	0,8
Valine	1,3	1,0	0,8

^c AAS veldboon / AAS sojaboon

3 MATERIALEN EN METHODEN

Om te onderzoeken of veldbonen een geschikt alternatief zijn voor sojabonen in de productie van tofu is kwalitatief onderzoek uitgevoerd. Er is gebruikgemaakt van deskresearch en fieldresearch.

Er is in dit onderzoek eerst onderzoek gedaan naar de geschikte methoden voor het produceren van sojamelk, sojatofu, veldbonenmelk en veldbonentofu op labschaal. Aan de hand van de resultaten op deze experimenten is de onderzoeksopzet opgesteld voor het produceren van verschillende tofu's.

Voor de productie van sojamelk en tofu zijn eerst de gedroogde sojabonen geweekt in kraanwater (boon : water, 1 : 3,75 w/w) voor een bepaald aantal uur bij kamertemperatuur. De geweekte sojabonen zijn vervolgens afgegoten en afgespoeld, en er kan voor gekozen worden om de sojabonen te ontdoen van de vliezen. De sojabonen zijn samen met kraanwater, van hetzelfde gewicht als het afgegoten weekwater, gemaald in de high-performance blender (JTC Omniblend V TM-800, Saro) voor 5 minuten tot een homogene slurry. Na het malen, is er kraanwater (boon : water, 1 : 10 w/w) bij de slurry toegevoegd en geroerd. De slurry is vervolgens gezeefd en de sojamelk is daarna gekookt (Chinese methode) of de slurry is gekookt en pas daarna gezeefd (Japanse methode). Tijdens het zeven zijn de okara en sojamelk van elkaar gescheiden. De sojamelk (Chinese methode) of slurry (Japanse methode) is gekookt voor 10 minuten op 90°C. De sojamelk is na het koken/zeven afgekoeld naar 75°C; het coagulant (boon : coagulant, 1 : 0,08 w/w) is toegevoegd en kort door de sojamelk geroerd, waarna de sojamelk gaat coaguleren. Na ongeveer 30 minuten is de sojawrongel gevormd en is de sojawrongel klaar om geperst te worden tot tofu. De kaasvorm is gevuld met de sojawrongel en zo min mogelijk tofuwei, en hierna geperst in een kaaspers (C. van 't Riet) voor 60 minuten ($p_1 = 0,1$ bar voor 5 minuten, $p_2 = 0,3$ bar voor 10 minuten, $p_3 = 0,5$ bar voor 10 minuten, $p_4 = 0,8$ bar voor 10 minuten, $p_5 = 1,0$ bar voor 10 minuten en $p_6 = 1,3$ bar voor 15 minuten).

De veldbonen zijn afkomstig van Waldfarming², een streekboer uit Friesland. De sojabonen zijn afkomstig van de Dutch Tofu Company (DTC) in Vriezenveen, onderdeel van Vivera³. Het calciumsulfaat is afkomstig van Braumarkt⁴, het magnesiumchloride is online besteld bij De Online Zeepwinkel⁵ en de GDL bij Boomlab⁶.

De tofu is, door middel van fysisch-chemische analyses, geanalyseerd op de opbrengst, het vochtgehalte, de textuur, de pH, de kleur. Daarnaast is het eiwitgehalte geanalyseerd van de sojamelk, de veldbonenmelk en de tofuwei.

Opbrengst

De opbrengst van de tofu is berekend op basis van het gewicht van de geperste tofu verkregen uit 150 gram gedroogde bonen en is uitgedrukt als het gewicht van de tofu in gram per 100 gram gedroogde bonen.

Vochtgehalte

Met de vochtbepalingsbalans (MA 30, Sartorius) is het vochtgehalte van de tofu gemeten. Voor de bepaling van het vochtgehalte is er 3 gram tofumonster afgewogen en evenredig verdeeld over een leeg schaalpje. De vochtbalans is ingesteld op een temperatuur van 110°C. De tijd is op automatisch gezet, waardoor de droger uit zichzelf afslaat wanneer het gewicht langere tijd constant blijft.

² <https://www.waldfarming.nl/>

³ <https://www.vivera.com/nl/>

⁴ <https://www.braumarkt.com/>

⁵ <https://www.online-zeepwinkel.nl/>

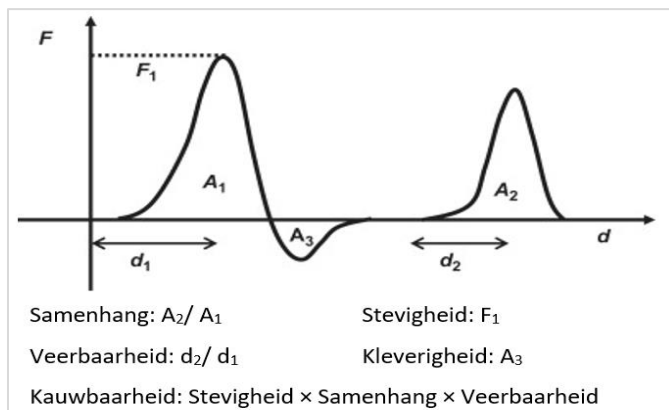
⁶ <https://www.boomlab.nl/>

Textuur

Met de Texture Analyzer (TA.XTplus, Stable Micro Systems) is de textuur van de tofu gemeten en geanalyseerd. Tijdens de textuurmeting met de Texture Analyzer is het respons gemeten dat is ontstaan door het testmonster fysiek te vervormen (Food Technology Corporation, sd).

De tofu is getest volgens de compressiemethode. Bij deze methode is de tofu op het midden van het platform van de Texture Analyzer geplaatst en is een cilindrische aluminium probe met een diameter van 36 millimeter langzaam naar beneden gedwongen op het tofmonster.

De verkregen resultaten geven informatie over de stevigheid, de kleverigheid, de samenhang, de veerbaarheid en de kauwbaarheid van de tofu (Food Technology Corporation, sd). In *Figuur 6* staan de eigenschappen die uit de grafiek van de textuurmeting worden verkregen en de bijhorende berekeningen.



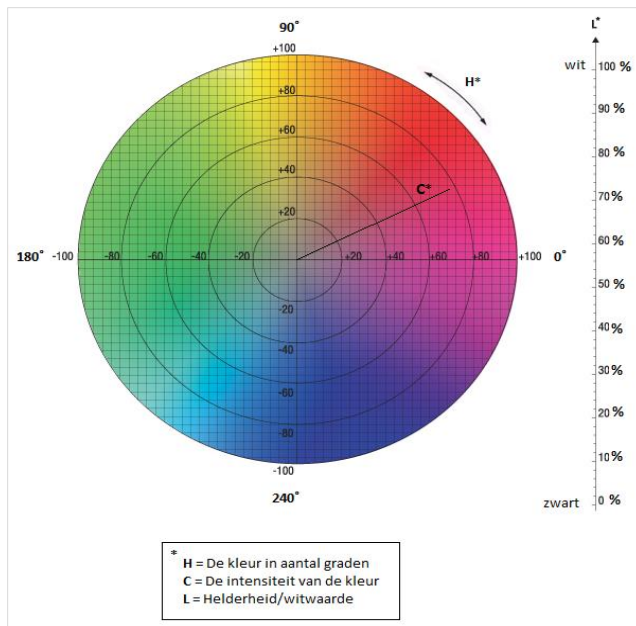
Figuur 6. Informatie die kan worden verkregen uit de Texture Analyzer grafiek en de berekeningen voor een eigenschap (Chen, 2009)

pH

Tijdens de pH-meting is de zuurtegraad van de sojamelk, de veldbonenmelk en de tofu gemeten. Voor deze meting is gebruik gemaakt van een pH-meter (Testo 205).

Kleur

Met de Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta) is de intensiteit en de witwaarde van de tofu bepaald. Hiermee is het verschil in de kleur van de tofu onderzocht. De kleurmeter is ingesteld op CIE LCh kleurruimte waardoor de lichtheid (L^*), de chroma (C^*) en de Hue angle (h) van het tofmonster is gemeten. De waarde van de chroma is de afstand van de lichtheid en begint bij 0 in het centrum. Hue angle begint bij de axis op 0° en wordt uitgedrukt in graden, zie *Figuur 7* (Konica Minolta, sd).



Figuur 7. Kleurdiagram voor het bepalen van de exacte kleur van tofu, m.b.v. de verkregen waarden (L^* , C^* , h) tijdens de kleurmeting

Eiwitgehalte

Voor het bepalen van het eiwitgehalte van de sojamelk, de veldbonenmelk, de tofu en de wei is de Kjeldahl-methode gebruikt. Met de Kjeldahl-methode is de organisch gebonden stikstof gemeten in het monster. Hierbij heeft eerst de digestie van het monster plaatsgevonden, waarbij 98%-zwavelzuur is toegevoegd in het bijzijn van een katalysator. De digestie-opstelling bestaat uit een digestion unit (Velp Scientifica – DKL Series Automatic Kjeldahl Digestion Unit), een vacuumpomp (Velp Scientifica – JPV Recirculating Water Vacuum Pump) en een scrubber (Velp Scientifica – SMS Scrubber). De organische stikstof is omgezet in ammoniumsulfaat, wat vervolgens is gedestilleerd (Velp Scientifica – UDK 149 Automatic Kjeldahl Distillation Unit) in het bijzijn van 30%-natriumhydroxide. Dit heeft ammoniumgas vrijgemaakt. Het destillaat is opgevangen in een 2%-boorzuuroplossing met kleurindicator. De oplossing is vervolgens getitreerd met een 0,1 N HCl-oplossing (Jung et al., 2003). Zie Bijlage VIII voor de uitgebreide werkwijze.

Het eiwitgehalte is uiteindelijk bepaald volgens Vergelijking 2 van Bijlage XIV.

4 RESULTATEN

Er is eerst onderzoek uitgevoerd naar de verschillende stappen in het tofubereidingsproces om zo de juiste productiemethode te achterhalen voor het produceren van sojamelk, veldbonenmelk en tofu op labschaal. Daarnaast is er gekeken of het mogelijk is om tofu te maken door 100% veldbonen te gebruiken. Vanuit deze resultaten is er vervolgens onderzoek gedaan naar het effect van veldbonen op de tofu.

4.1 Productiemethoden

Er is onderzoek gedaan naar de juiste productiemethode voor het produceren van sojamelk en sojatofu op labschaal. De variaties, in Tabel 4, zijn tot stand gekomen aan de hand van de bevinden per experiment. Tijdens dit onderzoek is er gevarieerd in: ontvliezen (ja/nee), filtreren (voor/na koken) en coagulantsoort (CaSO_4 /GDL/ MgCl_2).

Tabel 4: Variaties onderzoek naar de juiste methode voor het maken van sojamelk en sojatofu

Experiment	Weken (uur)	Ontvliezen (ja/nee)	Blenden (min)	Filtreren (voor/na koken)	Koken (min)	Koken ($^{\circ}\text{C}$)	Coagulant (soort)	Verwarmen ($^{\circ}\text{C}$)	Coaguleren (min)	Persen (min)
S1	24	Nee	5	Na	10	90	CaSO_4	75	30	60
S2	24	Ja	5	Na	10	90	CaSO_4	75	30	60
S3	24	Nee	5	Voor	10	90	CaSO_4	75	30	60
S4	24	Nee	5	Voor	10	90	GDL	75	30	60
S5	24	Nee	5	Voor	10	90	MgCl_2	75	30	60

Bij experiment S1 en S2 is er onderzocht of de sojabonen na het weken wel of niet van de vliezen ontdaan moeten worden. Zowel experiment S1 als experiment S2 leverende een stevige tofu. Het ontdoen van de vliezen van de sojabonen bij experiment S2 was tijdrovend en leverde geen beduidend verschil in tofu ten opzichte van experiment S1. Bovendien was het filtreren van de sojaboon-water slurry na het koken ietwat lastig aangezien de substantie erg heet was en daarom eerst moest afkoelen voordat het door het kaasdoek geperst kon worden.

Bij experiment S3 is er onderzocht of de sojaboon-water slurry voor het koken gefiltreerd moet worden. Dit resultaat is vergeleken met het resultaat van experiment S1. Door de sojaboon-water slurry te koken voor het te filtreren, kon de sojamelk gemakkelijker van de okara gescheiden worden, wat in experiment S1 niet het geval was door de hoge temperatuur van de sojaboon-water slurry. Experiment S3 resulteerde wederom in een stevige sojatofu. Het filtreren van de sojaboon-water slurry alvorens het koken is de normale procesvolgorde volgens de traditionele Chinese methode voor het maken van sojamelk. Bij de Japanse methode filtreert men de sojaboon-water slurry na het koken. Beide manieren zijn geschikt voor het bereiden van sojamelk, maar de Japanse methode duurt langer, omdat de gekookte slurry gefiltreerd moet worden, zodat de melk van de okara scheidt, maar daarvoor dient de slurry eerst ietwat afgekoeld te worden en dat kost tijd. Bovendien is de energie-input hoger als de hele slurry moet worden verhit, in plaats van enkel de sojamelk. Met de Chinese methode wordt er dus tijd en geld bespaard.

Bij experiment S4 en S5 is onderzocht wat het effect is van de verschillende coagulanten op de sojatofu. Deze resultaten zijn vergeleken met het resultaat van experiment S3. Door het gebruik van GDL in plaats van calciumsulfaat is er bij experiment S4 een te zachte wrongel ontstaan ten opzichte van experiment S3. Hierdoor was de wrongel te zacht om een stevige tofu te persen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het coagulant GDL meer geschikt is voor het maken van een tofu met een

zachte structuur, zoals bijvoorbeeld zijdentofu. Bij experiment S5 werd calciumsulfaat vervangen door magnesiumchloride. Magnesiumchloride produceerde tofu met vergelijkbare eigenschappen als de tofu gemaakt met calciumsulfaat. De tofu met magnesiumchloride voelde echter iets steviger aan en was bovendien sneller gecoaguleerd. Dit wordt bevestigd in een onderzoek van Liu (1997), waarin er wordt gesuggereerd dat de textuur van tofu met magnesiumchloride steviger kan zijn dan dat van tofu gemaakt met calciumsulfaat. Magnesiumchloride heeft ook als voordeel dat het beter oplosbaar is dan calciumsulfaat. Magnesiumchloride lost goed op in water van 20°C (>0,1 mol/l) en calciumsulfaat matig (0,1>0,01 mol/l) (Brouwens, De Groot, & Kranendonk, 2013).

Aan de hand van bovenstaande resultaten zijn de bereidingswijzen voor sojamelk en sojatofu opgesteld, te vinden in Bijlage IV en Bijlage V. Hierbij zullen de sojabonen na het weken niet ontdaan worden van de vliezen, wordt de sojaboon-water slurry gefiltreerd vóór het koken (volgens de Chinese methode) en zal er tijdens de productie van sojatofu het coagulant magnesiumchloride worden gebruikt.

Naast het onderzoek naar de geschikte methoden voor bereiding van sojamelk en sojatofu is er onderzoek gedaan naar de meest geschikte methode voor het maken van veldbonenmelk en veldbonentofu op labschaal. De variaties, in Tabel 5, zijn tot stand gekomen aan de hand van de bevinden per experiment. Hierbij is er gevarieerd in: weektijd (24/48/72 uur), ontvliezen (ja/nee), filtreren (voor/na koken), koken veldbonenmelk (ja/nee) en soort coagulant (CaSO₄/GDL/MgCl₂).

Tabel 5: Variaties onderzoek naar de juiste methode voor het maken van veldbonenmelk en veldbonentofu

Experiment	Weken (uur)	Ontvliezen (ja/nee)	Blenden (min)	Filtreren (voor/na koken)	Koken (min)	Koken (°C)	Coagulant (soort)	Verwarmen (°C)	Coaguleren (min)	Persen (min)
V1	24	Nee	5	Na	10	90	CaSO ₄	75	30	60
V2	48	Nee	5	Na	10	90	CaSO ₄	75	30	60
V3	72	Nee	5	Na	10	90	CaSO ₄	75	30	60
V4	48	Ja	5	Na	10	90	CaSO ₄	75	30	60
V5	48	Ja	5	Voor	10	90	CaSO ₄	75	30	60
V6	48	Ja	5	Voor	-	-	CaSO ₄	75	30	60
V7	48	Ja	5	Voor	-	-	GDL	75	30	60
V8	48	Ja	5	Voor	-	-	MgCl ₂	75	30	60

Bij experiment V1, V2 en V3 is er gevarieerd in de weektijd van de veldbonen. De veldbonen bij experiment V1 hadden na een weektijd van 24 uur nog een te harde textuur. De veldboon kon hierdoor slecht gemaald worden door de high-performance blender, wat resulteerde in een heterogene slurry. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de veldboon een hardere boon is ten opzichte van de sojaboon waardoor de veldboon een langere weektijd heeft.

Bij experiment V2 en V3, met weektijden van respectievelijk 48 uur en 72 uur, konden de veldbonen beter gemaald worden door de blender, wat resulteerde in een homogene slurry. Het koken van de veldboon-water slurry van experiment V1, V2 en V3 resulteerde in een gelvorming (de substantie was te vergelijken met behanglijm), waardoor de substantie na het koken niet gefiltreerd kon worden omdat het kaasdoek dichtslibde). Een mogelijke verklaring voor de gelvorming is het hoge gehalte aan koolhydraten in de veldboon (58,29 g per 100 g droge boon), die voor een deel bestaan uit zetmeel. Volgens het onderzoek van Lund & Lorenz (1984) zal opgelost zetmeel bij een bepaalde temperatuur gaan zwellen waardoor de structuur van het zetmeel onomkeerbaar zal veranderen en het zetmeel verstijft. De viscositeit van de veldboon-water slurry of de veldbonenmelk kan hierdoor toenemen,

wat het kaasdoek tijdens de filtratie kan doen verstoppert. Bij experiment V1, V2 en V3 is het niet gelukt veldbonenmelk te krijgen waardoor er geen tofu van 100% veldbonen geproduceerd kon worden.

Bij experiment V4 is er onderzocht of de veldbonen na het weken van de vliezen ontdaan moeten worden. Dit resultaat is vergeleken met het resultaat van experiment V2. Het ontvliezen van de geweekte veldbonen resulteerde in een homogene slurry na het blenden. De gelvorming na het koken van de veldboon-water slurry is bij experiment V4 afgenomen, maar was nog steeds slecht te filtreren. Bij experiment V4 is het niet gelukt veldbonenmelk te krijgen, waardoor er wederom geen tofu van 100% veldbonen geproduceerd kon worden.

Bij experiment V5 is er onderzocht of de veldboon-water slurry voor het koken gefiltreerd moet worden. Dit resultaat is vergeleken met het resultaat van experiment V4. Door voor het koken te filtreren kon de veldbonenmelk goed gescheiden worden van de okara, wat vergeleken experiment V4 niet het geval was. Tijdens het koken van de veldbonenmelk was wederom sprake van gelvorming. De gelvorming was ten opzichte van experiment V4 afgenomen. Na het coaguleren van de veldbonenmelk is er een wrongel gevormd met een te zachte structuur waardoor het niet geperst kon worden en er bij experiment V5 geen tofu van 100% veldbonen geproduceerd kon worden. De veldboon bevat 25,0 g vezels per 100 g droge boon. De vliezen van de veldboon zijn grotendeels opgebouwd uit vezels, dus door de veldboon te ontvliezen wordt een groot gedeelte van de vezels verwijderd.

Bij experiment V6 is onderzocht of er een verschil is in gelvorming tussen de tofu van gekookte veldbonenmelk en tofu van ongekookte veldbonenmelk. Dit resultaat is vergeleken met het resultaat van experiment V5. De ongekookte veldbonenmelk heeft geen gel gevormd, zoals bij experiment V5, maar kon geen wrongelnetwerk vormen. Volgens J. de Jong (persoonlijke communicatie, 27 mei 2019) zou een mogelijke verklaring hiervoor kunnen zijn dat de polysachariden uit de veldboon tussen het netwerk kunnen gaan zitten, wat de vorming van het eiwitnetwerk bemoeilijkt.

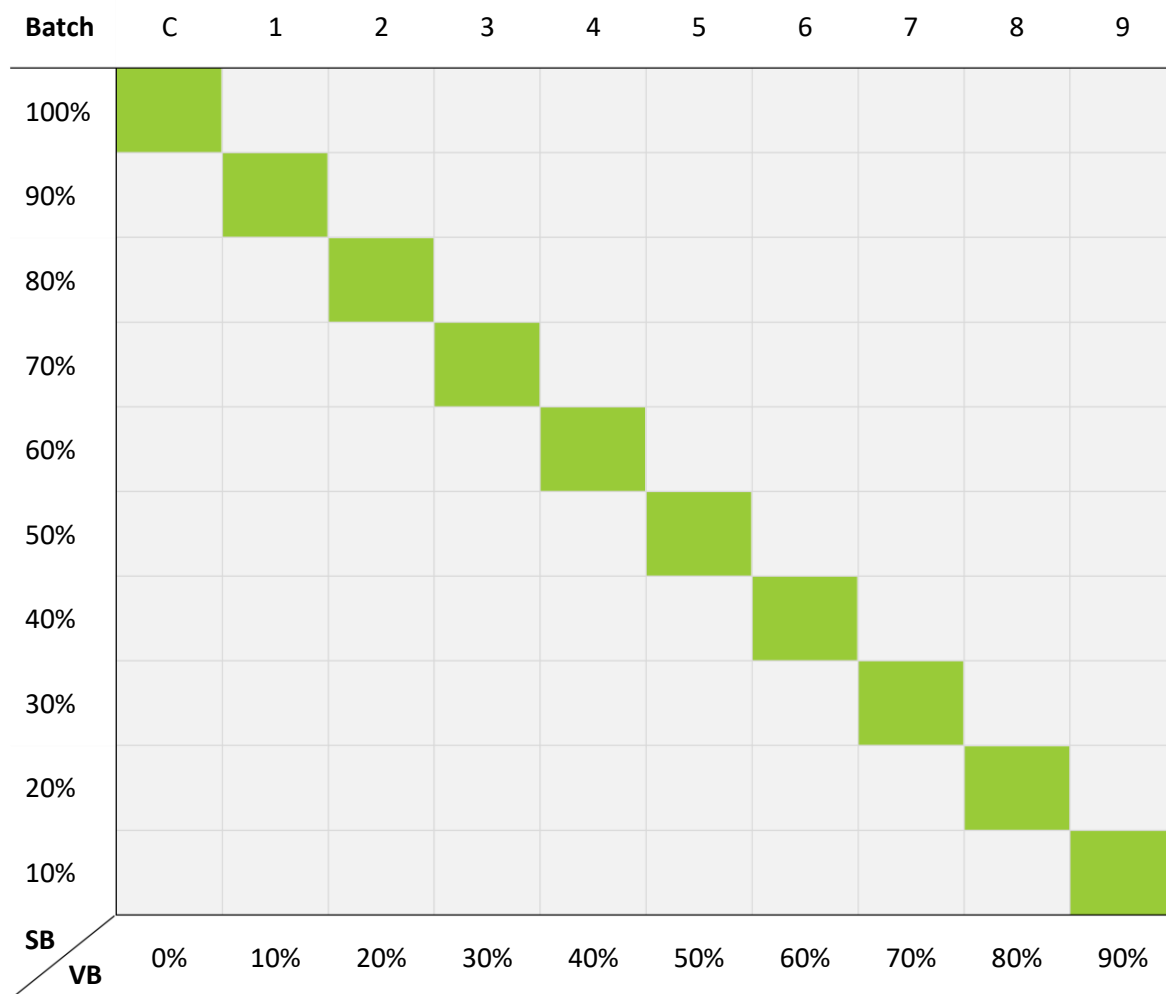
Bij experiment V7 en V8 is onderzocht of een ander soort coagulant kan bijdragen aan het verkrijgen van veldbonentofu. Deze resultaten zijn vergeleken met het resultaat van experiment V6. Het gebruik van GDL en magnesiumchloride, in plaats van calciumsulfaat, als coagulant kon ook geen tofu van 100% veldbonen produceren. De wrongel was wederom te zacht om te kunnen persen. Volgens het onderzoek van Huang & Kuo (2015) vormen de eiwitten in de sojamelk tijdens het coaguleren aggregaten, die vervolgens een eiwitnetwerk zullen vormen. Veldbonenmelk bevat mogelijk te weinig eiwitten om een tofu te kunnen vormen.

Aan de hand van bovenstaande resultaten is gebleken dat het niet mogelijk is om volgens de traditionele tofubereiding tofu te maken van 100% veldbonen. De bereidingswijze voor veldbonenmelk is te vinden in Bijlage III. Voor de veldbonenmelkproductie worden de veldbonen 48 uur worden geweekt en ontdaan van de vliezen, en wordt de veldbonenmelk na filtratie niet gekookt.

4.2 Tofuproductie

Met de kennis uit het literatuuronderzoek naar de verschillen tussen de veldboon en de sojaboon, en de resultaten van de experimenten uit paragraaf 4.1 is er gekozen voor een hybride proefopzet waarbij er steeds meer sojabonen worden vervangen door veldbonen. Door het gebruik van een hybride proefopzet is de maximale hoeveelheid veldbonen dat kan worden gebruikt in de tofuproductie vastgesteld en daarnaast illustreert deze opzet het effect van de veldboon op de tofu.

In *Figuur 8* zijn de verschillende variaties opgenomen in een matrix, gebaseerd op Tabel 11 uit Bijlage VII. Tijdens het uitvoeren van de experimenten is een controlebatch meegenomen waarbij er traditionele tofu is gemaakt van 100% sojabonen.



Figuur 8. Matrix batch variaties (SB= sojaboon en VB= veldboon)

De productie van de tofu is aan de hand van de onderstaande methoden uitgevoerd. De methoden is afgeleid van de resultaten uit paragraaf 4.1. De verhouding sojaboon : veldboon voor iedere batch is weergegeven in *Figuur 8*.

De veldbonen zijn geweekt in kraanwater (boon : water, 1 : 3,75 w/w) voor 48 uur in een grote pan bij kamertemperatuur. De geweekte veldbonen zijn afgegoten en het weekwater is afgewogen. De geweekte veldbonen zijn gepeld en samen met vers kraanwater, van hetzelfde gewicht als het afgegoten weekwater, gemalen in de high-performance blender (JTC Omniblend V TM-800, Saro) voor 5 minuten tot een homogene slurrymassa. Na het malen, is er kraanwater (boon : water, 1 : 10 w/w) bij de slurry toegevoegd en geroerd. De slurry is vervolgens gefiltreerd door een kaasdoek, om het veldbonenmelk-extract te krijgen. De veldbonenmelk is niet gekookt.

De sojabonen zijn geweekt in kraanwater (boon : water, 1 : 3,75 w/w) voor 24 uur in een grote pan bij kamertemperatuur. De geweekte bonen zijn afgegoten en het weekwater is afgewogen. De geweekte bonen zijn, samen met vers kraanwater van hetzelfde gewicht als het afgegoten weekwater, gemalen in een high-performance blender (JTC Omniblend V TM-800, Saro) voor 5 minuten tot een homogene slurry. Na het malen, is er kraanwater (boon : water, 1 : 10 w/w) bij de slurry toegevoegd en geroerd. De slurry is vervolgens gefiltreerd door een kaasdoek, om het sojamelk-extract te krijgen. De sojamelk is verwarmd naar 90°C en voor 10 minuten, onder constant roeren, op deze temperatuur gehouden.

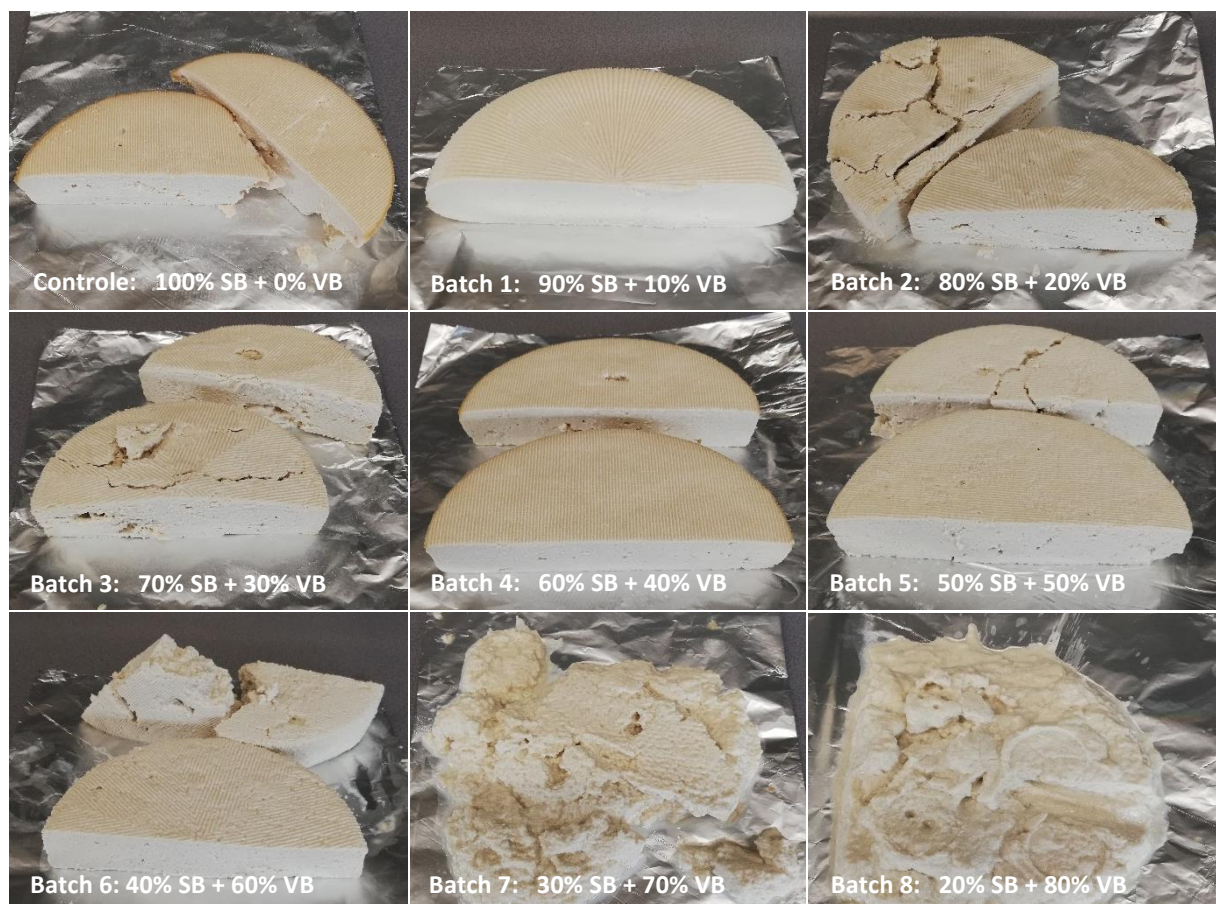
De sojamelk en veldbonenmelk is na verhouding met elkaar gemengd en verwarmd naar 75°C. Het coagulant oplossing is gemaakt door magnesiumchloride (boon : coagulant, 1 : 0,08 w/w) op te lossen in warm water. Het gemaakte coagulant is aan de veldbonen-/sojamelk van 75°C toegevoegd en voor 10 seconden geroerd. De pan is vervolgens afgesloten met de deksel en is voor 30 minuten met rust gelaten voor de coagulatie. De wrongel is in de kaasvorm (inhoud = 500 gram) gestopt en geperst in de kaaspers voor 60 minuten ($p_1 = 0,1$ bar voor 5 minuten, $p_2 = 0,3$ bar voor 10 minuten, $p_3 = 0,5$ bar voor 10 minuten, $p_4 = 0,8$ bar voor 10 minuten, $p_5 = 1,0$ bar voor 10 minuten en $p_6 = 1,3$ bar voor 15 minuten). De tofu is na productie verpakt en bewaard in de koelkast bij 4°C.

In Bijlage III, Bijlage IV en Bijlage V zijn de bereidingswijzen van respectievelijk veldbonenmelk, sojamelk en tofu stapsgewijs weergegeven. In Bijlage VI (*Figuur 22*) is een processchema met massabalans van het gehele productieproces (van boon tot tofu) weergegeven. De massabalans is opgesteld op basis van 100 gram droge veldbonen en sojabonen.

De experimenten zijn uitgevoerd volgens de proefopzet in *Figuur 8*.

In *Figuur 9* zijn de afbeeldingen weergegeven van de geproduceerde tofubatches. Bij de productie van de verschillende batches is er, op batch 7, 8 en 9 na, na het persen een compacte vorm ontstaan en is het gelukt tofu te produceren. Bij batch 7 en 8 is er na het coaguleren een te zachte wrongel ontstaan waardoor deze tijdens het persen geen stabiele vorm hebben kunnen aannemen. Bij batch 9 is het niet gelukt om de wrongel te persen doordat de wrongel nog zachter was dan bij batch 7 en 8. De breuken in de tofu in *Figuur 9* zijn ontstaan tijdens het verwijderen van de kaasvorm.

Het lijkt erop dat, naarmate er meer veldbonen worden toegevoegd, de productie van de tofu steeds meer wordt belemmerd en de kwaliteit van de tofu meer afneemt. De tofu van batch 4, gemaakt van 60% sojabonen en 40% veldbonen, toont visueel de beste tofu en is het meest vergelijkbaar met de controle.



Figuur 9. Geproduceerde tofu's, van de controle tot batch 8 (SB = sojaboon en VB = veldboon)

Hieronder worden de resultaten van de fysisch-chemische analyses besproken, waarmee de resultaten uit *Figuur 9* worden onderbouwd.

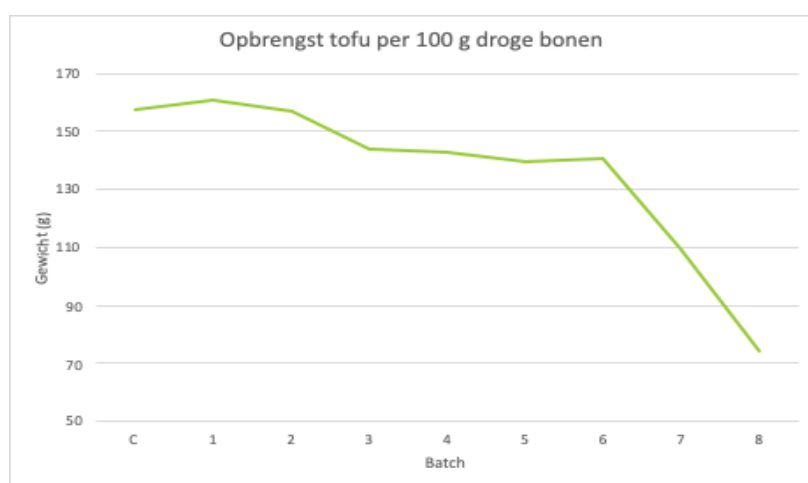
Voor de fysisch-chemische beoordeling van de tofu zijn de opbrengst, het vochtgehalte, de textuur, de pH, de kleur gemeten. Daarnaast is het eiwitgehalte van de sojamelk, de veldbonenmelk en de tofuwei gemeten.

Opbrengst

In *Figuur 10* is de opbrengst van de tofu per batch weergegeven in een grafiek. De opbrengst van de tofu vertoonde een afname naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. De controlebatch resulteerde in een opbrengst van 157 gram tofu uit 100 gram gedroogde sojabonen. Batch 1 heeft met 161 g een iets hogere opbrengst dan de controle. De tofu's van batch 2 t/m 8 resulteerden in een lagere opbrengst ten opzichte van de controle.

Naargelang het aandeel veldbonen in de tofu toeneemt, neemt de tofu-opbrengst af. Hierdoor is er meer sojamelk en veldbonenmelk (meer droge bonen) nodig om een batch te produceren met dezelfde opbrengst als de controle.

De bijbehorende tabel, Tabel 12, staat in Bijlage IX weergegeven.



Figuur 10. Tofu-opbrengst per 100 g droge bonen

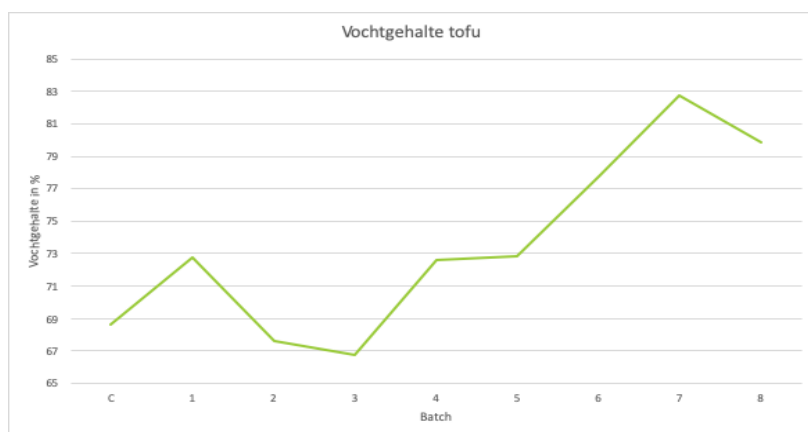
Vochtgehalte

In *Figuur 11* zijn de resultaten van de enkelvoudige vochtgehalte-bepalingen uitgezet in een grafiek. De bijbehorende tabel, Tabel 13, is te vinden in Bijlage X.

De waarde voor het vochtgehalte vertoonde een toename naarmate er meer veldbonen werden gebruikt, alleen batch 2 en 3 hebben een lager vochtgehalte dan de controlebatch. Dit kan komen doordat deze analyse in enkelvoud is uitgevoerd.

De tofu van batch 7 heeft het hoogste vochtgehalte (82,73%) en de tofu van batch 3 heeft het laagste vochtgehalte (66,77%). Het vochtgehalte is, van de controle met 68,64% naar batch 8 met 79,89%, met 11,25% gestegen, met als piek batch 7 (stijging van 14,09% t.o.v. de controle).

Het verschil van 2,84% tussen batch 7 en 8 kan zijn ontstaan door dat de wrongel van beide batches heterogeen was, wat ervoor gezorgd kan hebben dat batch 7 een hoger vochtgehalte laat zien en batch 8.



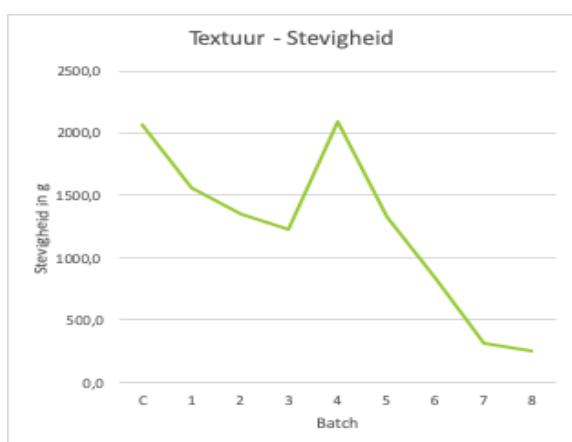
Figuur 11. Vochtgehalte van de tofubatches

Textuur

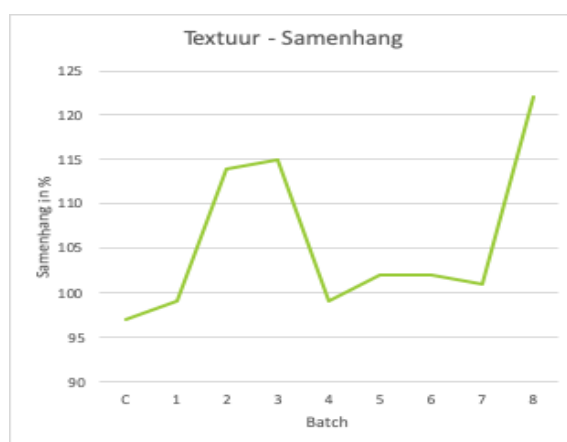
In *Figuur 12*, *Figuur 13*, *Figuur 14*, *Figuur 15* en *Figuur 16* staan de grafieken van de textuurmetingen, welke zijn gemaakt aan de hand van de resultaten in Tabel 14, Bijlage XI. De met de Texture Analyzer verkregen grafieken, *Figuur 26* t/m *Figuur 32*, zijn eveneens te vinden in Bijlage XI. Hieronder worden de resultaten voor stevigheid, samenhang, veerbaarheid, kleverigheid en kauwbaarheid toegelicht.

In *Figuur 12* zijn de resultaten van de stevigheid van de geproduceerde tofu's weergegeven. Bij de stevigheid is de maximale kracht gemeten die de probe moet uitoefenen op de tofu tijdens de eerste compressie. De stevigheid van de tofu vertoonde, behalve bij batch 4, een afname naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Echter heeft de tofu van batch 4, gemaakt met 60% sojabonen en 40% veldbonen, de hoogste stevigheid en komt deze het meest overeen met de controlebatch.

In *Figuur 13* zijn de resultaten van de samenhang van de geproduceerde tofu's weergegeven. Bij de samenhang is er gemeten in welke mate de tofu bestand is tegen een tweede compressie ten opzichte van de eerste compressie. De tofu's vertoonden geen sterke afname in samenhang na de tweede compressie. Wel vertoonde de tofu bij een aantal batches (2, 3, 5, 6, 7 en 8) een toename in de samenhang tijdens de tweede compressie. Een mogelijke reden voor de verhoging van de samenhang bij de tweede compressie kan zijn dat de tofu een hogere stevigheid heeft gekregen tijdens de eerste compressie. Hierdoor moest er gedurende de tweede compressie meer kracht op de tofu worden uitgeoefend (en dus de oppervlakte onder de grafiek van de tweede compressie groter wordt ten opzichte van de oppervlakte onder de grafiek van de eerste compressie).



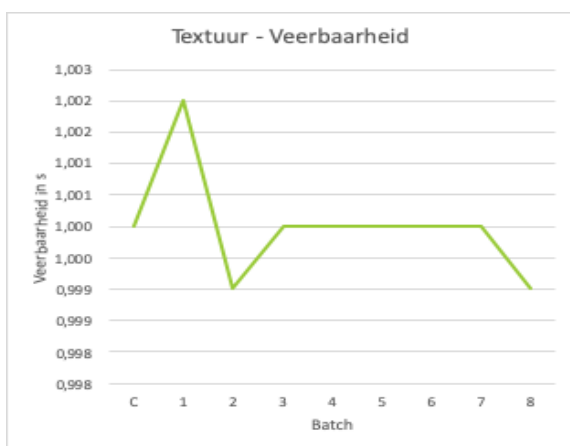
Figuur 12. Stevigheid van de tofu



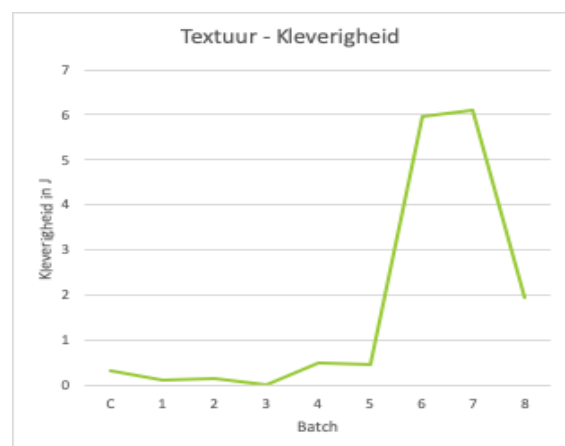
Figuur 13. Samenhang van de tofu

In *Figuur 14* zijn de resultaten van de veerbaarheid van de geproduceerde tofu's weergegeven. Bij de veerbaarheid is er gemeten in welke mate de tofu fysiek terugveert nadat de tofu is vervormd tijdens de eerste compressie. De resultaten van de veerbaarheid vertoonden kleine veranderingen tussen de twee metingen. De veerbaarheid van batch 1 is, ten opzichte van de controle, met 0,002 seconden toegenomen en bij batch 2 en 8 met 0,001 seconden afgenomen. Van batch 3 t/m 7 is de veerbaarheid, ten opzichte van de controle, constant gebleven.

In *Figuur 15* zijn de resultaten van de kleverigheid van de tofubatches weergegeven. De kleverigheid meet de energie die nodig is om de probe los te krijgen van het tofumonster. Bij de kleverigheid zijn er uiteenlopende resultaten tussen de batches. De batches vertoonden, over het geheel genomen, een toename in de kleverigheid naarmate er meer sojabonen werden vervangen door veldbonen. Batch 6 en 7 hadden, ten opzichte van de controle, de hoogste kleverigheid. De kleverigheid van batch 5, gemaakt met 50% sojabonen en 50% veldbonen, komt het meest overeen met de kleverigheid van de controle.



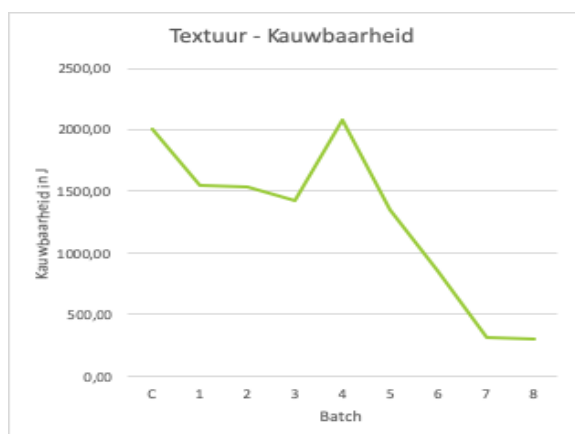
Figuur 14. Veerbaarheid van de tofu



Figuur 15. Kleverigheid van de tofu

In *Figuur 16* zijn de resultaten van de kauwbaarheid van de geproduceerde tofu's weergegeven. Bij de kauwbaarheid is de hoeveelheid energie (in Joule) berekend die nodig is om de tofu te kauwen totdat het voldoende gekauwd is om doorgeslikt te worden. De batches vertoonden, behalve bij batch 4, een afname naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Voor batch 4, gemaakt met 60% sojabonen en 40% veldbonen, is de meeste energie nodig om de tofu te kauwen en komt het meest overeen met de controle.

De resultaten van de kauwbaarheid lopen vrijwel gelijk met de resultaten van de stevigheid. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat de kauwbaarheid wordt uitgedrukt als een product van stevigheid $\times$ samenhang $\times$ veerbaarheid waardoor, in dit geval, de stevigheid veel effect heeft op de waarde van de kauwbaarheid (de samenhang en veerbaarheid zijn ongeveer gelijk aan ± 1 dus hebben in dit geval weinig effect op de kauwbaarheid). Hierdoor zal de waarde van de kauwbaarheid van de tofu afnemen wanneer de stevigheid ook afneemt.

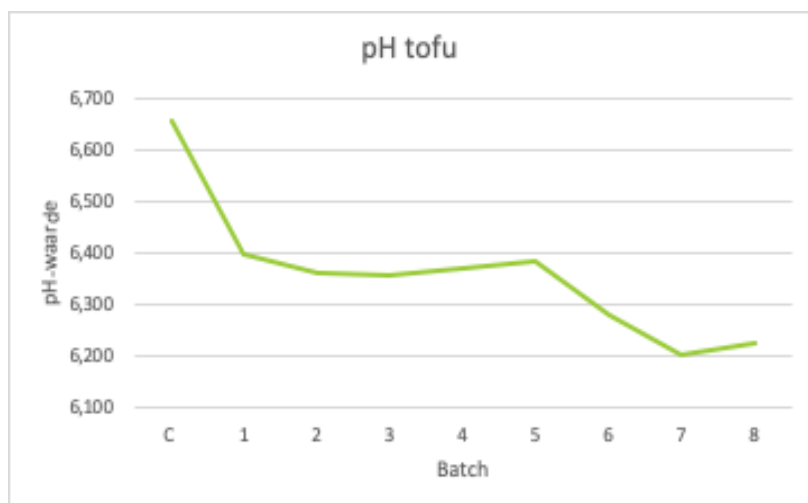


Figuur 16. Kauwbaarheid van de tofu

pH-waarde

De sojamelk had een pH-waarde van 7,35 en de veldbonenmelk een pH-waarde van 5,93. In *Figuur 17* staan de gemiddelde pH-waarden van de tofu's gegeven. De pH-waarde van de tofu vertoonde een afname naarmate de hoeveelheid sojaboon in de tofu verminderd werd en er meer veldbonen werden toegevoegd. Van de controle, waarvan de tofu bestond uit 100% sojabonen, naar batch 8, waarvan de tofu bestond uit 20% sojabonen, is de pH met 0,43 verlaagd. In Bijlage XII in Tabel 15 zijn de gemeten waarden van de pH-meting weergegeven.

Een verklaring voor de afname in pH-waarde zou kunnen zijn dat de veldbonenmelk een lagere pH heeft dan de sojamelk. Er kan dus gesuggereerd worden dat door het toevoegen van meer veldbonenmelk en minder sojamelk bij het maken van de verschillende batches ervoor heeft gezorgd dat de pH-waarde van de tofu is afgenomen.



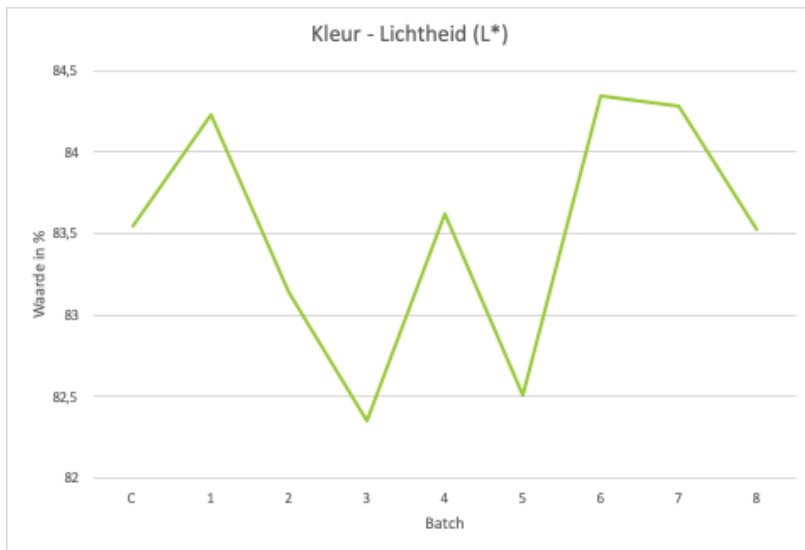
Figuur 17. pH van de tofu

Kleur

De kleur is in triplo gemeten en wordt uitgedrukt in lichtheid, chroma en hue angle, waarvan de tabellen (Tabel 16 t/m Tabel 25) te vinden zijn in Bijlage XIII. Hieronder worden de resultaten van de drie componenten toegelicht.

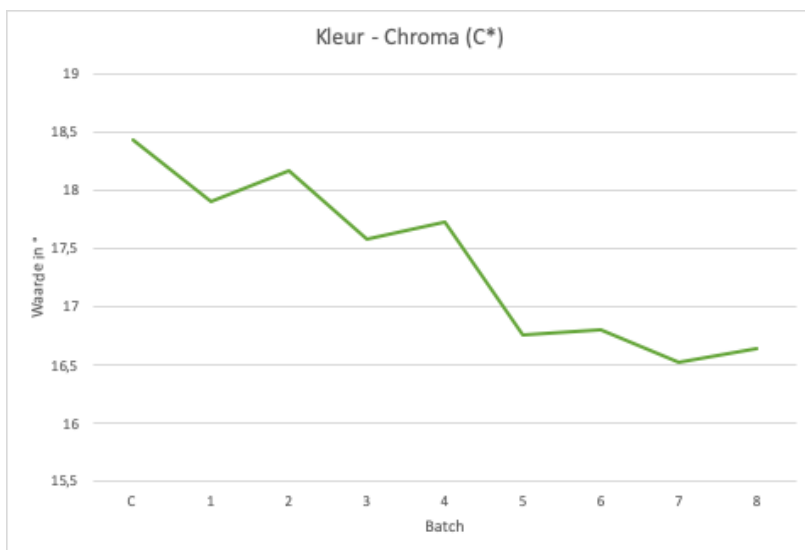
In *Figuur 18* is de gemiddelde waarde voor de lichtheid (L^*) van de tofu gegeven. De waarde van de lichtheid verloopt niet via een bepaalde trend. De waarde van batch 8 (83,53%) komt het meest

overeen met de waarde van de controle (83,55%) en batch 3 en 5 wijken met respectievelijk 82,35% en 82,51% het meest af van de controle, maar de onderlinge verschillen zijn klein.



Figuur 18. Lichtheid van de tofu

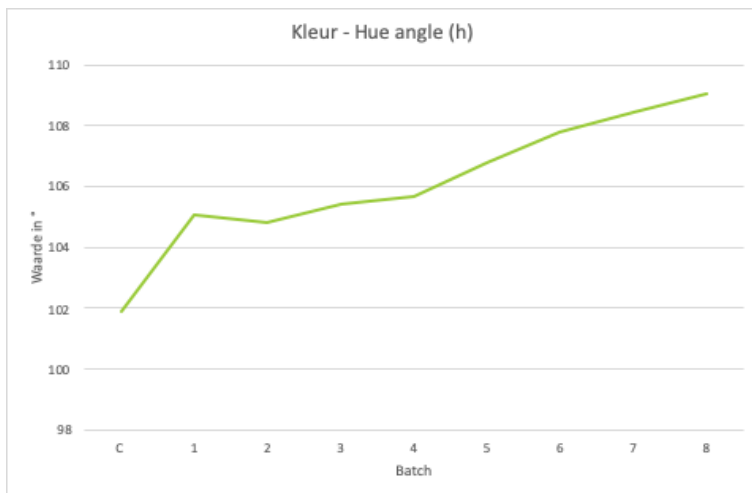
In *Figuur 19* staan de gemiddelde waarden voor de chroma (C^*) van de tofubatches gegeven. De waarde van de chroma vertoonde een afname naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. De afname in de waarde van de chroma laat zien dat de kleur van de tofu minder levendig is/meer grijsinten bevat, aangezien de chroma dichtbij het centrum van het kleurdiagram (*Figuur 7*) komt.



Figuur 19. Chroma van de tofu

In *Figuur 20* staat de gemiddelde gemeten waarde voor de hue angle (h) van de tofu gegeven. De hue angle loopt op naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. De toename laat zien dat de tofu steeds meer een groene kleur krijgt, aangezien bij een hue angle van 90° de kleur geel is en bij een hue angle van 180° de kleur groen is in het kleurdiagram (*Figuur 7*).

De kleur van de tofu veranderde naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat de droge veldboon niet dezelfde kleur heeft als de gedroogde sojaboon. Gedroogde veldbonen hebben van nature een groenbruine kleur en gedroogde sojabonen hebben van nature een gelige kleur. Hierdoor kan er gesuggereerd worden dat de kleur van de tofu groener wordt naarmate er meer veldbonen en minder sojabonen in de tofu worden verwerkt.



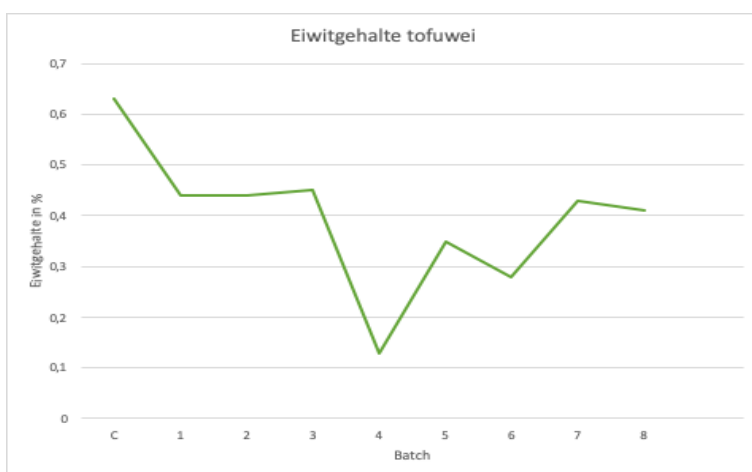
Figuur 20. Hue angle van de tofu

Eiwitgehalte

De stikstofgehaltenes van de sojamelk, de veldbonenmelk en de tofuwei van alle batches zijn bepaald aan de hand van de Kjeldahl-methode (zie Bijlage VIII voor de methode). Met de verkregen stikstofgehaltenes zijn de eiwitgehaltenes berekend. In Bijlage XIV staan de berekeningen en de resultaten van de Kjeldahl-analyse weergegeven in Tabel 26.

De sojamelk had een eiwitgehalte van 2,25% en voor veldbonenmelk was dit 1,51%. In *Figuur 21* zijn de berekende waardes van het eiwitgehalte in de tofuwei weergegeven. Het eiwitgehalte in de wei vertoonde, over het geheel, een afname naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. De tofuwei van controle had een eiwitgehalte van 0,63% en heeft, ten opzichte van de andere batches, de meeste eiwitten verloren in de tofuwei. De tofuwei van batch 4 had een eiwitgehalte van 0,13% en heeft, ten opzichte van de andere batches, de minste eiwitten verloren in de tofuwei.

Doordat veldbonenmelk een lager eiwitgehalte heeft ten opzichte van sojamelk, zal het eiwitgehalte in de tofu en in de tofuwei hoogstwaarschijnlijk afnemen naarmate er meer veldbonen worden gebruikt. Mogelijk bevatte de controle meer eiwitten dan dat gecoaguleerd kon worden (door hoeveelheid magnesiumchloride) waardoor er meer eiwitten verloren zijn gegaan in de tofuwei. Batch 4 heeft een wei-eiwitgehalte van 0,22%, wat zou betekenen dat er slechts weinig eiwitten verloren zijn gegaan in de wei, dus dat er bij batch 4 veel eiwitten zijn gecoaguleerd en in de tofu terecht zijn gekomen.



Figuur 21. Eiwitgehalte van de tofuwei

In Bijlage XV staan de resultaten van de analyses op de commerciële tofu weergegeven in Tabel 27. Als referentiemateriaal is Jumbo Veggie Chef Naturel Tofu⁷ gebruikt, welke is geproduceerd door de DTC. Hiervan zijn het vochtgehalte, de textuur, de pH en de kleur gemeten, zoals dat ook is gedaan bij de eigen geproduceerde variaties. Het eiwitgehalte van de commerciële tofu is niet gemeten, omdat deze op de verpakking staat.

Figuur 33 in Bijlage XVI laat een overzichtsgrafiek zien met daarin alle resultaten.

⁷ <https://www.jumbo.com/jumbo-naturel-tofu-500g/192983STK/>

Voor dit onderzoek is het effect van de veldboon op het productieproces en de fysisch-chemische aspecten van tofu onderzocht. Voor het tofuproduktie-onderzoek zijn er acht variaties opgesteld waarbij de sojabonen werden vervangen door veldbonen in een oplopende hoeveelheid. De acht variaties zijn vergeleken met de controlebatch waarbij er traditionele tofu van sojabonen is gemaakt.

De productie van de verschillende tofubatches is, op batch 7, 8 en 9 na, goed verlopen. Bij batch 7, 8 en 9 was na de coagulatie een slecht eiwitnetwerk gevormd, wat resulteerde in een te zachte structuur om deze goed te kunnen persen. Een mogelijke verklaring is het verschil tussen het eiwitgehalte van de veldbonenmelk (1,51%) en de sojamelk (2,25%), aangezien tijdens de coagulatie de hoeveelheid eiwitten van belang is voor de vorming van een stabiel eiwitnetwerk. Daarnaast kunnen veldbonen, net als sojabonen, door herkomst in kwaliteit variëren. Het is mogelijk dat veldbonen van andere herkomst een tofu met andere kwaliteit kunnen produceren dan de veldbonen die in dit onderzoek zijn gebruikt. Verdere studies zijn nodig om de relatie tussen veldbonen van verschillende afkomst en hun tofu-opbrengst te onderzoeken.

De opbrengst van de tofu nam af naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Een mogelijke verklaring voor dit resultaat is het lagere eiwitgehalte in de veldbonenmelk ten opzichte van de sojamelk. In het onderzoek van Poysa et al. (2006) wordt gesteld dat tofu een eiwit-gel is waardoor de hoeveelheid eiwit dat in de sojamelk aanwezig is invloed heeft op de opbrengst en kwaliteit van de tofu.

Het vochtgehalte van de tofu nam toe naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Het (naar verwachting) hoge koolhydraatgehalte in de veldbonenmelk kan mogelijk gezorgd hebben voor een hoger vochtgehalte van de tofu. Zetmeel fungeert als waterbinder en wordt in het eiwitnetwerk ingesloten, wat resulteert in een tofu met een hoger vochtgehalte en verminderde structuur: volgens J. de Jong (persoonlijke communicatie, 27 mei 2019) kunnen koolhydraten de coagulatie bemoeilijken. Het onderzoek van Cai & Chang (1997) heeft aangetoond dat een laag vastestofgehalte van de sojamelk kan resulteren in een tofu met een hoger vochtgehalte. In hetzelfde onderzoek schrijven ze dat een lange coagulatie-tijd ook verantwoordelijk is een hoger vochtgehalte. Dit kan ook een mogelijke verklaring zijn voor de toename van het vochtgehalte. Daarnaast is het mogelijk dat, wanneer er meer veldbonen worden gebruikt, er langer geperst moet worden om een tofu met een lager vochtgehalte te verkrijgen. Door langer te persen kan er mogelijk meer vocht uit de tofu worden geperst. Bij een vervolgonderzoek is het aan te raden om de Brix-waarde te meten van de sojamelk en veldbonenmelk. Brix is een maat voor de hoeveelheid opgeloste vaste stof in een waterige vloeistof en kan bepaald worden door de brekingsindex van de vloeistof te meten met een refractometer of door het soortelijk gewicht van de vloeistof te meten met een gravimeter. Daarnaast dient er een vervolgonderzoek te worden uitgevoerd om na te gaan of langer persen het vochtgehalte van de tofu kan doen verlagen.

De stevigheid van de tofu nam af naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Een mogelijke verklaring is dat door de toename van het vochtgehalte van de tofu de stevigheid wordt verminderd. In het onderzoek van Rekha & Vijayalakshmi (2013) is er aangetoond dat de textuureigenschappen van de tofu worden beïnvloed door het vastestofgehalte in de sojamelk, waarbij een laag vastestofgehalte resulteert in een tofu met een zachte textuur. Er kan dus gesteld worden dat de stevigheid van de tofu in verband staat met het vochtgehalte van de tofu. De tofubatches met een lagere stevigheid hadden ook een hoger vochtgehalte, zoals te zien is in *Figuur 11*. Een andere mogelijke verklaring voor de afname van de stevigheid van de tofu is het verschil in pH-waarde tussen de sojamelk en veldbonenmelk. Volgens het onderzoek van Poysa & Woodrow (2002) is de pH van de sojamelk positief geassocieerd met de stevigheid van de tofu. Dit komt overeen met de resultaten uit dit onderzoek, waarbij de controlebatch een pH had van 6,66 met een stevigheid van 2064,1 g en batch 8 een pH van 6,23 met een stevigheid van 246,4 g.

De gemeten klevigheid van de tofumonsters resulteerde in diverse waardes ten opzichte van de controle. De controle ten opzichte van batch 6, 7 en 8 toonde een duidelijk toename in de waarde van

de kleverigheid. Een mogelijke verklaring is dat door een hoger vochtgehalte er meer energie nodig is om de probe los te krijgen van het tofumonster. Volgens het onderzoek van Chandra & Shamasundar (2015) staat een hoge waarde voor de kleverigheid in verband met een zachte textuur. Het is mogelijk dat een tofu met hoge waarde voor de kleverigheid in relatie ligt met een hoog vochtgehalte, wat uit *Figuur 11* te achterhalen is.

De benodigde energie voor het kauwen van de tofu nam af naarmate er meer veldbonen werden gebruikt. Aangezien de kauwbaarheid van de tofu in relatie ligt met de stevigheid, zoals besproken in paragraaf 4.2, ligt de kauwbaarheid hoogstwaarschijnlijk ook in relatie met het vochtgehalte van de tofu. Als er minder energie nodig is om de tofu te kauwen betekent dit dat de tofu makkelijker te eten is, ten gevolge van een hoger vochtgehalte.

De coagulatie van de soja-veldbonenmelk is één van de belangrijkste processtappen bij de tofuproductie en speelt hoogstwaarschijnlijk een grote rol in de verkregen resultaten. Naarmate er meer veldbonen werden gebruikt werd de opbrengst lager en de textuur zachter. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de pH-waarde van de soja- en veldbonenmelk effect heeft op de coagulatie van de eiwitten. Volgens het onderzoek van Kroll (1984) heeft de pH veel effect op de binding van de calciumionen met de soja-eiwitten, aangezien de waterstofionen concurreren met de calciumionen voor dezelfde bindingsplaatsen op het eiwit. Hetzelfde zal mogelijk ook gelden voor magnesiumionen. Als er meer veldbonenmelk gebruikt wordt voor de productie van tofu, wordt de pH-waarde lager waardoor er meer waterstofionen aanwezig zijn tijdens de coagulatie, die concurreren met de magnesiumionen. Batch 4 had de minste eiwitten in de wei, dus er zijn naar verwachting veel eiwitten in de tofu terechtgekomen. De verwachting is dus ook een stevige tofu en dat wordt bevestigd door de resultaten van de textuurmeting (*Figuur 12*).

Batch 4, gemaakt van 60% sojabonen en 40% veldbonen, had een hoge opbrengst, een goede textuur en weinig eiwitverlies (0,22% wei-eiwitgehalte). Met $n=1$ is het de vraag of dit toeval is, of dat dit een optimale combinatie is. Een verklaring voor het goede resultaat zou kunnen zijn dat sojamelk (pH 7,35) en de veldbonenmelk (pH 5,93) in deze samenstelling een pH bereiken die optimaal is voor de eiwitcoagulatie, en dat de aanwezigheid van de veldboonmatrix een positief effect heeft op de soja-eiwitten. In een vervolgonderzoek zou dit experiment herhaald moeten worden om te kijken of het reproduceerbaar is en er zou gestuurd kunnen worden op pH van de bonenmelk, om te achterhalen of dit inderdaad een ideale pH is voor het coaguleren van de boneneiwitten. Ook zou er bij een nieuw onderzoek gestandaardiseerd kunnen worden op het eiwitgehalte, eventueel door toevoeging van een eiwitconcentraat. Bij gebruik van een (veldbonen)eiwitconcentraat is het aan te raden om ook de denaturatiegraad van de eiwitten te analyseren, aangezien deze eiwitten al een of meerdere behandelingen hebben ondergaan en daardoor mogelijk hun functionaliteit zijn verloren.

De resultaten van fysisch-chemische aspecten van de controle vertoonden enkele verschillen ten opzichte van de resultaten van de commerciële tofu. De controle had een lager vochtgehalte dan de commerciële tofu. Dit verschil komt hoogstwaarschijnlijk doordat de commerciële variant verpakt was in vocht waardoor de tofu extra vocht heeft kunnen opnemen tijdens de opslag. Daarnaast had de controle qua textuur een iets hogere stevigheid en kauwbaarheid ten opzichte van de commerciële tofu. Een mogelijke verklaring hiervoor is de relatie tussen de stevigheid van de tofu en het vochtgehalte. Een tofu met een hoger vochtgehalte heeft een zachtere textuur. Een andere mogelijke verklaring hiervoor kan het verschil in coagulant zijn. Bij de commerciële tofu is calciumsulfaat als coagulant gebruikt en bij de controle is magnesiumchloride gebruikt. Magnesiumchloride produceert een tofu met een hogere stevigheid ten opzichte van de tofu met calciumsulfaat, zoals beschreven staat in paragraaf 2.3. Tevens had de controle een hogere pH-waarde ten opzichte met de commerciële tofu. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in productieproces en mogelijk het verschil in coagulant.

Een kanttekening bij het onderzoek is dat alle metingen uitgevoerd zijn op eenzelfde batch en dat de opbrengst, het vochtgehalte en de textuur in enkelvoud, het eiwitgehalte in duplo en kleur en pH in

triplo geanalyseerd konden worden. Voor een vervolgonderzoek zijn metingen in duplo (waar mogelijk) van meerdere batches aan te raden, om een betrouwbaar resultaat te behalen.

In een eventueel vervolgonderzoek is het ook zinvol om de hoeveelheid zetmeel in de veldbonenmelk te meten en indien nodig het zetmeel enzymatisch af te breken met behulp van amylase.

Er wordt gesuggereerd dat polysachariden de coagulatie hinderen, afgeleid uit de resultaten (toenemend vochtgehalte en afnemende textuur). Uit een experiment met amylase zou nagegaan kunnen worden of de hoeveelheid zetmeel uit de veldboon een rol speelt in de tofukwaliteit. Voor het opschalen van de tofuproductie zal dit echter geen optie zijn, aangezien een enzym in relatief zuivere vorm de nodige kosten met zich mee zal brengen.

6 CONCLUSIE

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: *Hoe kan er tofu worden gemaakt met veldbonen welke vergelijkbaar is met de traditionele tofu gemaakt van sojabonen?* Hiervoor is kwalitatief onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de veldboon bij de productie van tofu.

Uit de resultaten van het onderzoek naar de juiste productiemethoden is er gebleken dat het gebruik van veldbonen voor de productie van tofu effect heeft op de traditionele productiemethode. Het is niet mogelijk om veldbonentofu te maken volgens de productiemethode van traditionele tofu. Door de veldbonen 48 uur te weken, de bonen te ontvliezen en de veldboon-water slurry niet te verhitten, is het mogelijk om veldbonenmelk te produceren.

Uit de resultaten van het onderzoek naar het effect van de veldboon op de fysisch-chemische aspecten van de tofu is er gebleken dat, naarmate er meer veldbonen worden gebruikt, dit effect heeft op de opbrengst, het vochtgehalte, de textuur, de pH-waarde en de kleur van de tofu.

Zo is gebleken dat de opbrengst van de tofu afneemt naarmate er meer veldbonen worden gebruikt waardoor er in praktijk meer sojamelk en veldbonenmelk nodig is om een tofu te produceren met dezelfde opbrengst als traditionele tofu.

Daarnaast is er uit de resultaten gebleken dat het vochtgehalte van de tofu toeneemt en de textuur van de tofu zachter wordt naarmate er meer veldbonen worden gebruikt voor de productie van tofu waardoor de structuur van de tofu verminderd ten opzichte van de traditionele tofu.

De pH-waarde van de tofu neemt af naarmate er meer veldbonen worden gebruikt. Dit komt onder meer doordat sojamelk een hogere pH-waarde heeft dan veldbonenmelk.

De kleur van de tofu wordt, naarmate er meer veldbonen aan de tofu worden toegevoegd en er minder sojabonen worden toegevoegd, groener en grauwer. Echter, blijft de lichtheid van de tofu ongeveer gelijk waardoor de variaties op het menselijk oog niet veel van elkaar lijken te verschillen.

Bovendien is uit de resultaten van het onderzoek gebleken dat de eiwitgehalten van de sojamelk en de veldbonenmelk van elkaar verschillen, met respectievelijk 2,25% en 1,51%. Het eiwitgehalte in de tofu zal afnemen naargelang er meer veldbonen worden gebruikt.

Uit dit kwalitatieve onderzoek is gebleken dat er tofu gemaakt kan worden van veldbonen door een deel van de sojabonen te vervangen. Vanuit het onderzoek is gebleken dat de veldboon de sojaboon tot 40% kan vervangen in de productie van tofu. Deze samenstelling (batch 4) resulteerde in het beste resultaat, dat het meest overeen kwam met de controle en de commerciële tofu, en waarbij de meeste sojabonen waren vervangen door veldbonen. Bij het gebruik van meer veldbonen tijdens de productie van tofu resulteerde, ten opzichte van de controle en de commerciële tofu, in beduidende verschillen. Vanuit de resultaten kan er dus geconcludeerd worden dat 40% van de sojabonen vervangen kan worden door veldbonen, zonder dat er beduidende kwaliteitsveranderingen optreden.

7 AANBEVELINGEN

Uit dit onderzoek zijn de volgende aanbevelingen tot stand gekomen:

Zoals in de inleiding stond vermeld, dient er bij de toepassing van veldbonen in voedingsmiddelen rekening gehouden te worden met de van nature aanwezige ANF in veldbonen. In dit onderzoek zijn de ANF in de veldboon en na diverse processtappen niet geanalyseerd. Een aantal behandelmethoden voor het verminderen van ANF zijn toegepast tijdens de productie van tofu, zoals weken, ontvliezen en verhitten. Vervolgonderzoek dient te worden verricht om te onderzoeken of de ANF voldoende worden verminderd tijdens deze productie van tofu.

Aangezien de voedselveiligheid, waaronder de ANF, van de tofu niet geanalyseerd is tijdens dit onderzoek, is de tofu ook niet sensorisch beoordeeld. Hierdoor kon er geen sensorisch onderzoek worden uitgevoerd op de commerciële en geproduceerde tofu's. Een vervolgonderzoek, waarbij eerst de ANF worden geanalyseerd, dient te worden uitgevoerd om na te gaan of de veldboon een sensorisch effect heeft op de tofu.

In het kader van de duurzaamheid zouden de toepassingsmogelijkheden van reststromen, zoals de okara, de vliezen en de wei in kaart gebracht kunnen worden. Hierbij zouden de reststromen hergebruikt kunnen worden voor de productie van nieuwe voedingsmiddelen.

- Alghamdi, S. S. (2009). Chemical Composition of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes under Various Water Regimes. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(4), 477-482. doi:10.3923/pjn.2009.477.482
- Alonso, R., Aguirre, A., & Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, 68(2), 159-165. doi:10.1016/S0308-8146(99)00169-7
- Bora, P. (2014). Anti-Nutritional Factors in Foods and their Effects. *Journal of Academia and Industrial Research*, 3(6), 285-290. Geraadpleegd van <http://jairjp.com/NOVEMBER%202014/09%20PARUL%20REVIEW.pdf>
- Brink, L., Postma-Smeets, A., Stafleu, A., & Wolvers, D. (2018). *Richtlijnen Schijf van Vijf*. Geraadpleegd op 4 april, 2019, van <https://www.voedingscentrum.nl/Assets/Uploads/voedingscentrum/Documents/Professionals/Schijf%20van%20Vijf/Voedingscentrum%20Richtlijnen%20Schijf%20van%20Vijf%202016%204.pdf>
- Brouwens, R., De Groot, P., & Kranendonk, W. (2013). Tabel 45A – Oplosbaarheid van vaste stoffen en vloeistoffen. In R. Brouwens, P. De Groot, & W. Kranendonk (Red.), *Binas*. Groningen, Nederland: Noordhoff Uitgevers.
- Cai, T. D., & Chang, K. D. (1997). Dry tofu characteristics affected by soymilk solid content and coagulation time. *Journal of Food Quality*, 20(5), 391-402. doi:10.1111/j.1745-4557.1997.tb00482.x
- CBS. (2018, 16 mei). Brede welvaart stijgt. Geraadpleegd op 3 mei, 2019, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/20/brede-welvaart-stijgt>
- Chandra, M. V., & Shamasundar, B. A. (2015). Texture Profile Analysis and Functional Properties of Gelatin from the Skin of Three Species of Fresh Water Fish. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 572-584. doi:10.1080/10942912.2013.845787
- Chen, J. (2009). Food oral processing—A review. *Food Hydrocolloids*, 23(1), 1-25. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.11.013
- Chen, S. (1989). Preparation of Fluid Soymilk. In T. H. Applewhite (Red.), *Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs* (pp. 341-352). Glenview, Verenigde Staten: Kraft, Inc.
- De Bakker, E., & Dagevos, H. (2010). *Vleesminnaars, vleesminderaars en vleesmijders; Duurzame eiwitconsumptie in een carnivore eetcultuur*. Geraadpleegd op 4 maart, 2019, van <https://edepot.wur.nl/141595>
- Elsheikh, E. A., Fadul, I. A., & El Tinay, A. H. (2000). Effect of cooking on anti-nutritional factors and in vitro protein digestibility (IVPD) of faba bean grown with different nutritional regimes. *Food Chemistry*, 68(2), 211-212. doi:10.1016/S0308-8146(99)00153-3

- Eurostat. (2017, 9 maart). Glossary: Carbon dioxide equivalent. Geraadpleegd op 5 maart, 2019, van https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Carbon_dioxide_equivalent
- Food Technology Corporation. (sd). Compression Test Methods. Geraadpleegd op 25 april, 2019, van <https://www.foodtechcorp.com/compression-test-methods>
- Food Technology Corporation. (sd). How A Texture Analyzer Works. Geraadpleegd op 25 april, 2019, van <https://www.foodtechcorp.com/how-texture-analyzer-works>
- Fredlund, K., Isaksson, M., Rossander-Hulthén, L., Almgren, A., & Sandberg, A. (2006). Absorption of zinc and retention of calcium: Dose-dependent inhibition by phytate. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 20(1), 49-57. doi:10.1016/j.jtemb.2006.01.003
- Gezondheidsraad. (2015). *Richtlijnen goede voeding*. Geraadpleegd op 5 maart, 2019, van <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2015/11/04/richtlijnen-goede-voeding-2015>
- Goud, J. K. (2016, 13 januari). Bacteriën – organismen zonder cellen. Geraadpleegd op 6 maart, 2019, van <http://www.plantenziektekunde.nl/bacterien>
- Haase, N. U., & Shi, H. L. (1991). A Characterization of Faba Bean Starch (*Vicia faba* L.). *Starch*, 43(6), 205–208. doi:10.1002/star.19910430602
- Hsu, D., Leung, H., Finney, P., & Morad, M. (1980). Effect of Germination on Nutritive Value and Baking Properties of Dry Peas, Lentils, and Faba Beans. *Journal of Food Science*, 45(1), 87-92. doi:10.1111/j.1365-2621.1980.tb03877.x
- Huang, Y. C., & Kuo, M. I. (2015). Rheological characteristics and gelation of tofu made from ultra-high-pressure homogenized soymilk. *Journal of Texture Studies*, 46(5), 335-344. doi:10.1111/jtxs.12133
- Jeunink, J., & Cheftel, J. (1979). Chemical and Physicochemical Changes in Field Bean and Soybean Proteins Texturized by Extrusion. *Journal of Food Science*, 44(5), 1322-1325. doi:10.1111/j.1365-2621.1979.tb06430.x
- Jung, S., Rickert, D. A., Deak, N. A., Aldin, E. D., Recknor, J., Johnson, L. A., & Murphy, P. A. (2003). Comparison of Kjeldahl and Dumas Methods for Determining Protein Contents of Soybean Products. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 80(12), 1169-1173. doi:10.1007/s11746-003-0837-3
- Kaldy, M. S., & Kasting, R. (1974). Amino Acid Composition and Protein Quality of Eight Faba Bean Cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 54(4), 869-871. doi:10.4141/cjps74-155
- Kijlstra, A., Groot, M., Van der Roest, J., Kasteel, D., & Eijck, I. (2003). *Analysis of black holes in our knowledge concerning animal health in the organic food production chain*. Geraadpleegd op 27 februari, 2019, van <http://orgprints.org/1034/1/IDhiaten.pdf>
- Konica Minolta. (sd). Understanding the CIE L*a*b* Color Space. Geraadpleegd op 25 april, 2019, van <https://sensing.konicaminolta.us/blog/understanding-the-cie-lch-color-space/>

- Kroll, R. D. (1984). Effect of pH on the binding of calcium ions by soybean proteins. *Cereal Chemistry*, 61(6), 490-495. Geraadpleegd van https://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1984/Documents/chem61_490.pdf
- Kwok, K. C., & Niranjana, K. (1995). Review: Effect of thermal processing on soymilk. *International Journal of Food Science and Technology*, 30(3), 263-295. doi:10.1111/j.1365-2621.1995.tb01377.x
- Li, J., Cheng, Y., Tatsumi, E., Saito, M., & Yin, L. (2014). The use of W/O/W controlled-release coagulants to improve the quality of bittern-solidified tofu. *Food Hydrocolloids*, 35, 627-635. doi:10.1016/j.foodhyd.2013.08.002
- Li, M., Chen, F., Yang, B., Lai, S., Yang, H., Liu, K., . . . Deng, Y. (2015). Preparation of organic tofu using organic compatible magnesium chloride incorporated with polysaccharide coagulants. *Food Chemistry*, 167, 168-174. doi:10.1016/j.foodchem.2014.06.102
- Liu, K. (1997). Nonfermented Oriental Soyfood. In K. Liu (Red.), *Soybeans* (pp. 137-217). Boston, Verenigde Staten: Springer.
- Liu, Z. S., & Chang, S. K. (2004). Effect of Soy Milk Characteristics and Cooking Conditions on Coagulant Requirements for Making Filled Tofu. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3405-3411. doi:10.1021/jf035139i
- Lönnerdal, B. (2002). Phytic acid-trace element (Zn, Cu, Mn) interactions. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(7), 749-758. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00640.x
- Lopez, H., Leenhardt, F., Coudray, C., & Remesy, C. (2002). Minerals and phytic acid interactions: is it a real problem for human nutrition? *International Journal of Food Science & Technology*, 37(7), 727-739. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00618.x
- Lund, D., & Lorenz, K. J. (1984). Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 20(4), 249-273. doi:10.1080/10408398409527391
- Mariscal-Landín, G., Lebreton, Y., & Sève, B. (2002). Apparent and standardised true ideal digestibility of protein and amino acids from faba bean, lupin and pea, provided as whole seeds, dehulled or extruded in pig diets. *Animal Feed Science and Technology*, 97(3-4), 183-198. doi:10.1016/S0377-8401(01)00354-6
- McHugh, T. (2016, februari). How Tofu Is Processed. Geraadpleegd op 26 maart, 2019, van <http://www.ift.org/food-technology/past-issues/2016/february/columns/processing-how-tofu-is-processed.aspx?page=viewall>
- Merkveld, N. (2019, 1 mei). Nichemarkt vleesvervangers groeit snel. Geraadpleegd op 22 mei, 2019, van <https://insights.abnamro.nl/2019/05/meer-innovatie-zorgt-voor-groei-van-vleesvervangers/>

- Natuur en Milieufederatie Drenthe. (2018, 26 januari). Wordt de veldboon straks een Heldboon? Geraadpleegd op 4 maart, 2019, van <https://www.nmfdrenthe.nl/nieuws/wordt-veldboon-straks-heldboon/>
- Nelson, A. I., Steinberg, M. P., & Wei, L. S. (1977). *Verenigde Staten Patentnr. 4041187*.
- O'Toole, D. K. (2004). SOYBEAN | Soymilk, Tofu, and Okara. *Encyclopedia of Grain Science*, 185-195. doi:10.1016/B0-12-765490-9/00173-7
- Palander, S., Laurinen, P., Perttilä, S., Valaja, J., & Partanen, K. (2006). Protein and amino acid digestibility and metabolizable energy value of pea (*Pisum sativum*), faba bean (*Vicia faba*) and lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for turkeys of different age. *Animal Feed Science and Technology*, 127(1-2), 89-100. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.07.003
- Pan, Z., & Tangratanaavee, W. (2003). Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. *LWT- Food Science and Technology*, 36(1), 143-151. doi:10.1016/S0023-6438(02)00202-5
- Poysa, V., & Woodrow, L. (2002). Stability of soybean seed composition and its effect on soymilk and tofu yield and quality. *Food Research International*, 35(4), 337-345. doi:10.1016/S0963-9969(01)00125-9
- Poysa, V., Woodrow, L., & Yu, K. (2006). Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. *Food Research International*, 39(3), 309-317. doi:10.1016/j.foodres.2005.08.003
- Prabhakaran, M. P., Perera, C. O., & Valiyaveetil, S. (2006). Effect of different coagulants on the isoflavone levels and physical properties of prepared firm tofu. *Food Chemistry*, 99(3), 492-499. doi:10.1016/j.foodchem.2005.08.011
- Profundo Research and Advice. (2014). *Soy Barometer, A Research report for the Dutch Soy Coalition*. Geraadpleegd op 6 maart, 2019, van <https://www.profundo.nl/download/sojacoalitie1410>
- Rekha, C. R., & Vijayalakshmi, G. (2013). Influence of processing parameters on the quality of soycurd (tofu). *Journal of Food Science Technology*, 50(1), 176-180. doi:10.1007/s13197-011-0245-z
- Rijksoverheid. (2019, 8 april). Rijksoverheid stimuleert duurzame productie voedsel. Geraadpleegd op 22 april, 2019, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/voeding/duurzame-productie-voedsel>
- Seves, M. (2015). *Eiwitkwaliteit en voedselveiligheidsaspecten van nieuwe eiwitbronnen en van hen producttoepassingen*. Geraadpleegd op 14 maart, 2019, van <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0176.pdf>
- Tsai, S. J., Lan, C. Y., Kao, C. S., & Chen, S. C. (1981). Studies on the Yield and Quality Characteristics of Tofu. *Journal of Food Science*, 46(6), 1734-1737. doi:10.1111/j.1365-2621.1981.tb04474.x
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2017). *World Population Prospects The 2017 Revision*. Geraadpleegd op 3 mei, 2019, van https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf

- USDA. (2018, april). Basic Report: 16108, Soybeans, mature seeds, raw. Geraadpleegd op 6 maart, 2019, van <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/16108>
- USDA. (2018, april). National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Geraadpleegd op 6 maart, 2019, van <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/16108>
- Van Dooren, C. (2018). *Naar een meer plantaardig voedingspatroon*. Geraadpleegd op 5 maart, 2019, van https://www.voedingscentrum.nl/Assets/Uploads/voedingscentrum/Documents/Professionals/Overig/brondocument_plantaardig%20voedingspatroon_januari_2018.pdf
- Van Egmond, H., Speijers, G., & Wouters, R. (1990). Van nature voorkomende vergiften in voedingsmiddelen. *Voeding*, 6, 51-82. Geraadpleegd van <https://www.rivm.nl/publicaties/van-nature-voorkomende-vergiften-in-voedingsmiddelen-deel-i-mycotoxinen>
- VN. (2018). *Europe and Central Asia Regional overview of Food Security and Nutrition*. Geraadpleegd op 26 februari, 2019, van Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/3/CA2703EN/CA2703EN.pdf>
- World Health Organization. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint*. Geraadpleegd op 20 maart, 2019, van https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43411/WHO_TRS_935_eng.pdf?ua=1
- Zarkadas, C. G., Gagnon, C., Gleddie, S., Khanizadeh, S., Cober, E. R., & Guillemette, R. J. (2007). Assessment of the protein quality of fourteen soybean [Glycine max (L.) Merr.] cultivars using amino acid analysis and two-dimensional electrophoresis. *Food Research International*, 40(1), 129-146. doi:10.1016/j.foodres.2006.08.006
- Zarkadas, C. G., Gagnon, C., Poysa, V., Khanizadeh, S., Cober, E. R., Chang, V., & Gleddie, S. (2007). Protein quality and identification of the storage protein subunits of tofu and null soybean genotypes, using amino acid analysis, one and two-dimensional gel electrophoresis, and tandem mass spectrometry. *Food Research International*, 40(1), 111-128. doi:10.1016/j.foodres.2006.08.005

BIJLAGEN

Bijlage I Voedingswaardetabel sojaboon en veldboon

Tabel 6: Voedingswaarde sojaboon en veldboon (USDA, 2018). IU = International Unit; RAE = retinol-activiteit equivalenten

Nutriënt	Unit	Sojaboon	Veldboon	Veldboon : sojaboon
		<i>Per 100 g</i>	<i>Per 100 g</i>	
Water	g	8,54	10,98	1,3
Energie	kcal	446	341	0,8
Eiwit	g	36,49	26,12	0,7
Vet	g	19,94	1,53	0,1
Koolhydraten	g	30,16	58,29	1,9
Vezels	g	9,3	25,0	2,7
Suikers	g	7,33	5,70	0,8
Mineralen				
Calcium, Ca	mg	227	103	0,4
IJzer, Fe	mg	15,70	6,70	0,4
Magnesium, Mg	mg	280	192	0,7
Fosfor, P	mg	704	421	0,6
Kalium, K	mg	1797	1062	0,6
Natrium, Na	mg	2	13	6,5
Zink, Zn	mg	4,89	3,14	0,6
Vitamines				
Vitamine C	mg	6,0	1,4	0,2
Thiamine	mg	0,874	0,555	0,6
Riboflavine	mg	0,870	0,333	0,4
Niacine	mg	1,623	2,832	1,7
Vitamine B6	mg	0,377	0,366	1,0
Foliumzuur	µg	375	423	1,1
Vitamine B12	µg	0,00	0,00	
Vitamine A, RAE	µg	1	3	3,0
Vitamine A, IU	IU	22	53	2,4
Vitamine E	mg	0,85	0,05	0,1
Vitamine D (D2 + D3)	µg	0,0	0,0	
Vitamine D	IU	0	0	
Vitamine K	µg	47,0	9,0	0,2
Vetten				
Verzadigde vetzuren	g	2,884	0,254	0,1
Enkelvoudig onverzadigde vetzuren	g	4,404	0,303	0,1
Meervoudig onverzadigde vetzuren	g	11,255	0,627	0,1
Transvetzuren	g	0,000	0,000	
Cholesterol	mg	0	0	

Bijlage II Aminozuursamenstelling en -score

Tabel 7: Aminozuursamenstelling sojaboon afkomstig uit drie verschillende artikelen

Aminozuur	(Zarkadas et al., 2007)	(Jeunink & Cheftel, 1979)	(Zarkadas et al., 2007)	Gemiddelde
Alanine	3,9	5,1	4,1	4,4
Asparaginezuur	11,1	13,5	11,8	12,1
Cysteïne	2,1	1,1	2,2	1,8
Glutaminezuur	17,8	21,0	18,3	19,0
Tyrosine	3,9	3,7	4,0	3,9
Arginine	7,3	8,5	8,5	8,1
Glycine	3,6	4,8	3,8	4,0
Proline	4,7	5,8	5,1	5,2
Serine	5,5	5,9	4,7	5,4
Phenylalanine	5,3	5,7	5,5	5,5
Histidine	2,8	3,1	2,8	2,9
Isoleucine	4,9	5,2	4,9	5,0
Leucine	7,7	9,1	7,7	8,2
Lysine	6,4	7,1	6,6	6,7
Methionine	2,1	0,8	2,1	1,7
Threonine	5,0	4,5	4,0	4,5
Tryptofaan	1,3		1,3	1,3
Valine	5,2	5,2	5,2	5,2

Tabel 8: Aminozuurscore sojaboon, gebaseerd op de gemiddelde aminozuursamenstelling berekend in Tabel 7

Aminozuur	Essentiële aminozuurbehoefte bij volwassenen (mg/g eiwit) (World Health Organization, 2007)	Essentiële aminozuren sojaboon (mg/g eiwit)	AAS sojaboon
Histidine	15	29	1,9
Isoleucine	30	50	1,7
Leucine	59	82	1,4
Lysine	45	67	1,5
Methionine+ cysteïne	22	35	1,6
Methionine	16	17	1,1
Cysteïne	6	18	3,0
Phenylalanine+ tyrosine	38	94	2,5
Threonine	23	45	2,0
Tryptofaan	6	13	2,2
Valine	39	52	1,3

Tabel 9: Aminozuursamenstelling veldboon afkomstig uit vier verschillende publicaties

Aminozuur	(Hsu, Leung, Finney, & Morad, 1980)	(Kaldy & Kasting, 1974)	(Palander, Laurinen, Perttilä, Valaja, & Partanen, 2006)	(Jeunink & Cheftel, 1979)	Gemiddelde
Alanine	4,5	4,2	4,0	4,3	4,2
Asparaginezuur	11,3	13,0	9,3	12,5	11,5
Cysteïne	3,2	1,7	1,3	1,2	1,8
Glutaminezuur	17,2	20,3	15,7	17,0	17,5
Tyrosine	3,1	2,8	3,2	3,2	3,1
Arginine	8,8	10,5	9,0	10,0	9,6
Glycine	4,3	4,2	4,0	4,2	4,2
Proline	5,2	4,1	4,3	4,2	4,4
Serine	5,5	4,2	4,3	5,3	4,8
Phenylalanine	4,4	4,4	4,0	4,5	4,3
Histidine	2,8	2,6	2,6	2,5	2,6
Isoleucine	3,4	4,3	3,7	4,5	4,0
Leucine	7,6	8,3	6,6	8,1	7,6
Lysine	7,0	6,6	6,0	6,8	6,6
Methionine	1,1	0,8	0,5	0,8	0,8
Threonine	3,7	3,3	3,0	3,6	3,4
Tryptofaan		1,0			1,0
Valine	4,1	3,9	3,4	4,8	4,0

Tabel 10: Aminozuurscore veldboon, gebaseerd op de gemiddelde aminozuursamenstelling berekend in Tabel 9

Aminozuur	Essentiële aminozuurbehoefte bij volwassenen (mg/g eiwit) (World Health Organization, 2007)	Essentiële aminozuren veldboon (mg/g eiwit)	AAS veldboon
Histidine	15	26	1,7
Isoleucine	30	40	1,3
Leucine	59	76	1,3
Lysine	45	66	1,5
Methionine+ cysteïne	22	26	1,2
Methionine	16	8	0,5
Cysteïne	6	18	3,0
Phenylalanine+ tyrosine	38	74	1,9
Threonine	23	34	1,5
Tryptofaan	6	10	1,7
Valine	39	40	1,0

MATERIALEN

- Gedroogde veldbonen (Waldfarming)
- 2 liter high-performance blender (JTC Omniblend V TM-800, Saro)
- Kraanwater
- Timer
- 3 liter kookpan
- Zeef
- Kaasdoek
- 100 ml sample-potjes
- Weegschaal

METHODE

1. Week 100 gram veldbonen in 375 gram kraanwater voor 48 uur in een grote pan bij kamertemperatuur;
2. Weeg het weekwater en gooi het weekwater weg;
3. Weeg de geweekte veldbonen;
4. Ontdoe de geweekte veldbonen van de vliezen door deze te pellen;
5. Weeg de vliezen en de gepelde veldbonen;
6. Neem dezelfde hoeveelheid kraanwater als het reeds weggegooid weekwater en doe dit samen met de gepelde veldbonen in de high-performance blender;
7. Zet de blender 5 minuten aan en maal er een homogene slurrymassa van;
8. Giet na het blenden 1000 gram kraanwater bij de slurry en roer dit goed;
9. Leg de kaasdoek in de zeef en zet de zeef op de kookpan;
10. Giet de massa in de kaasdoek zodat deze gefiltreerd wordt: de veldbonenmelk gaat door de kaasdoek heen en de okara blijft in de kaasdoek achter;
11. Weeg de veldbonenmelk en de okara af;
12. Neem een sample van de veldbonenmelk.

MATERIALEN

- Gedroogde sojabonen (DTC)
- 2 liter high-performance blender (JTC Omniblend V TM-800, Saro)
- Kraanwater
- Inductiekookplaat
- Pollepel
- Thermometer
- Timer
- 3 liter kookpan
- Zeef
- Kaasdoek
- 100 ml sample-potjes
- Weegschaal

METHODE

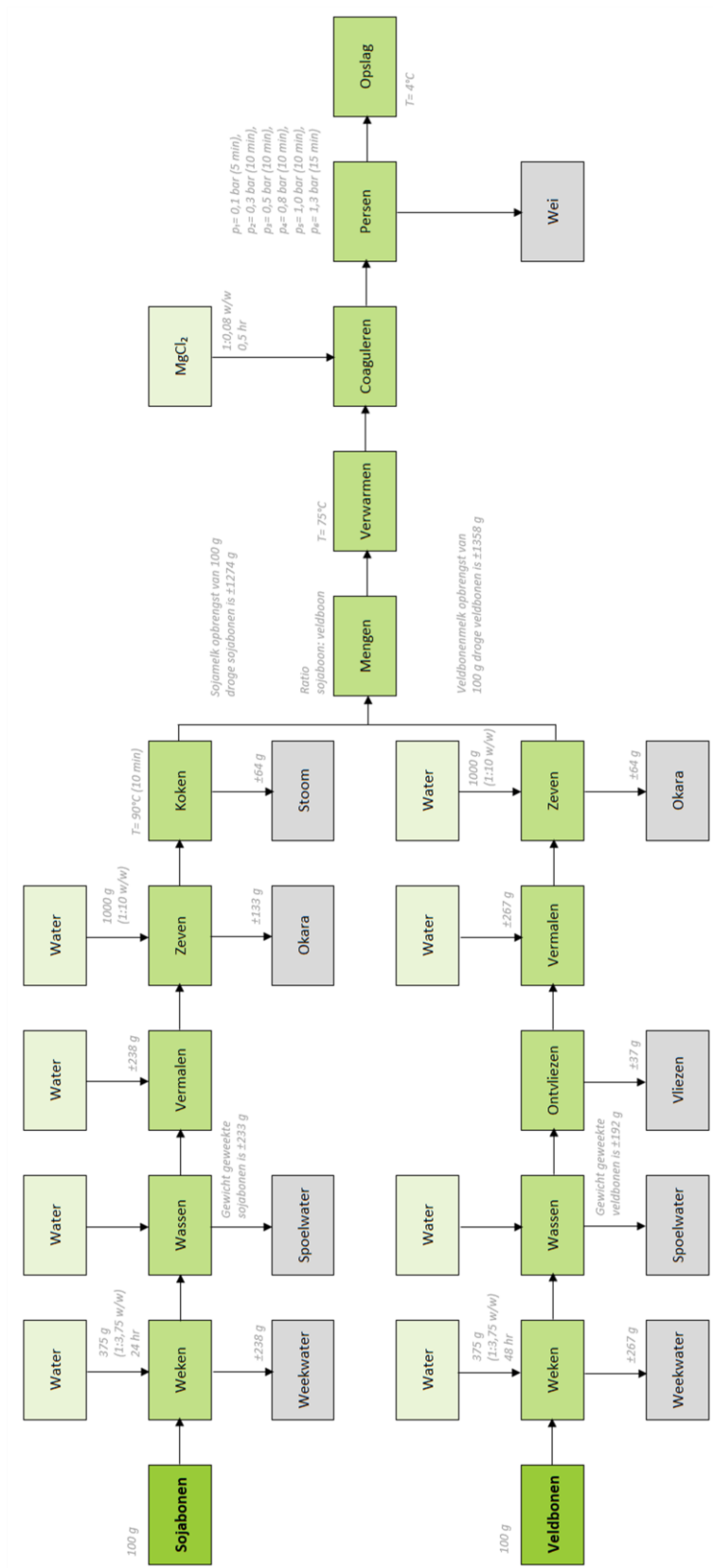
1. Week 100 gram sojabonen in 375 gram kraanwater voor 24 uur in een grote pan bij kamertemperatuur;
2. Weeg het weekwater en gooi het weekwater weg;
3. Weeg de geweekte sojabonen;
4. Neem dezelfde hoeveelheid als het reeds weggegooid weekwater en doe dit samen met de geweekte sojabonen in de high-performance blender;
5. Zet de blender 5 minuten aan en maal er een homogene slurrymassa van;
6. Giet na het blenden 1000 gram kraanwater bij de slurry en roer dit goed;
7. Leg de kaasdoek in de zeef en zet de zeef op de kookpan;
8. Giet de massa in de kaasdoek zodat deze gefiltreerd wordt: de sojamelk gaat door de kaasdoek heen en de okara blijft in de kaasdoek achter;
9. Weeg de sojamelk en de okara af;
10. Breng de sojamelk op de inductiekookplaat naar 90°C en laat de sojamelk voor 10 minuten op deze temperatuur verwarmen (constant roeren);
11. Neem een sample van de sojamelk.

MATERIALEN

- Veldbonenmelk (Bijlage III)
- Sojamelk (Bijlage IV)
- Magnesiumchloride (De Online Zeepwinkel)
- Inductiekookplaat
- Kaaspers
- Thermometer
- Timer
- 3 liter kookpan
- Pollepel
- Kaasvorm (inhoud van 500 gram)
- 100 ml sample-potjes
- Weegschaal

METHODE

1. Doe, aan de hand van Tabel de juiste verhouding sojaboon: veldboon in de kookpan;
2. Verwarm de soja-/veldbonenmelk tot 75°C;
3. Maak de coagulant-oplossing klaar: los 8 gram magnesiumchloride op in warm water;
4. Voeg de gemaakte coagulant-oplossing toe aan de soja-/veldbonenmelk van 75°C en roer voor 10 seconden door;
5. Sluit de kookpan af met de deksel en laat het 30 minuten rusten;
6. Doe de wrongel, met zo min mogelijk vocht, in de kaasvorm;
7. Neem een sample van de wei;
8. Stel de kaaspers in op: $p_1 = 0,1$ bar voor 5 minuten, $p_2 = 0,3$ bar voor 10 minuten, $p_3 = 0,5$ bar voor 10 minuten, $p_4 = 0,8$ bar voor 10 minuten, $p_5 = 1,0$ bar voor 10 minuten en $p_6 = 1,3$ bar voor 15 minuten;
9. Zet de kaasvorm onder de kaaspers en zet de kaaspers aan;
10. Na 60 minuten, haal de tofu uit de kaasvorm;
11. Verpak de tofu in de bewaarbak en sluit af met folie;
12. Bewaar de tofu in de koelkast bij 4°C.



Figuur 22. Processchema/massabalans

Tabel 11: Variaties verhouding sojaboon : veldboon in tofu

Batch	Soort boon		Coagulant	
	Sojaboon (%)	Veldboon (%)	Soort	Hoeveelheid (%)
Controle	100	0	MgCl ₂	8
1	90	10	MgCl ₂	8
2	80	20	MgCl ₂	8
3	70	30	MgCl ₂	8
4	60	40	MgCl ₂	8
5	50	50	MgCl ₂	8
6	40	60	MgCl ₂	8
7	30	70	MgCl ₂	8
8	20	80	MgCl ₂	8
9	10	90	MgCl ₂	8

Bijlage VIII Stikstofbepaling met Kjeldahl-methode

Drie belangrijke stappen:



De optimale monsterhoeveelheden (van 0,01 tot 5 g) hangen af van het verwachte stikstofgehalte, maar hebben ook invloed op de keuze van de titratieconcentratie. De limiet van monsterhoeveelheden moet normaal gesproken experimenteel worden gevonden. Het zou 30 - 140 mg N moeten bevatten. Idealiter zou de deeltjesgrootte <1 mm moeten zijn. Het monster moet homogeen zijn en indien nodig worden gemalen.

Het gebruikte volume zwavelzuur van 98% is een functie van het verwachte verbruik van zwavelzuur in de redoxreactie die zwavelzuur omzet in zwaveldioxide. Tegen het einde van de digestie moet een teveel aan zuur in een voldoende hoeveelheid aanwezig zijn om de niet-vluchtige ammoniumionen in oplossing te houden en het verlies van vluchtige ammoniak te voorkomen.

De verteringstijd hangt af van de chemische structuur van het monster, de temperatuur, de hoeveelheden sulfaat-zout en de katalysator.

Digestie

- Schud het monster voorzichtig, zodat het niet schuimt;
- Weeg ongeveer 10 g monster af op een analytische balans en noteer deze hoeveelheid;
- Breng het monster over in een vergistingsfles;
- Voeg 1 Kjeldahl-tablet toe;
- Voeg 5 – 10 kooksteentjes toe;
- Voeg 15 ml zwavelzuur 98% toe;
- Suspendeer het monster voorzichtig door de buis zachtjes te zwenken;
- Voeg twee keer 2 ml 30%-waterstofperoxide (breekt organisch materiaal af) toe, zwenk tussendoor;
- Laat de vergistingsbuizen 5 minuten staan;
- Plaats het rek met de vergistingsbuizen in het verwarmingsblok⁸;
- Controleer het waterreservoir⁹ van de scrubber op voldoende demiwater en vul bij indien nodig, en zet de waterkoeling aan met de groene kraan;
- Laat de buizenrek zakken;
- Zet de scrubber¹⁰ vervolgens aan op stand 1;
- Verwarm het mengsel tot 420°C;
- Zet bij 350°C de scrubber op stand 4;

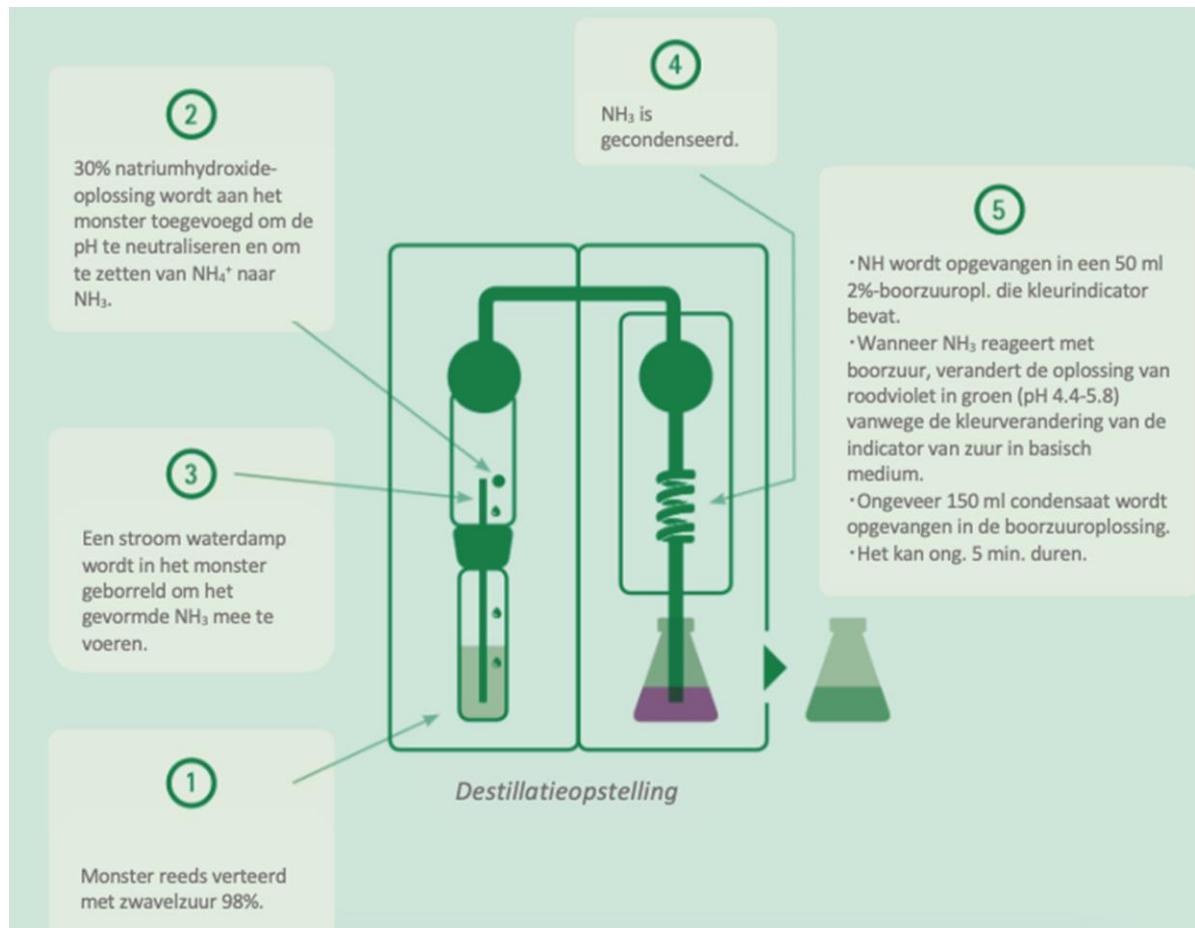
⁸ Velp Scientifica – DKL Series Automatic Kjeldahl Digestion Unit

⁹ Velp Scientifica – JPV Recirculating Water Vacuum Pump

¹⁰ Velp Scientifica SMS Scrubber

- Als de 420°C is bereikt, zet het verwarmen 60 minuten voort;
- Na destructietijd gaan de buizen automatisch omhoog. Laat de buizen nog 30 minuten zitten;
- Laat de buizen afkoelen in het rek tot kamertemperatuur;
- Vervolgens wordt het buizenrek verplaatst naar de destillatie-eenheid.

Destillatie



Figuur 23. Destillatieopstelling Kjeldahl-analyse

- Plaats een lege, schone buis in het destilleerapparaat¹¹;
- Zet een leeg bekeerglas onder de afvoerslang;
- Stel het apparaat in op 'wash-down';
- Verwijder na de wash-down de buis en het bekeerglas;
- Klem nu het eigen monster in het apparaat en zet een schoon bekeerglas van 250 ml, met daarin alvast een magneetroerstaafje, onder de afvoerslang;
- Analysis → Single distillation → Confirm;
- Na ongeveer 5 minuten is het monster klaar (in bekeerglas) en deze breng je over naar de titratieopstelling.

¹¹ Velp Scientifica – UDK 149 Automatic Kjeldahl Distillation Unit

Titratie

- Controleer de sterkte HCl en noteer deze;
- Plaats het monster op de magneetroerder¹² en steek de pH-elektrode en de doseerslang in het monster;
- Zet de potentiometrische titrator¹³ aan en klik Menu → Manual control → Dosing → Ok;
- Na enkele minuten is het monster gemeten. Noteer het aantal ml getitreerde HCl¹⁴.

¹² Metrohm – 801 Stirrer

¹³ Metrohm – 848 Titrino Plus

¹⁴ Met het benodigde volume en de concentratie HCl kan het aantal mol stikstofatomen en vervolgens het percentage eiwit in het monster worden berekend

Bijlage IX Resultaten tofu-opbrengst

Tabel 12: Resultaten opbrengst tofu per 100 gram gedroogde bonen

Batch	Tofu (g)	Sojabonen droog (g)	Veldbonen droog (g)	Bonen totaal (g)
Controle	157,38	100	0	100
1	160,55	90	10	100
2	156,78	80	20	100
3	143,97	70	30	100
4	142,79	60	40	100
5	139,77	50	50	100
6	140,73	40	60	100
7	109,47	30	70	100
8	74,36	20	80	100

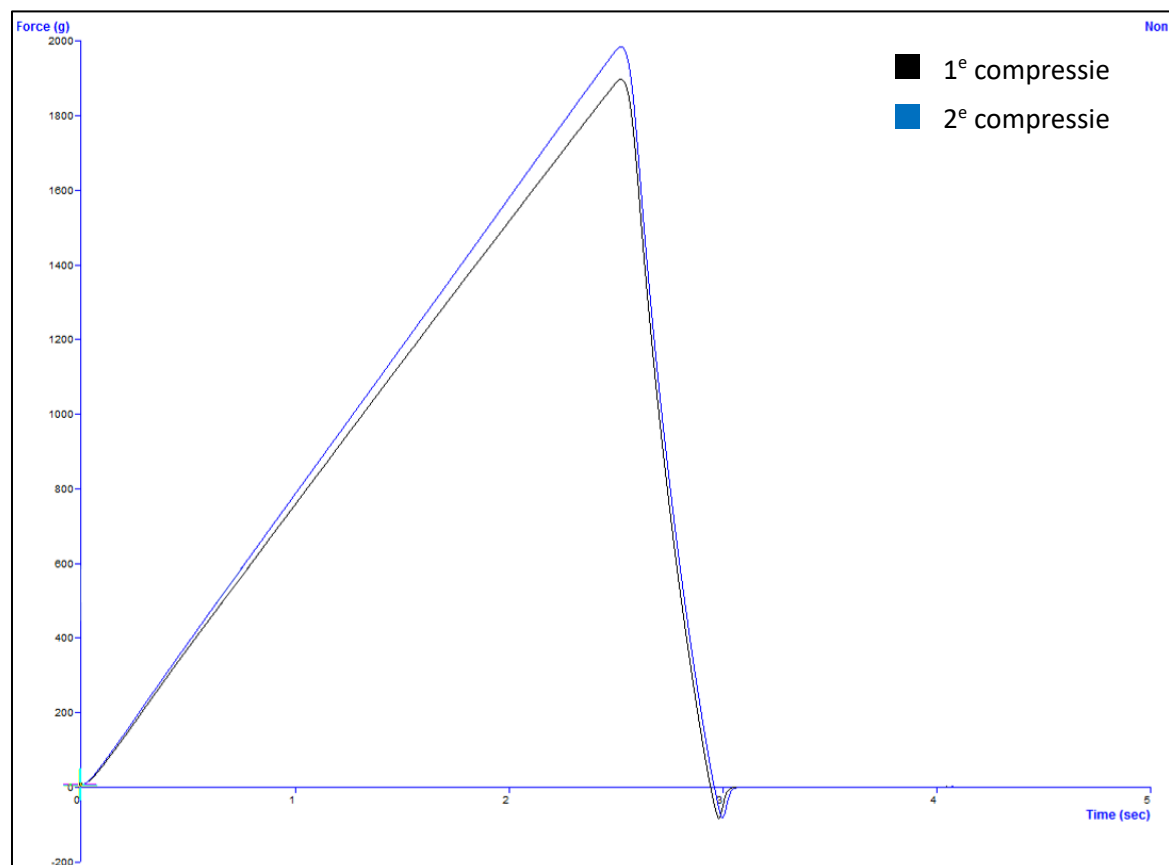
Tabel 13: *Vochtgehalte van de tofumonsters*

Batch	Vochtgehalte (%)
Commerciële tofu	74,68
Controle	68,64
1	72,78
2	67,63
3	66,77
4	72,63
5	72,82
6	77,77
7	82,73
8	79,89

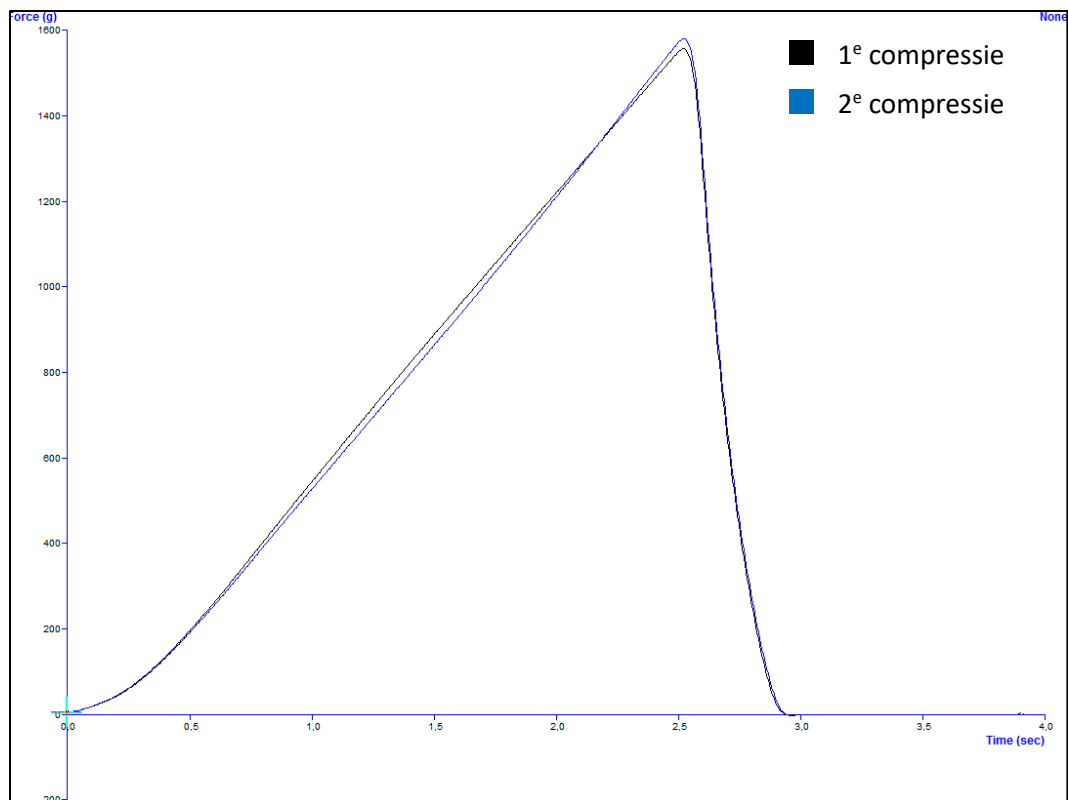
Bijlage XI Resultaten Texture Analyzer

Tabel 14: De textuur eigenschappen van de tofumonsters

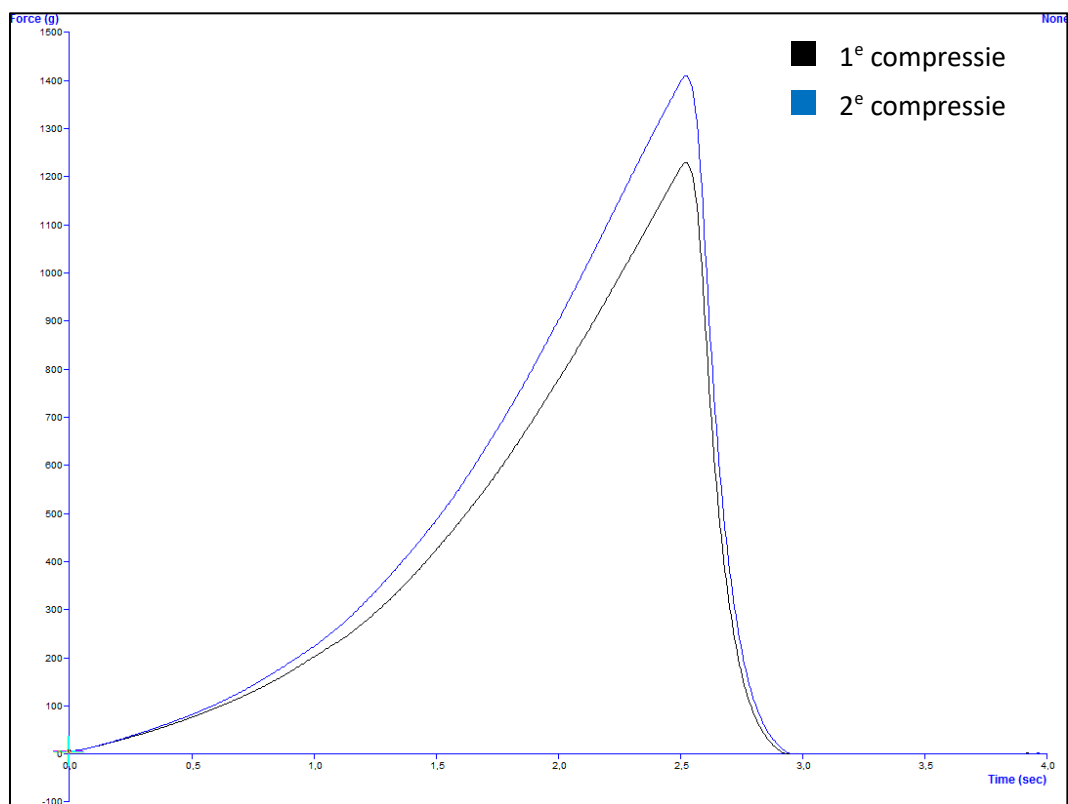
Batch	Stevigheid (g)	Samenhang (%)	Veerbaarheid (s)	Kleverigheid (J)	Kauwbaarheid (J)
Commerciële tofu	1900,2	105	1,000	4,14	1987,04
Controle	2064,1	97	1,000	0,31	2002,10
1	1558,8	99	1,002	0,11	1550,21
2	1351,0	114	0,999	0,13	1533,38
3	1229,7	115	1,000	0,01	1420,17
4	2094,7	99	1,000	0,49	2083,88
5	1320,9	102	1,000	0,44	1352,16
6	845,1	102	1,000	5,97	860,87
7	307,7	101	1,000	6,09	311,54
8	246,4	122	0,999	1,96	301,50



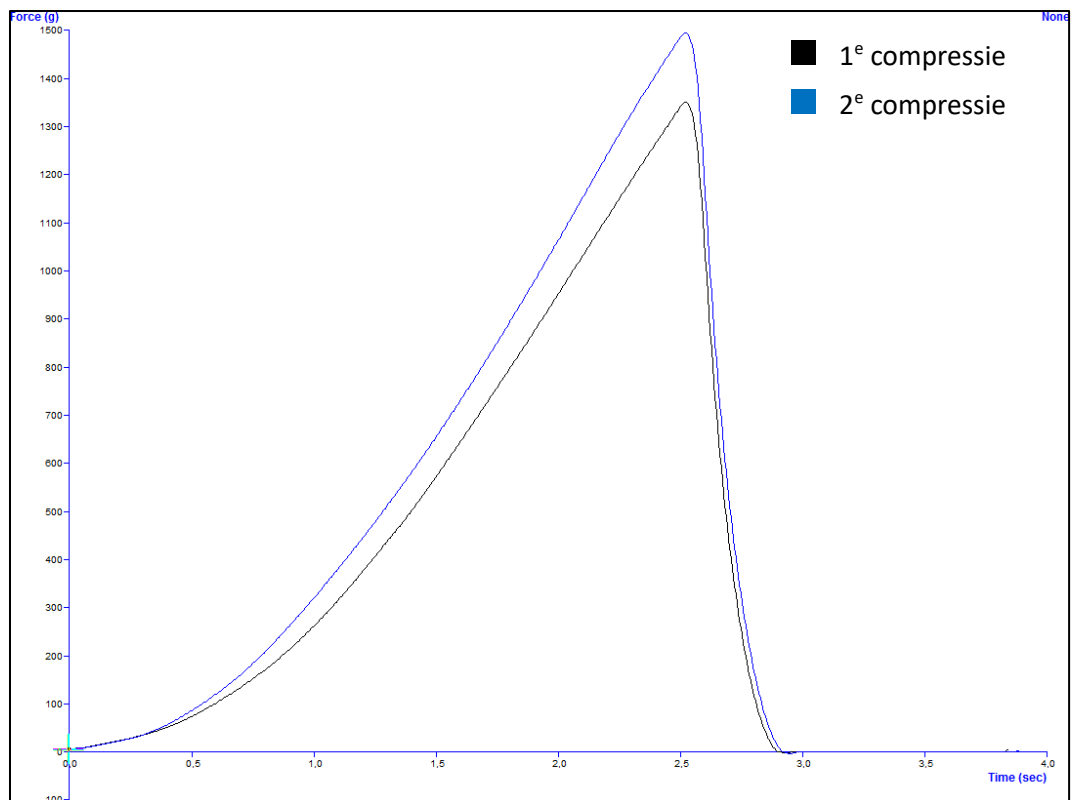
Figuur 24. Resultaten Texture Analyzer commerciële tofu



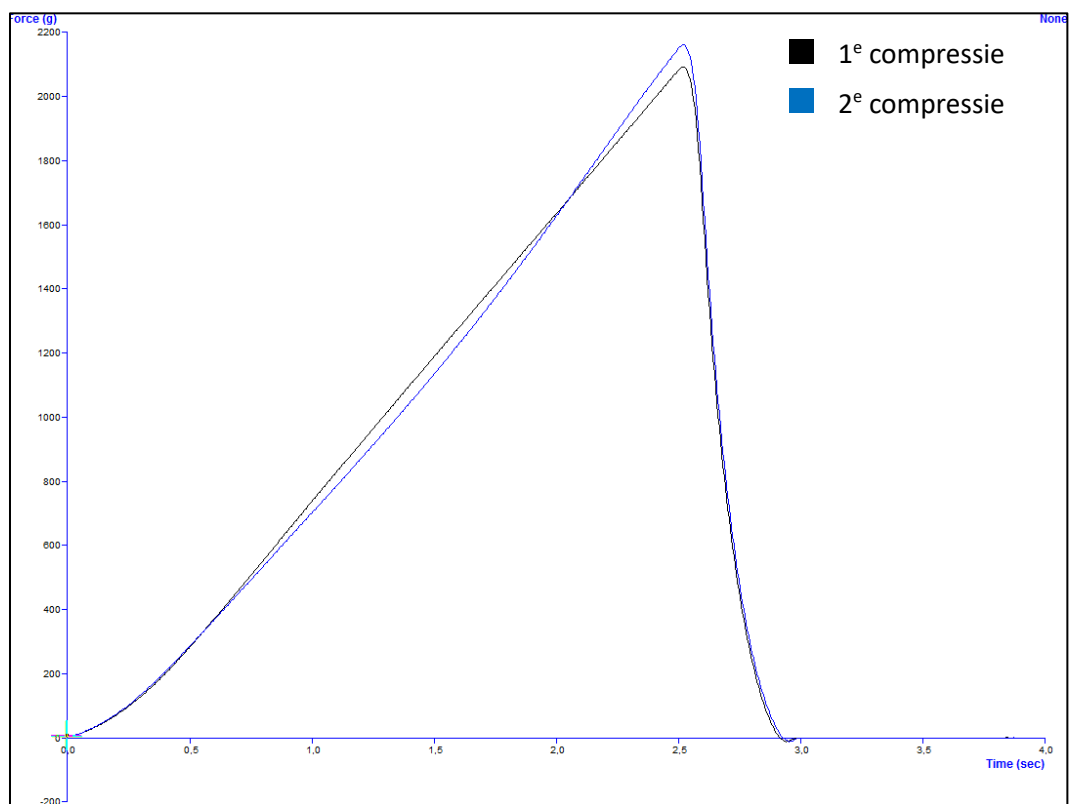
Figuur 25. Resultaten Texture Analyzer batch 1



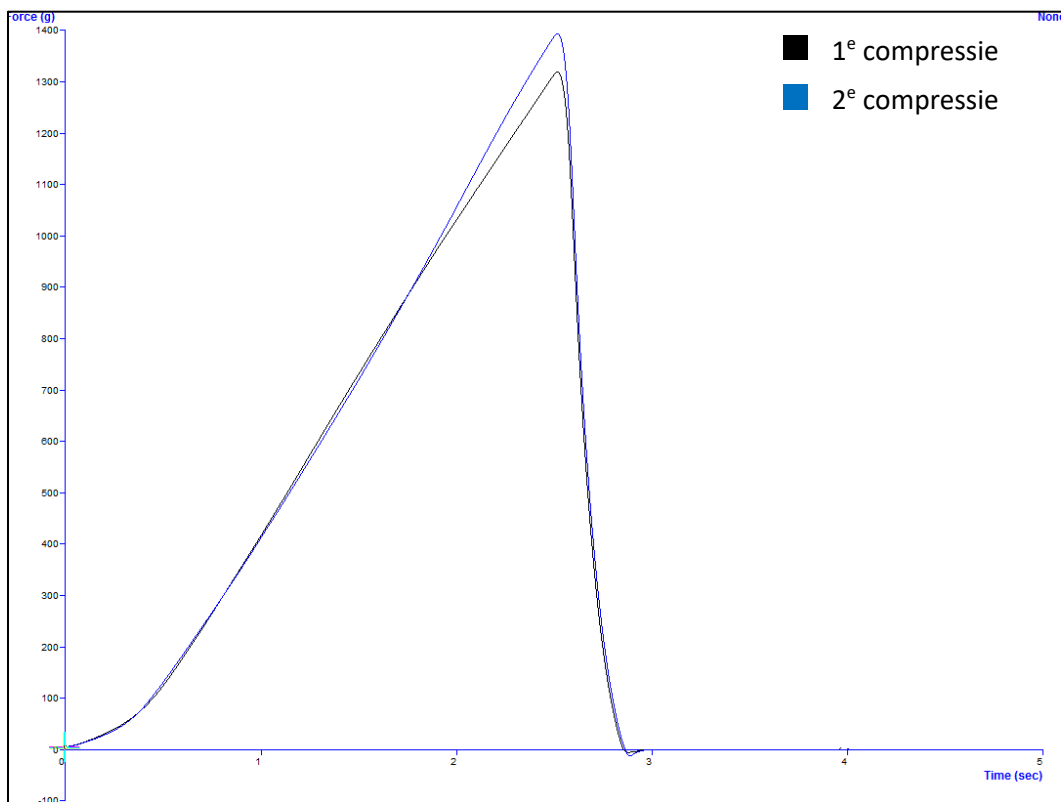
Figuur 26. Resultaten Texture Analyzer batch 2



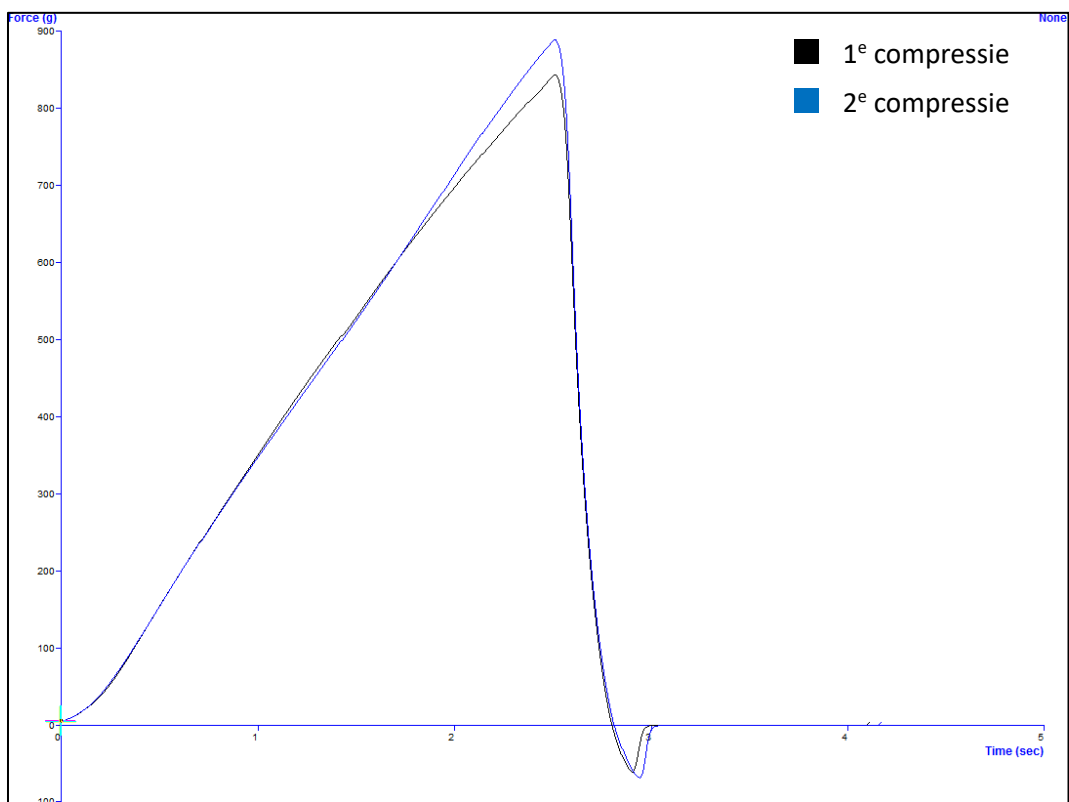
Figuur 27. Resultaten Texture Analyzer batch 3



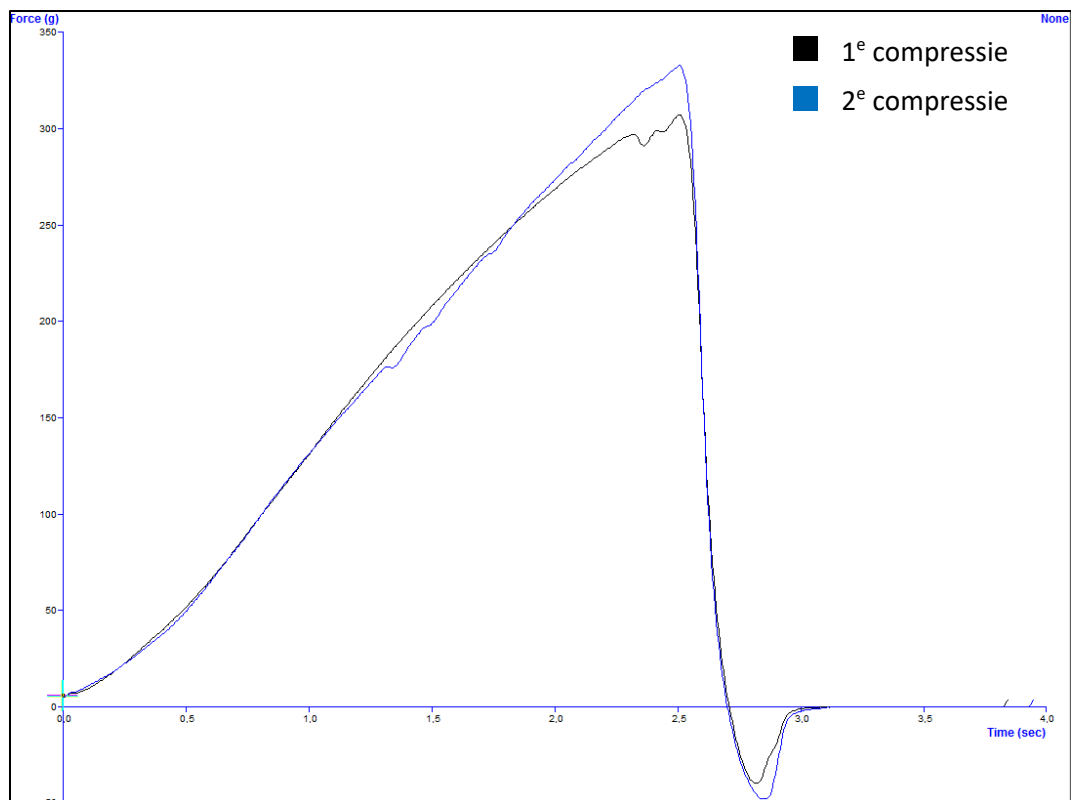
Figuur 28. Resultaten Texture Analyzer batch 4



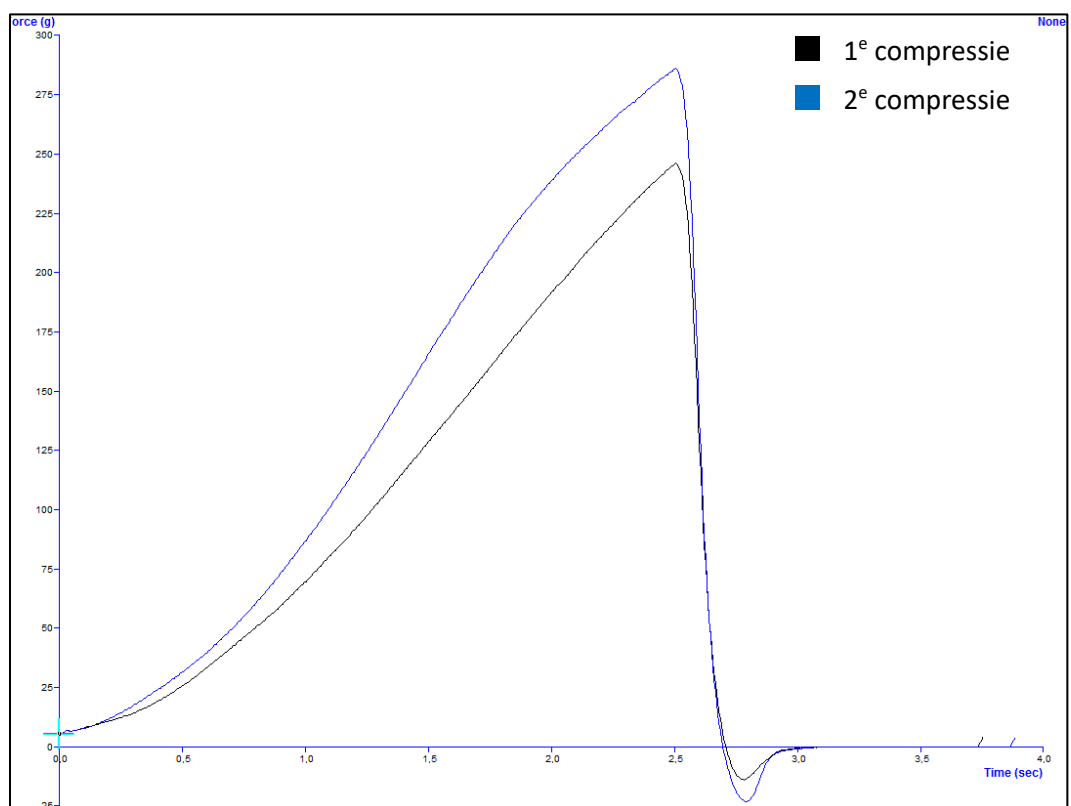
Figuur 29. Resultaten Texture Analyzer batch 5



Figuur 30. Resultaten Texture Analyzer batch 6



Figuur 31. Resultaten Texture Analyzer batch 7



Figuur 32. Resultaten Texture Analyzer batch 8

Bijlage XII Resultaten pH-meting

Tabel 15: Resultaten pH-meting

Monster	pH 1 ^e meting	pH 2 ^e meting	Gemiddelde
Commerciële tofu	6,17	6,21	6,19
Controle	6,60	6,71	6,66
Batch 1	6,38	6,41	6,40
Batch 2	6,35	6,37	6,36
Batch 3	6,35	6,36	6,36
Batch 4	6,37	6,37	6,37
Batch 5	6,38	6,39	6,39
Batch 6	6,30	6,26	6,28
Batch 7	6,19	6,21	6,20
Batch 8	6,21	6,24	6,23

Bijlage XIII Resultaten kleurmeting

Tabel 16: Resultaten kleurmeting commerciële tofu in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	81,98	22,76	102,43
2	83,88	21,20	105,70
3	83,33	21,77	105,14
Gem.	83,06	21,91	104,42

Tabel 17: Resultaten kleurmeting controle in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	81,00	20,54	98,57
2	84,84	17,27	103,80
3	84,82	17,47	103,34
Gem.	83,55	18,43	101,90

Tabel 18: Resultaten kleurmeting batch 1 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	81,93	19,48	102,23
2	85,40	17,12	106,53
3	85,36	17,10	106,52
Gem.	85,23	17,90	105,09

Tabel 19: Resultaten kleurmeting batch 2 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	82,93	18,56	104,08
2	83,73	17,87	105,60
3	82,76	18,06	104,84
Gem.	83,14	18,16	104,84

Tabel 20: Resultaten kleurmeting batch 3 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	80,55	17,85	104,19
2	83,34	17,44	106,08
3	83,16	17,42	106,01
Gem.	82,35	17,57	105,43

Tabel 21: Resultaten kleurmeting batch 4 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	81,32	19,27	102,96
2	84,97	16,89	107,19
3	84,58	17,03	106,92
Gem.	83,62	17,73	105,69

Tabel 22: Resultaten kleurmeting batch 5 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	80,68	17,84	104,59
2	83,33	16,25	107,93
3	83,52	16,18	107,88
Gem.	82,51	16,76	106,80

Tabel 23: Resultaten kleurmeting batch 6 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	84,02	16,53	107,53
2	84,33	16,94	107,85
3	84,67	16,92	107,94
Gem.	84,34	16,80	107,77

Tabel 24: Resultaten kleurmeting batch 7 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	84,40	16,50	108,52
2	84,25	16,46	108,62
3	84,18	16,60	108,15
Gem.	84,28	16,52	108,43

Tabel 25: Resultaten kleurmeting batch 8 in triplo gemeten

	L*	C*	h
1	83,01	16,79	108,66
2	83,67	16,53	109,06
3	83,90	16,58	109,42
Gem.	83,53	16,63	109,05

Bijlage XIV Resultaten Kjeldahl-analyse en berekeningen

Tabel 26: *Berekende eiwitgehalten van sojamelk, veldbonenmelk en alle wei*

	v (ml)	[HCl]	V ₁ (ml HCl)	V _{blanco} (ml HCl)	Eiwit (mg/ml)	Eiwitconcentratie (%)	Eiwitconc. gem. (%)
Sojamelk							
1	10,305	1,0	2,968	0,342	22,309	2,23	2,25
2	10,004	1,0	2,934	0,342	22,682	2,27	
Veldbonenmelk							
1	10,032	0,1	17,346	0,482	14,716	1,47	1,51
2	10,171	0,1	18,560	0,482	15,560	1,56	
Controle wei							
1	10,093	0,1	7,140	0,342	5,896	0,59	0,63
2	10,153	0,1	8,210	0,342	6,784	0,68	
Batch 1 wei							
1	10,177	0,1	5,630	0,482	4,428	0,44	0,44
2	9,997	0,1	5,574	0,482	4,459	0,45	
Batch 2 wei							
1	10,325	0,1	5,806	0,482	4,514	0,45	0,44
2	10,309	0,1	5,778	0,622	4,378	0,44	
Batch 3 wei							
1	10,338	0,1	5,942	0,622	4,505	0,45	0,45
2	10,338	0,1	5,988	0,622	4,544	0,45	
Batch 4 wei							
1	10,105	0,1	3,068	0,482	2,240	0,22	0,22
2	10,086	0,1	3,068	0,482	2,244	0,22	
Batch 5 wei							
1	9,960	0,1	4,558	0,482	3,582	0,36	0,35
2	10,050	0,1	4,416	0,482	3,427	0,34	
Batch 6 wei							
1	9,988	0,1	3,830	0,482	2,934	0,29	0,28
2	9,998	0,1	3,514	0,482	2,655	0,27	
Batch 7 wei							
1	10,350	0,1	5,308	0,482	4,082	0,41	0,43
2	10,233	0,1	5,586	0,342	4,486	0,45	
Batch 8 wei							
1	10,417	0,1	5,454	0,622	4,061	0,41	0,41
2	10,233	0,1	5,390	0,622	4,079	0,41	
Batch 9 wei							
1	10,129	0,1	4,942	0,342	3,976	0,40	0,39
2	10,295	0,1	4,930	0,342	3,901	0,39	

Berekening:

Aan het eind van de Kjeldahl-analyse zijn de hoeveelheden getitreerd HCl genoteerd, zoals te zien is in kolom V₁ in Tabel 27. Met de onderstaande formule zijn de eiwitconcentraties berekend.

$$Eiwit \left(\frac{mg}{ml} \right) = \frac{(V_1 - V_{Blanco}) * [HCl] * 14,0067 * Conv.}{v}$$

Vergelijking 2: Eiwitconcentratie berekenen

waarin:

V₁ = volume toegevoegd HCl aan het monster (ml)

V_{Blanco} = volume toegevoegd HCl aan de blanco (ml)

[HCl] = HCl concentratie (N)

14,0067 = Atoommassa stikstof

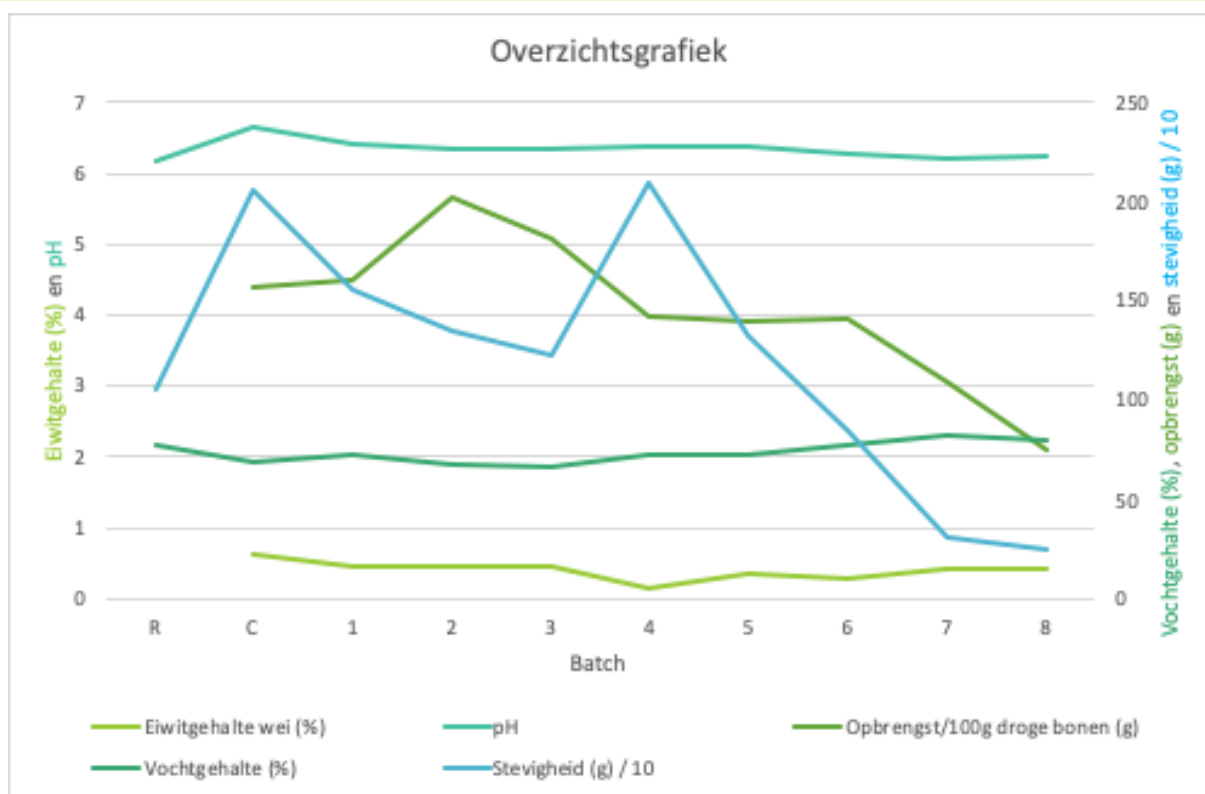
Conv. = Conversiefactor (6,25 gebruikt)

v = monstergrootte (ml)

Bijlage XV Commerciële tofu

Tabel 27: Resultaten fysisch-chemische analyse Jumbo Veggies Chef Naturel Tofu

Analyse	DTC
<i>Vochtgehalte (%)</i>	74,68
<i>Textuur</i>	
Stevigheid (g)	1900,2
Samenhang (%)	105
Veerbaarheid (s)	1,000
Kleverigheid (J)	4,14
Kauwbaarheid (J)	1987,04
<i>pH-waarde</i>	6,19
<i>Kleur</i>	
Lichtheid (L*)	83,06
Chroma (C*)	21,91
Hue angle (h)	104,49
<i>Eiwitgehalte (%)</i>	13,8



Figuur 33. Overzichtsgrafiek van de tofu-resultaten, waarbij R = referentie en C = controle

PERSBERICHT

12 juni 2019, Leeuwarden

Veldboon als vervanger van sojaboon in tofu

Twee studenten Voedingsmiddelentechnologie van het Van Hall Larenstein hebben van februari tot juni afstudeeronderzoek gedaan naar de potentie van veldbonen als vervanger van sojabonen in tofu. Tijdens het onderzoek is deskresearch gecombineerd met field research. Het project is uitgevoerd in opdracht van het lectoraat Biobased Proteins, onderdeel van Application Research Centre (ARC).

De teelt en het transport van sojabonen hebben grote impact op het milieu. Op het gebied van circulaire economie is het wenselijk om minder afhankelijk te worden van eiwitimport en om kortere ketens te verkrijgen. De veldboon blijkt met een hoog eiwitgehalte en een hoge opbrengst geschikt als alternatief voor de sojaboon.

Doel van het onderzoek was het verkrijgen van kennis en inzicht over de veldboon; hoe de veldboon zich gedraagt tijdens de processtappen gedurende het tofuproductieproces. Er is onderzocht hoe er tofu gemaakt kan worden met veldbonen, welke vergelijkbaar is met de traditionele tofu gemaakt van sojabonen. Dit is gedaan door kwalitatief onderzoek, waarbij eerst de geschikte productiemethoden voor sojamelk, sojatofu, veldbonenmelk en veldbonentofu in kaart zijn gebracht.

Hieruit is gebleken dat het niet mogelijk is om volgens de traditionele manier tofu te maken van veldbonen. Er is derhalve gekozen voor een hybride onderzoeksopzet, waarbij de sojabonen in een oplopend percentage worden vervangen door veldbonen. Om inzicht te krijgen in het gedrag van de veldboon tijdens de tofuproductie is er gekeken naar het effect van veldbonen op de opbrengst, het vochtgehalte, de textuur, de pH-waarde, de kleur en het eiwitgehalte.

Uit de resultaten van de fysisch-chemische analyses is gebleken dat naarmate er meer sojabonen worden vervangen door veldbonen, de opbrengst afneemt, het vochtgehalte toeneemt, de textuur vermindert, de pH-waarde afloopt, de kleur van de tofu groener en grauwer wordt en het eiwitgehalte in de wei afneemt. Het is mogelijk om de sojaboon te vervangen door de veldboon tot een percentage van 40%. Een hoger percentage resulteerde in tofu dat te veel afwijkt van de controle. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de veldboon een lager eiwitgehalte en een grotere hoeveelheid koolhydraten bevat, die de eiwitnetwerkvorming kan belemmeren.

Op basis van de resultaten wordt aanbevolen om de hoeveelheid koolhydraten te meten in de melk, onderzoek te gaan naar methoden die dit kunnen verminderen en vervolgens het effect te achterhalen van de koolhydraten op de coagulatie. Ook kan er gestandaardiseerd worden op eiwitgehalte, omdat de veldboon minder eiwit bevat dan de sojaboon. Daarnaast worden verschillen in pH-waarde gezien (loopt af naarmate het percentage veldbonen in de tofu toeneemt). De pH is belangrijk bij de coagulatie van eiwitten, dus er zou gestuurd kunnen worden op pH.

Eventueel vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op het concentreren van veldbooneiwit uit de veldboon en ten behoeve van de duurzaamheid zouden de toepassingsmogelijkheden van reststromen, zoals het schroot en de wei, in kaart gebracht kunnen worden.

Contactgegevens:

M. Bloemhof

e: marloesbloemhof@outlook.com

t: 0613917460

B.P. Quartel

e: beaudine.q@hotmail.com

t: 0642153305