

The Future of Agriculture: Prospects of Precision Agriculture and Agricultural Biotechnology for the Developing World



MASTER'S THESIS

Author: Remco Mooij
Student Number: 5797748
Master's Program: Science and Business Management
Date: May 3rd, 2018



Utrecht University

Contents

Preface	i
Executive Summary	ii
I. Introduction	1
II. Literature Review	3
2.1 Agricultural production practices.....	3
2.2 Key factors influencing food insecurity	4
2.3 Global population growth	6
2.4 Production efficiency in selected countries	8
2.5 Precision agriculture and agricultural biotechnology	10
III. Methodology	15
3.1 Desk research.....	15
3.2 Interviews	15
3.3 Trend analysis	16
IV. Results.....	17
4.1 Key challenges for PA and ag-biotech.....	17
4.2 Key opportunities for PA and ag-biotech.....	19
V. Analysis and Discussion	23
5.1 Improving food security locally.....	23
5.2 Prospects of CRISPR/Cas9 technology	24
5.3 Business implications for Dutch companies	25
VI. Conclusions and Recommendations	26
VII. References.....	27
Appendix A: Crop production data	31
A.1: Global crop production.....	31
A.2: List of included crops	32
A.3: Crop production in Eastern and Southern Asia	33
Appendix B: Projected population growth.....	34
Appendix C: List of interviewees	37
Appendix D: Semi-structured interview questions	38
D.1: Interview questions for experts from academia, industry and government.....	38
D.2: Interview questions for representatives from startups.....	39
Appendix E: Interview Transcripts	40

Preface

This thesis was prepared during my graduation internship for the Master's program Science and Business Management at Utrecht University. I followed my internship at Accenture from September 2017 – May 2018, where I was initially hired to work for the Food & Agriculture theme of the Innovation Awards. I worked here for about 4 months, until a new opportunity arose to work on a project for the seed company Enza Zaden. Here I worked from the end of January until the end of May. My internship at Accenture allowed me to access a network of experienced professionals, many of whom I conducted interviews with for this thesis.

I have a background in agricultural biotechnology. During several past internships, I performed scientific research and laboratory work in an academic environment. Although I enjoyed this tremendously, I wanted to make a switch to the world of business and apply the knowledge and experience I gained throughout previous years. Accenture has been a great help for me to develop myself towards this goal. The Food & Agriculture theme of the Innovation Awards, as well as the project at Enza Zaden, enabled me to develop business skills in an industry that connects well with my background. I would like to sincerely thank Accenture's Senior Managers Pieter Kraaijeveld and Rick Idserda for giving me this opportunity.

The topic of this thesis was the product of my interest and experience in agricultural biotechnology, and a new interest for precision agriculture, which I discovered while working for the Innovation Awards. I was truly inspired by some of the startups that participated in 2017, and it gave me the idea to focus my thesis on the combined prospects of biotechnology and precision agriculture innovations.

Through this thesis I gained a better understanding about the prospects of technology and innovation for safeguarding future food security. While challenges regarding food security, population growth and climate change are frequently surrounded by negativity, I personally see a much brighter future. I sincerely believe that major achievements can be accomplished through a good attitude, flexible legislation and continuing developments in biotechnology and precision agriculture.

Executive Summary

One of the most pressing challenges of the 21st century is to guarantee global food security. A central driver of rising food insecurity and undernourishment is population growth, which is projected to raise the world's population to nearly 10 billion people by 2050. To guarantee future global food security, it is of vital importance to increase the availability of food. Looking at current trends in innovation and technology, two promising ways to improve agricultural efficiency and productivity are precision agriculture (PA) and agricultural biotechnology (ag-biotech). This study attempted to explore how these technologies can contribute to safeguarding future food security in developing regions, and to assess what opportunities arise for startups and larger companies in pursuing this objective.

Valuable insights have been gathered through desk research and interviews with experts from academia, industry, government and startup founders. In addition, a trend analysis was conducted on the food & agriculture theme of the Accenture Innovation Awards. The results demonstrated that there is abundant potential to improve agricultural productivity locally, as yield gaps between developed and developing countries are high. Expensive technology is initially not required to achieve meaningful improvements in developing countries. Instead, small, modest changes in current agricultural practices can lead to substantial increases in productivity. The new (ag-)biotech technology CRISPR/Cas9, which allows for fast, precise, controlled and relatively inexpensive genetic engineering of crops, may play a crucial role in the ability of numerous countries to cope with natural hazards that threaten crop harvests. Finally, PA and ag-biotech offers interesting business opportunities for companies in the Netherlands. These opportunities can be found in exporting Dutch knowledge and technology related to agriculture, rather than exporting fruits, vegetables and potatoes. Importantly, better understanding between entrepreneurs and investors is needed to improve the chances of successful outcomes of such opportunities for startups.

I. Introduction

One of the most pressing challenges of our time is guaranteeing food security for current and future generations. A central driver of rising food insecurity and undernourishment is projected population growth, in particular on the African continent (Hall, Dawson, Macdiarmid, Matthews, & Smith, 2017). Until 1800, our planet had never been inhabited by more than one billion people (UN DESA, 1999). Since then, the world population has risen exponentially. In the 20th century, global population rose from 2.5 billion people in 1950 to 7.6 billion in 2017, a more than 200% increase. By 2050, this number is projected to further increase to almost 10 billion people (UN DESA, 2017). However, present agricultural output is hardly sufficient to guarantee future food security. Unequal distribution of arable land and obsolete production technologies result in limited food availability in some regions, while climatic fluctuations are increasingly affecting crop growth in others (Godfray et al., 2010; Schmidhuber & Tubiello, 2007). In addition, poverty, conflicts, plant diseases and extreme weather events destroy harvests and contribute to continued food insecurity and undernourishment for millions across the globe (FAO, 2015, 2017; Strange & Scott, 2005).

To guarantee future global food security, it is of vital importance to increase the availability of food. In the last decades, significant technological and scientific progress has been made, which has delivered major improvements for agriculture. Despite this, widescale application of new technology is lacking, whereas major changes in application of technology, policy and public awareness are required to achieve sustained increases in crop yields (Blancke, Van Breusegem, De Jaeger, Braeckman, & Van Montagu, 2015; Gardner, Rausser, Pingali, & Evenson, 2001).

Looking at current trends in innovation and technology, two promising ways to increase output are precision agriculture (PA) and agricultural biotechnology (ag-biotech). PA comprises the use of digital technology to generate large data sets about crops, making sophisticated crop analysis possible. This technology enables farmers to determine optimal harvest times and establish a more efficient use of resources such as water and fertilizer, to optimize crop yields. PA can also assist in determining which crops are most suitable for local farmers, based on regional soil and climate characteristics. If successfully applied, precision farming could lead to increases in worldwide production of crops while minimizing the application of inputs such as water, fertilizer and pesticides (Gebbers & Adamchuk, 2010; Pudumalar et al., 2017). However, several disadvantages of PA can also be identified. Most importantly, they include high costs of equipment and complexity of generated data. This is especially a restrictive factor in underdeveloped and developing countries where financial means and education levels are typically more limited (Stafford, 2000; Tey & Brindal, 2012).

A second way to increase output is through ag-biotech. Whatever technologies are in place to optimize harvest times and to efficiently administer resources, eventually the genetic makeup of crops determine the maximum biological achievable yield. If their makeup can be altered, however, yields could be increased to levels well beyond this maximum. One way to achieve this is through traditional breeding. This involves the crossing of genetically distinct individuals over multiple generations, and the selection of specific individuals in their offspring that contain desirable traits. Primary disadvantages of this method are the non-specific and time-intensive nature of breeding processes and the fact that crosses can only be made within the same or related species. Crops could also be enhanced through genetic engineering (GE). GE technologies allow for specific traits, e.g. disease resistance, that do not exist within the same

species, to be introduced into the genome of a crop. Furthermore, crosses are not required as traits are artificially inserted into the genome. This speeds up the process enormously in comparison to traditional breeding. A significant hurdle to overcome, however, is legislation, which currently does not allow the implementation of this technology in most countries and is influenced by a skeptical public opinion towards GE technology. Despite this barrier, there is no science-based evidence demonstrating that this technology is harmful for human health and the environment (Blancke et al., 2015; Hartung & Schiemann, 2014). Recent developments and scientific breakthroughs allow for fast, targeted and safe genetic manipulation to create crops that produce much higher yields, contain vital nutrients, and provide resistance against diseases, drought, flooding, and countless other threats. Apart from these large benefits, genetic modification also provides opportunities to make vast areas of land suitable for agriculture which previously could not be used because of unfavorable environmental conditions (Baltes, Gil-Humanes, & Voytas, 2017).

If crops are enhanced through ag-biotech, production could be further optimized through PA technologies to realize very substantial increases in yields while minimizing the use of costly and environmentally hazardous resources. Combining these two methods would be a major step forward in coping with the demands of a growing world population, as well as the natural complications resulting from a changing climate.

This study aims to explore ways in which PA and ag-biotech can contribute to increasing food accessibility and guaranteeing future global food security in regions where population is expected to increase, while simultaneously providing economic opportunities for companies. The next part of this study contains a review of current literature relevant to the topic, to provide background information about farming practices, global population growth, crop production, food (in)security, PA and ag-biotech. Specifically, it is explored how current geographical production figures relate to projected future regional demands. Subsequently, the methodology used to provide answers to the study aim is described, followed by the actual results and discussion of the results. Finally, the conclusions and future recommendations are presented.

II. Literature Review

In this chapter, available literature is analyzed to provide background information relevant to this study. The first section contains a review of global agricultural practices for food production. This includes an examination of the share of large farms and smallholders in different regions. In the second section, central causes of food insecurity are addressed. Specifically, the role of imports and exports in improving or worsening food security are discussed in more detail. The third section will discuss global population growth projections in different regions of the world. An overview of countries that will experience the largest population increases is presented, according to projections. The fourth section will analyze the production efficiency of crops in these countries. In the fifth and last section, background information is provided about PA and ag-biotech, and how these methods are presently applied in agricultural crop production.

2.1 Agricultural production practices

Crop production is not distributed evenly in the world, as geographic, cultural and economic factors largely influence the means of production. There are approximately 570 million farms globally, and most of them are small farms (72% less than 1 ha and 92% less than 5 ha). However, 65% of worldwide agricultural area is estimated to be used by the largest farms (more than 50 hectares), and only 12% and 7% by farms smaller than 2 and 5 hectares, respectively. Furthermore, 75% of farms are situated in Asia, predominantly in China (35%) and India (24%). Interestingly, 90% of farms worldwide are family farms, which are responsible for about 80% of the total global food supply. These family farms use 70 - 80% of total agricultural area in the world (FAO, 2014). These figures provide a better understanding of how agriculture is divided over different farm types and sizes. However, despite this understanding, data is still lacking regarding what portion of global and regional agricultural output is produced by small-scale family farms, and how much is produced by larger family farms and industrial farms. In an FAO e-conference call about this issue, it was argued that “certain commonly-cited statistics related to the contribution of small farms and smallholders to food security (e.g. that smallholders produce about 70% of the world’s food) seemed to lack reliable sources and that there was a need to gather better data and evidence around such key issues.” (Ruane, 2016).

To understand how production of food crops is distributed over different regions in the world, an analysis was conducted with global production data from the FAO (FAOSTAT). Five-year averages for the period of 2012 – 2016 were calculated for all the major food crop categories in all regions of the United Nations geoscheme.¹ These figures show that Eastern Asia and Southern Asia were the largest producers of cereals, fruit and vegetables combined (Appendix A.1 and A.2). Upon closer examination of these two regions, it is evident that China and India contributed by far the largest share of production. Although Pakistan and Bangladesh were also large producers in Southern Asia, production was nearly neglectable in comparison with India (Appendix A.3). Considering China’s and India’s large production quantities, as well as their enormous populations, it is worthwhile to take a closer examination of agricultural production in both countries.

¹ The regional classifications as adopted by the UN have been used throughout this study.

In China, 93% of farms are smaller than 1 ha, 5% between 1-2 hectares and 2% between 2-5 hectares. Larger farms are virtually non-existent in China. These figures are somewhat different for India, where 63% of farms are smaller than 1 hectare, 19% are between 1-2 hectares, 14% between 2-5 hectares, 3% between 5-10 hectares and 1% between 10-20 hectares. Strikingly, agricultural labor productivity in the period of 2001-2012 was very low in both countries (\$869 in mainland China; \$763 in India) compared to world averages (\$1,535), and especially compared to high-income countries (\$27,112). This gap is even more apparent compared to the United States, which had an average labor productivity of \$74,723 in the same period. Although this does not showcase actual yields (which, paradoxically, are often higher on farms with lower labor productivity due to more labor input), it does indicate that high production in China and India was achieved through high labor, rather than through production efficiency (FAO, 2014).

Furthermore, China is virtually self-sufficient for cereal production, with more than 95% of its consumption needs being produced domestically. For this reason, China's wheat, rice and maize net imports were either negative or very minimal in 2010. However, USDA and UN Comtrade estimates for 2020 projected that Chinese imports will rise, especially for maize (Zhangyue Zhou, Weiming Tian, Jimin Wang & Cao, 2012). Due to population growth and an increase in meat consumption, it is projected that cereal production will need to increase to 776 million tons by 2030, a 35.9% increase from its record production in 2011. If China would increase its imports to meet this growing demand, world prices would most likely increase because of a constrained global supply capacity. This would in turn negatively impact food security in low-income countries, whose populations are heavily affected by food price rises (Li et al., 2013). China has indicated that it will continue importing food to supplement its shortages, but will that it will be cautious to not be too dependent on international markets, to avoid rising domestic food prices. The country further plans to bolster agricultural technology to enhance productivity (Anderson, 2017).

2.2 Key factors influencing food insecurity

One of the major challenges facing us today is how to address worldwide undernourishment and guarantee future food security for a growing world population. 815 million people are presently suffering from undernourishment (FAO, 2017), a number that is likely to rise if no measures are taken to address global population growth.

Food insecurity and undernourishment is not caused by one single factor, but rather by a multitude of diverse circumstances that vary in different geographical areas of the world. For example, conflicts significantly contribute to growing food imbalances in regions in Africa and the Middle East, while worsening economic conditions are a major contributor in regions of Latin America and Western Asia. In addition to food insecurity, malnutrition is a key factor preventing people from reaching their nutritional needs. A lack of essential nutrients such as proteins and vitamins result in severe short-term and long-term health and developmental hazards. Obesity is also a form of malnutrition as seen mostly in developed countries (FAO, 2017). All these factors involved are categorized by the FAO within four main determinants of food security: (1) physical availability of food; (2) economic and physical access to food; (3) food utilization; and (4) stability of the other three dimensions over time (FAO, 2008).

World calorie consumption per capita was 2940 kcal in 2015, and is expected to rise to 3050 kcal by 2030 (WHO, 2003). In terms of calories, therefore, current global food production is

seemingly sufficient to provide for human energy needs, which is typically defined as 2000-2500 calories per day. Consequently, the prevalence of hunger in the world despite these figures can only be explained by the other three FAO determinants: food access, food utilization and stability of food supply. Interestingly, the group of countries that exhibit the highest severity of food insecurity are those with high poverty as well as dietary energy surpluses (Smith, El Obeid, & Jensen, 2005), demonstrating the relative uselessness of calorie consumption as an indicator for food security.

Several central drivers can be pointed out that influence global and regional food security. On an individual and household level, these drivers include income, education, food prices, sanitary conditions and market access costs (such as transportation costs to access food). On a macroeconomic level, aggregate food supply and demand and the relationship between global and domestic food prices contribute significantly to regional food (in)security. Trade policies influence a country's import capacity, and this can have a significant impact on food prices. Furthermore, a low exchange rate would drive up food prices for net food importing countries and could therefore lead to rising food insecurity (Laborde & Tokgoz, 2013).

Increases and volatility in international food prices have a considerable impact on the poor. In particular, spikes in food prices may have large effects on food security in low income countries. Factors that have amplifying effects on price volatility include speculative activity and volatility in oil prices. Among the policy factors leading to price spikes are mandates for biofuels, restrictions on exports and foreign investment. These spikes in food prices are largely demand-driven and are correlated with shocks in economic growth. Biofuel mandates increase prices on world markets and bolster price volatility. It further reduces the total availability of crops for nutrition, although this effect can be partly alleviated by using the by-products of biofuel production for animal feed. In addition to price spikes on international markets, the net benefits of export restrictions have been negative, both to countries imposing the restrictions and more so to non-adopting countries (Brooks, 2014; Tadasse, Algieri, Kalkuhl, & von Braun, 2016).

Foreign Direct Investments (FDI) targeted at agriculture (agri-FDI) – which has been promoted by the World Bank – can be a tool to spur domestic investment and improve regional food security. However, one of the problems associated with FDI is that it often leads to “land grabbing”. This occurs when investors take advantage of the permissive legislative framework in many less developed countries and easily obtain, or “grab”, large acreages of profitable agricultural land. The result is that only land of little agricultural value is left for domestic production, leading to worsening food security (Häberli & Smith, 2014). Fundamentally, two principal dependencies of the impact of international price changes on food security can be pointed out. One is the diffusion of price changes in international to domestic markets, and the second is the capability of markets and households to adapt to price changes. Both dependencies have varying degrees of impact on incomes and food security. Coherence in policy is an important aspect in stabilizing these impacts and ensuring global food security (Brooks, 2014).

Furthermore, food supply and demand is significantly impacted in regions affected by conflicts and violence. It is estimated that out of the 815 million people undernourished in 2016, 489 million people live in conflict-affected countries. Many conflicts are fought over in rural areas, leading to the destruction of important resources, including agricultural land, crops and livestock. Conflicts further result in population movements, as well as socio-economic and institutional disruptions that may have long-term detrimental effects on food security. In

addition, drought and severe weather events contribute significantly to rampant food insecurity in many countries, and this effect is augmented if occurring in countries simultaneously dealing with conflicts (FAO, 2017).

Regional weather and climate differences also have a significant impact on crop yields, and thereby the level of food security in many countries. While higher temperatures enhance agricultural productivity in temperate latitudes, an increase in short-term climate fluctuations, most notably drought and flooding, can cause dramatic reductions in crop yields and other agricultural products in drier areas. Especially low-income countries, which are often located in warm and dry climates, will therefore be affected. There is also a strong correlation between natural disasters and a decrease in exports and increase in imports of food (FAO, 2015). Furthermore, currently cultivated areas would increasingly be rendered unsuitable for agriculture under these changing climate conditions (Schmidhuber & Tubiello, 2007), and higher temperatures would likely increase the occurrence of pests and diseases, threatening agricultural yields (Laborde & Tokgoz, 2013).

Another alarming development is increased salinization, which is projected to lead to the loss of up to 50% of arable land in the world by 2050 (Wangxia Wang, Vinocur, & Altman, 2003). Flooding is additionally causing devastating effects to food security. According to FAO estimates, over 55% of crop damage and losses is due to floods, while nearly 15% is caused by drought (FAO, 2015). Such detrimental effects reduce the availability of food in regions where they occur, and thus impact the level of regional food security.

2.3 Global population growth

A key challenge threatening future food security is global population growth. Before the 19th century, the earth has always been inhabited by fewer than one billion people. However, since the dawn of the 20th century these circumstances changed, as the world population started growing exponentially (UN DESA, 1999). According to UN projections, the world population will reach 9.8 billion by 2050 and 11.2 billion by 2100, an 18% and 47% increase from 2017 levels, respectively (UN DESA, 2017). Unquestionably, this places a huge burden on the earth's resources, and calls for new and innovative ways to ensure adequate allocation of these resources to the global population in general and regional populations in particular.

According to the UN, half of the population growth projected for 2017-2050 will occur in the following nine countries (ranked from highest to lowest number of people): India, Nigeria, Congo, Pakistan, Ethiopia, Tanzania, United States, Uganda and Indonesia. Of these countries, Nigeria's population is expected to rise most rapidly in terms of relative growth. Furthermore, the UN projected that in this same period the African continent will experience the largest population increase (1.3 billion), followed by Asia (0.8 billion). In all other continents, population growth is expected to be less than 0.1 billion. These statistics highlight that Africa will add roughly 500 million more people to the global population than Asia. Moreover, it is the only continent in which population growth is expected to continue after 2050. The Africans' share of the global population is expected to rise from about 17% in 2017 to 26% (2.5 billion people) in 2050 and 40% (4.5 billion people) in 2100, while the Asian population is projected to decrease from 5.3 billion in 2050 (54% of global population) to 4.8 billion in 2100 (43% of global population). The projected population growth in Africa will predominantly come from Eastern Africa (466 million), Western Africa (438 million) and Middle Africa (221 million). In Eastern Africa, Ethiopia (86 million), Tanzania (81 million), Uganda (63 million), Kenya (46

million) and Mozambique (38 million) will experience the highest growth. In Western Africa, growth will predominantly take place in Nigeria (220 million), distantly followed by Niger (47 million). Population growth in Middle Africa will mainly come from DR Congo (116 million) and Angola (46 million). Together, these nine countries constitute to 58% of total projected population growth in Africa between 2017 – 2050. Except for Nigeria and DR Congo, these countries are also net food importing countries. In Asia, growth is estimated to largely take place in Southern Asia (513 million), South-Eastern Asia (149 million) and Western Asia (129 million). Growth in Southern Asia will mostly come from India (320 million) and Pakistan (110 million), while most increases in South-Eastern Asia will occur in Indonesia (58 million) and the Philippines (46 million). In Western Asia, projected growth is scattered over a larger number of countries, with Iraq distantly leading (43 million). These countries, including Iraq, take up 77% of the total projected population growth in Asia between 2017-2050, of which 57% comes from India and Pakistan alone (Table 1). In contrast with the nine African countries experiencing high growth rates, Pakistan is the only net food importer in Asia (UN DESA, 2017).

Table 1. Overview of the most impacted regions in terms of projected population growth between 2017 – 2050 and 2017 - 2100. The countries experiencing the largest increases within each region are presented here. For a complete list of all countries in these regions, see Appendix B.

Million people					
Region/country	2017	2050	2100	Difference 2017-2050	Difference 2017-2100
AFRICA					
Eastern Africa					
Ethiopia	105.0	190.9	249.5	85.9	144.6
Kenya	49.7	95.5	142.1	45.8	92.4
Mozambique	29.7	67.8	135.0	38.1	105.4
Tanzania	57.3	138.1	303.8	80.8	246.5
Uganda	42.9	105.7	213.8	62.8	170.9
Middle Africa					
Angola	29.8	76.0	172.9	46.3	143.1
DR Congo	81.3	197.4	379.0	116.1	297.6
Western Africa					
Niger	21.5	68.5	192.2	47.0	170.7
Nigeria	190.9	410.6	793.9	219.8	603.1
ASIA					
Southern Asia					
India	1339.2	1659.0	1516.6	319.8	177.4
Pakistan	197.0	306.9	351.9	109.9	154.9
South-Eastern Asia					
Indonesia	264.0	321.6	306.0	57.6	42.0
Philippines	104.9	151.3	173.1	46.4	68.1
Western Asia					
Iraq	38.3	81.5	155.6	43.2	117.3

Source: UN DESA, 2017

2.4 Production efficiency in selected countries

Evidently, China and India are the largest food producers in the world (Appendix A). In contrast to India, however, China's population will have declined by 2050, but India will add 320 million people in that same period according to projections (Appendix B). This implies that demand for food will greatly increase in India and agricultural productivity will need to increase accordingly. Other countries will similarly experience high population growth from 2017-2050 as discussed in the previous section. For the countries listed in table 1, production numbers as well as yields are provided for all main crop categories and compared to China, the Netherlands and the United States (table 2). 95% of China's consumption is produced domestically, making it the largest food producer in the world (Zhangyue Zhou, Weiming Tian, Jimin Wang & Cao, 2012). Because of this, useful comparisons can be made to other countries, in particular to India being the second largest food producer. Data about the United States is relevant since this country has adopted the most advanced precision farming technologies and is one of the nine countries projected by the UN which will experience 50% of global population growth from 2017-2050 (UN DESA, 2017). It is also the largest food exporter in the world. The Netherlands is included as this small country is praised for its advanced agricultural practices and is the second biggest food exporter in the world, after the United States (Viviano, 2017). In addition, yield data of the Netherlands is relevant in assessing economic opportunities for Dutch companies, which will be addressed in chapter 4 and 5.

The data shows that Chinese cereal yields were better for all listed countries. The same is true for vegetables, except for Niger. Compared to India, Chinese yields were 101% higher for cereals, 28% for fruit and 57% for vegetables. If Indian yields are compared to yields in the Netherlands, the gap is even larger: 190% higher for cereals, 167% for fruit and 298% for vegetables. Moreover, Dutch cereal, fruit and vegetable yields were substantially higher than all countries with high projected population growth listed in the table. This was also the case for US cereal and vegetable yields. For fruit, the figures show that the US demonstrated better yields than all listed countries except for Indonesia, which slightly outperformed the US by 2.9%.

These statistics emphasize the enormous differences in agricultural efficiency between countries. A similar analysis of some of the most common staple crops demonstrate the same patterns in the period of 2012 – 2016 (table 3). China delivered considerably better yields than India for wheat, barley, maize, rice, sorghum and soybeans. Only potato yields were better in India. In addition, all countries showed substantially lower yields than the Netherlands for wheat, barley, maize and potatoes. For India, the gap was as high as 185%, 177% and 357%, respectively. Interestingly, the Netherlands also outperformed the US on wheat, barley and maize yields by 178%, 81% and 18%, respectively. These are substantially better numbers, especially when considering that the US is a technologically advanced country exhibiting an impressive agricultural labor productivity (see section 2.1). Characteristically, it emphasizes the robust and sophisticated agricultural production practices in the Netherlands.

These numbers are truly impressive, and highlight that enormous improvements in India and other countries may still be possible. If India's yields could be improved to levels similar to that of China, or even the US or the Netherlands, the total world food supply would increase considerably given India's large contribution to global food production. Furthermore, India is the second largest holder of agricultural land (157 million ha), after the United States (IBEF, 2018), indicating that there is abundant potential for increasing crop production. Improving

agricultural productivity in India would therefore be an important step forward towards achieving future food security.

Table 2. Comparison of average 5-year yields of crop categories in China, the Netherlands and the US to countries with high projected population growth in the period of 2012-2016. An overview of included crops for each category is provided in Appendix A.2.

Yield in 1000 hg/ha							
Country	Cereals	Fruit	Vegetables	Roots & Tubers	Pulses	Tree-nuts	Sugar Crops
China	59.3	159.5	226.1	185.7	17.1	42.9	698.6
Netherlands	85.6	331.4	574.5	435.5	38.1		819.8
United States	72.8	236.3	336.5	442.7	19.2	43.1	721.1
AFRICA							
Eastern Africa							
Ethiopia	23.2	77.2	47.0	94.4	16.9	10.7	575.3
Kenya	16.3	164.3	138.0	139.8	6.3	16.4	808.8
Mozambique	8.0	68.7	91.1	88.3	4.4	8.3	710.9
Tanzania	15.1	56.6	68.2	55.2	9.2	4.2	395.0
Uganda	19.8	45.5	55.2	36.5	13.2		675.1
Middle Africa							
Angola	8.3	204.8	39.8	104.3	4.1	7.2	390.2
DR Congo	7.7	61.1	64.5	79.0	4.9		447.1
Western Africa							
Niger	4.9	55.3	237.5	228.7	3.3		432.2
Nigeria	13.9	60.5	40.9	73.4	9.5	23.3	169.8
ASIA							
South-Eastern Asia							
Indonesia	52.0	243.1	99.7	207.1	11.6	3.0	505.4
Philippines	35.5	110.6	87.7	96.6	8.2	59.0	568.5
Southern Asia							
India	29.5	124.3	144.3	224.6	6.8	7.4	701.6
Pakistan	29.7	84.8	121.9	200.0	5.4	23.1	567.1
Western Asia							
Iraq	24.8	38.3	110.1	194.6	25.4	14.8	70.8

Note: Yield data for oilcrops was not available and is therefore not included in this table. In addition, blank spaces indicate that yield data was not available for specific countries, likely due to a limited presence of particular crops in these countries.

Source: production numbers were obtained from FAOSTAT (2018).

Table 3. Average 5-year yield of food commodities in China, the Netherlands and the US compared to countries with high projected population growth from 2012-2016.

Yield in 1000 hg/ha							
Country	Wheat	Barley	Maize	Rice (paddy)	Sorghum	Potatoes	Soybeans
China	52.2	38.7	59.1	68.2	45.9	170.5	18.0
Netherlands	87.2	69.8	117.8			435.5	
United States	31.4	38.5	99.8	83.9	41.5	470.4	31.2
AFRICA							
Eastern Africa							
Ethiopia	25.1	19.7	34.3	28.6	23.7	131.1	21.2
Kenya	21.4	36.5	16.7	41.2	7.9	145.4	11.4
Mozambique	10.7		9.4	4.8	4.4	143.6	
Tanzania	10.8	17.8	14.4	24.7	10.1	83.3	10.3
Uganda	15.2		24.3	24.2	8.2	45.9	17.5
Middle Africa							
Angola	8.7		9.9	13.0	2.1	63.5	4.9
DR Congo	13.2	6.8	7.8	7.6	6.6	46.3	4.7
Western Africa							
Niger	22.5		13.0	50.5	4.5	270.0	
Nigeria	10.2		15.4	19.0	11.4	36.8	9.3
ASIA							
South-Eastern Asia							
Indonesia			50.5	52.4		173.4	15.1
Philippines			29.1	39.0	47.8	150.0	12.2
Southern Asia							
India	30.6	25.2	25.8	36.3	8.9	222.2	10.5
Pakistan	27.8	9.2	43.1	36.9	5.9	208.4	6.5
Western Asia							
Iraq	26.6	15.5	36.1	47.3	16.6	194.6	8.0

Note: Blank spaces indicate that yield data was not available, likely due to a limited presence of particular crops in some regions.

Source: production numbers were obtained from FAOSTAT (2018).

2.5 Precision agriculture and agricultural biotechnology

As we have seen, current food production is insufficient to provide for the growing world population. Without innovating, crop production can be increased by expanding agricultural land, which is commonly accomplished through deforestation. This, however, has dramatic consequences on the environment, particularly when considering the already massive reductions in rainforests in the world. Other means should therefore be adopted to increase global food supplies and reduce the risk of unparalleled future food shortages. However, an increase in total global food production would not necessarily guarantee improved regional access to food. For example, the Netherlands is ranked as the second largest exporter of food. Most of these exports, however, are not going to low-income countries or countries expecting high population growth, as 77% of all agricultural exports went to other EU member states in 2016 (Ruijs & Jukema, 2017).

In an article in National Geographic, environmental scientist Jonathan Foley outlined 5 steps to double food availability while cutting the environmental footprint of agriculture: (1) stop deforestation for increasing available arable land, which has a massive impact on climate and ecosystems. (2) Instead, increase production on existing farms using technology and innovation. (3) Use resources, such as water, fertilizers and pesticides, more efficiently. (4) Reduce meat-intensive food consumption to increase calorie availability. (5) Diminish food waste (Foley, n.d.). PA and ag-biotech offer possibilities to improve all 5 steps, specifically through improved development and production practices and a minimization of the environmental impact. Relevant background information about both methods is provided below.

Precision agriculture

PA has considerable benefits in terms of improving yields, increasing farmers' profitability and minimizing the use of inputs such as fertilizer and pesticides (European GNSS, 2016). A key distinction between PA and traditional agriculture is the level of management. In traditional agriculture, large fields are managed equally, whereas in PA, management is customized for smaller subareas within larger fields (Davis, Casady, & Massey, 1998). Based on the article by Zhang (2002), PA could be defined as a *system of agriculture for enhancing production efficiency to maximize outputs, minimize inputs and improve sustainability through remote sensing, automation and robotization*. Different technologies are used for PA, such as remote sensing, Variable Rate Technology (VRT), Global Positioning Systems (GPS) and Geographic Information Systems (GIS) (N. Zhang, Wang, & Wang, 2002). Such systems are implemented to extract valuable information about soil and weather conditions, as well as crop-specific details including biomass, diseases, water and Leaf Area Index (LAI). Furthermore, they are used to monitor field variability and adjust the administering of inputs such as water and fertilizer based on this information (Aqeel-ur-Rehman, Abbasi, Islam, & Shaikh, 2014; C. Zhang & Kovacs, 2012). Such information is conventionally collected through remote sensors on satellites, airplanes, helicopters and a variety of other sensors. However, costs of such systems can be high and a barrier for less resourceful farmers. A newer and less costly way to obtain data is through Unmanned Aerial Systems (UAS), which also provide higher quality imagery in terms of temporal and spatial resolution (C. Zhang & Kovacs, 2012).

Research is still lacking on the prospects of wide-scale global implementation of PA. In the Western hemisphere, PA is profitable for large farms in the US and Europe, but implementation is still limited for farms on the European continent (European GNSS, 2016). Even in the US, adoption rates of PA systems on corn farms were much lower for smaller farms (Table 4). For average US corn farms, implementation of PA systems has improved profitability, but only slightly. GPS mapping systems (such as yield or soil mapping) increased operating profits by 3%, while GPS guidance systems and VRT raised operating profits by 2.5% and 1.1%, respectively. However, adoption of PA systems requires large capital expenditures which affects overhead costs. After including these overhead costs, net returns are increased to 2% by GPS mapping systems and 1.5% by GPS guidance systems, while net returns and operating profits are equally increased by VRT (1.1%) (Schimmelpfennig, 2016). In terms of yield, however, PA seemed to make little impact. While PA practices resulted in wheat yield increases, it was demonstrated to be unable to significantly increase corn yields and decrease corn yield spatial variation. It was nonetheless able to decrease yield temporal variability by up to 23% and increase yield stability by 16%, a serious improvement that increases total annual

yields. But in terms of per-plant yield increases PA seems to have minimal impact on corn productivity (Yost et al., 2017). Considering that US corn production is more than 6 times higher than wheat production (USDA, 2018), any attempt to radically to increase yields in the US using current PA technology would likely have minimal impact in increasing global food supplies and thereby safeguarding future food security.

Table 4. Adoption rates of PA on different sizes of corn farms in 2010.

Cropland acres*	GPS soil/yield mapping	Guidance system	VRT
<i>Percent of farms adopting each technology</i>			
Less than 600 acres	12%	12%	12%
600 – 1,000 acres	34%	24%	20%
1,000 – 1,300 acres	39%	33%	18%
1,300 – 1,700 acres	50%	40%	23%
1,700 – 2,200 acres	54%	60%	32%
2,200 – 2,900 acres	49%	60%	32%
2,900 – 3,800 acres	67%	78%	29%
Over 3,800 acres	80%	84%	40%

*Note: Cropland acres are all farm acres planted to any crop whether owned or rented.

Source: USDA, Economic Research Service estimates using data from the Agricultural Resource Management Survey (ARMS) Phase II. Figure was slightly edited for representation purposes.

Implementation in developing in low-income countries is considerably more difficult. Most farms in developing countries are small-scale farms, occupying less than 5 hectares of agricultural land (see section 3). PA would likely not be a suitable and cost-efficient technology for such farms. Small-farm machinery and robots would be more suitable to be deployed by smaller farms, but this equipment is quite costly.

Agricultural biotechnology

Seeds are the most basic requirement for food production. They contain all the necessary building blocks for a plant to develop, and a blueprint, encrypted in DNA code, that contains information about the structure and sequence of those building blocks. Each species and each variety within species carries a unique blueprint, which dictates what traits the eventual adult plant will possess. More importantly, these blueprints determine the traits of all crops that humans consume as food. They also provide the basis of animal feed, which eventually, through the food chain, establishes the availability and quality of meat products.

By altering the quality and properties of seeds, therefore, the eventual traits of full-grown crops could be altered as well. Certain traits could be altered to meet consumer preferences, such taste, color, shape and tenderness. However, the genetic blueprint of seeds could also be

modified to make plants more resilient for stress conditions, such as diseases, drought, diseases and flooding. This could have tremendous benefits in terms of crop growth in regions afflicted by worsening climate conditions and natural disasters.

Traditionally, the means to alter crop traits has been through breeding. This is the process of crossing different varieties within a species or closely related species with one another for a number of generations in order to obtain offspring varieties carrying desirable traits. However, this process comes with several limitations, including long breeding periods to obtain desired traits, lack of control and confinement to the “gene pool” of only one or few species. These limitations can largely be overcome through genetic modification (GM) techniques, which would create genetically modified organisms (GMO). Through this technology, pieces of DNA containing specific traits are artificially inserted into the genome of a plant. In this manner, the lengthy process of crossing varieties is no longer required, and DNA from virtually any species could be inserted (Griffiths, Wessler, Carroll, & Doebley, 2010).

Despite the advantages, however, GM technology has been met with widespread criticism. While GE is permitted in the United States, it is restricted in many other countries, including the European Union and Japan (Wang, 2016). Opposition against the use of GMOs arose from concerns about potential hazardous effects on human health, the environment and socioeconomic factors. These concerns, however, are scientifically unsubstantiated, and a large discrepancy exists between scientific evidence and public opinion (Blanke et al., 2015; FAO, 2003). The scientific community overwhelmingly supports the use of GM technology and rejects the claim that it is hazardous to people and the environment. A letter published in the Washington Post, signed by 107 Nobel laureates, addressed this lack of evidence in response to opposition by Greenpeace (Achenbach, 2016).

A meta-analysis of peer-reviewed literature from 1996 to 2016 on agronomic, environmental and toxicological traits of GM corn further showed that GM corn has led to an increase in grain yields of 5.6 to 24.5%, while the concentration of hazardous mycotoxins was reduced by 28.8 to 30.6% (Pellegrino, Bedini, Nuti, & Ercoli, 2018). The distinction that is generally made between GMO and non-GMO in EU policy is based on whether DNA from different species is “recombined” (Sprink, Metje, Schiemann, & Hartung, 2016). However, other techniques that do not fall under these specifications are permitted, but could have more unforeseen consequences (Reuters, 2018). An important example is mutagenesis, which is the process of deliberately create mutations in the DNA through radiation or chemical and biological agents. This is a very uncontrolled process, as mutations could randomly occur anywhere in the genome of an organism (Oladosu et al., 2016)

While conventional GMO technology allows for random alterations in the genome of organisms, targeted genome editing is now possible through the revolutionary new technology CRISPR/Cas9. This technology harnesses the natural immune system of bacteria to make site-specific changes in DNA. This can be illustrated by comparing DNA to a code, composed of four “letters” called nucleotides. A genome is a sequence of billions of such nucleotides in a specific and unique order. With conventional GMO technologies, genes coding for specific traits would be inserted, without knowing at what location in the genome the gene would be inserted. CRISPR/Cas9, however, allows for the meticulous alteration of DNA on a nucleotide level of precision. This technology provides major advantages, most notably the precision and controlled process with which genes can be targeted, altered and regulated, the relatively simplicity of the technology and the low costs of implementation (Belhaj, Chaparro-Garcia, Kamoun, Patron, & Nekrasov, 2015; Doudna & Charpentier, 2014; Ran et al., 2013; Sander &

Joung, 2014). Therefore, the technology removes many of the uncertainties associated with GMO as DNA fragments can be inserted accurately and safely instead of random insertion into the genome. Furthermore, the process is much more transparent than conventional breeding, as crosses between lines result in the random redistribution of thousands of genes. Thus, contemporary genetic applications allow a high level of control over biotechnological processes than in the past. Combined with high-throughput and affordable sequencing, the genetic makeup of whole organisms can be monitored and controlled, taking away the risk of unintended genetic changes that was previously one of the major reasons for opposition against GMO.

These new developments in GE technology have the potential to solve major problems related to global food insecurity, such as pests and diseases, global warming and floods, as well to enable yield increases which are pivotally important to cope up with the large estimated global population growth. Over the last two decades, a lot of progress has been made in discovering the molecular effects of drought, high salinity and flooding on plants. This knowledge could be utilized to create tolerant crop varieties that can grow under these circumstances. Significant yield improvements of crops growing under water-deprived conditions have already been achieved, and rice varieties have previously been developed that survive transient water submergence (Bailey-Serres, Lee, & Brinton, 2012; Umezawa, Fujita, Fujita, Yamaguchi-Shinozaki, & Shinozaki, 2006; Wangxia Wang et al., 2003; Yang, Vanderbeld, Wan, & Huang, 2010).

Despite this, conventional GMO technology has been primarily implemented in developed nations. Martin Taylor, chairman of the global seed company Syngenta, has said that GMO technology cannot combat food insecurity effectively because of this focus on wealthy countries, as well as myriad regulations hampering the development of enhanced crop varieties in less developed countries. Others, including UK politicians, industry bodies and the European Commission, suggest that GM crops can significantly contribute to combating food insecurity and should therefore get more consideration (Adam, 2008). However, these comments were made before the introduction of CRISPR/Cas9. In many ways, this revolutionary technology provides a second chance for successful implementation to solve some of most serious agricultural problems facing us today.

III. Methodology

This chapter describes the methodology adopted to answer the research question. The first section addresses desk research that was performed for the literature review. The second section presents details about interviews that were conducted. In the third section, the methodology for performing a trend analysis is described.

3.1 Desk research

Desk research was performed to gain an introductory understanding of concepts related to farming practices, food security, population growth, crop production, PA and ag-biotech. Specifically, considerable effort was made to create 5-year averages of production and yield for cereals, fruit, vegetables, roots and tubers, pulses, tree nuts, oil crops and sugar crops. To do so, data was downloaded from FAOSTAT in .csv format for 2012 – 2016. The following crop datasets from FAOSTAT were included: “Cereals, Total + (Total)”, “Vegetables Primary + (Total)”, “Roots and Tubers, Total + (Total)”, “Pulses, Total + (Total)”, “Tree nuts, Total + (Total)” and “Oil crops, Oil Equivalent + (Total)”. Data from fruit and sugar crops, however, were not aggregated by FAOSTAT. Instead, a dataset (“Fruit Primary > (List)”) containing non-aggregated production and yield numbers for individual fruit crops was downloaded, and manually aggregated. Sugar crop data was obtained through manual aggregation of “sugar beet”, “sugar cane” and “sugar crops, nes”² data. For a complete overview of all included crops in each category, see Appendix A.2.

3.2 Interviews

Expert opinions were gathered to gain a better understanding about the opportunities of PA and ag-biotech with regard to increasing global food production, guaranteeing future global food security and creating economic opportunities for startups and larger businesses. Semi-structured interviews were conducted in person for 30 – 60 minutes with experienced professionals within academia, government and business (details about interviewees and an overview of questions asked are provided in Appendix C and D). Six interviews were conducted in person, and two interviews by telephone. More specifically, the interviews attempted to gain insights about the extent to which PA and ag-biotech could contribute to (1) increasing crop yields, (2) combating food insecurity and guarantee adequate future food security and (3) benefiting small farmers, provided that smallholder family farms are thought to be responsible for the majority of the world’s food production. Additionally, experts were asked whether, according to their estimates, (4) PA and ag-biotech should be focused on either developed countries, or in local regions where population growth is projected to occur. In other words, whether higher crop yields in developed areas of the world could lead to improved food security in other areas. Furthermore, (5) the prospects of genetic modification techniques to enhance global food security in the future, and the role of legislation in achieving this, were explored. Finally, implications and opportunities with these new insights for startups and larger businesses in the Netherlands were investigated. Specifically, it was discussed how PA and














² The term “nes” is used by the FAO to include multiple minor crops of local importance.

ag-biotech could provide attractive economic opportunities for Dutch companies while simultaneously contribute to guaranteeing a food secure future.

3.3 Trend analysis

A trend analysis was performed in Microsoft Excel on data from the Food & Agriculture theme of the Accenture Innovation Awards (AIA). The AIA is a yearly event, which brings together innovations from different industries, including the Food and Agriculture industries. The Food & Agriculture theme was named “Fair Food” in 2015 and 2016, and “Future Food Solutions” in 2017. Statistical information of startups that have participated over the years can provide valuable insights about trends, and highlight which sectors are on the rise, as well as sectors that have contributed only few innovations in the Netherlands. These insights could yield an impression of the general attractiveness of the PA and ag-biotech sectors in the Netherlands. To attain these trends, thirteen categories within the Food & Agriculture industries were created for classification of innovations that participated within the Fair Food and Future Food Solutions themes. Creation of these categories was partly based on the classifications used in the AgTech Investing Reports of 2015 – 2017 from the venture capital company AgFunder. Descriptions about the innovations that have participated in 2015 – 2017 were additionally analyzed to devise the categories. An overview of the devised categories can be found in table 5. Because some innovations fall under multiple categories, each innovation was classified into a primary category and, if applicable, a secondary category. The majority of innovations, however, were assigned to only one category. Secondary category classifications were included in the trend analysis, and the total number of innovations in the analysis was therefore higher than actual numbers.

Table 5. Devised categories for classification of innovations that participated in the food & agriculture theme of the Accenture Innovation Awards from 2015-2017.

Category		Category	
Alternative food source		Food waste reduction	
Alternative systems of agriculture		Home-based technologies	
Animal welfare & nutrition		Innovative farming technology	
Biotech		Non-food waste technology	
Community platforms & marketplaces		Packaging, traceability & logistics	
Consumer convenience & personalization		Miscellaneous	
Fishing & aquaculture			

IV. Results

This chapter presents the key challenges and opportunities of PA and ag-biotech that were obtained from expert interviews and a trend analysis. Interviews were conducted with experienced professionals from academia, industry and government, as well as two startup founders. For details regarding the interviewees, see Appendix C.

The first section presents the key challenges that slow down or prevent successful implementation of PA and ag-biotech. It specifically addresses how urbanization and farm succession jeopardize agricultural productivity, and how legislation prohibiting CRISPR/Cas9 technology would jeopardize Europe's competitive position and impede the technology's potential for agricultural breakthroughs. The second section presents principal opportunities for PA and ag-biotech. Here it is explained how shifts in agricultural systems and farmer qualities are key to improving regional food security. In addition, opportunities of PA and ag-biotech for Dutch companies are discussed, supported by results of the trend analysis of the Accenture Innovation Awards.

4.1 Key challenges for PA and ag-biotech

Urbanization and farm succession

The interviews pointed out that one of the challenges that should be addressed regarding food production is the diminishing attractiveness of the farming sector. Increasingly, farmers realize that return on labor and capital is relatively low and that labor is burdensome, and they move away from rural areas towards cities in hope of better opportunities. Moreover, since many farmers are relatively wealthy in terms of land and capital, the sale of farms and farming equipment could generate considerable revenue. This trend occurred in large parts of Europe, but it was also a tendency in China. To counter it, China has adopted a policy to prevent rural communities from moving towards cities. The country would have a completely depopulated countryside if it would experience similar trends that took place in Europe, which in Chinese context could translate into hundreds of millions of additional people unemployed. Likewise, farm succession is a critical issue that intensifies urbanization. Globally, agricultural acreage of farms is diminishing through the splitting of farm lands due to succession. Moreover, when people migrate to cities, farm lands are not typically given back to other family members. This makes it increasingly difficult to efficiently manage agricultural production on these tiny plots of land.

The experts agreed that it is necessary that the farming sector becomes more attractive to the labor force, both economically and occupationally. The implementation of alternative agricultural systems that use the intrinsic strength of crops could bring agricultural practices nearer to a circular model and thereby improve sustainability. An example of such a system is intercropping. In recent history, enormous fields have been used for monocropping, which is the growing of only a single crop. Large machines have been deployed to effectively manage these fields, resulting in large reductions of labor. However, in an intercropping system crops are combined, resulting in valuable benefits such as cross-fertilization and improved disease resistance which would lead to reductions in farming inputs and soil compaction. Because of this, the yield of a hectare intercropping is higher than that of monocropping. Despite the benefits, however, intercropping systems have been abandoned because of scarce labor

resulting from urbanization. One of the challenges of intercropping is that it cannot be realized with large machines. Smaller machines would be required that are more intelligent as well as flexible to function profitably in an intercropping system. Consequently, more labor is required for efficient crop management and traditional tasks of farmers will need to transition into more intelligent and skillful tasks. Shifts in farming practices are therefore an important way to not only increase yields, but also to attract new people to the farming sector and slowing down or reversing the trend of urbanization.

Legislation regarding CRISPR/Cas9 technology

The experts agreed that biotechnology has led to impressive achievements for agriculture. Through breeding technology, companies have managed to develop many valuable agronomical traits in crops that benefited farmers, such as disease resistance and yield improvements. Traits have also been developed for better customer satisfaction, such as desired colors and shapes of fruits and vegetables. The interviews pointed out that there is still abundant potential for developing new traits through breeding, without the use of genetic engineering technologies. In tomato, for instance, only 10% of wild varieties have yet been explored. This implies that there is an enormous amount of genetic variety that can still be harnessed to develop new traits. Nevertheless, genetic engineering technologies provide opportunities beyond what could be achieved with breeding. Development times of new traits could be shortened by many years, costs could be reduced substantially and traits could be developed in crops that require genetic material that is not available within the same species.

Despite these advantages, however, adoption of GE technologies presents a key challenge. The interviews pointed out that the debate about GE legislation is largely dominated by emotion. The introduction of GMO a few decades ago has been surrounded by controversy, critical public perceptions and special interests by companies and NGOs. Despite a lack of compelling evidence about hazards caused by the technology itself, opposition groups, steered by NGOs, have been very vocal. Possible efforts to reverse this trend are generally thought to have minimal chances of success. A significant part of the trouble caused could be attributed to the "precautionary principle" in European legislation, which requires evidence showing that a new introduction of something is inherently safe. However, from a scientific perspective this is impossible and it therefore decreased the chances for GMO acceptance. Moreover, products made with CRISPR/Cas9 technology will enter European markets irrespective of legislation, because it is very difficult to detect alterations made with this technology in the genetic makeup of crop varieties. Opinions regarding CRISPR/Cas9 legislation are divided, and individual EU countries have taken up opposing positions. Moreover, leaders of multiple African countries have emphasized the importance of changes in legislation regarding genetic engineering technologies to cope with severe agricultural challenges in their countries. Technologies that have been used in the past to genetically alter an organism have the disadvantage that DNA is altered randomly as well as unnaturally, without any control over the process. CRISPR/Cas9, however, allows for precise insertion of genetic elements in a controlled process, and thus provides considerably more control than commonly used mutagenesis techniques. Since mutagenesis is sanctioned through legislation, it would not make sense to deny CRISPR/Cas9 from the same approval. In addition, the technology could essentially avoid a GMO label because a natural biological system is being harnessed. This has already been the case for the labeling of CRISPR/Cas9 technology in the US. One way to successfully introduce

CRISPR/Cas9 is through the medical field. CRISPR/Cas9 has already been used to combat certain diseases, and society could gradually embrace the technology once people start seeing the benefits. Insulin production is one example of successful application of genetic engineering that has provided enormous visible benefits to society. Thus, CRISPR/Cas9 technology has the potential to reverse common misconceptions and harness the untapped power of genetic engineering to catalyze breakthrough innovations for agriculture.

However, the experts agreed that despite the potential for successful implementation and the numerous benefits that the technology could realize, there is also a realistic chance that CRISPR/Cas9 will be rejected in Europe. If CRISPR/Cas9 will be labeled as GMO, or even simply as “biotechnology”, it would be very difficult to attain public acceptance. Europe is already in a relatively weak position because of the rejection of GMO technology in the past, according to the Coordinator Innovative Technologies at Wageningen University. If implementation of CRISPR/Cas9 technology will ultimately be banned in the European Union, Europe’s competitive position will be worsened very significantly, especially in relation to the US. Furthermore, it would likely incentivize companies or activities within a company to move to the US or other countries to profit from the benefits that CRISPR/Cas9 technology could provide. Most importantly, restrictive legislation would impede the potential of CRISPR-Cas9 to address some of the world’s most serious agricultural challenges, including pests, drought and famine. In many ways, therefore, it would diminish the opportunities for improving global food security.

4.2 Key opportunities for PA and ag-biotech

Shifts in agricultural systems and farmer qualities

The experts indicated that developed countries are becoming increasingly more efficient in terms of agricultural productivity, through knowledge and innovation. In particular, the Netherlands has been tremendously successful in boosting yields per square meter, and could set an example for other countries. Currently, the majority of Dutch seed exports are shipped to other developed countries, largely within the European Union. However, a certain percentage of seeds are nonetheless exported to developing countries and have in fact been used by smallholder farmers. Through large volumes and extensive distribution chains, seeds can eventually be sold in local seed shops. According to the R&D Director of Enza Zaden, these distribution networks are surprisingly well organized in a country such as India. In addition to seeds, knowledge and innovation have the potential to benefit locals as well. Through collaboration and co-development projects, companies in developing countries can develop their own expertise and use it to implement new technology locally. But these co-development projects will have to be well organized and customized according to local standards and legislation. To increase food supplies, and thereby improve food security, in developing countries, production should be increased locally through knowledge and innovation. This is perfectly exemplified with the old English proverb: “give a man a fish and you feed him for a day; teach a man to fish and you feed him for a lifetime.”

A general comment from the interviews is that the quality of the farmer is major hurdle in developing countries. Education is of vital importance and is where efforts to improve food security should begin. It is possible to implement PA on smallholder farms, but analyzing and applying data is a bottleneck in developing countries. Therefore, an ecosystem with basic

capabilities is required for successful implementation of new technology. While large farmers will be able to purchase costly PA equipment, smallholders might benefit from it by hiring a contractor. Better knowledge of crops and improved farm management practices could make major improvements. As an example, the Managing Director of the Plant Sciences Group at Wageningen University mentioned a tomato breeder in Africa, who increased his yields and profits by growing less, rather than more, tomatoes on a particular plot of land. The Dutch startup Agrisim developed a decision support system that matches ideal crop conditions with the current conditions of a farmer's land, to give customized advice about which crop is most suitable for cultivation under those conditions. It then forecasts the farmer's potential increase in gross income for switching to that crop. In Turkey, tests demonstrated that a farmer who switched to growing garlic on 10% of his arable land based on Agrisim's recommendations increased his income by 110%. Furthermore, Agrisim provides operational support every three weeks instructing farmers what they need to do within the next three weeks. This service provides a great solution to the education and income barriers in developing countries. As such, local food supplies can be increased through export of knowledge and technology, rather than food itself, from developed countries to less developed regions. This transition from exports of agricultural products to exports of systems and machines will most likely become more sizable in the longer term. The export of agricultural mechanization systems is already growing considerably and countries in general desire to become self-sufficient for their food supply. According to Jan Huitema, Member of the European Parliament (MEP), Dutch companies help countries across the world to set in motion their own systems of food production. As an example, he mentioned that the European boycott on agricultural products from Russia led to a desire by Russia to acquire their own technology and equipment, to become more self-sufficient. On the outset, biotechnology and very advanced technologies are not required to make a meaningful impact. Even simple innovations could increase yields substantially. "At this moment a lot of cultivation is done on open ground, but you do not want to know what the effect is of tightening a piece of plastic over some bamboos. (...) then production will increase fivefold." (interview with Lambalk, R&D Director at Enza Zaden) Africa is leading in terms of mobile phone use, which could be utilized for an array of agricultural applications. In other words, basic knowledge of relatively simple farming practices could make an enormous difference. Finally, it should be noted that different technologies should not be considered separately to solve problems related to food insecurity. On the contrary, a combination of a diverse array of technologies, at different stages of the food production cycle, would ultimately make the biggest impact.

PA and ag-biotech for Dutch companies

From the interviews it became clear that the competitive advantage of the Netherlands primarily comprises of knowledge and the quality of products, rather than mass production of goods. Countless markets are open in other parts of the world which provide business opportunities for large companies and startups alike. Jacqueline Baar, founder of the biotech startup Biomygreen, is currently pioneering in China since Chinese crop yields are considerably lower than yields in Western Europe. The potential of her product to increase yields is therefore significantly higher in China, as well as in countless other countries across the globe. However, it is important to note that Dutch knowledge and technology could not only improve agricultural productivity in developing countries, but also within the EU. Yields in many EU countries are far lower than in the Netherlands, and Dutch knowledge can thus make some very significant steps to increase production while reducing the environmental impact in these

countries. Furthermore, the effect of GMO legislation on Dutch companies could potentially be of minor importance. This is because discussions surrounding GE technologies are mainly focused around certain major staple crops. Except for potatoes, these crops are not grown in large quantities in the Netherlands.

Adoption of PA technology is currently slow in the EU. The benefits that it can provide are not always visible for farmers. According to MEP Huitema, one of the problems is that policy is frequently focused on implementing certain measures, for which farmers are eligible to receive funds. However, farmers often fail to observe benefits from these measures and are therefore less eager to adopt new technologies. For this reason, policy should be targeted on creating results and not in the first place on implementing new measures. Nonetheless, from a business perspective PA offers many opportunities and a lot of gains can be made if farms in the Netherlands and other EU countries start implementing PA technologies.

To gain insights about how innovations related to agriculture are divided over different sectors in the Netherlands, a trend analysis was performed of the food & agriculture theme of the Accenture Innovation Awards (AIA) for 2015 – 2017. The innovations were grouped in 13 different categories. The results of the analysis show certain clear trends over the three-year period. Innovations grouped in the 'Alternative food source' category represented the largest share of innovations in 2015 and 2016. In 2017, however, the leading category changed to 'Innovative farming technology'. This category has been growing exponentially from 2015 – 2017, as the number of participating innovations doubled each year (figure 1). Aggregated data from all three years show that a total of 32 innovations related to 'Innovative farming technology' have participated in the AIA, positioning this category at fourth place (excluding miscellaneous innovations) with 8.9% (figure 2). Since PA technology falls under this category, the results indicate a growing market for PA in the Netherlands. Another relevant observation is that the number of 'Biotech' and 'Fishing & aquaculture' startups were minimally represented throughout all three years, with the latter even decreasing to a mere 1%. Likewise, the aggregated data displays that both categories are ranked lowest in terms the number of startups that they contributed. Only nine biotech startups participated in all three years, representing a mere 2.5% of total innovations.

During the interviews, experts were asked to provide an explanation as to why so few biotechnology startups participated in the AIA. The outcomes suggest that high initial costs and long developing periods are major deterrents for newcomers. Biotech innovations often require extended periods of research and development, and it is not uncommon that it takes over ten years before a tangible product can enter the market. These long development times, in combination with the particularly high costs of biotech research practices are important challenges that biotech startups face. Furthermore, inexperience causes many biotech startups to attract investors that expect fast returns. These investors do often not fully grasp the need for long required R&D periods, which leads to disappointments for both parties. Training and apprenticeship, along with better business decisions, could be key in increasing chances for success. Interestingly, one of the few biotech companies that participated in the AIA was able to be successful despite these challenges. The founder, Jacqueline Baar, explained that one important reason that Biomygreen has been successful is because funds from investors were initially refused and the product was developed against very low costs. This independency from investors was an important contributor to success of this startup.

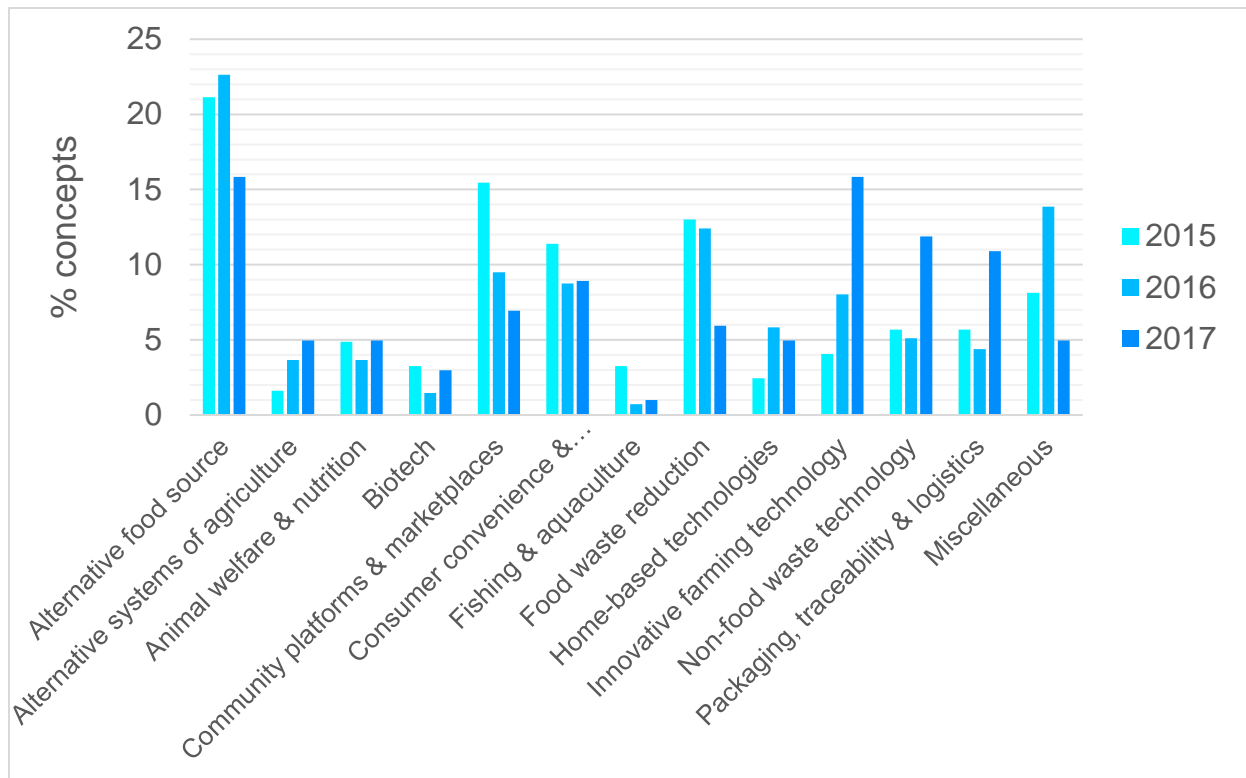


Figure 1. Yearly distribution of innovations over 13 food & agriculture categories from 2015 – 2017. The innovations participated in the Accenture Innovation Awards within the Fair Food and Future Food Solution themes. When applicable, some innovations were additionally classified into a secondary category. These secondary category classifications were added to the total number, and percentages thus reflect higher values than real values.

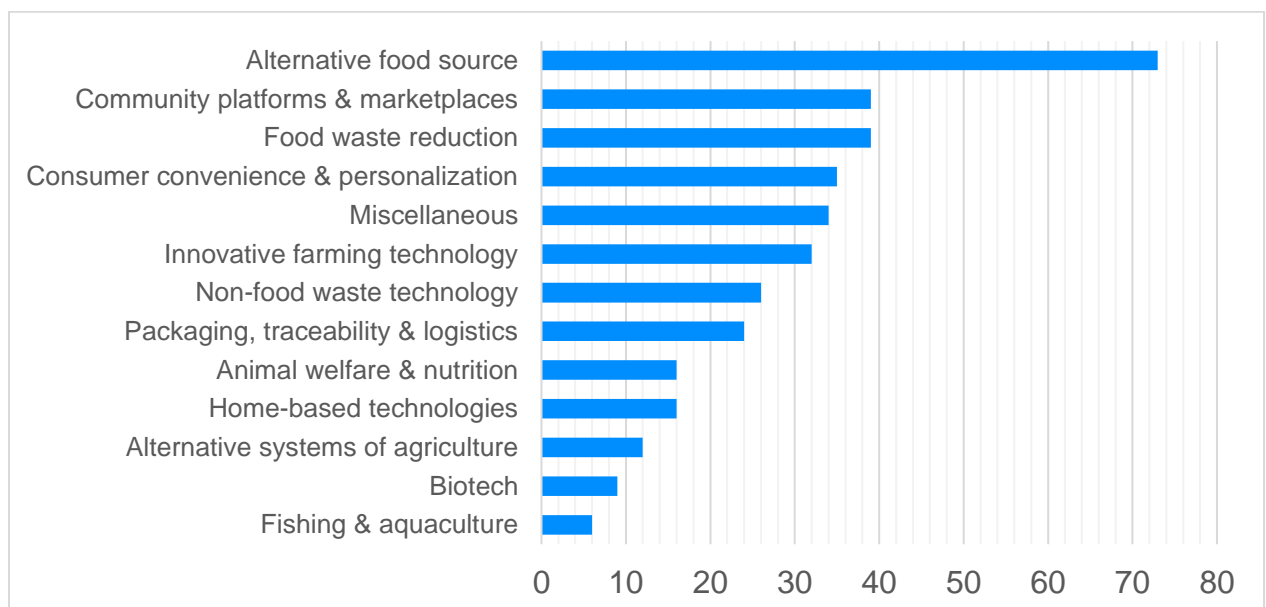


Figure 2. Aggregated distribution of innovations over 13 food & agriculture categories from 2015 – 2017. The innovations participated in the Accenture Innovation Awards within the Fair Food and Future Food Solution themes. When applicable, some innovations were additionally classified into a secondary category. These secondary category classifications were added to the total number, and percentages thus reflect higher values than real values.

V. Analysis and Discussion

This chapter analyzes the results and discusses the main outcomes in relation to the research question. Chapter 2 described that enormous yield gains can be made in countries experiencing high population growth. Subsequently, it was pointed out that application of PA has demonstrated meager results in the US and that implementation is difficult in developing countries. Furthermore, the potential of GE technologies was discussed, as well as the controversy and restrictive legislation which impede its implementation. Section 5.1 and 5.2 elaborate on these topics with new insights gained from the interviews. Section 5.3 then discusses implications of these insights for startups and larger companies in the Netherlands.

5.1 Improving food security locally

Global population growth has long been regarded as one of the major problems of the 21st century, and an important contributor to food insecurity. A larger global population will require increased food supplies if hunger and malnutrition are to be avoided. To discover how innovation and technology can provide solutions to this problem, this study explored in which regions and countries demand for food is primarily expected to increase and how efficient current agricultural practices in these countries are. Fourteen developing countries in Africa and Asia were pointed out that will experience the largest increases in their populations according to UN predictions. Among these countries is India, which is currently the second most populous country in the world and is expected to add 320 million people to their population by 2050. These same countries exhibit substantially poor agricultural efficiency, as yields are much lower compared to the Netherlands and the United States, and to some extent to China. Although China's yields are better than India, it should be noted that the country's labor productivity is also lower. In other words, better yields are largely achieved through an increase in labor, rather than efficient agriculture. This would suggest that China's yields could still be significantly increased, something that will be required considering the large projected increase in meat consumption in China. Thus, agricultural production in the two most populous countries in the world, China and India, as well as in countries experiencing the largest share of projected global population growth, can be increased substantially by adopting production practices from the Netherlands, the US and possibly other developed countries.

However, the question is whether such production practices can be easily adopted by less developed countries. The outcomes of the interviews illustrate that education is a key determinant of whether implementation of new technology will be successful. This includes lack of knowledge about analyzing and applying large data sets, but also about growing conditions of crops. As such, education is a leading cause of poor yields in many developing countries. Furthermore, as was discussed in chapter 2, implementation of PA has demonstrated meager results in the US and adoption was lower for smaller US farms due to high costs of machinery and equipment. This is especially a restrictive factor in developing countries, where financial means are typically more limited and most farms are rather small. Importantly, however, the results indicate that advanced and sophisticated technology is not initially required to accomplish considerable improvements in productivity. Small, simple changes in agricultural practices can lead to large yield increases, and a considerable impact can therefore be made by fixing the basics. NGOs and governments can steer this by convincing local farmers about the importance of carrying out these changes. Current developments, such as the increasing ownership of cellphones in Africa, can be harnessed to

implement smarter farming practices. Such improvements will be inexpensive and relatively easy to adopt. The startup company Agrisim has demonstrated that by simply switching to growing a different crop, enormous gains can be made in income and productivity. And through Agrisim's operating support module, farmers are provided the practical know-how to successfully improve their farming practices. Such solutions do not require expensive equipment or comprehensive knowledge, yet improve productivity considerably, and could therefore be feasible for developing countries. Thus, food security can be improved through minimal gains in knowledge and inexpensive technology

An important interview outcome is that such initiatives would enable countries to improve their production locally. In the end, this will provide a solid foundation for countries to be self-sufficient and improve food security in the longer term. It would further reduce the dependency of less developed countries on international markets and FDIs. Global price spikes and "land grabbing" by foreign investors have negative consequences for regional food security, and improving self-sufficiency through better farming practices would likely alleviate these consequences.

5.2 Prospects of CRISPR/Cas9 technology

GE technologies have enormous potential to not only boost yields, but also to provide meaningful solutions to serious issues across the world, such as pests and diseases, drought and flooding. Past objections to the use of GMOs have prevented the progress of solving these important problems. The new CRISPR/Cas9 technology provides an escape from past mistakes and could lead to significant progress in coping with problems related to agricultural productivity.

The results demonstrate that it is currently uncertain whether CRISPR/Cas9 technology will be permitted through legislation in Europe. The outcomes of current discussions regarding legislation will have an impact on the opportunities that European companies will have. From the interviews it became evident that Europe would have a competitive disadvantage if it fails to accept the use and application of CRISPR/Cas9 technology. Furthermore, EU companies would likely be incentivized to move to other countries that do permit the use of CRISPR/Cas9. More importantly, prohibiting legislation in the EU would decrease R&D efforts into the development of new traits through GE that can provide solutions to serious challenges in developing countries.

The results indicate that African leaders have stressed that they desperately need modern GE technologies, most notably CRISPR/Cas9, to cope with some of the severe agricultural challenges in their countries. This is understandable, since Africa must deal with drought, pests and diseases in many regions, threatening its agricultural self-sufficiency and worsening its level of food security. Countless other regions in the world are similarly affected by such circumstances. CRISPR/Cas9 has enormous potential to solve or reduce the seriousness of many of these problems. An important aspect of the technology is that it provides possibilities to modify traits that cannot be altered through conventional breeding. Because of this, plants could be made more resilient against many kinds of environmental and biological hazards, including drought and diseases. These and other problems cannot simply be resolved with PA technologies. PA has the ability to improve productivity in the last stage of production, through advanced farm management. This is rendered useless, however, if soil is too dry, diseases destroy large harvests or floods submerge wide-spread areas. Thus, legislation regarding

CRISPR/Cas9 will not only affect businesses, it will also determine the rate at which serious challenges related to food insecurity and poverty can be resolved. Moreover, the interview outcomes suggest that since CRISPR/Cas9 technology is inexpensive and relatively easy to carry out in comparison with other GE technologies, legalization would especially benefit smaller companies and newcomers. It would provide new opportunities and likely increase competition.

5.3 Business implications for Dutch companies

The Netherlands has been tremendously successful with agricultural technology and innovation, and is leading the world in terms of production efficiency and yield. The interview outcomes indicate that business opportunities can be found in exporting the Dutch success story, rather than exporting fruits, vegetables and potatoes. Considering that yields in many high-demand countries are currently minimal, there is abundant potential for Dutch companies to be profitable in these countries. The results indicate that collaboration and co-development projects could help to achieve this. Furthermore, seed companies can be profitable through bulk shipping to distributors. In some countries, such as India, distribution networks are already in good shape. This enables companies in first-world countries, where seeds are typically sold for higher prices, to be profitable through bulk production.

However, not only larger companies will be able to profit from low yields in developing regions. The trend analysis from the Accenture Innovation Awards showed that the number of innovations related to PA rose to new heights in the Netherlands. This clearly suggests an increase in the general attractiveness of the Dutch market for PA. The potential of their innovations, however, are not merely limited to the Netherlands or the EU. One of the reasons that the number of PA innovations rose could be due to the relatively low cost of some PA applications. Agrisim, for example, mentioned the limited investments that were required to develop their products. Other PA technology that is software-based can be relatively inexpensive in comparison to machinery and equipment, and can therefore be developed and marketed by startups with relative ease.

In contrast to PA technology, the number of biotech innovations that participated in the AIA were minimal. The interview outcomes suggest that one of the main difficulties for biotech startups are long developmental periods. Many ag-biotech innovations require years of crossings and laboratory research before the first product could finally enter the market. Investors, however, frequently expect this period to be much shorter, leading to disappointments for both the investor and the entrepreneur. Mutual understanding between these two stakeholders and better knowledge of the biotechnology sector are therefore important elements for the success of a biotech startup. This emphasizes the importance of investors that possess specialized knowledge and experience for ag-biotech innovation to be successful. Finally, professional assistance to entrepreneurs is relevant to avoid common pitfalls. Better knowledge about financing and business development would most likely result in better choices and therefore better chances of survival.

VI. Conclusions and Recommendations

This study explored ways in which PA and ag-biotech can contribute to safeguarding future food security, in light of the world's growing population. Currently, the fourteen countries experiencing the largest projected population growth have substantially lower yields in comparison with China, the Netherlands and the United States. This study found that instead of deforestation or large food imports, these countries have the potential and capacity to enhance their agricultural productivity locally. This could be achieved through export of knowledge and technology, rather than food itself. Expensive and advanced technology is not initially required to make a meaningful impact. Simple changes in agricultural practices, and better knowledge of crops and growth conditions will make a significant contribution. Furthermore, the results showed that GE technology is crucial to cope with some of the most pressing agricultural challenges in many developing countries. While GE technology was unsuccessfully introduced in the past due to controversy, special interests and a skeptical public, CRISPR/Cas9 provides a second chance to solve some of the world's biggest agricultural challenges. Finally, this study found that there is considerable potential for Dutch companies to profit from PA and ag-biotech technology. Although insufficient experience and opposing expectations between investors and entrepreneurs frequently impede the success rate of ag-biotech startups, these challenges can be overcome through improved understanding between these two stakeholders.

This study laid the groundwork for the combined potential of PA and ag-biotech. Further research is recommended to discover more specific reasons as to why yields are low in many developing countries. As was discussed, lack of education and inefficient agricultural practices are important factors contributing to low productivity. It will be worthwhile, however, to further explore which climate factors reduce production on a country level. Countries cope with different challenges, and better insights will enable a more tailored approach to overcome them.

It is further recommended to explore other means than PA and ag-biotech to improve global and regional food security, such as aquaculture, food waste reduction and alternative food sources. Combining such insights with the prospects for PA and ag-biotech would provide a more comprehensive picture of how to guarantee future food security most effectively. To this end, a more thorough analysis of startups in each of the food and agriculture categories that were devised in this study would elucidate the representation of other sectors. In this study, the analysis was performed on data from the AIA. It is recommended, however, to perform a broader analysis spanning the Netherlands and possibly the EU to gain better insights.

VII. References

- Achenbach, J. (2016). 107 Nobel laureates sign letter blasting Greenpeace over GMOs - The Washington Post. Retrieved from https://www.washingtonpost.com/news/speaking-of-science/wp/2016/06/29/more-than-100-nobel-laureates-take-on-greenpeace-over-gmo-stance/?utm_term=.ac9ac9defd2b
- Adam, D. (2008). GM will not solve current food crisis, says industry boss | Environment | The Guardian. Retrieved from <https://www.theguardian.com/environment/2008/jun/27/gmcrops.food>
- Anderson, L. (2017). *China's Annual Agricultural Policy Goals. The 2017 No. 1 Document of the CCCPC and the State Council*. Beijing. Retrieved from [https://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/China's 2017 Agricultural Policy Goals_Beijing_China - Peoples Republic of_2-15-2017.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20Publications/China's%202017%20Agricultural%20Policy%20Goals_Beijing_China%20-%20Peoples%20Republic%20of_2-15-2017.pdf)
- Aqeel-ur-Rehman, Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>
- Bailey-Serres, J., Lee, S. C., & Brinton, E. (2012). Waterproofing crops: effective flooding survival strategies. *Plant Physiology*, 160(4), 1698–1709. <https://doi.org/10.1104/pp.112.208173>
- Baltes, N. J., Gil-Humanes, J., & Voytas, D. F. (2017). Genome Engineering and Agriculture: Opportunities and Challenges (pp. 1–26). <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2017.03.011>
- Belhaj, K., Chaparro-Garcia, A., Kamoun, S., Patron, N. J., & Nekrasov, V. (2015). Editing plant genomes with CRISPR/Cas9. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 76–84. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2014.11.007>
- Blancke, S., Van Breusegem, F., De Jaeger, G., Braeckman, J., & Van Montagu, M. (2015). Fatal attraction: the intuitive appeal of GMO opposition. *Trends in Plant Science*, 20(7), 414–418. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.03.011>
- Brooks, J. (2014). Policy coherence and food security: The effects of OECD countries' agricultural policies. *Food Policy*, 44, 88–94. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2013.10.006>
- Davis, G., Casady, W., & Massey, R. (1998). *Precision Agriculture: An Introduction*.
- Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096–1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- European GNSS. (2016). Precision farming. Retrieved February 15, 2018, from <https://www.gsa.europa.eu/library/case-studies/precision-farming>
- FAO. (2003). Weighing the GMO arguments: against. Retrieved from <http://www.fao.org/english/newsroom/focus/2003/gmo8.htm>
- FAO. (2008). *An Introduction to the Basic Concepts of Food Security*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/013/al936e/al936e00.pdf>
- FAO. (2014). *The State of Food and Agriculture. Innovation in family farming*. Rome.
- FAO. (2015). The impact of disasters on agriculture and food security. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5128e.pdf>
- FAO. (2017). *The State of Food Security and Nutrition in the World. FAO, Rome, Italy*. Retrieved from <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>

- Foley, J. (n.d.). Feeding 9 Billion. *National Geographic*. Retrieved from <https://www.nationalgeographic.com/foodfeatures/feeding-9-billion/>
- Gardner, B. L., Rausser, G. C., Pingali, P. L., & Evenson, R. E. (Robert E. (2001). *Handbook of agricultural economics*. Elsevier.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science (New York, N.Y.)*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Carroll, S. B., & Doebley, J. (2010). *Introduction to Genetic Analysis. Tenth Edition*. W.H. Freeman.
- Häberli, C., & Smith, F. (2014). Food Security and Agri-Foreign Direct Investment in Weak States: Finding the Governance Gap to Avoid “Land Grab.” *The Modern Law Review*, 77(2), 189–222. <https://doi.org/10.1111/1468-2230.12062>
- Hall, C., Dawson, T. P., Macdiarmid, J. I., Matthews, R. B., & Smith, P. (2017). The impact of population growth and climate change on food security in Africa: looking ahead to 2050. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15(2), 124–135. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1293929>
- Hartung, F., & Schiemann, J. (2014). Precise plant breeding using new genome editing techniques: opportunities, safety and regulation in the EU. *The Plant Journal*, 78(5), 742–752. <https://doi.org/10.1111/tpj.12413>
- IBEF. (2018). *Agriculture and Allied Industries*. Retrieved from <https://www.ibef.org/download/Agricultur-and-Allied-Industries-March-2018.pdf>
- Laborde, D., & Tokgoz, S. (2013). Long-Term Drivers of Food and Nutrition Security. *FOODSECURE Working Paper Series*, (6). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/236588073_Long-Term_Drivers_of_Food_and_Nutrition_Security/file/e0b495181958f2ef27.pdf?ev=pub_int_doc_dl&origin=publication_detail&inViewer=true
- Li, Y., Zhang, W., Ma, L., Wu, L., Shen, J., Davies, W. J., ... Dou, Z. (2013). An analysis of China’s grain production: looking back and looking forward. *Food and Energy Security*, 3(1), 19–32. <https://doi.org/10.1002/fes3.41>
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A., ... Usman, M. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
- Pellegrino, E., Bedini, S., Nuti, M., & Ercoli, L. (2018). Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific Reports*, 8(1), 3113. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21284-2>
- Pudumalar, S., Ramanujam, E., Rajashree, R. H., Kavya, C., Kiruthika, T., & Nisha, J. (2017). Crop recommendation system for precision agriculture. *2016 8th International Conference on Advanced Computing, ICoAC 2016*, (October), 32–36. <https://doi.org/10.1109/ICoAC.2017.7951740>
- Ran, F. A., Hsu, P. D., Wright, J., Agarwala, V., Scott, D. A., & Zhang, F. (2013). Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nature Protocols*, 8(11), 2281–2308.

<https://doi.org/10.1038/nprot.2013.143>

- Reuters. (2018). New crop breeding method is exempt from GMO rules - EU court adviser. Retrieved April 20, 2018, from <https://www.reuters.com/article/eu-gmo-court/new-crop-breeding-method-is-exempt-from-gmo-rules-eu-court-adviser-idUSL8N1PC500>
- Ruane, J. (2016). An FAO e-mail conference on exploring the contribution of small farms to achieving food security and improved nutrition: The moderator's summary. Rome: FAO.
- Ruijs, M., & Jukema, G. (2017). *Nederlandse handel in agrarische producten*.
- Sander, J. D., & Joung, J. K. (2014). CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes. *Nature Biotechnology*, 32(4), 347–355. <https://doi.org/10.1038/nbt.2842>
- Schimmelpfennig, D. (2016). *Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture*. Retrieved from <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/80326/err-217.pdf?v=42661>
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19703–19708. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104>
- Smith, L. C., El Obeid, A. E., & Jensen, H. H. (2005). The geography and causes of food insecurity in developing countries. *Agricultural Economics*, 22(2), 199–215. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2000.tb00018.x>
- Sprink, T., Metje, J., Schiemann, J., & Hartung, F. (2016). Plant genome editing in the European Union—to be or not to be—a GMO. *Plant Biotechnology Reports*, 10(6), 345–351. <https://doi.org/10.1007/s11816-016-0418-3>
- Stafford, J. V. (2000). Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 267–275. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0577>
- Strange, R. N., & Scott, P. R. (2005). Plant Disease: A Threat to Global Food Security. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), 83–116. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839>
- Tadasse, G., Algieri, B., Kalkuhl, M., & von Braun, J. (2016). Drivers and Triggers of International Food Price Spikes and Volatility. In *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy* (pp. 59–82). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5_3
- Tey, Y. S., & Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications. *Precision Agriculture*, 13(6), 713–730. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>
- Umezawa, T., Fujita, M., Fujita, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. *Current Opinion in Biotechnology*, 17(2), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2006.02.002>
- UN DESA. (1999). *The World at Six Billion*.
- UN DESA. (2017). *World Population Prospects The 2017 Revision Key Findings and Advance Tables*. *World Population Prospects The 2017*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Viviano, F. (2017). This Tiny Country Feeds the World. *National Geographic*.
- Wang, W. (2016). International Regulations on Genetically Modified Organisms: U.S., Europe, China and Japan. Retrieved April 17, 2018, from <https://www.foodsafetymagazine.com/magazine-archive1/junejuly2016/international-regulations-on-genetically-modified-organisms-us-europe-china-and-japan/>

- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- WHO. (2003). *Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases : report of a joint WHO/FAO expert consultation*. World Health Organization.
- Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J., & Huang, Y. (2010). Narrowing Down the Targets: Towards Successful Genetic Engineering of Drought-Tolerant Crops. *Molecular Plant*, 3(3), 469–490. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq016>
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)
- Zhangyue Zhou, Weiming Tian, Jimin Wang, H. L. and L., & Cao. (2012). *Food Consumption Trends in China*.

Appendix A: Crop production data

A.1: Global crop production

Tabel A1. Average 5-year regional production of food commodities from 2012-2016.

Regional Crop Production									
Region	Cereals	Fruit	Vege- tables	Roots & Tubers	Pulses	Tree- nuts	Oil- crops	Sugar crops	Grand Total
Africa									
Eastern Africa	2.1%	2.8%	1.1%	7.2%	11.5%	2.5%	1.6%	1.8%	2.6%
Middle Africa	0.3%	1.6%	0.4%	4.9%	1.9%	0.0%	0.9%	0.2%	1.0%
Northern Africa	1.6%	3.9%	3.2%	1.6%	1.5%	2.0%	0.8%	1.7%	2.0%
Southern Africa	0.5%	0.9%	0.3%	0.4%	0.1%	0.1%	0.2%	1.0%	0.6%
Western Africa	2.0%	2.8%	2.1%	18.5%	9.1%	12.9%	2.6%	0.3%	3.5%
Africa Total	6.5%	12.0%	7.1%	32.6%	24.1%	17.6%	6.2%	5.0%	9.7%
Americas									
Caribbean	0.1%	1.0%	0.3%	0.5%	0.6%	0.0%	0.1%	1.2%	0.6%
Central America	1.5%	4.2%	1.4%	0.4%	2.8%	1.8%	0.9%	5.3%	2.7%
Northern America	17.5%	3.5%	3.6%	3.1%	11.4%	17.1%	13.8%	2.8%	8.6%
South America	6.7%	10.1%	2.1%	5.7%	5.4%	2.5%	15.6%	39.7%	15.5%
Americas Total	25.8%	18.9%	7.4%	9.7%	20.2%	21.4%	30.3%	49.0%	27.3%
Asia									
Central Asia	1.1%	1.2%	1.6%	1.0%	0.5%	0.6%	0.5%	0.0%	0.8%
Eastern Asia	21.2%	31.4%	52.3%	21.6%	5.9%	24.2%	9.1%	6.4%	21.9%
South-Eastern Asia	9.1%	7.3%	4.0%	10.3%	8.9%	10.5%	31.5%	8.4%	8.7%
Southern Asia	15.4%	14.5%	14.4%	9.0%	25.8%	10.7%	7.1%	20.4%	15.8%
Western Asia	1.8%	4.2%	3.6%	1.1%	2.0%	8.2%	0.9%	0.8%	2.0%
Asia Total	48.6%	58.7%	75.8%	43.0%	43.1%	54.2%	49.1%	36.1%	49.2%
Europe									
Eastern Europe	9.0%	2.3%	3.9%	8.7%	5.4%	1.3%	7.7%	3.7%	6.1%
Northern Europe	1.9%	0.1%	0.4%	1.2%	1.7%	0.0%	0.9%	0.6%	1.1%
Southern Europe	2.2%	5.5%	3.4%	0.8%	1.0%	4.2%	1.9%	0.5%	2.1%
Western Europe	4.6%	1.7%	1.6%	3.5%	1.7%	0.5%	2.6%	3.5%	3.4%
Europe Total	17.7%	9.6%	9.3%	14.2%	9.7%	6.1%	13.0%	8.3%	12.6%
Oceania									
Australia & N. Zealand	1.4%	0.6%	0.3%	0.2%	3.0%	0.7%	0.9%	1.4%	1.1%
Melanesia	0.0%	0.3%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.4%	0.1%	0.1%
Micronesia	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Polynesia	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Oceania Total	1.4%	0.9%	0.3%	0.5%	3.0%	0.8%	1.4%	1.5%	1.2%
Grand Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Note: data of oilcrops was only available until 2014. For an overview of included crops in each category, see table A2.

Source: production numbers were obtained from FAOSTAT.

A.2: List of included crops

Table A2. Included crops within each crop category. Crop names and classifications were adopted from FAOSTAT.

Crop Category	Crops
Cereals	barley; buckwheat; canary seed; cereals, nes; fonio; grain, mixed; maize; millet; oats; quinoa; rice, paddy; rye; sorghum; triticale; wheat
Fruit	apples; apricots; avocados; bananas; berries, nes; blueberries; carobs; cashewapple; cherries; cherries, sour; cranberries; currants; dates; figs; fruit, citrus nes; fruit, fresh nes; fruit, pome nes; fruit, stone nes; fruit, tropical fresh nes; gooseberries; grapefruit (inc. pomelos); grapes; kiwi fruit; lemons and limes; mangoes, mangosteens and guavas; oranges; papayas; peaches and nectarines; pears; persimmons; pineapples; plantains and others; plums and sloes; quinces; raspberries; strawberries; tangerines, mandarins, clementines and satsumas
Vegetables	artichokes; asparagus; beans, green; cabbages and other brassicas; carrots and turnips; cassava leaves; cauliflowers and broccoli; chillies and peppers, green; cucumbers and gherkins; eggplants (aubergines); garlic; leeks, other alliaceous vegetables; lettuce and chicory; maize, green; melons, other (inc. cantaloupes); mushrooms and truffles; okra; onions, dry; onions, shallots, green; peas, green; pumpkins, squash and gourds; spinach; string beans; tomatoes; vegetables, fresh nes; vegetables, leguminous nes; watermelons
Roots and Tubers	cassava; potatoes; roots and tubers, nes; sweet potatoes; taro (cocoyam); yams; yautia (cocoyam)
Pulses	beans; beans, dry; broad beans and horse beans, dry; chick peas; cow peas, dry; lentils; lupins; peas, dry; pigeon peas; pulses, nes; vetches.
Treenuts	almonds, with shell; brazil nuts, with shell; cashew nuts, with shell; chestnut; hazelnuts, with shell; nuts, nes; pistachios; walnuts, with shell
Oilcrops (Oil Equivalent)	castor oil seed; coconuts; groundnuts, with shell; hempseed; jojoba seed; kapok fruit; karite nuts (sheanuts); linseed; melonseed; mustard seed; oil, palm fruit; oilseeds, nes; olives; poppy seeds; rapeseed; safflower seed; seed cotton; sesame seed; soybeans; sunflower seed; tallowtree seed; tung nuts.
Sugar Crops	sugar beet; sugar cane; sugar crops, nes

Note: “nes” is a classification used by FAOSTAT indicating an aggregation of multiple similar crops that are of minor importance.

A.3: Crop production in Eastern and Southern Asia

Tabel A3. Average 5-year regional production of food commodities in Eastern and Southern Asia from 2012-2016.

Regional Crop Production									
Cereals	Cereals	Fruit	Vege- tables	Pulses	Roots & Tubers	Tree- nuts	Oil- crops	Sugar Crops	Grand Total
Eastern Asia	57.9%	68.4%	78.4%	18.6%	70.7%	69.4%	56.0%	23.9%	58.2%
China, HK*	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
China, mainland	55.5%	65.3%	74.7%	16.9%	67.9%	67.1%	55.4%	23.0%	55.7%
China, Taiwan	0.2%	0.7%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.3%
Japan	1.1%	0.9%	1.4%	0.3%	1.4%	0.3%	0.1%	0.8%	1.1%
Mongolia	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
North Korea	0.5%	0.5%	0.5%	1.3%	0.8%	0.4%	0.2%	0.0%	0.4%
South Korea	0.6%	1.0%	1.4%	0.1%	0.4%	1.4%	0.1%	0.0%	0.7%
Southern Asia	42.1%	31.6%	21.6%	81.4%	29.3%	30.6%	44.0%	76.1%	41.8%
Afghanistan	0.6%	0.5%	0.1%	0.3%	0.1%	0.9%	0.1%	0.0%	0.3%
Bangladesh	5.4%	1.1%	0.7%	1.3%	3.6%	0.0%	0.5%	0.8%	2.6%
Bhutan	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
India	29.0%	22.5%	17.4%	73.3%	20.7%	13.8%	38.0%	61.4%	31.5%
Iran	1.7%	5.1%	2.1%	2.1%	2.0%	14.9%	0.6%	2.0%	2.3%
Maldives	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Nepal	0.9%	0.5%	0.5%	1.3%	1.1%	0.1%	0.4%	0.6%	0.7%
Pakistan	4.0%	1.8%	0.7%	3.1%	1.6%	0.7%	3.3%	11.1%	4.1%
Sri Lanka	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	1.1%	0.1%	0.3%
Grand Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Note: data of oilcrops was only available until 2014. For an overview of included crops in each category, see table A2.

Source: production numbers were obtained from FAOSTAT.

* HK = Hong Kong

Appendix B: Projected population growth

Table B1. Complete overview of the most impacted regions in terms of projected population growth between 2017 – 2050 and 2017 - 2100.

Million people					
Region/country	2017	2050	2100	Difference 2017-2050	Difference 2017-2100
Eastern Africa					
Burundi	10.9	25.8	54.5	14.9	43.6
Comoros	0.8	1.5	2.2	0.6	1.3
Djibouti	1.0	1.3	1.3	0.4	0.3
Eritrea	5.1	9.6	14.8	4.5	9.7
Ethiopia	105.0	190.9	249.5	85.9	144.6
Kenya	49.7	95.5	142.1	45.8	92.4
Madagascar	25.6	53.8	98.0	28.2	72.4
Malawi	18.6	41.7	75.7	23.1	57.1
Mauritius	1.3	1.2	0.9	0.0	-0.3
Mayotte	0.3	0.5	0.7	0.2	0.5
Mozambique	29.7	67.8	135.0	38.1	105.4
Réunion	0.9	1.0	0.9	0.1	0.1
Rwanda	12.2	21.9	28.2	9.7	16.0
Seychelles	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
Somalia	14.7	35.9	79.0	21.1	64.2
South Sudan	12.6	25.4	42.8	12.8	30.2
Uganda	42.9	105.7	213.8	62.8	170.9
Tanzania	57.3	138.1	303.8	80.8	246.5
Zambia	17.1	41.0	94.4	23.9	77.3
Zimbabwe	16.5	29.7	40.7	13.1	24.2
Eastern Africa Total	422.0	888.1	1578.5	466.1	1156.4
Middle Africa					
Angola	29.8	76.0	172.9	46.3	143.1
Cameroon	24.1	49.8	91.6	25.8	67.6
Central African Republic	4.7	8.9	14.1	4.2	9.4
Chad	14.9	33.6	61.7	18.7	46.8
Congo	5.3	11.5	23.6	6.2	18.3
DR Congo	81.3	197.4	379.0	116.1	297.6
Equatorial Guinea	1.3	2.8	4.7	1.6	3.5
Gabon	2.0	3.5	5.0	1.5	3.0
Sao Tome and Principe	0.2	0.4	0.6	0.2	0.4
Middle Africa Total	163.5	384.0	753.1	220.5	589.6
Northern Africa					
Algeria	41.3	57.4	62.6	16.1	21.2
Egypt	97.6	153.4	198.7	55.9	101.2
Libya	6.4	8.1	7.4	1.7	1.1
Morocco	35.7	45.7	43.8	9.9	8.1
Sudan	40.5	80.4	138.6	39.9	98.1

Tunisia	11.5	13.9	13.3	2.4	1.8
Western Sahara	0.6	1.0	1.3	0.4	0.7
Northern Africa Total	233.6	359.9	465.8	126.3	232.2
Southern Africa					
Botswana	2.3	3.4	3.8	1.1	1.5
Lesotho	2.2	3.2	3.9	1.0	1.7
Namibia	2.5	4.3	5.8	1.8	3.3
South Africa	56.7	72.8	76.5	16.0	19.8
Swaziland	1.4	2.1	2.5	0.7	1.1
Southern Africa Total	65.1	85.8	92.5	20.7	27.3
Western Africa					
Benin	11.2	23.9	44.3	12.8	33.1
Burkina Faso	19.2	43.2	81.7	24.0	62.5
Cabo Verde	0.5	0.7	0.7	0.2	0.2
Côte d'Ivoire	24.3	51.4	103.6	27.1	79.3
Gambia	2.1	4.6	7.2	2.5	5.1
Ghana	28.8	51.3	76.8	22.4	47.9
Guinea	12.7	26.9	48.3	14.1	35.6
Guinea-Bissau	1.9	3.6	5.9	1.7	4.0
Liberia	4.7	9.8	17.8	5.1	13.1
Mali	18.5	44.0	83.2	25.5	64.7
Mauritania	4.4	9.0	15.5	4.5	11.1
Niger	21.5	68.5	192.2	47.0	170.7
Nigeria	190.9	410.6	793.9	219.8	603.1
Saint Helena	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Senegal	15.9	34.0	64.8	18.2	49.0
Sierra Leone	7.6	13.0	16.5	5.4	8.9
Togo	7.8	15.3	25.2	7.5	17.4
Western Africa Total	372.0	809.7	1577.7	437.7	1205.7
Africa Total	1256.3	2527.6	4467.6	1271.3	3211.3
Eastern Asia					
China	1409.5	1364.5	1020.7	-45.1	-388.9
China, Hong Kong	7.4	8.3	8.3	0.9	0.9
China, Macao	0.6	0.9	1.1	0.3	0.4
China, Taiwan	23.6	22.8	16.9	-0.9	-6.7
North Korea	25.5	26.8	23.6	1.3	-1.9
Japan	127.5	108.8	84.5	-18.7	-43.0
Mongolia	3.1	4.1	4.5	1.0	1.5
South Korea	51.0	50.5	38.7	-0.5	-12.3
Eastern Asia Total	1648.2	1586.5	1198.3	-61.7	-449.9
Central Asia					
Kazakhstan	18.2	23.0	25.7	4.8	7.5
Kyrgyzstan	6.0	8.1	8.9	2.1	2.8
Tajikistan	8.9	14.5	18.9	5.6	10.0
Turkmenistan	5.8	7.9	8.3	2.1	2.6
Uzbekistan	31.9	41.0	38.1	9.0	6.2
Central Asia Total	70.8	94.4	100.0	23.6	29.1
Southern Asia					
Afghanistan	35.5	61.9	70.4	26.4	34.9

Bangladesh	164.7	201.9	173.5	37.3	8.9
Bhutan	0.8	1.0	0.9	0.2	0.1
India	1339.2	1659.0	1516.6	319.8	177.4
Iran	81.2	93.6	72.5	12.4	-8.7
Maldives	0.4	0.6	0.5	0.1	0.1
Nepal	29.3	36.1	29.3	6.8	0.0
Pakistan	197.0	306.9	351.9	109.9	154.9
Sri Lanka	20.9	20.8	15.0	-0.1	-5.8
Southern Asia Total	1869.0	2381.8	2230.7	512.8	361.7
South-Eastern Asia					
Brunei Darussalam	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1
Cambodia	16.0	22.0	22.8	6.0	6.7
Indonesia	264.0	321.6	306.0	57.6	42.0
Laos	6.9	9.2	8.2	2.3	1.3
Malaysia	31.6	41.7	41.8	10.1	10.2
Myanmar	53.4	62.4	54.7	9.0	1.4
Philippines	104.9	151.3	173.1	46.4	68.1
Singapore	5.7	6.6	5.4	0.9	-0.3
Thailand	69.0	65.4	47.5	-3.7	-21.5
Timor-Leste	1.3	2.4	3.8	1.1	2.6
Vietnam	95.5	114.6	107.6	19.1	12.1
South-Eastern Asia Total	648.8	797.6	771.5	148.9	122.7
Western Asia					
Armenia	2.9	2.7	1.8	-0.2	-1.1
Azerbaijan	9.8	11.0	9.6	1.2	-0.3
Bahrain	1.5	2.3	2.2	0.8	0.8
Cyprus	1.2	1.4	1.3	0.2	0.1
Georgia	3.9	3.4	2.5	-0.5	-1.4
Iraq	38.3	81.5	155.6	43.2	117.3
Israel	8.3	12.6	17.1	4.3	8.8
Jordan	9.7	14.2	17.3	4.5	7.6
Kuwait	4.1	5.6	6.2	1.5	2.1
Lebanon	6.1	5.4	4.3	-0.7	-1.7
Oman	4.6	6.8	6.6	2.1	1.9
Qatar	2.6	3.8	4.0	1.1	1.3
Saudi Arabia	32.9	45.1	44.0	12.1	11.1
State of Palestine	4.9	9.7	15.1	4.8	10.2
Syrian Arab Republic	18.3	34.0	38.2	15.8	19.9
Turkey	80.7	95.6	85.8	14.9	5.0
United Arab Emirates	9.4	13.2	14.8	3.8	5.4
Yemen	28.3	48.3	53.5	20.1	25.3
Western Asia Total	267.7	396.6	480.0	128.9	212.4
Asia Total	4504.4	5256.9	4780.5	752.5	276.1

Source: (UN DESA, 2017)

Appendix C: List of interviewees

Interviews were conducted with the following experts from academia, industry and government (see Appendix D.1 for questions):

- Kees de Gooijer, Chief Inspiration Officer at TKI Agri & Food
- Frans Kampers, Coordinator Innovative Technologies at Wageningen University
- Arjen van Tunen, CEO of KeyGene
- Ernst van der Ende, Managing Director of the Plant Sciences Group at Wageningen University
- Joep Lambalk, R&D Director at Enza Zaden
- Jan Huitema, Member of the European Parliament for the People's Party for Freedom and Democracy (VVD)

Interview were conducted with the following startup founders (see Appendix D.2 for questions):

- Ronald de Bruijn, co-founder of startup Agrisim (zie Appendix II voor de vragen (see Appendix II for questions)
- Jacqueline Baar, Director of Biomygreen.

Appendix D: Semi-structured interview questions

D.1: Interview questions for experts from academia, industry and government

1. De eerste vraag gaat over precisielandbouw. Volgens data van de VN zijn de meeste boerderijen in de wereld kleinschalige familiebedrijven. Volgens sommige bronnen wordt zelfs 70% van al het voedsel in de wereld geproduceerd door smallholders. Daartegenover staat dat precisielandbouw voornamelijk wordt toegepast door grote boeren, die grote oppervlaktes aan land hebben en die in staat zijn om kostbare technologie aan te schaffen.
 - (a) Met deze gegevens in het achterhoofd, kunt u iets zeggen over hoe precisielandbouw kan voldoen aan de groeiende vraag naar voedsel in de wereld?
 - (b) Is precisielandbouw mogelijk voor smallholders? Zo ja, hoe kan dit grootschalig toegepast worden?
2. Volgens voorspellingen van de VN zullen stijgingen in de wereldbevolking voor een groot deel plaats vinden in slechts 9 landen, met name Nigeria, India en Pakistan. De voedselexport uit ontwikkelde landen lijkt deze landen niet altijd te bereiken. Nederland is bijvoorbeeld de op een na grootste exporteur van voedsel, maar 77% van de export in 2016 ging naar EU lidstaten.
 - (a) Om voldoende voedselvoorraad te garanderen voor landen met een grote verwachte populatiegroei in de komende decennia, denkt u dat we moeten focussen op het verhogen van de voedselproductie op globaal niveau (zoals in Nederland), of juist lokaal, en waarom?
3. Er is veel ophef over genetische modificatie, ondanks dat de wetenschappelijke gemeenschap er grotendeels achterstaat. Door genetische modificatie kunnen gewassen worden gemaakt die betere opbrengsten hebben en die weerstand bieden tegen droogte, overstromingen, ziektes en andere problemen die voedselproductie hinderen. Genetische modificatie kan ook de voedingswaarde van gewassen verbeteren, en is daarom een kans om ernstige ondervoeding in sommige delen van de wereld tegen te gaan. Het lijkt er daarom op dat het oplossingen biedt voor honger, bevolkingsgroei, klimaatverandering en extreem weer.
 - (a) Wat is uw blik hierop?
 - (b) Kunt u iets zeggen over Nederlandse en EU-wetgeving wat betreft GMO? En verwacht u veranderingen in de toekomst?
 - (c) En de nieuwe CRISPR-Cas9-methode?
 - (d) In hoeverre kunnen Nederlandse zaadbedrijven competitief genoeg blijven met Amerikaanse bedrijven als de wetgeving wat betreft GMO ongewijzigd blijft?
 - (e) Statistische data van de Accenture Innovation Awards laten zien dat er een groeiend aantal startups is dat meedoen met een innovatie gerelateerd aan precisielandbouw. Maar tegelijkertijd is er maar een heel gering aantal startups dat iets met biotech doet. Heeft u een verklaring voor deze trend?

4. Wat ziet u als de meest veelbelovende innovaties voor de komende decennia?
5. In hoeverre denkt u dat precisielandbouw de traditionele landbouw gaat vervangen in Nederland en Europa?

D.2: Interview questions for representatives from startups

1. Kunt u vertellen hoe [innovatie van startups] precies werkt?
2. Waarom bent u een bedrijf begonnen die iets met presielandbouw/biotech doet? Waar kwam het idee vandaan?
3. Kunt u wat zeggen over de concurrentie in deze sector?
- (a) Wat maakt [startup] uniek in verhouding tot andere startups met innovatieve landbouwoplossingen?
4. Hoe veel is uw bedrijf gegroeid sinds de oprichting?
5. Hoe ziet u de toekomst van de sector waar uw bedrijf actief in is? Welke kansen en bedreigingen?
6. Hoe hoog lagen de initiële investeringskosten voor uw bedrijf?
7. Kunt u iets zeggen over hoeveel gewasopbrengst verhoogd kan worden door uw innovatie?
8. In welke landen/regio's is uw bedrijf vooral actief?
- (a) Hoe is de markt in niet-westerse landen?
- (b) Welke landen/regio's zullen volgens u in de toekomst het meest interessant zijn?
9. Volgens data van de VN zijn de meeste boerderijen in de wereld kleinschalige familiebedrijven. Volgens sommige bronnen wordt zelfs 70% van al het voedsel in de wereld geproduceerd door smallholders. Daartegenover staat dat precisielandbouw voornamelijk wordt toegepast door grote boeren, die grote oppervlaktes aan land hebben en die in staat zijn om kostbare technologie aan te schaffen.
- (a) Met deze gegevens in het achterhoofd, in hoeverre biedt [startup] een oplossing voor smallholders?

Appendix E: Interview Transcripts

Bold text: *speech by the interviewer*

Non-formatted text: *speech by the interviewee*

Interview Transcript – Arjen van Tunen

U werkt met andere bedrijven die actief zijn in de agrosector. Wanneer zou een bedrijf zeggen van we gaan naar KeyGene om daar onderzoek uit te laten voeren, en wanneer zou een bedrijf zoiets zelf doen. Waar ligt die afweging voor bedrijven? Ja die kan verschillend van aard zijn. KeyGene profileert zich als crop innovatie bedrijf, crop innovation company, betekent dus dat wij echt vooral helemaal aan de voorkant allerlei nieuwe eigenschappen proberen te ontwikkelen en ook voorbereidende werkzaamheden doen om zaadbedrijf wereldwijd en ook industriële bedrijven en voedselbedrijven wereldwijd in staat te stellen om betere gewassen te ontwikkelen. En daar kunnen we zowel de tools ontwikkelen die daar voor nodig zijn, bijvoorbeeld een genoomsequentie of een eigenschap of een marker of dat soort dingen. Maar we kunnen ook de eigenschappen zelf kunnen we bestuderen en daar verbeteringen in aanbrengen, dus bijvoorbeeld een resistentie inbrengen of ontwikkelen en dat dan in de vorm van pre-breeding materiaal aan te bieden wat nog niet echt een commerciële variëteit is, en dan kan een bedrijf daar zelf verder mee gaan. Dus in het algemeen werken we altijd business to business, op een commerciële manier, en bieden we dus onze klanten tools en breeding materiaal om daar een nieuw gewas mee te ontwikkelen. Want van het bedrijf af, hoe ver wij eigenlijk moeten gaan en wat ze zelf hebben, als ze het zelf hebben dan zitten wij heel erg aan de voorkant. Als ze het zelf niet hebben dan zitten we zowel aan de voorkant als ook verder in het ontwikkelingsproces bij dat bedrijf. Dus het hangt er helemaal een beetje vanaf. We werken zowel met onze aandeelhouders, vier strategische aandeelhouders, in de groente- en fruitveredeling - die zijn al redelijk goed [onduidelijk woord] met hun eigen research afdelingen - dus daar zitten we heel erg aan het exploratieve gedeelte. We werken bijvoorbeeld ook met de siergewas-industrie, die hebben zelf minder grote biotech R&D afdelingen, of bijna soms nog niet, en daar doen we dat stuk ook voor een heel groot deel. Dus daar [onverstaanbaar woord] we ons meer tegen de veredelaars aan. Terwijl bijvoorbeeld bij die groentebedrijven, die hebben natuurlijk ook veredelaars, maar die hebben ook hun eigen biotech afdelingen, en daar zitten wij dus voor. Dus dan zit hun biotech afdeling daartussen. Wij passen ons helemaal aan aan wat onze klant wil hebben. **Ik werk toevallig nu voor een klant ook bij, naast die Innovation Awards waar ik zit, ook bij Enza Zaden.** Dat is een van onze aandeelhouders. **Een aandeelhouder zelfs. Welke zijn de andere?** We hebben vier aandeelhouders, die alle vier 25% van de aandelen hebben. Enza Zaden uit Enkhuizen, hoofdkantoor in Enkhuizen. Rijkzwaan, hoofdkantoor in De Lier, ook een Nederlands bedrijf. Een Frans bedrijf, Limagrain Vegetables, en een Japans bedrijf Takii Seeds. Een hele internationale club. **Tweede vraag, wat ziet u als de toekomst van de komende decennia, wat het belang gaat worden van de hele agricultural biotechnology, wat ziet u voor kansen ook met het oog op wetgeving, en wat voor eventuele bedreigingen ziet u in de komende decennia?** Ja, nou wat je nu dus ziet is dat, we hebben het dan over biotechnologische applicaties. Vooral vanuit ons perspectief gezien. Je ziet eigenlijk dat door twee grote processen kostenreductie van het verkrijgen van DNA informatie van eigenlijk alle gewassen, en gekoppeld daaraan de mogelijkheden om gebruik te maken

van die geninformatie om daarmee verbeterprocessen te introduceren. Die twee dingen samen die maken dat deze technologieën beschikbaar worden eigenlijk voor alle gewassen. Tot nu toe was het vooral de wat grotere gewassen. Zoals bijvoorbeeld grote veldgewassen: mais, koolzaad, sojabonen, en ook de grotere groentegewassen: tomaat, kole en meloen, dat soort gewassen. Die dus voldoende omzet hadden en turnover hadden om dus die investeringen in die laat maar zeggen biotechnologische aanpak - maar geen genetische modificatie, laten we dat maar even van buiten houden - om die investeringen te rechtvaardigen en die vervolgens ook te kunnen terugverdienen. Door die kostenreductie en het feit dat je ook nieuwe technologieën hebt zijn we nu in staat om deze aanpakken niet alleen maar voor deze gewasgroepen te gaan gebruiken, en dat ook een verdere versnelling te geven, maar ook voor bijvoorbeeld vegetatief vermeerderde gewassen, zoals aardbei, aardappel, bomen, dat soort dingen, en ook zogenaamde orphan gewassen en kleine gewassen. Of gewassen zijn bijvoorbeeld de gewassen die in Afrika gebruikt worden. Moet je bijvoorbeeld aan bakbanaan denken en dat soort gewassen. Of bijvoorbeeld kleine gewassen zoals de siergewassen of de bessen. Ook daar zie ik dat die gewassen nu ook behandeld of laten we zeggen open gaan, dat het daar nu ook mogelijk wordt om daar via niet-genetische modificatie biotechnologie verbeteringen in te brengen. **Ja en als we het dan gelijk over genetische modificatie hebben, hoe ziet u daar de hele opkomst van het hele CRISPR in? Denkt u dat dat iets is wat door gaat breken, of denkt u dat dat eigenlijk dezelfde kant opgaat als wat eerder gebeurd is met het hele GMO.** Nou, punt een ik denk niet dat de regelgeving rond GMO's zo snel gaat veranderen, dus daar zie ik in de komende 10, 20 jaar weinig beweging in in Europa. Dus dat is een. Ten tweede, ja er is nu een discussie over het interpreteren van de regelgeving met betrekking tot die nieuwe technologieën zoals CRISPR-Cas9. Daar verwacht ik dat de komende maanden verdere bewegingen gaan komen en verdere duidelijkheid over gaat komen. Het hangt er heel erg vanaf hoe die regelgeving vorm krijgt, of dat dan toegepast gaat worden of niet. Als het niet toegepast gaat worden, dan denk ik dat Europa en Nederland in het bijzonder laten we zeggen het veredelingsmuseum van de wereld gaat worden. **Want u denkt dat dit in andere landen wel gaat gebeuren?** Nou in de Verenigde Staten wordt het al toegepast, als je een bepaalde manier van werken volgt dan zegt de Amerikaanse overheid al van nou dan hoeven we dat niet te reguleren. **Maar daar is de traditionele genetische modificatie natuurlijk ook toegestaan.** Ja, maar dat heeft wel een kostenaspect he. En je moet dus wel een bepaalde established regelgeving moet je wel aan voldoen. Die moet je wel volgen. **Dus het is vrij duur voor bedrijven om dat te doen.** Daardoor is het de facto alleen maar mogelijk voor de grote gewassen. Dus suikerbieten, het zijn er vijf op het ogenblik. En doordat nu die CRISPR-Cas9, als je dat op een bepaalde manier doet, als dat mutaties geeft die ook in de natuur voor kunnen komen, dan is dat vrijgesteld van de regelgeving in de Verenigde Staten. Dus dat wordt nu toegepast, en daarmee kunnen ze een heleboel dingen ook weer verder gaan doen. **Ja, want denkt u als Nederland daar de wetgeving niet op aanpast, dat heel veel Nederlandse bedrijven of delen van Nederlandse bedrijven ook naar Amerika zullen vertrekken?** Nou we hoeven daar de wetgeving niet voor aan te passen. Er is een Europese richtlijn, en als je dat goed interpreteert dan valt het vrij. Dan is de CRISPR-Cas9 mutagenese, als dat leidt tot mutaties die ook in de natuur voorkomen, dan is dat volgens onze interpretaties, en ook vanuit de Nederlandse overheid en de Tweede Kamer, zou dat niet onder de GMO regelgeving vallen. **Dus uw verwachting is dat de wetgeving van Nederland, correct me if I'm wrong, verwacht u dat die wetgeving soepel wordt of niet? Want dat is wat ik hier uit opmaak wat u net zegt.** Nee, ik verwacht helemaal niks. **Tenminste u zegt, de Tweede Kamer denkt er ook zo over.** De Tweede Kamer heeft een motie, die in 2016 is aangenomen, waarin ze de regering gevraagd hebben toentertijd om ervoor te zorgen dat het gebruik van CRISPR-Cas9, als dat leidt tot mutaties die ook in de natuur voor kunnen komen, dat dat niet onder de EU-richtlijn genetische modificatie hoeft te vallen. Nou heeft de regering tot nu toe nog niet gedaan, want ze wachten eerst af tot er een

besluit komt van een vraag die aan het Europese hof van justitie gesteld is. En die gaat zomenteen een uitspraak doen, en afhankelijk van die uitspraak kunnen we dan weer verder. En die verwachten we de komende maanden. En tot die tijd wordt wel gesproken door Nederlandse instanties, vooral van INW, om de wetgeving aan te passen in Europees verband maar dat is helemaal niet nodig. Voor mutagenese. Er zijn nog een paar andere vormen van nieuwe veredelings technieken, daar ligt dat wat minder duidelijk. Daar heb je denk ik uiteindelijk wel een aanpassing van de wetgeving nodig, waarbij we van een proces-gereguleerd stelsel naar een uiteindelijk product-gereguleerd systeem moeten gaan komen. Maar goed als je regelgeving en wetgeving gaat aanpassen in Europees verband, voor het Europese parlement, dan is de verwachting dat je daar wel 10, 15 jaar over gaat doen. Dat duurt gewoon veel te lang. Dus mijn vraag, mijn hoop, mijn verwachting is dat wij CRISPR-Cas9 mutagenese vrijgesteld kunnen houden door de juiste interpretatie van de Europese richtlijn. En dat andere nieuwe veredelings technieken, Cisgenese, CRISPR-Cas9 met cisgenese, grote veranderingen, dat dat een aanpassing van de regelgeving nodig heeft. Dus mijn sterk advies zou zijn naar de regering en overheden om er een soort [onverstaanbaar woord] van te maken. Interpreteer daar waar mogelijk, daar waar je meer discussie hebt, neem dan wat meer tijd, en zorg er dan voor dat die regelgeving gemoderniseerd wordt. Die regelgeving is nog van 1991 geloof ik, en sinds die tijd zijn die technologieën natuurlijk snel veranderd. **Ja, want ik denk als ik het zo opmaak dat als we dit niet gaan doorvoeren, dat we, u zegt niet dan belanden we in een museum, het is waarschijnlijk echt noodzakelijk met de kanten waar we mee op kunnen met klassieke veredeling zijn gewoon beperkt...** Je hebt daar nu drie grote stukken biotechnologie-veredeling. Naast het klassieke kruisen en dan kijken hoe het eruit pakt. Je hebt de genetische modificatie. Nou genetische modificatie in mijn perspectief is vooral als je een stuk DNA uit een ander organisme pakt, bijvoorbeeld een bacterie, en je stopt dat nieuw in het genoom, letterlijk, van een plant of dier kan ook eventueel. Dus ja je gaat echt de soortgrenzen ga je verbreken, daar ga je doorheen. Dan heb je de kruising en selectie, moet je niet onderschatten dat wordt zeer sterk toegepast. Maar dan kun je ook met allerlei DNA-technieken, en de producten van die kruisingen, kun je gaan monitoren en kun je gaan selecteren welke je wel moet en welke je niet moet hebben. Daarmee kan je het kruising- en selectieproces heel erg boosten, heel erg versnellen, en heel erg veel richting geven. Dat je met de juiste planten verder gaat en je gebruik maakt van natuurlijke genetische variatie in dat gewas. Molecular assisted breeding wordt dat genoemd, en genomic selection. Dat zijn hele krachtige technologieën, dat passen we al jaren toe. **Alleen je blijft er natuurlijk mee beperkt omdat je binnen de genenpool van zo'n soort...** Ja, maar dat wordt onderschat. Bijvoorbeeld in tomaat is de inschatting dat we op dit ogenblik maar 10% van alle genetische variatie daadwerkelijk gebruiken. Dus daar zit nog een heleboel genetische variatie die we nog helemaal niet gebruiken. Daar zitten nog heel veel mogelijkheden, en dat geldt voor een heleboel andere gewassen ook. En er zitten ook nog heel veel mogelijkheden in de breedte waarin je deze technologieën gaat toepassen, want we passen het nu toe voor enkele genen. Maar straks gaan we het voor tientallen of honderden genen tegelijk kunnen we dat gaan volgen en gaan toepassen, doordat die DNA sequencing technologieën zo krachtig zijn. En de derde grote aanpak is via mutagenese. Daar zijn klassieke mutagenese methodes die gesteund worden door moleculaire technieken al heel krachtig in. Daar we er zelf ook eentje van, dat noemen wij "keypoint". Die passen we ook al toe. En dan induceer je dus eigenlijk met chemicaliën een nieuwe genetische variatie in het gewas zonder dat je vreemd DNA toevoegd. Dan wel dat je dat heel gericht doet met CRISPR-Cas9, dat je mutaties aanbrengt waarbij je dus ook van buitenaf... nou die zou ik ook heel graag laat maar zeggen uit het regulatoire circuit willen houden. Omdat je daar eigenlijk alleen maar doet wat er nu in de natuur ook al gebeurt. Om een beeld te geven, als je twee commerciële tomatenplanten vergelijkt qua DNA basenparen volgorde, dan is er sprake van ongeveer één miljard basenparen. Als je twee commerciële tomatenlijnen vergelijkt dan zijn er

nog ongeveer 500.000 verschillen, dat worden SNPs genoemd. Dat zijn enkele letters. Als je er drie vergelijkt dan zijn het er 800.000. En [wij hebben] een flink aantal tomaten gesequenced. Als je 100 commerciële tomatenlijnen met elkaar vergelijkt dan gaat het omhoog tot 10%, dus dan zit je op 10 miljoen SNPs. En als je een wilde lijn met een commerciële tomaat vergelijkt, dan zit je op 10% aan SNPs. Dat is een. Twee, als je van zaadje naar zaadje gaat dan hebben we al gezien dat je ongeveer 40 mutaties genereert. Doordat de cel deelt en er foutjes gemaakt worden als dat DNA vermenigvuldigt wordt, door UV-straling aan de buitenkant. Dus je ziet dat het genoom van de tomaat als je hem selfed, dat is een homozygote lijn, als je die selfed en je kijkt wat eruit komt dan zitten er 40 mutaties in, ongeveer. Dat is twee. Tegen die achtergrond kan ik me niet voorstellen dat als je nou één SNP maakt met CRISPR-Cas0 dat dat zo'n probleem is, rationeel gezien. Want dat gebeurt in de natuur ook. Dat gebeurt 40 keer zoveel op een ongeleide manier als je gewoon van tomaat naar tomaat gaat, en als je een wilde lijn maakt om daar een gen uit vandaan via introgressie te introduceren, dan is het al wel wat meer. Dus tegen die achtergrond van die geweldige natuurlijke diversiteit die er al is zou ik juist willen dat je nou gewoon één SNP toevoegen dat zouden we echt moeten omarmen. **En helemaal als je het vergelijkt met wat er traditioneel wordt gedaan, want het genetisch modifieren is dan niet mogelijk, maar de hele mutagenese natuurlijk wel. Want dat wordt wel gedaan, dat wordt wel gewoon toegepast. En daar heb je veel minder controle over het proces dan wat u hier uitlegt met CRISPR-Cas. En denkt u dat dat makkelijk gaat worden om dat besef voor mensen zoals u en andere mensen die daar bij betrokken zijn, omdat besef te creëren in de politiek? En ook bij NGO's?** Nou ik denk dat dat op zichzelf, nou bij NGO's weet ik niet, maar ik denk voor mensen die daar open voor staan kun je dat goed uitleggen mits je dus uitlegt dat je binnen de soort blijft, dus dat je geen vreemd DNA inbrengt, en mits je ook aangeeft dat deze SNPs dat je daar mee hele interessante eigenschappen over kunt verbeteren. En dan moet je dus niet meteen naar herbicide resistenties gaan, zodat er meer bestrijdingsmiddelen gebruikt gaan worden. Nee, dan moet je naar gezondere gewassen, gewassen waarbij je juist minder bestrijdingsmiddelen gaat gebruiken, en waarbij je dus echt via de eigenschappen bijdraagt aan betere gewassen, resistentere gewassen, gezondere gewassen, voor mens en dier, en gewassen die je helpen bij het sustainable produceren van je productie die we nodig hebben. **En denkt u dat de voordelen die we hier mee hebben, dat we hier dus door binnen hetzelfde soort te blijven, door technieken te gebruiken die niet foreign DNA toevoegen aan de soort, denkt u dat we daarmee naast commerciële voordelen, en naast voordelen binnen ons land, misschien voordelen op het gebied van sustainability, maar denkt u dat we daarnaast ook echt hele grote problemen kunnen oplossen. Bijvoorbeeld resistentie tegen overstromingen, tegen droogte in bepaalde andere landen. Echt de voedselproblemen met voedselzekerheid, denkt u dat we die daarmee op kunnen lossen zonder technieken die inderdaad echt meer de genetische GMO kant op gaan waarmee je inderdaad DNA van hele andere soorten invoegt in het huidige DNA. Denkt u dat we gewoon met wat u hier uitlegt dat soort problemen ook echt op kunnen lossen?** Nou ik weet niet of we alle problemen oplossen, en je moet ook niet overschatten wat je kunt met één enkele SNP. En het zijn kleine stappen die bijdragen tot de totale oplossing. Om een voorbeeld te geven, je kunt bijvoorbeeld - en van mijn collega bedrijven heeft dat gedaan - je kunt bijvoorbeeld bijdragen aan stop wasting food now. Door bijvoorbeeld een sla te ontwikkelen die minder snel verbruind aan de randen van de gesneden sla. Sla wordt vaak in gesneden vorm tegenwoordig verkocht in de supermarkten. Nou stel dat je een eigenschap ontwikkelt via één enkele SNP, dat je ervoor zorgt dat die verkleuring aan de randjes, die verbruining, dat dat geremd wordt, door een mutatie in het peroxidase bijvoorbeeld. En je kunt daarmee twee dagen langer in de winkel blijven liggen, dan geeft dat een geweldige houdbaarheidsverbetering, en dan vermindert het afval. Die is gemaakt, die is ontwikkeld, en dat geeft een paar dagen langere houdbaarheid, en dat draagt bij tot vermindering van

verspilling. Maar het is maar een klein stapje. Het is in dit geval alleen maar even voor sla. Ik zou willen zeggen, ja je moet je wel realiseren van dat het niet zomaar is dat je met één SNP de totale wereldvoedselvoorziening even helpt. Maar het zijn wel veel stapjes die bijdragen. **En denkt u dat het echt, want daar denk ik zelf wel eens over na, van is het nou echt een probleem dat we ook met CRISPR-Cas, dat we DNA van andere soorten gaan inbrengen. Is dat echt een probleem, of is dat meer gewoon van nou, het klinkt alsof we een soort schorpioenen genen gaan inbrengen. Het klinkt natuurlijk niet, het klinkt niet zo mooi. Maar het is het wetenschappelijk gezien een probleem dat we DNA van andere soorten in een soort inbrengen.** Ik heb zelf geen problemen met de genetisch gemodificeerde gewassen die nu op de markt zijn. BT, corn bijvoorbeeld, of dat soort gewassen. In BT katoen heeft tot geweldige mooie applicaties in bijvoorbeeld India geleidt. Maar ik realiseer met tegelijkertijd dat het in Europa helemaal vast zit die discussie. En ik wil ook geen energie in die discussie stoppen want het zit gewoon de komende 10 jaar denk ik zelf, de komende 10, 20 jaar, zit het vast. Dus parkeer die discussie en probeer dan een verbetering, probeer dan tools te ontwikkelen die je wel kunt gaan gebruiken, die je wel kunt toepassen. En daar kunnen we ook heel veel mee. Misschien kunnen we niet altijd hetzelfde als wat met genetische modificatie wel kan, maar laat dat dan eventjes. Dus het is meer van nou het feit dat de haalbaarheid van het gebruik die zit vast als het gaat om genetische modificatie. Het is gewoon te duur ook. En de haalbaarheid zie ik wel op het ogenblik nog steeds rondom die discussie met betrekking tot het gebruik van CRISPR-Cas9 of andere gene editing technieken. **Oke, duidelijk.** Dus als genetische modificatie mogelijk is, geef ons dan tenminste CRISPR-Cas9 mutagenese. **Bij ons bij de Accenture Innovation Awards hebben we, tenminste ik heb met een aantal andere mensen een analyse gedaan van wat in de afgelopen jaren, wat voor startups mee hebben gedaan binnen de Future Food Solutions, binnen de hele food&agri sector, en wat we zien is dat er heel weinig startups meedoen, in ieder geval bij de Accenture Innovation Awards, die iets doen echt in de biotechnologische sector, dus echt iets, na ja sowieso in de hele agriculture sector. Heeft u daar misschien een verklaring voor dat er zo weinig startups zijn? Want je ziet bijvoorbeeld bij precisielandbouw, daar heb je ook wat startups, daar hebben we al veel meer startups die een bepaalde innovatie hebben met iets om landbouw opbrengst te verhogen in die sector, maar binnen de biotechnologie zijn het er maar heel erg weinig. Heeft u daar een verklaring voor?** Na ja, ik denk dat het gewoon ook niet zo gemakkelijk is in, de tijdspaden die gevolgd moeten worden zijn heel lang. Het zijn bijna medicijn ontwikkelingstrajecten die je moet volgen. Waarbij je dan in de medische sector nog kapitaalkrachtige farmabedrijven hebt die dan laat maar zeggen bedrijfjes die in fase 1 nog zitten of in hun R&D fase zitten, zo interessant vinden dat ze die kunnen overnemen. Waardoor je dus een biotechnologie-industrie ontwikkelt. Als je hier startups hebt of kleine biotech bedrijfjes, die zitten helemaal aan de vroege kant en die vinden bijvoorbeeld een gen wat een actie heeft in *Arabidopsis*, ja dan zegt een bedrijf nog niet meteen van oh dat gaan we overnemen, want we weten allemaal dat een applicatie in *Arabidopsis* nog lang niet een applicatie is in tomaat of in corn of weet ik veel wat. Dus ik denk dat voor een deel het gat tussen de universitaire wereld en het uiteindelijke product, daar zitten zo'n 10, 15 jaar tussen nog steeds. Dat gat is groot en wordt niet zomaar opgevuld. Dan moet je een behoorlijke adem hebben om dat op te vullen. **Hoe is dat bij KeyGene gelopen, want is KeyGene ook ooit zo begonnen, wat is het verhaal achter KeyGene?** KeyGene is in 1989 begonnen, wij zijn opgericht door een paar kleine Nederlandse familiebedrijven in de land- en tuinbouw, en een aantal corporaties. En die wilden in de dure biotech investeren, gezamenlijk, want ze konden dat apart niet doen, dat was te duur voor hun, toen waren ze nog klein. Dus bijvoorbeeld Enza. En die wilden vervolgens ook hun onafhankelijkheid houden want toen in die biotechnologie met genetische modificatie werden een heleboel zaadbedrijven overgenomen door de grote multinationals, Shell en BP zat in de biotech, Monsanto. Dus die hebben hun eigen biotech bedrijf opgezet en die hebben

dat van begin af aan op een commerciële manier gedaan, waarbij KeyGene dus ook winst maakt en die winst weer terugploegt in eigen onderzoek. En de missie van KeyGene was en is om tot innovaties en nieuwe aanpakken en technologie ontwikkeling en trait ontwikkeling te komen. Nou dat heeft zich in de loop der jaren uitgebreid met het groter worden van die bedrijven. Ze hebben meegegroeid en zijn wij de dingen die we ontwikkeld hebben zijn we ook gaan uitzetten en gaan uitventen in andere bepalende gebieden. Het is een ander concept. Het concept van KeyGene is altijd dat zij ons via projecten gefinancierd hebben, terwijl met een biotech is het vaak venture capital wat je erin stop, en wat na 4, 5 jaar op een of andere manier een outlet moet gaan vinden. En die 4, 5 jaar is vaak kort als het gaat om, hoe verzorg je dan een outlet? En in de medische sector is er wel een outlet, dan worden ze overgenomen door farma, of ze gaan de beurs op. Dan hebben ze nog 5 jaar. En je ziet ook dat de kleine bedrijfjes dat gaat soms nog wel. Maar je ziet dat de doorgroei is het grote probleem. **Ziet u ook veel bedrijven die over de kop gaan, of valt dat mee?** Ja wat een beetje blijft vegeteren, een beetje blijft rommelen in de marge van een universiteit. De universiteiten zitten ook altijd aan *Arabidopsis* te klooiën (...) **maar ja, fundamenteel onderzoek is natuurlijk wel belangrijk, je moet ergens beginnen, en je moet een soort modelplantje hebben want er zijn zoveel gewassen.** Ja maar bij de universiteiten zit vaak een idee van nou we zoeken het uit in *Arabidopsis* maar kan het volgens door de bedrijven in de gewassen toegepast worden. En *Arabidopsis* is een modelgewas, nou ik geloof dus niet in modelgewassen. Dat is ondertussen wel gebleken. Als je iets wil ontwikkelen moet je dat in dat gewas doen. En het leuke is, om weer terug helemaal aan het begin, dat we nu de moleculaire tools kunnen gaan toepassen om dat ook in alle gewassen, niet alleen in die hele grote, maar in alle gewassen, te kunnen gaan toepassen. Dus ook in de orphan crops, in de kleine gewassen, in de vegetatief vermeerderde gewassen, in de industriële gewassen, hebben we voorbeelden van bijvoorbeeld. **Maar hoe ziet u dat dan met bepaalde onderzoeken die naar een bepaald mechanisme in zo'n plant, er wordt gewoon gekeken hoe werkt dit en dit mechanisme.** Bijvoorbeeld waar ik onderzoek naar heb gedaan is wat voor mechanismen zitten er achter suiker-gereguleerde groei, dus als je een plant suiker geeft, geen licht, nou welke mechanismen signaleren dat en zetten dat om. Ik bedoel, dat zijn onderzoeken van jaren waar heel veel wetenschappers bij betrokken zijn. Hoe zou je dat dan kunnen toepassen op elk specifiek gewas. Ik snap dat je natuurlijk tegenwoordig steeds meer tools hebben om meer data te genereren, maar als nog er zitten jaren onderzoek in, dan is dat toch lijkt mij heel erg moeilijk om te zeggen van *Arabidopsis* die halen we weg en we gaan dat gewoon op elk gewas gaan we dat onderzoeken. Nou ja, fundamenteel onderzoek is natuurlijk in de plantenwetenschappen is natuurlijk ontzettend belangrijk. En daar is Nederland gelukkig behoorlijk sterk in, we hebben bepaalde mooie sterke nuclei van sterk wetenschappelijk onderzoek op het gebied van planten en moleculair onderzoek en biotechnologisch onderzoek. Dus dat moet blijven, en daar moet ook voldoende financiering vanuit de overheid zelf komen, maar je moet niet meteen verwachten dat de vruchten van dat onderzoek per direct even via een startupje omgetoverd worden in een applicatie in een gewas. Daar is wel veel meer voor nodig. **Want die verwachtingen zijn er wel?** Na ja, uiteindelijk draagt het natuurlijk wat bij tot het kunnen toepassen in zo'n gewas, maar je moet in zo'n gewas dan gaan werken en dan kijk je hoe het werkt in *Arabidopsis*, en dan ga in het gewas ga je het ook bekijken en dan realiseer je dat er bepaalde onderdelen toch weer anders gereguleerd worden doordat dat een monocotyl is of een dicotyl is of een weet ik veel wat, of dat die andere korte dag, lange dag, weet ik veel, er zitten behoorlijk wat parameters in die verschillen. Je ziet het vaak, ik hoor van de bedrijven vaak dat er binnen het gewas zelf al heel veel diversiteit zit. Juist op dit soort complexe eigenschappen als suikermetabolisme. **Zou u eigenlijk zeggen dat universiteiten dat onderzoek al moeten doen voordat ze naar bedrijven stappen.** Van nou we beginnen bij *Arabidopsis*, vervolgens gaan we datzelfde onderzoek doen met de kennis die we nu hebben op *Arabidopsis*, gaan we dat doen op

tomaat, of op wat dan ook, en dan gaan we pas naar bedrijven en dan zeggen we van nou jullie doen het laatste stukje onderzoek. Nee, dat is veel te simplistisch. Ik zou zeggen de universiteiten moeten vooral dat fundamenteel wetenschappelijk onderzoek moeten ze blijven doen. Dat kan ook best wel breder dan alleen maar bij *Arabidopsis*. Er zijn heel interessante planten, en heel interessante organismen, waar je ontzettend mooie biologische processen kunt bekijken. Daar moeten de universiteiten vooral mee doorgaan. Maar denk nou niet dat je universiteiten hebt en de bedrijven zijn de veredelingsbedrijven. Nee er zitten heel bedrijven tussen, bijvoorbeeld bedrijven als KeyGene. En wij zijn heel goed in staat om dat soort vertaalslagen te gaan maken. Het is veel meer een laten we zeggen een ecosysteem van expertise die met elkaar in verband gebracht moet worden. Daarom vind ik ook, bijvoorbeeld de manier van organiseren van de TKI's vind ik heel erg simpel. De universiteiten ontdekken iets, en dan gaan de bedrijven dat toepassen. En dan heb je twee type bedrijven: je hebt de zaadbedrijven en je hebt de universiteit. En er wordt helemaal niet gedacht aan een bedrijf als KeyGene die ook kennisprovider is in feite. Die universiteiten denken van wij zijn de kennisprovider, en dan de zaadbedrijven die passen het toe. Maar zo werkt het helemaal niet, het is veel ingewikkelder. **TKI's, ik heb toevallig laatst een interview met Kees de Gooijer, hij zij ook van ga even bij KeyGene. (...) Ik heb nog even één vraag, want ik heb opgezocht data Nederland is natuurlijk een enorm groot exportland van groentezaden, maar 77% van die export is in de EU. Dus dat is leuk commercieel gezien, maar iedereen heeft het over grote wereldproblemen, dat is ook waar mijn onderzoek over gaan. En om die problemen op te lossen, dat is in eerste instantie niet altijd perse commercieel misschien, maar klimaatverandering, droogte, overstromingen, nou dat soort dingen, ondervoeding dat soort dingen, zie je dus dat er heel weinig in ieder geval in Nederland en ik zie ook wel bij andere landen dat heel weinig van wat hier gedaan wordt in die landen terecht komt. En denkt u dat want we zijn allemaal aan het proberen en ook KeyGene, ik zie dat ook op jullie mission statement en alles, allemaal proberen om die problemen op te lossen, maar denkt u dat dat gaat lukken als we dat hier in het Westen, als we ons op het Westen blijven focussen en niet op de landen waar echt oplossingen nodig zijn?** Nee natuurlijk niet. Je moet lokaal moet je ook actief zijn. Dat moet je in samenwerkingsprojecten doen. **En hoe gaat dat op dit moment?** Nou bijvoorbeeld wij hebben bijvoorbeeld met Indiase bedrijven hebben wij samenwerkingsprojecten. En in die samenwerkingsprojecten zie je dus dat daar ook de onderzoeksgroepen van het Indiase zaadbedrijf dan vervolgens ook meegenomen worden en expertise ontwikkelen. Waardoor ze bepaalde dingen zelf gaan doen en dan trekken wij ons weer terug gaan wij weer met andere landen de dingen doen. En dat moet op een, wij noemen dat co-development, dat moet op een co-development manier moet dat gebeuren, en niet op een manier dat alles hier uitgevoerd wordt. Dus wat je ziet is dat je dan met het bedrijf daar in India samenwerkt en een deel hier uitvoert en een deel daar uitvoert. Maar daar zijn we al aan gewend, want zo gaat het werk met de zaadbedrijven hier ook. Het is niet zo dat wij bij KeyGene alles ontwikkelen en dat we dan over de schutting gooien en dat zij dan lekker simpel verder gaan. Nee, een deel van het werk gebeurt hier, en een deel van het werk gebeurt bij het veredelingsbedrijf. En ik verwacht dat het bij de bedrijven in laten we zeggen andere delen van de wereld, Zuid-Amerika, Azië, dat het gewoon niet anders is. Maar dat moet je wel goed organiseren, en dat moet je met vallen en opstaan moet je dat gewoon organiseren. Want elk land is weer anders en de regels zijn weer anders en de cultuur is weer anders. Uiteindelijk moet je het wel samen doen. Het mooiste is, tenminste het Nederlands heeft een prachtig woord daarvoor, samenwerken. Samenwerken betekent letter "samen werken". Dus niet samenwerken, nee "samen werken". Je hebt een project, een deel wordt door A gedaan en een deel wordt door B gedaan. En dat moet met elkaar moet dat goed gaan. En dan breng je iets tot stand. **En gebeurt dat nu genoeg, of denkt u dat daar nog wel een verbetering nodig is?** Nou daar zijn wel verbeteringen nodig en daar kunnen wij natuurlijk, daar zijn wij natuurlijk, daar kunnen we

natuurlijk naar landen als India of Zuid-Amerika kunnen we heel wat dingen bieden, maar zij hebben ook heel wat te bieden. Ze hebben natuurlijk heel veel behoefte, er is een sterke pull om nieuwe producten daar te ontwikkelen en zij weten van een gewas als rijst bijvoorbeeld, weten ze vaak veel meer dan dat wij dat weten. **Want jullie werken ook als KeyGene veel samen met dat soort buitenlandse bedrijven?** Ja, dus als je kijkt naar wat wij doen in de wereld dan doen we heel veel in Europa, maar ook in Japan werken we natuurlijk via onze aandeelhouders heel veel samen. En Noord-Amerika, omdat we daar ook een subsidiary hebben. We hebben net een kantoorje gestart in India, om een aantal projecten te ondersteunen. We gaan in Maleisië gaan we verder uitbouwen, dus dat proberen we wel te doen. **Dus ook in ontwikkelingslanden veel onderzoek wat gedaan, veel nieuwe producten die er op de markt gekomen zijn, vanwege dat onderzoek. Dan denk ik met name aan nieuwe groentezaden en andere en niet alleen groenten maar nieuwe zaden, verbeterde zaden. Komen die zaden ook op dit moment aan bij kleine lokale boeren, zeker in ontwikkelingslanden, of is dat eigenlijk nog heel beperkt?** Nou dat is een geleidelijk proces, maar je ziet wel dat dat gebeurt. Je ziet natuurlijk dat de groene revolutie heeft zijn effect natuurlijk al gehad. Dat bestond uit een paar dingen, hybride zaden, landbouwzaden vooral en verbeterde zaden. En natuurlijk chemicaliën, het gebruik van chemicaliën. Nou dat gaat alleen maar verder. Je ziet bijvoorbeeld in India dat de groentezaden wordt allemaal hybride. Nou als je hybride zaden hebt dan heb je een industrie vaak die erachter zit. **Want dat is een beetje het vage waar ik soms tegenaan loop, want hoeveel komt er nou echt aan in die ontwikkelingslanden. Want die verbeterde zaden die zijn natuurlijk ook een stukje duurder, want ik vraag me af of mensen in die ontwikkelingslanden dat ook altijd kunnen betalen, en wat ik net al zei hier in ieder geval van de zaden die hier geproduceerd worden wordt het grootste deel binnen de EU geëxporteerd, dus ik probeer een beetje het inzicht te krijgen van hoeveel van kennis die hier opgedaan wordt, hoeveel van de zaden die geproduceerd worden komen uiteindelijk aan bij de mensen die het het hardst nodig hebben.** Ja iedereen heeft het hard nodig, ook hier. **Ja oke, maar wij hebben hier wat meer voedselzekerheid dan in die landen natuurlijk.** Juist, dan heb je het alleen over voedselzekerheid. Maar je hebt het natuurlijk ook over voedselkwaliteit. En ja de type eigenschappen verschuiven natuurlijk ook een beetje naar het type land waar je actief bent. Hier is het vooral voedselkwaliteit, en smaak, en buitenkant, aantrekkelijkheid van een gewas. Zelfs kromme komkommers wil je niet, wat natuurlijk raar is. In een land als India is heel veel meer gefragmenteerd. Een deel van de bevolking, moet je ook niet onderschatten, is wel degelijk zeer kapitaalkrachtig. Dan heb je het over een paar miljoen customers van de 1,3 miljard die gewoon in het middensegment of hoger zitten. En die dus ook goeie kwaliteit willen hebben. En dan heb je aan de onderkant heb je ook een paar honderd miljoen mensen die nog steeds calorieën nodig hebben. Die wil je ook bedienen. En je ziet dus dat er verschuivingen plaatsvinden waardoor je ziet dat er steeds meer behoefte komt aan niet alleen maar voedselzekerheid maar ook voedselkwaliteit, en gezondheid. **Dat is natuurlijk in het Westen ook waar heel veel problemen liggen, zeker als je kijkt naar juist de andere kant op inderdaad, obesitas, overgewicht, dat soort dingen.** Ja, dat zie je in die landen ook hoor. Landen als China en India, daar zie je ook een verschuiving. Zeker bij de wat hogere inkomens, daar gaan ook dezelfde problemen ontstaan. Dus dan krijg je de rare situatie dat er obesitas mensen rondlopen, maar ook mensen die nog steeds te weinig te eten hebben. **Ja, in één land.** Ja, en juist als je zaden gaat ontwikkelen die natuurlijk met veel technologie en investeringen gepaard gaan, ja dan moet je ook aan de achterkant een weer wat hogere prijs vragen. En dan ga je denk ik eerder, laten we zeggen, dan kom je eerder terecht bij de hogere middeninkomens dan bij de lagere inkomens.

Interview Transcript – Ernst van der Ende

Laat ik heel breed beginnen, misschien kunnen we, dan komt er een gesprek los en dan worden er automatisch denk ik heel veel vragen die ik hier heb staan wel beantwoord. **Wat denk u, hoe belangrijk agricultural biotechnology gaat worden in de komende decennia, ook in vergelijking met andere manieren om voedselzekerheid te verbeteren? Wat ziet u voor kansen en wat voor eventuele bedreigingen? En dan denk ik ook aan wetgeving, en al dat soort dingen wat eromheen zit.** Biotechnologie is heel breed, dat zeg ik dan maar als eerste. In de zin dat er zijn allerlei processen die zouden kunnen, met biotechnologie denken mensen heel snel aan genetisch gemodificeerde organismen, maar het gaat breder dan dat. Laat ik dat ik in ieder geval aangeven. Biotechnologie heeft een enorm belangrijke rol naar de toekomst toe. En dat zie je al doordat je als je gewoon op wereldschaal kijkt, dan heb je hier in Nederland, zeg de Westers wereld, heb je eigenlijk de potentiële opbrengsten die je kunt bereiken die heb je wel zo'n beetje bereikt. Je ziet dat Nederlanders, laat ik maar even op Nederlanders focussen, die zijn zo hartstikke goed in agronomie geworden. Dus die weten, de groene vingers die weten het maximale uit hun grond te halen, het maximale uit de planten te halen. Dus daar zit je al tegen een niveau aan waarvan je eigenlijk zegt van na ja de actuele opbrengst is bijna gelijk aan de potentiële opbrengst wat er in zit. Wil je dat nog veranderen dan zul je in de genetica wat moeten veranderen, dan zul je daar een cap op moeten zetten. Dus dan moet dat omhoog. Dat is eigenlijk de enige manier om het te vergroten. **En denkt u dat dat gaat gebeuren of niet?** Dat gaat gebeuren ja. **Want wetgeving is op dit moment, in ieder geval op de klassieke genetische modificatie technieken is het natuurlijk niet soepel.** Ik verwacht dat daar wel de openingen gaan komen. Dus we zijn nu met CRISPR-Cas enorm bezig met op Europese schaal. Ik zit ook in allerlei besturen op Europese schaal, als het gaat om plantenwetenschappen, en de lobby richting bijvoorbeeld Brussel. Ik verwacht, kijk het is een rare situatie op dit moment, omdat Europa heel erg anti is. Andere landen die gaan er mee door. Er komen hier straks producten op de markt waar je helemaal niet meer kan aantonen hoe ze zijn gemaakt. En dat geeft een enorme blur de komende decennia. **Hoe proeft u de sfeer dan, als u in dat soort commissies zit en praat met mensen, of in ieder geval als u, weet ik veel, met politici, ik weet niet in wat voor commissies u zit, maar u praat echt met EU politici of?** Ja, en landelijk. **Ja, oke, want wat is de sfeer dan?** Nou wat je ziet is dat noem maar even de Nederlandse situatie, dat is het makkelijkste, daar is een, eigenlijk loopt de politiek enorm achter bij wat er in het veld kan. En dat zie je in Nederland, je ziet het ook in Europa. En wat vervolgens daar dan gedaan wordt is dat men niks meer doet, van oeh jeetje wat moeten we nou weer doen. Als je CRISPR-Cas nu zou reguleren aan de hand van de jurisprudentie die er is, dus als je gewoon zegt nou, een GMO is echt gedefinieerd binnen de Europese wetgeving. Even in Jip en Janneke-taal, dan is een GMO een GMO omdat hij zich onderscheidt van datgene wat er in de natuur kan gebeuren. Met CRISPR-Cas doe je dingen die niet meer te onderscheiden zijn van wat er in de natuur kan gebeuren. Juridisch gezien, als je dat dus echt gaat toetsen, ja dan moet je constateren dat CRISPR-Cas geen GMO is. En die moet je dereguleren. **Maar denkt u dat legislators daar ook van overtuigd gaan raken?** Er worden natuurlijk, er worden allerlei rechtszaken gevoerd. Ik ben heel optimistisch dat op termijn het wel gaat gebeuren. En dat kan om alle redenen zijn, maar als jij... **Ook vanwege de concurrentiepositie met andere delen, met andere landen?** Ja, dat ook. Vanwege het feit dat je het niet kan controleren, dus je moet wat gaan doen. En dat besef begint wel door te dringen. En je kunt ook, kijk, je kunt niet de maatschappij aan de ene kant zeggen nou jullie minder middelen gaan spuiten. Minder, minder, minder, ja maar wat is dan de oplossing? Ja dan is toch echt wel resistentieveredeling is wel de eerste. En als jij, en ik wil die ethische discussies wel voeren. **Ja, dat valt me ook**

heel erg op van iedereen heeft het over minder, minder, minder, en deels ook duurzaam is ook een beetje heb ik zelf het idee een modewoord, van duurzaam, duurzaam, duurzaam, maar je moet wel een alternatief hebben inderdaad. Kijk ik moet toevallig heb ik volgende week weer een debat waar ik ook in zit. Wat heel erg in Nederland en eigenlijk in Europa is dat mensen verwarren, vind ik, duurzaamheid of biologisch telen met natuur. Dus iemand een burger die denkt nou we moeten terug naar de natuur, dat is het beste. En mensen hebben gewoon niet door dat elke vorm van landbouw, of het nou conventioneel is, of biologisch, is natuurlijk hartstikke kunstmatig. Als jij in het bos wandelt struikel je niet over een broccoli. Die kan daar niet groeien. Dus we hebben een systeem gecreëerd met z'n allen wat super afhankelijk is van de mens, wat je ook doet. En daar, het besef dat als je naar duurzaamheid wil dat dan nog steeds de mens heel belangrijk blijft om daar sturing aan te geven, da's een hele cruciale. En dat je dan ook zegt van nou dan moet je alles uit de kast trekken, en daar ben ik een groot voorstander van, om te zeggen het kan wel met minder middelen, het kan wel met minder mest, het kan wel met minder energie, maar ja, dan hebben we wel technologie nodig. En nou dat zit, jij snijdt nu twee onderwerpen aan waar natuurlijk heel veel over te doen is. Biotechnologie daar zitten heel veel beloftes in als je gewoon naar het onderzoek kijkt. **Maar ik denk ook dat je ook gewoon met problemen als droogte, problemen met opwarming, dat soort dingen, juist biotechnologie biedt daar heel veel oplossingen voor, omdat je gewassen zo kan modificeren dat ze daar tegen bestand zijn.** Ik had anderhalf jaar geleden heb ik samen met Louise Fresco, hadden wij een groot symposium georganiseerd voor smallholders in Afrika, bij de FAO in Rome. En daar waren 550 man, heel veel regeringsvertegenwoordigers van eigenlijk over de hele wereld. En daar werd dus een dag lang gepraat over hoe kunnen wij er nou voor zorgen dat biotechnologie ook z'n rol krijgt in het verbeteren van landbouw in Afrika. En dat is echt niet de heilige graal alleen in Afrika, in Afrika kun je ook nog heel veel dingen doen met alleen maar, gewoon zeg maar goeie agronomie, dus zorgen dat mensen leren telen en daarmee kun je onwijs veel al winnen. Maar goed wij vonden dat biotechnologie daar ook een plek in had. Nou, dat is echt een mooi voorbeeld hoor. Er sprong dus bij de ingang van de zaal, bij de FAO stonden de Franse NGO's die stonden pamfletten uit te reiken aan iedereen en alles dat het echt een schande was dat we dit opdelen. **Ja echt?** Ja ja, dat we dit geagendeerd hadden. **Van te voren al gewoon.** En dan hadden we pers erbij gehaald ook, dus dan stonden we daar radio-interviews te geven, en op een gegeven moment was er ook een situatie waarbij in de zaal een discussie ontstond en een van de Franse NGO's die stond dus op en die begon een heel verhaal van nou Afrika die hebben al jarenlange ervaring met biologisch telen en daar moeten ze vooral mee doorgaan, en dit is echt schandalig dat we ook nog proberen om deze technologie door de strot heen te douwen bij die smallholders. Nou toen sprongen er tegelijk zeven Afrikanen op uit verschillende landen waarvan met name de Ghanees echt woedend was, echt woedend. Dus die stond in die zaal te wijzen van jij met je luxe, ik vindt het best dat je dit vindt maar blijf lekker in Frankrijk, jullie hebben geen problemen met honger. Jullie hebben geen problemen met droogte. Wij hebben wel die problemen, ga niet op een paternalistische toon praten over wat wij zouden moet gebeuren, wij willen biotechnologie. Flikker op weet je. En daar zie je ook [onverstaanbaar woord], het is een hele luxe discussie geworden. **En hoe makkelijk denkt u dat de technologie dat we hier ontwikkelen, innovaties die hier komen, nieuwe kennis, hoe makkelijk belandt dat dan ook in die landen?** Na ja, dat landt niet makkelijk en het is nogmaals die technologie, wat nu eerst moet gebeuren is echt capacity building in die landen. Je kunt al zo veel bereiken in Afrika met de huidige kennis. Heb je geen biotechnologie voor nodig. **En hoe denkt u dat we dat voor elkaar moeten krijgen, onderwijs?** Ja, het is deels onderwijs, deel moet je, Afrika loopt voorop in mobiele telefonie. En we hadden het net over precision ag, je kunt al heel veel he. Ik zit veel in Afrika en Azië, ja ik ben altijd stomverbaasd dat al die smallholders die hebben niks, behalve een mobiele telefoon. Je kunt heel veel dingen daarin doen. **Nou hoe ziet u dat**

met precision ag bijvoorbeeld? Hoe zit het daarmee, want ik bedoel over het algemeen heb je daar ook vrij dure machines voor nodig, toch? Ja, maar je kunt daar wel, kijk daar kunnen overheden een belangrijke rol in spelen. Dus als landen echt hun landbouw op een hoger niveau wil hebben, dan zie je ook een overheid of een Gates foundation of wat dan ook, die gaan, die grote organisaties, die gaan investeren in satelliet-waarnemingen of in dronetjes die rondvliegen. **Heb je het dan ook over overlappende organisaties zoals de World Bank en dat soort organisaties?** Ja, ja, en dan zal natuurlijk nooit, je hebt natuurlijk nooit, kijk die smallholders die hebben niet het vermogen om te investeren. Dus eerst moet die markt die moet zijn werk gaan doen, en die mensen moeten meer gaan verdienen. En dan kunnen we een heleboel dingen plaats gaan geven. Bedrijven zoals Enza, nou Enza nog niet eens zoveel, maar Rijkszwaan en East West dat is een, Enza is een aandeelhouder van East West. Die zijn heel actief in Afrika. En die zie je dus ook echt, dat is een heel mooi voorbeeld, ik was ooit een keer in Myanmar met East West, en toen waren we bij een tomatenteler en dat was op een handelsmissie, dus de minister van landbouw was mee van Nederland. En die tomatenteler die hield eigenlijk het verhaal bij zijn tomatenplotje over wat Enza voor hem had betekend. En er was dus een begeleider vanuit, of sorry, East West, wat East West voor hem had betekend en er was ook een begeleider vanuit East West bij. Wat had die man nou gedaan vanuit East West, die had hem eerst geleerd om minder tomatenplanten te gaan telen. Dat staat dus haaks op het business model van een veredelaar, die wil zaad verkopen. Maar dit is precies wat er moet gebeuren, dus eerst werken aan de agronomie, dus eerst zeggen van nee joh, weet je het is helemaal niet goed om 20 tomatenplanten dicht tegen elkaar te zetten. Krijg je te hoge vochtigheid, wordt het ziek, uit elkaar die dingen, krijg je een hogere opbrengst. Dat was ook gebeurd, hogere opbrengst, meer geld bij die teler. **Dat zijn hele kleine veranderingen eigenlijk.** Ja, die teler krijgt gewoon meer inkomen. Met meer inkomen kan ie duurder zaad aanschaffen. Weet je dat is een andersom nadenken. Nou dat vindt ik prachtige voorbeelden. **Ja, en ik denk ook, doet me denken aan ik had een tijdje geleden een interview met de oprichter van Agrisim, dat is een startup...** ja, ken ik. **Ja, dus dat was ook wel leuk want hun concept vond ik ook wel een mooi concept van het idee van nou, als een bepaald gewas veel meer opbrengt om dat dat beter geschikt is voor jouw grond, waarom gooi je dan niet dat gewas erop. En dat is op zich een kleine aanpassing, of nou ja klein, maar in ieder geval als ze daar voldoende in ondersteund worden en daardoor kan je natuurlijk veel meer opbrengst hebben en uiteindelijk veel meer profitability.** Kijk wij hebben, en dat is ook biotechnologie, daarom zei ik net tegen je: het is wel wat breder dan alleen GMO. We hebben hier een heel groot project, dat wordt door Gates gefinancierd. En dat zit in 11 Afrikaanse landen, daar zit inmiddels al meer dan 100 miljoen euro in, dus het is ook niet een klein project. En daar wordt heel erg gekeken naar leguminosen, dus vlinderbloemigen, die kunnen die truc met rhizobium (...) dus die kunnen die symbiose, die bacterie die in die wortels groeien die kunnen stikstof omzetten in een opneembare vorm voor de klant. Nou prachtig he, want wat je dan krijgt is dat je in principe meer opbrengsten krijgt, omdat je geen kunstmest hoeft te gebruiken. Wat is nou daar het biotechnologische aan? Dat wij in Afrika nu bezig zijn om A een betere bacterie eigenlijk te selecteren, dus we zoeken echt naar die bacterie die die klus het beste zou kunnen doen. Die hebben stammen in die rhizobium. En vervolgens geven we ook nog bij die telers handvatten hoe je eigenlijk die bacterie het best bij de wortel kant brengen, dus hoe je ervoor zorgt dat je optimaal inoculum aanbrengt bij die wortels, dat je dat trucje goed doet. En vervolgens zie je gewoon giga-opbrengsten. **Ja dat is gewoon ongelooflijk ja.** Dat is ook biotechnologie. En mensen vergeten dat soms, omdat het zo'n negatieve bijklank heeft. **Bij biotechnologie denken ze alleen aan DNA veranderen, maar niet aan alle andere dingen inderdaad nee. Daar is volgens mij ook een startup in, die denk ook mee aan die Innovation Awards. Hoe heet die ook alweer, MyCoat.** Ja, er zit een Engelse startup bij (...) **Nee dit is niet Engels, maar zou kunnen.** Nou ja, hier is een Engelse startup ook bij betrokken. En er zit in coating, dus

dat kan wel MyCoat zijn, daar zit natuurlijk ook heel winst te behalen. **Ja maar dat is een beetje vergelijkbaar met wat u net zegt toch, dat je nou ja u heeft het dan over de wortels, maar dat je zo'n zaad coat van te voren.** Ja precies. En Ingotech, dat is een heel groot bedrijf bij Enza om de hoek. Ja die zijn natuurlijk groot geworden in die hele coatings-business, da's ook allemaal biotechnologie. **Ja, dat is prachtig. Ik denk ook, denkt u ook niet dat het gewoon elkaar aan moet vullen, ook het hele precision ag, want precision ag is natuurlijk enigszins beperkt omdat je je biologische maximum hebt, of hoe je dat ook moet uitdrukken. Je hebt natuurlijk genetisch gezien kan zo'n bepaald gewas maximaal iets opbrengen. Dus als je dat combineert met dus aan de ene kant efficient die dingen groeien, efficient inputs aanleveren, en aan de andere kant zorgen dat ze genetisch, biologisch gezien hun maximale potentieel kunnen behalen, dan kan je die samen volgens mij kan je enorm resultaten boeken.** Ja dat is ook zo. **Dus het is niet één ding, maar het is meer dat je...** Nee, het is de combinatie. En dat zie je dus nu ook aan de kant van het bedrijfsleven gebeuren. Er is nu heel veel te doen over die fusie tussen Monsanto en Bayer dat heb je misschien wel gelezen. Dus twee giga-giganten. De maatschappij denkt: o god, nou die gaan bepalen wat er op ons bord komt en weet je dat gaat allemaal over cultivars. Het gaat helemaal niet over cultivars. **Oke, ik ben heel benieuwd visie daarover.** Deze fusie gaat over data. Die fusie tussen Bayer en Monsanto gaat over data, niet over... Want wat ze gaan doen... **niet over wat?** Nou die heeft drie jaar geleden hebben ze climate corporate opgekocht in Amerika. Ze hebben een alliantie met John Deere. Nou wij hebben hier de CEO van John Deere gehad, die zei letterlijk echt nou trekkers verkopen, dat hebben we vooral gehad. Dat is niet mijn business model meer. Ik ga sensors verkopen op vier wielen, dat is mijn business model. En natuurlijk is dat z'n business model, want wat hij natuurlijk, wat ze gaan doen is dat ze data vanuit het veld, data vanuit de consumenten, data vanuit de genomics met de cultivars, die gaan allemaal gecombineerd worden. En degene die dat bezit die kan enorm een teler afhankelijk maken, even heel negatief gezegd. Daar zit een bedreiging in. Je ziet die ontwikkeling naar data die gaat kei en keihard. En dat wordt de machtspositie van bedrijven, niet zozeer de cultivars. **Nee oke, dus een een verplaatsing. Maar alsnog, ze worden natuurlijk wel heel erg machtig.** Ze worden heel machtig. Ja. En dat is dus ook waarom ik een voorstander van CRISPR-Cas ben, is dat dat ook de mogelijkheid biedt als je dat dereguleert, en dat een relatief eenvoudige manier om nieuwe rassen op de markt te brengen. Dan zal dit veld... nou is het godsonmogelijk voor een startup om erin te springen. Die hebben gewoon het geld niet. Met die nieuwe technologie wel, dus je krijgt een betere in mijn optiek, je krijgt een soort... **Ja want CRISPR-Cas is volgens mij echt spotgoedkoop vergeleken met...** Spotgoedkoop ja. En als het niet gereguleerd hoeft te worden... kijk het is wel heel typerend hoor. Wij waren met die lobby naar Brussel bezig om CRISPR-Cas dus niet als een GMO te reguleren. Tot mijn stomme verbazing kreeg ik daar het Nederlandse bedrijfsleven niet in mee. Toen ik erover na ging denken snap ik het ook wel, want die hebben machtsposities op dit moment, zij zijn de enige, als het wel gereguleerd wordt zijn zij de enige die het kunnen betalen. Ze hebben er helemaal, eerlijk gezegd ze hebben er wel belang bij, maar tegelijkertijd zien ze ook wel dat als het gedereguleerd wordt dan komen er nieuwe bedrijven op komst. Krijgen ze meer concurrentie. **Maar dan is het voor hun dus ook vraag van denken we alleen aan het geld, of denken we ook nog aan iets meer dan alleen het geld. Ik denk dat vooral de kleine bedrijven in Nederland daar wel open voor zullen staan...** Absoluut. **Maar de echt hele grote bedrijven, de Bayer en de Monsanto, dat zal waarschijnlijk iets anders zijn.** En wat je dus, dus ik ben het volledig met je eens dat die combinatie dat is echt de toekomst. De combinatie van biotechnologie en precision ag. Je ziet het nu in verschillende verhoudingen, dus precision ag krijgt denk ik op dit moment in Afrika meer aandacht, omdat dat ook gewoon... met sensoren werken, met nou ja platforms... toen jij binnenkwam zat ik net een stuk te lezen waarbij wij ook investeren, 't is gewoon een digitaal platform, waar dan ook weer apps op aangehaakt worden. Dus er worden data bij die teler

opgehaald, data vanuit de markt opgehaald. Als jij daar een app op kan zetten, weet ik veel een waarschuwingssysteem of een... en dan kun je op lokale situatie kun je echt het verschil maken bij die telers. En omdat zij allemaal die mobiele telefoon hebben, je kan het hele diagnostiek stuk via je telefoon... fotootjes laten maken van ziekten, en je kan op afstand, dat wordt nu allemaal... **Ja dat is ongelooflijk, dat kon vroeger nooit.** En dat gaat heel hard. En daar ben ik ook wel optimistisch over, dat dat goed gaat lopen. **En sowieso ook, als we het hebben over het verminderen van kosten. Ik zie bij de Accenture Innovation Awards hebben we ook een trend analyse gedaan en dan zie je ook dat nu momenteel het aantal startups wat daar wat mee doet begint echt heel erg toe te nemen, maar het aantal startups wat wat doet met echt biotechnologie binnen de landbouw dat is eigenlijk minimaal. En dat is gewoon puur dus, en dat is wat u zegt dan he, van dat is het geld. Te veel kosten.** Kijk ik ben hier voorzitter van StartLife, dus ik heb wat met startups. **Oh daar ben u voorzitter van.** Ja, en ik heb landelijk zit ik in een paar van dit soort dingen ook. In de Life Sciences daar heb je een organisatie die heet Mibiton en die geeft ook leningen aan startups, daar zit ik in het bestuur. In de Life Sciences daar zie je juist die kleine bedrijven opkomen. Maar goed weet je daar heb je ook geen maatschappij die het erg vindt. Die regulering is daar ook heel anders. **Dat is wat Frans Kampers zei, die zei van misschien is CRISPR-Cas is juist die Life Sciences misschien de manier om tot acceptatie te leiden onder de bevolking...** Ja ik denk het wel. **Want als mensen medisch dat staat toch dichterbij mensen...** Ja dat zie je nu al. En dat zag je bij GMO's ook. Kijk bij mensen, ik moet heel vaak in lezingen moet ik mensen wakker schudden en zeggen nou ja weet je, insuline daar doe je niet moeilijk over maar is geproduceerd door een genetisch gemodificeerd organisme. Vindt iedereen fantastisch. **Want waardoor is het fout gegaan denkt u dan toentertijd jaren geleden met de GMO introductie?** Nou ik denk dat het, waar het voor een deel inzit is dat er zit niet direct een profijt voor jouzelf in. Kijk bij insuline is het duidelijk he. Ik heb bij wijze van spreken ik heb suikerziekte, nou dan ben ik enorm afhankelijk van insuline. Nou dan vindt ik alles best, weet je. Voedsel daar is bij burgers heel vaak het gevoel van ja, ik zit hier nu alleen het belang van iemand anders te dienen. Monsanto wordt er rijk van, of Bayer wordt er rijk van. Maar ja wat is het nou... ik wordt er niet meer gezonder van of beter van. **En zeker op korte termijn veranderd er weinig, het is puur lange termijn. En dat is voor een groot deel in andere landen, niet zo zeer in Nederland denk ik.** Precies, ja en die discussie, en dan vind ik dan moet je dus met consumenten veel meer de discussie aangaan. Oke nou, we willen allemaal een duurzamere wereld, da's prima, ik kan je aangeven wat het pad naar duurzaamheid is. En duurzaamheid is geen begrip het is altijd een keuze he, dus het is, kun je zeggen nou ja weet je, prima. Als jij geen GMO's wil dan gaan we 20 keer spuiten tegen aardappelziekten in aardappel, wil je dat? **Ja, dat is het alternatief. Dat besef dat moet er dan komen.** Ja, en daar moet je over praten. Je moet die keuzes moet je helder maken. En mensen zijn wel bang he, ze zijn bang voor residuen op planten of wat dan ook. Nou, prima. **Zitten jullie dan ook in commissies waar u in zit, zit je dan ook veel om de tafel met NGO's?** Ja. **En hoe proeft u dat?** Wat ik heel erg proef, en daar wordt ik wel vrolijk van, is dat ik denk aan beide kanten wat is er misgegaan, aan beide kanten de voorstanders van GMO nou die praten soms te veel Monsanto taal, laat ik het maar zo uitdrukken. Zitten daar veel te gehoeft in. De tegenstanders van de GMO dat is nog altijd... Greenpeace, dat zijn allemaal mensen van mijn leeftijd, dus weet je de 50ers die zijn aan het vechten met elkaar. De jonge, jong-Greenpeace, jong- nou noem ze allemaal maar op, jong-milieudefensie, die staan er heel anders in. En datzelfde geldt voor die jonge telers, dus ik heb heel veel vertrouwen en hoop dat die jonge generatie dit wel gaat oplossen. Eerst maar eens even al die oude bestuurders met hun stokpaartjes weg, en de jonge generatie staat er veel opener in. **En sowieso als je kijkt naar de feiten, want de feiten zijn dat nou ja in ieder geval door de wetenschappelijke gemeenschap dat het gesteund wordt, er zijn weinig bewezen gevaren dat het...** Ja, kijk er is zo'n, (...) er zijn een paar ontzettend, want jij vroeg echt hoe is

het nou verkeerd gegaan. Nou er is een heel mooi boek geschreven dat heet Lords of the Harvest. (...) En dat is een boek wat de opgang, of opkomst van Monsanto en Greenpeace tegelijkertijd beschrijft. Tot 2004, dan stopt het boek. En dan zie je zeg maar vanaf de tachtiger jaren, tachtig negentig jaar, 2004, wat is er nou precies... wat je even korte samenvatting is, beide hebben gewoon enorme lulverhalen zitten vertellen ten behoeve van hun eigen business model. **En wat is het business model van Greenpeace dan?** Leden. Kijk als Greenpeace morgen zegt: wij vinden GMO een perfecte oplossing voor een duurzame wereld, verliezen ze de helft van hun leden. Dus dat gaan ze niet zeggen. **Nee, natuurlijk niet. Ja dat is het probleem.** Ja. Terwijl als je ze gewoon een op een, dan zijn er heel wat die het wel zien hoor. Maar ze zitten vast in hun eigen business model. **Ja dat is ook wel weer begrijpelijk natuurlijk. Nou ja misschien meer geleidelijk aan.** Nou daar geloof ik wel in. En nogmaals ik geloof heel erg in die jonge generatie. Hidde Boersma is een hele, hij noemt zichzelf een Ecomodernist. Maar die is nu heel erg... **Dat boek heb ik gelezen, Ecomodernisme.** Ja, dat is van Hidde. En Hidde is enorm aan het pushen, en dat doet ie op een hele goeie manier vind ik. **Ja dat vind ik ook wel een heel nieuw geluid dat Ecomodernisme. Ik ben er vrij positief over, omdat je toch, je hoort zoveel doemverhalen.** Ach ja, dat is helemaal niet nodig. Dat is echt niet nodig. En wat mensen denk ik wel, daar zie ik voor ons ook een hele grote taak, hadden we het net al een beetje over, mensen moeten zich realiseren dat technologie in z'n algemeenheid, dus niet alleen biotechnologie, maar dat technologie echt kan leiden tot een duurzame oplossing. En niet het verwarren het verwarren met o als we maar ver weg blijven van technologie en dicht tegen de natuur, dan zal het duurzaam zijn. Dat is onzin. **Technologie heeft ons juist heel ver gebruikt, zonder technologie waren we nergens nu. Ja en ook wel interessant, wat u in het artikel zei. U zei ja we kunnen al onze dieren ook gewoon voeden met sprinkhanen. Ja dat vond ik nog wel een creatief idee.** Ja wat je ziet is, dat hebben wij ook gedaan, wij hebben dat insecteneten dat is hier op een gegeven moment meer als grap begonnen, maar dat heeft nogal consequenties gehad. Ja, insecten als humane consumptie da's niet echt een business model. Het gebeurd, en ik ben er ook heel enthousiast over, 2 miljard mensen op deze aardbol die heten bewust insecten. Ik zeg voor de grap altijd, die andere 5 miljard eten ze ook maar die hebben het niet in de gaten. Dus in sla, en in jam, daar zitten ook allemaal nog insectenresten, dus die eten ze gewoon. Maar gewoon kijk het zal een gedeelte van de markt... Jumbo heeft nu al die insectenburgers, maar het echte business model zit in het verduurzamen van dierenvoeding. En als je dat doet nou dan maak je enorme impact. Dus je ziet nu in Nederland een paar startups die zich daar op focussen, en die dus echt zeggen van nou we kunnen in plaats van soja in zo'n koe pompoen. **Nou ik vond het een fantastisch idee.** En dan ga je echt een enorme impact hebben. En het voordeel is dat je sprinkhanen ja die kun je gewoon op afval kweken. **Oke, die kun je voeden met afval?** Ja, dus je voedselverspilling, je zou de voedselresten, je kan heel erg circulair gaan nadenken. Je kan voedselresten weer gebruiken om insecten te kweken. Dan ben je eiwitten uit die voedselresten die je anders verliest, die ben je weer aan het verwaarden. Nou dan kun je die eiwitten die je daaruit krijgt die kun je verwerken of in voedselproducten of in voeding voor dieren. En bijvoorbeeld in de hele visindustrie speelt dat nu ook wel een grote rol. Dus in de (...) viskweek, dus niet vangen uit de zee maar in vijvers. Ja veel van die vissen die moeten gevoed worden met vis. Dus als je die roofvissen, de kabeljauws van deze wereld, als je daar gewoon met insecten aan de gang gaat, ja prima. **Ziet er uit of er genoeg oplossingen zijn, maar een beetje creatief denken inderdaad.** Ja, en wij zitten natuurlijk ook met die kasteelt, vind ik een mooi voorbeeld. Dat wordt ook door de goegemeente als heel industrieel gezien, maar daar vind ik ook dat wij heel veel moeten vertellen over ja wat gebeurd er nou werkelijk. Het staat, ik weet niet of je die gelezen hebt, maar er staat ook in de National Geographic dat voorbeeld van tomaat. Als jij tomaten teelt in Spanje op dit moment in een open veld situatie dan eindig je met 4 kilogram per vierkante meter aan 't eind van het groeiseizoen. Als je dat in Nederland op dit moment doet in een high-

tech kas dan eindig je met 80 kilogram per vierkante meter. Dat is 20 keer meer. Dat alleen al is geweldig want je benut je ruimte over duurzaamheid gesproken, je benut je ruimte beter. Dus je hoeft geen regenwoud te kappen om even heel extreem om op een groot landbouw areaal dezelfde productie te halen, nee dat doen we nou heel geconcentreerd. Het beste stuk van het verhaal zit hem erin dat die 80 kg die doen wij met 4 keer minder water dan die vier kilo in Spanje, omdat je [onverstaanbaar woord] circuleert, je doet het met minder mest, dat is voor 95% biologisch bestreden, dus er zit aantoonbaar minder residu op het product. Hartstikke duurzaam. En daar zijn we de energie-componenten ook nog aan het tackelen. **Maar goed, dat is dan hier in het Westen.** Ja maar, wij hebben net een maand geleden hebben we een grote kas in Saoedi-Arabië geopend, die met ons ook daar gebouwd is. Dus met kas-experts bij ons. Dat was het eerste experiment die we daar met tomaten deden, toevallig ook tomaten. Maar het ging van bijvoorbeeld 98 liter water per vierkante meter wat ze gewend waren in Saoedi-Arabië naar 5 liter water per vierkante meter. Dat is een giga-impact. **Ja, dat zijn grote veranderingen inderdaad. En denkt u dat uiteindelijk op de langere termijn, wat je ziet is dat heel veel boeren wereldwijd zijn vrij klein, heel weinig hectaren. Denk je dat we uiteindelijk dat die boerderijen uiteindelijk groter moeten worden, of dat we laat zeggen dat we op bepaalde plekken in de wereld heel veel voedsel produceren en dat dan vershippen of wat dan ook naar die landen, of denk je juist dat we die hele kleine boeren in stand moeten houden en juist moeten zorgen dat die net wat efficiënter hun gewassen groeien.** Ja je komt nu aan mijn nachtmerries. Dus ik ben over technologie en mogelijkheden ben ik niet zo, waar ik me zorgen over maak naar de toekomst toe... kijk op wereldschaal op dit moment neemt het landbouw areaal, de grootte van de bedrijven neemt af, niet toe. Het is niet zo, mensen denken dat bedrijven als maar groter worden, nee bedrijven worden alsmaar kleiner, op wereldschaal. En hoe komt dat? In landen als Afrika en in Azië, weet je een vader heeft 5 zonen, pa overlijdt en het land wordt verdeeld over 5 zonen. Want verder is er niks om te verdelen, dat is gewoon het kapitaal van het gezin. 5 kleine stukjes, het wordt steeds kleiner. Ja en dat steeds kleiner dat maakt het godsonmogelijk. Dat is de ene nachtmerrie, dus hoe zorg je er nou voor dat je eigenlijk ook in Afrika en in Azië naar meer grond per boer gaat, dat zie ik nog niet een twee drie gebeuren. **Aan de andere kant heb je verstedelijking, dus mensen die trekken weg dus je hebt minder mensen in het platteland, dus dan zou je zeggen juist ook weer dat dat soort van weer bij elkaar komt, of zie je dat niet zo?** Ja dat kan als er dus banen in de stad zijn en die zonen hun grond teruggeven aan de broers of... maar die beweging zie je niet. Wat er gebeurd nu is steeds minder landbouwareaal per boer, wereldwijd. En het tweede is, en dat is een probleem ook weer bij ons. Kijk we kunnen naar duurzamer telen, maar neem maar even een sprong naar biologische teelt. Dan heb je toch zeker 5 keer zoveel arbeid per bedrijf nodig. Het is nu al moeilijk om in de huidige setting opvolgers van boeren te vinden. Wie worden nou de boeren van de toekomst? Dat is voor mij he is dat een veel groter probleem dan wat er technologisch mogelijk is. **Ja het is grappig dat u dat zegt want Frans Kampers zei precies hetzelfde, ik hoor heel veel mensen dat zeggen dat inderdaad dat juist die arbeid dat in het Westen maar ook daar, ook in die ontwikkelingslanden, dat zoveel mensen dat het veel minder sexy wordt om op een boerderij te werken.** Kijk hoeveel vrienden ken jij die zeggen... **Nou niemand. Nee. Nee, er wordt toch een beetje een soort van op neer gekeken van nou een boer, wat is nou een boer.** Ja, als je nu meer misschien naar die precision agriculture teruggaat dan zou je misschien hebben, want dat zie je nu ook, ik ken mensen die doen een masteropleiding om boer te worden, dat was vroeger natuurlijk niet zo, dus als je misschien meer die kant opgaat en het meer als bedrijf ziet maar het is de vraag of dat dan ook werkt in de ontwikkelingslanden. Ja, dat is inderdaad waar. En daar ligt denk ik nog wel een grotere opgave. En dat vind ik ook echt een aandachtspunt. Ik heb daar niet de oplossing van.