Hogeschool van Amsterdam

KENNISCENTRUM TECHNIEK

VERTICAL FARMING

TECHNOLOGIE EN INNOVATIERICHTINGEN VOOR DE TOEKOMST

Inge Oskam
Kasper Lange
Pepijn Thissen



01

PUBLICATIEREEKS HVA KENNISCENTRUM TECHNIEK

In deze publicatiereeks bundelt het Kenniscentrum Techniek van de Hogeschool van Amsterdam de resultaten van praktijkgericht onderzoek. De publicatie is gericht op professionals. Het ontsluit kennis en expertise die via praktijkgericht onderzoek van de HvA in en vanuit de Metropoolregio Amsterdam wordt verkregen. Deze publicatie geeft de lezer handvatten om tot verbetering en innovatie in de technische beroepspraktijk te komen.

Domein Techniek

Domein Techniek van de Hogeschool van Amsterdam is de grootste technische HBO van Nederland. Het domein bestaat uit elf technische opleidingen en twee technische leerroutes. Het palet aan opleidingen is zeer divers, van E-Technology tot Logistiek, van Bouwkunde tot Forensisch Onderzoek en van Maritiem Officier tot Aviation Studies.

Onderzoek bij domein Techniek

Onderzoek heeft een centrale plek bij domein Techniek. Dit onderzoek is geworteld in de beroepspraktijk en draagt bij aan de continue verbetering van de kwaliteit van het onderwijs en aan praktijkinnovaties. Het praktijkgericht onderzoek van de HvA heeft drie functies:

- Het ontwikkelen van kennis
- Ervoor zorgen dat (de ontwikkelde) kennis ten goede komt aan de beroepspraktijk en maatschappij
- Ervoor zorgen dat (de ontwikkelde) kennis doorwerkt in het onderwijs, inclusief de professionalisering van docenten

Domein Techniek kent 5 onderzoeksprogramma's die allen nauw gekoppeld zijn aan een deel van de opleidingen. De programma's zijn:

1. Aviation
2. CleanTech
3. De Stad
4. Forensisch onderzoek
5. Mainport Logistiek

Het HvA Kenniscentrum Techniek is dé plek waar de resultaten van het praktijkgericht onderzoek worden gebundeld en uitgewisseld.

Redactie

De publicatiereeks is uitgegeven door het HvA kenniscentrum Techniek. De redactie is gevormd door lectoren en onderzoekers van het domein Techniek van de HvA, eventueel aangevuld met vertegenwoordigers van bedrijven en ander kennisinstellingen. De redactie verschilt per publicatie.

COLOFON

Uitgave:

Hogeschool van Amsterdam

Kenniscentrum Techniek

http://www.hva.nl/kenniscentrum-dt/

Tekst:

Inge Oskam (HvA)

Kasper Lange (HvA)

Pepijn Thissen (HvA)

Interviews , cases:

Yanti Slaats (HvA)

Eindredactie:

prachtig. Utrecht

Grafische vormgeving:

Abdelkader Nassiri (HvA)

Opmaak figuren:

Yanti Slaats (HvA)

Christian Moons (HvA)

Opmaak:

Nynke Kuipers

Drukwerk:

SDA Print +Media

April 2013

©Kenniscentrum Techniek, Hogeschool van Amsterdam

1 INLEIDING 7
1.1 Doelgroep 7
1.2 Onderzoek vertical farming 9
1.3 Aanpak en uitvoering onderzoek 9
1.4 Leeswijzer 10

2 WAT IS STADSLANDBOUW? 11
2.1 Van sociaalmaatschappelijk tot commercieel 11
2.2 Van lowtech tot hightech 14
2.3 Van klein tot groot 14
2.4 Integrale concepten 17
2.5 Afbakening onderzoek 19

3 TRENDS EN DRIJFVEREN 21
3.1 Maatschappelijke trends 21
3.2 Vraagstukken rondom duurzaamheid van onze voedselvoorziening 23
3.3 Nieuwe technologische mogelijkheden 25

4 VERTICAL FARMING 27
4.1 Wat heb je nodig voor gewassenteelt? 27
4.2 Controleren van teeltomstandigheden 28
4.3 Functies en systemen in een hightech vertical farm 31
4.4 De voordelen 34
4.5 Uitdagingen en belemmeringen 37

5 TECHNOLOGIE VAN NU EN MORGEN 39
5.1 Technologieroadmap vertical farming 39
5.2 Teeltsysteem 39
5.3 Belichtingssysteem 44
5.4 Klimaatsysteem 46
5.5 Water- en nutriëntencirculatiesysteem 48
5.6 Energiesysteem 49
5.7 Gebruik van de technologieroadmap 51

6 INNOVATIERICHTINGEN 53
6.1 Uitdaging 1: Systemen integreren 54
6.2 Uitdaging 2: Duurzaam belichten 56
6.3 Uitdaging 3: Waarde creëren 57
6.4 Uitdaging 4: Kringlopen sluiten 60
6.5 Conclusies en richting voor verder onderzoek 61

7 HOE NU VERDER? 63
7.1 Visie op verticale stadslandbouw 63
7.2 Multifunctionele en sectoroverstijgende samenwerking 65
7.3 Vervolgonderzoek: drie vertical farming-demonstrators 65
7.4 Verbreding onderzoek naar stedelijke context 67

Noten 69
Literatuurlijst 70
Betrokken organisaties 72
Studenten en medewerkers HvA 73
Links naar meer informatie 74

1 INLEIDING

In dit boekwerk leest u de resultaten van ons toegepast onderzoek naar verticale stadslandbouw, ook wel vertical farming genoemd. Dit is één van de twee publicaties van het onderzoeksproject Sustainable Systems for Food. Het project is uitgevoerd door het CleanTech-onderzoeksprogramma met behulp van RAAK-mkb-subsidie van de Stichting Innovatie Alliantie.

1.1 Doelgroep

Deze publicatie is bedoeld voor professionals geïnteresseerd in de technologische aspecten van verticale stadslandbouw. Vanuit pure professionele interesse, of omdat u bijvoorbeeld als ondernemer, beleidsmaker, adviseur of technologieontwikkelaar actief bent in verticale stadslandbouw.

De publicatie geeft inzicht in wat verticale stadslandbouw inhoudt en welke technologieën en innovatieve concepten in de toekomst voorhanden zijn om verticale stadslandbouw te bedrijven. Het laat ondernemers en beleidsmakers zien hoe verticale teelt kan bijdragen aan hun doelstellingen en voor welke uitdagingen ze staan. Daarnaast geeft het eigenaren van leegstaande gebouwen inzicht in de mogelijkheden en implicaties van verticale teelt voor hun pand. Voor bedrijven die technologische systemen ontwikkelen en leveren voor gebouwen en (glas)tuinbouw, biedt deze publicatie een blik op de toekomstige technologische mogelijkheden én geeft het een aanzet tot een strategische ontwikkelagenda voor verticale stadslandbouw. Tot besluit toont deze publicatie de onderzoeksactiviteiten die de HvA op dit terrein ontplooit en waar voor eenieder mogelijkheden liggen voor samenwerking.

RAAK-mkb-project Sustainable Systems for Food

Aanleiding
Door schaarste van grondstoffen en fossiele energie, en de toenemende milieuregelgeving, neemt de noodzaak om duurzaam te ondernemen en produceren met de dag toe. Zowel voor grote ondernemingen als het midden- en kleinbedrijf (mkb). Behalve een noodzaak, biedt duurzaam ondernemen het mkb ook kansen. Denk aan het verhogen van efficiëntie en productiviteit. Innovaties op dit terrein bieden daarom interessante perspectieven, bijvoorbeeld voor de food- en agrisector. Maar ook voor bouwers van apparaten en machines uit de elektrotechnische sector.

Helaas is er vandaag de dag sprake van een kennis-kloof. Veel praktische, vaak specialistische, kennis zit bij technologische mkb-bedrijven ('technologie-aanbieders'). De meer fundamentele kennis van schone technologie (denk aan duurzame materialen, productie- en energietechnieken) is te vinden bij kennisinstellingen. Doordat deze kennis vaak verspreid is over meerdere instellingen en vakgebieden is deze minder toegankelijk voor het bedrijfsleven. Ook is de kennis lang niet altijd direct toepasbaar door en ín het mkb. Om tot innovatieve en duurzame oplossingen te komen, is het dus nodig om de praktische food/agrispecifieke kennis van mkb-bedrijven – en de actuele, fundamentele kennis van kennisinstellingen – slim te combineren.

Onderzoeksproject
Voor het onderzoeksprogramma CleanTech van HvA Techniek is bovenstaande aanleiding om een onderzoeksproject te starten rondom Sustainable Systems for Food. Dit twee jaar durende project (uitgevoerd in de periode van maart 2011 tot april 2013) is uitgevoerd met behulp van een RAAK-mkb-subsidie van de Stichting Innovatie Alliantie. Deze subsidie is erop gericht om kennisuitwisseling en netwerkvorming tot stand te brengen tussen het mkb, hogescholen en andere kennisinstellingen.

Voor het project Sustainable Systems for Food zijn sectoroverstijgende innovatieclusters geformeerd waarin zowel industriële mkb'ers (machine-, apparaten- en systeembouwers), voedselproducerende mkb'ers (tuinders, koelhuizen en andere ondernemers uit de food- en agrisector) als kennisinstellingen samenwerken. Ook Syntens en Agriboard Noord-Holland Noord zijn intensief bij het project betrokken geweest.

Doelstelling
De doelstelling van het Sustainable Systems for Food-project is het ontwikkelen en uitwisselen van kennis over schone technologie, het doen van onderzoek en het ontwikkelen van demonstrators en prototypes. Binnen het project is gewerkt aan twee onderwerpen:

- Duurzaam bewaren van groenten en fruit.
- Vertical farming voor commerciële landbouw in de stad.

Met de vergaarde kennis kunnen mkb'ers slimme machines en systemen ontwikkelen voor een schonere en efficiëntere productie van voedsel. En dan vooral in de tuinbouw. De intentie is dat de Sustainable Systems for Food bijdragen aan duurzamere voedselproductie, wat een duurzame economie een stap dichterbij brengt.



1.2 Onderzoek vertical farming

De wereldwijde trend van bevolkingsgroei en verstedelijking leidt onherroepelijk tot meer vraag naar voedsel in de stad. Tegelijkertijd is er een trend in de vraag naar duurzaam en/of lokaal geproduceerd voedsel waar te nemen. Het in de stad produceren van voedsel, ook wel stadslandbouw of urban farming genoemd, kan een antwoord bieden op beide trends. Er zijn verschillende vormen van urban farming. Eén daarvan is verticale landbouw of vertical farming, waarbij er in hoogbouw in de stad groente, fruit en wellicht ook vis en vee geteeld wordt.

Hoewel er al veel kennis over verticale stadslandbouw is, zijn er nog geen commerciële verticale kwekerijen in bijvoorbeeld Amsterdam te vinden. Dit ondanks de grote leegstand van kantoorpanden in Amsterdam, de aanwezige kennis en het ondernemerschap in deze stadsregio en de vele initiatieven. Als onderdeel van Sustainable Systems for Food is daarom, in samenwerking met het werkveld, onderzoek gedaan naar de ideeën, kansen en functionele uitdagingen voor het realiseren van verticale stadslandbouw. Van daaruit is een visie ontwikkeld op de technologische mogelijkheden om deze uitdagingen aan te gaan. Met de ontwikkeling van een visie op een teeltsysteem voor gebruik in leegstaande gebouwen zijn mogelijke innovatierichtingen verkend. Bovendien is gewerkt aan enkele concrete innovatievragen van individuele ondernemers. Zo is een ontwerp gemaakt voor een pop-up-farm en is onderzoek gedaan naar de energiebalans en randvoorwaarden voor De Groenfabriek.

Uitgangspunt bij het onderzoek is de richtlijn voor Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen van de Rijksoverheid, die stelt dat er aandacht moet zijn voor de 3 P's:

- People: sociale gevolgen binnen en buiten de onderneming.
- Planet: de gevolgen voor het (leef)milieu.
- Profit: de voortbrenging en economische effecten van goederen en diensten.

Deze benadering levert langetermijnwinst op voor ondernemers en maatschappij en sluit goed aan bij de gedachte achter commerciële stadslandbouw. Het bevordert een duurzame voedselketen voor de mens (People), een duurzamer productieproces voor de planeet (Planet), hergebruik van ruimte en een eerlijkere kosten-batenverdeling over de totale keten voor de economie (Profit).

1.3 Aanpak en uitvoering onderzoek

Deskresearch, rondetafelgesprekken en interviews hebben onder meer geresulteerd in een functie-, stakeholder- en trendanalyse, en een technologieroadmap. Het onderzoek is uitgevoerd door onderzoekers van het CleanTech-onderzoeksprogramma in samenwerking met experts van kennisinstellingen en de betrokken bedrijven.

Samenwerking met het mkb is essentieel voor praktijkgericht onderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd vóór en mét mkb-bedrijven uit de agrisector, adviseurs in tuinbouw en vastgoed en experts bij technologiebedrijven die al actief zijn in urban farming of die die ambitie hebben. Ook is dankbaar gebruikgemaakt van de kennis bij andere kennisinstellingen en bedrijven. Bovendien hebben studenten vanuit verschillende opleidingen een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoek. Verschillende studententeams voerden, in het kader van hun opleiding, deelonderzoeken uit en hebben ontwerpen gemaakt om de haalbaarheid van verschillende innovatiemogelijkheden te beoordelen. Deze studentenprojecten staan steeds in kaders door dit boekwerk heen beschreven en laten zien hoe HvA de wisselwerking tussen onderwijs, onderzoek en praktijk vormgeeft. Een namenlijst van betrokkenen bij het onderzoek is achter in dit boekje opgenomen.

1.4 Leeswijzer

Stadslandbouw: concepten, trends en drijfveren

In hoofdstuk 2 'Wat is stadslandbouw?' gaan we in op het begrip stadslandbouw en de plek van vertical farming daarin. We geven een overzicht van de verschillende stadslandbouwconcepten. Variërend van lowtech sociaalmaatschappelijke concepten tot hightechsystemen voor commerciële verticale stadslandbouw.

Hoofdstuk 3 'Trends en drijfveren' beschrijft de maatschappelijk trends en vragen over de duurzaamheid van onze voedselvoorziening. We gaan in dit hoofdstuk in op hoe deze, samen met technologische ontwikkelingen, de drijfveren vormen voor verschillende organisaties om aan de slag te gaan met verticale stadslandbouw.

Technologische uitdagingen en mogelijkheden

In hoofdstuk 4 'Vertical farming' geven we een overzicht van de functies in een vertical farm. We beschrijven de technische uitdagingen die een rol spelen in de realisatie van commerciële verticale stadslandbouw. In hoofdstuk 5 'Technologie van nu en morgen' presenteren we een technologieroadmap. Deze roadmap geeft aan wat de bestaande technologische mogelijkheden zijn en welke technologische ontwikkelingen op stapel staan. Daarbij lichten we de belangrijkste technologieën toe.

Innovatierichtingen en vervolgonderzoek

In hoofdstuk 6 'Innovatierichtingen' verkennen we de mogelijkheden om de uitdagingen voor verticale stadslandbouw technologisch aan te pakken. In dit hoofdstuk presenteren we onder meer een concept van een flexibele teeltunit voor de tijdelijke kweek van groenten in bestaande gebouwen. Tot slot geven we in hoofdstuk 7 'Hoe nu verder?' onze visie op de wijze waarop verticale stadslandbouw zich verder kan ontwikkelen. En we gaan in op het vervolgonderzoek hoe de HvA hieraan wil bijdragen.

Onderzoeksprogramma CleanTech

Onderzoeksprogramma CleanTech is één van de vijf onderzoeksprogramma's van HvA Techniek. Door praktijkgericht onderzoek wil de HvA bijdragen aan de verbetering en innovatie van de beroepspraktijk. Het CleanTech-onderzoeksprogramma richt zich hierbij op innoveren, creëren en ondernemen met duurzame technologie en heeft als doelstelling kennis van schone technologie om te zetten in commerciële toepassingen. Het onderzoeksprogramma CleanTech wordt uitgevoerd onder leiding van Inge Oskam, lector Technisch Innoveren & Ondernemen, en Robert van de Hoed, lector Energie & Innovatie. Daarnaast is er een nauwe samenwerking met de opleidingen Technische Bedrijfskunde (TBK), E-technology (E-tech), Engineering Design & Innovation (EDI) en de studieroute Product Design.

2 WAT IS STADSLANDBOUW?

Het begrip stadslandbouw, in het Engels urban agriculture of urban farming, is vrij nieuw en nog volop in ontwikkeling. Er zijn dan ook diverse definities in omloop. In het algemeen betekent stadslandbouw het telen, oogsten en afzetten van voedsel in de stad en daarmee voorzien in de dagelijkse voedselbehoeften van de stad zelf (RUAF, 2010). Bijvoorbeeld door te verbouwen op balkons en onbenutte daken, op braakliggende terreinen of in (tijdelijk) leegstaande gebouwen.

Volgens RUAF (2010) is een belangrijke eigenschap van stadslandbouw dat het is ingebed in de stad en dat het interactie heeft met het stedelijke (eco)systeem. Denk aan de inzet van stadsbewoners (stadsboeren) voor werkzaamheden en het gebruik van typische stedelijke bronnen, zoals GFT-afval voor compost of afvalwater voor irrigatie. Stadsbewoners consumeren het voedsel (vrijwel) direct binnen een straal van enkele kilometers. Zodoende heeft stadslandbouw een directe invloed op het ecosysteem binnen de mogelijkheden van stedelijke wetgeving en stedenbouwkundige plannen.
Stadslandbouw is als gezegd een zeer breed begrip. Aan de hand van diverse voorbeelden laten we zien dat urban farming op meerdere aspecten in verschillende categorieën is onder te verdelen:

- Doelstelling, van sociaalmaatschappelijk tot commercieel;
- Geavanceerdheid, van lowtech tot hightech;
- Schaalgrootte, van klein naar groot.

2.1 Van sociaalmaatschappelijk tot commercieel

Stadslandbouw ontstaat vanuit verschillende trends. Wanneer het ontstaat vanuit sociaalmaatschappelijk perspectief zijn de doelstellingen anders dan wanneer een onderneming besluit stadslandbouw te bedrijven vanuit commerciële drijfveren. Uiteraard bestaan er ook tussenvormen: denk aan een commercieel bedrijf dat opereert in sociaalmaatschappelijke hoek. We omschrijven een aantal projecten binnen dit spectrum aan de hand van voorbeelden

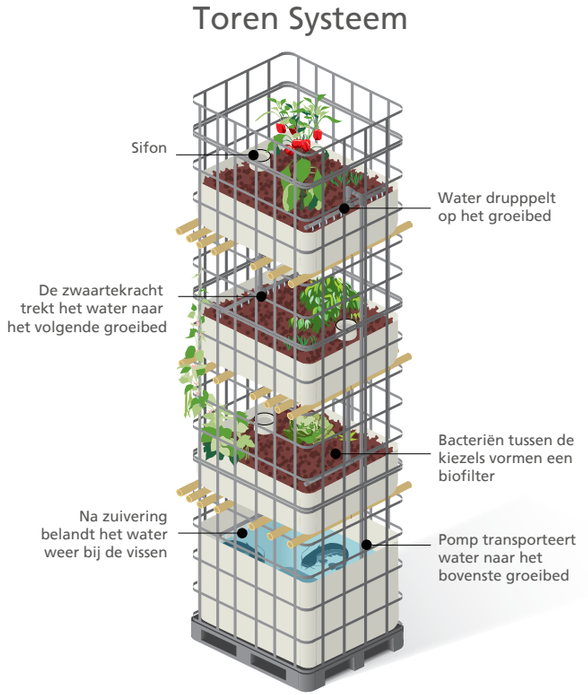
Sociale stadslandbouwinitiatieven

Amsterdam kent een aantal sociale stadslandbouwinitiatieven. Deze initiatieven zijn vaak gestart door actieve buurtbewoners of burgers die een gedeelde doelstelling hebben. Bijvoorbeeld het willen telen van kwalitatief goed, vers en duurzaam voedsel. Maar ook het versterken van de buurtcohesie door gezamenlijk groenten te verbouwen kan een drijfveer zijn. Voorbeelden van sociale initiatieven zijn te vinden op de website www.farmingthecity.net. Een kleine selectie hieruit:

- Buurtprojecten waarbij buren met elkaar een moestuin onderhouden, zoals Postzegelpark Indische Buurt;
- Projecten om voedselproductie weer zichtbaar te maken, zoals Eetbaar Groen In de Stad;
- Volkstuincomplexen. Volgens de Bond van Volkstuinders zijn er momenteel 29 volkstuinparken met 6000 fruit-, groenten-, medicinale en kruidentuinen in Amsterdam en omgeving.

Een ander fenomeen is de guerillagarden. Dit is een 'illegale' tuin op gemeenschapsgrond. Burgers vinden het straatbeeld niet groen genoeg en verwijderen stoeptegels om planten en kruiden te zaaien met zogenoemde seedbombs (pakjes zaad)

Figuur 2.1 Aquaponics educatietoren van Mediamatic



Beeld: Mediamatic / Els Engel

Initiatieven van sociaal maatschappelijke aard

Naast burgerinitiatieven, zetten ook stichtingen, bedrijven en overheidsinstanties urban farming-projecten op:

- Educatieve initiatieven, zoals schooltuinen;
- Kunstprojecten;
- Sociale overheidsprojecten, zoals re-integratie-projecten en dagbesteding voor gehandicapten.

Enkele voorbeelden:

Aquaponics educatietoren van Mediamatic
Stichting Mediamatic ontwikkelt kunst- en ontwerp-projecten met als thema 'Nieuwe technologieën in de maatschappij'. Binnen het thema stadslandbouw hebben ze, in een reeks workshops, een aquaponics educatietoren ontwikkeld. In deze toren worden in meerdere lagen groenten en vis gekweekt. Ze gebruiken hiervoor bacterieculturen in hergebruikte waterreservoirs, diverse aquariumonderdelen en LED-lampen. Het ecosysteem is, op de toevoer van elektriciteit en visvoer na, volledig gesloten. De systemen zijn live te zien in de van Gendthallen aan de VOC-kade in Amsterdam.

Coöperatie Urban Farming Amsterdam (CUFA) voor voedselbank
CUFA heeft als doelstelling om in leegstaande Amsterdamse bedrijfsruimtes voedsel te verbouwen voor de Voedselbank. Volgens de oprichter van Voedselbank Amsterdam, Gerard Smit, is in 2012 het aantal klanten bij de Voedselbank Amsterdam met 30% gestegen. Ongeveer 3400 mensen (1400 gezinnen met in totaal 1330 kinderen) ontvangen iedere week een voedselpakket (1400 pakketten). Sinds de crisis is het aantal klanten van de Voedselbank zo sterk gegroeid dat er het afgelopen jaar wachtlijsten zijn ontstaan en er een tekort is aan bruikbaar voedsel.

Het doel van urban farming is in dit geval niet alleen om voedsel te verbouwen. De voedselbank wil ook een reïntegratieplek bieden aan mensen met een grote afstand tot de arbeidsmarkt, en werkgelegenheid creëren om de stijgende werkloosheid tegen te gaan. CUFA is één van de projecten die op coöperatieve basis wordt gerealiseerd met het doel iedereen die dit wil weer deelgenoot te maken van het arbeidsproces.

Wat is stadslandbouw?

Commerciële stadslandbouw-projecten

Projecten met een commerciëler oogpunt zijn onder meer initiatieven van restaurants, winkels en project-ontwikkelaars. Voor restaurants en winkels is stadslandbouw een kans om op een transparante wijze gezond en vers voedsel in de markt te zetten. Voorbeelden hiervan zijn restaurant De Kas in Amsterdam of Villa Augustus in Dordrecht. Ook vanuit projectontwikkelaars en gebouwbeheerders is er belangstelling om de leegstand tegen te gaan. De voedselproductie is momenteel commercieel minder aantrekkelijk, maar de aanwezigheid van stadslandbouwvoorzieningen wordt wel gezien als mogelijkheid om huurders te verbinden. Een voorbeeld hiervan is Kantoor Zuidpark.

Zuidpark, Amsterdam
Het vroegere V&D-hoofdkantoor aan de Spaklerweg in Amsterdam Zuidoost is omgebouwd tot een bedrijvencomplex waar duurzaam ondernemerschap en Het Nieuwe Werken zijn samengebracht. Op het dak van de laagbouw is een 3.000m2 grote daktuin verwezenlijkt. Het is naar zeggen het grootste urban farming-dak van Europa. Bewoners van Zuidpark verbouwen en oogsten hier hun eigen gewassen. Ook is de daktuin te gebruiken voor vergaderingen en recreatie. Zuidpark zet de oogst af bij de lokale horeca. De visie achter Zuidpark is dat de vastgoedsector gebaat is bij een nieuw businessmodel waarin duurzaamheid, sociale relevantie en maatschappelijke verantwoordelijkheid samenkomen. En wel op een zodanige manier dat er een boterham mee te verdienen is.

Figuur 2.2 Daktuin op kantoor Zuidpark

Beeld: Zuidpark / Modeste Herwig, Garden Pictures.



2.2 Van lowtech tot hightech

Verscheidenheid in technische geavanceerdheid is een andere manier om stadslandbouwinitiatieven in te delen. Traditionele stadslandbouw maakt doorgaans meer gebruik van vollegrondsteelt; hoogwaardige vertical farms maken gebruik van state-of-the-art-technologieën.

Traditionele stadslandbouw

Veel stadslandbouwconcepten zijn gestoeld op traditionele teelttechnieken. Denk aan met aarde gevulde daktuinen of moestuinen. Het eerder genoemde project op kantoor Zuidpark is hier een commercieel voorbeeld van. Maar lowtechprojecten ontstaan vaak ook uit sociaalmaatschappelijke hoek.

Voedseltuinen Amsterdam-Noord
Het project Voedseltuinen Amsterdam-Noord is een sociaal moestuinproject waaraan buurtbewoners, klanten van Resto van Harte, de Voedselbank en andere lokale organisaties deelnemen. Het project is mogelijk gemaakt door Stichting DOEN. De tuin is openbaar en iedereen die in de tuin werkt, heeft recht op een deel van de opbrengst. Een tweede deel gebruikt Resto van Harte voor de bereiding van maaltijden voor de Resto van Harte-eettafel. Dit is een platform waar wijkbewoners elkaar ontmoeten bij een goedkoop en gezond driegangendiner. Voedselbank Noord vult de voedselpakketten met het derde en laatste deel van de opbrengst.

Hoogwaardige verticale stadslandbouw

Een specifieke vorm van stadslandbouw is de verticale stadslandbouw. In het Engels ook wel vertical farming genoemd. Het idee van verticale stadslandbouw bestaat eigenlijk al sinds de hangende tuinen van Babylon. Tegenwoordig maken vertical farms gebruik van moderne technologieën uit de glastuinbouw, inclusief het gebruik van nieuwe teelttechnieken en kunstlicht als Power LED-technologie. Hierdoor is het mogelijk om in één gebouw meerdere lagen boven elkaar te telen. Door de invloed van nieuwe technologieën spreken we tegenwoordig liever over *hoogwaardige verticale stadslandbouw* of *hightech vertical farming*.

Een bekend voorbeeld van verticale landbouw is de commerciële wolkenkrabber voor voedselproductie die de Amerikaanse ecoloog Dr. Dickson Despommier beschrijft in zijn boek The Vertical Farm (Despommier, 2010). In dit boek geeft Despommier een definitie van vertical farms: *"... urban food production centers (...) in which our food would be continuously grown inside of tall buildings within the built environment."*
Collins Dictionairy[1] geeft een iets andere uitleg. Hij legt de nadruk meer op speciaal ontworpen kweekflats: *"a proposed system of growing crops in urban areas using specially designed skyscrapers".*

In de praktijk verstaat men onder verticale landbouw niet alleen complete gebouwen voor voedselproductie. Ook meerlaagsteelt in een klimaatkast, op een verdieping in een (bestaand) gebouw of in een kas, valt onder de noemer verticale landbouw. Voor de duidelijkheid houden we het bij de definitie van Despommier.

Er bestaan nog geen concrete hoogwaardige verticale stadskwekerijen. Wel zijn er al veel concepten, veelal bedacht door architectenbureaus. Voorbeelden zijn te vinden op Despommier's website www.verticalfarm.com. In Nederland zijn er ook een aantal ideeën in omloop, zoals de Zuidkas. Het concept is ontstaan uit een studie naar een duurzaam gebouw in opdracht van de Rijksgebouwendienst. Het winnende concept was de door de Green Business Club georganiseerde expeditie 'Duurzame Gebiedsontwikkeling' voor de zuidas (zie figuur 2.3).

2.3 Van klein tot groot

De schaalgrootte binnen stadslandbouw varieert sterk. Van thuis in de keuken of een restaurant tot complete integratie van het stadslandbouwsysteem in een wijk of stad.

Klein: urban farms voor in het raam of de keuken

Kleine urban farms zijn geschikt voor verschillende doeleinden op verschillende locaties. Bijvoorbeeld voor thuis in de keuken, in de keuken van een restaurant of voor demonstratiedoeleinden op beurzen. Voorbeelden van kleine *urban farms* zijn:

1. Window farm, een verticaal hangend systeem dat voor het raam hangt;
2. Doe-het-zelf-kit;
3. Groeikabinet of nano farm.

Window farm
Window farms, ook wel raamtuinen genoemd, zijn er in alle soorten en maten en voor uiteenlopende doeleinden. Zo zijn er doe-het-zelf window farms op de markt voor het verbouwen van verse kruiden in de keuken thuis, en window farms voor professioneel gebruik of ter decoratie in restaurants.

Doe-het-zelf-kit
Op internet zijn doe-het-zelf-kits te vinden voor de bouw van een eigen hydroponics-, aquaponics- of aeroponicssysteem. Een leuke gadget voor de techneut met groene vingers. Ook zijn er online talloze open-source-handleidingen te downloaden met uitgebreide omschrijvingen voor het zelf bouwen en experimenteren met urban farming-technologieën.

Groeikabinet of nano farm
De eerste groeikabinetten voor het 'afgroeien' van groenten binnenshuis betreden de markt. De groeikabinetten of nanofarms zijn een goed alternatief voor de koelkast: het voedsel behoudt smaak en textuur en kan zelfs langer worden 'bewaard', omdat de plant blijft doorgroeien[2]. Ideaal voor zowel de professionele keuken als thuis.

Figuur 2.3 Concept ZuidKas



Beeld: ZuidKas / Architectenbureau Paul de Ruiter

Studentenproject: MINI-BUSINESSCASE WINDOW FARMING



De minor 'Design for Life, Entrepreneurship & Technology' is een programma voor ondernemende techniekstudenten. Onderdeel van het halfjaar durende programma, is een mini-businesscase met de opdracht: Zoek naar een mogelijkheid om winst te maken met Window Farming, door in drie dagen een bedrijf op te zetten en producten en/of diensten te verkopen.

Tijdens de eerste dag lanceerden vijf teams de eerste ideeën, variërend van consumentenproducten, tot business-to-business-producten en websites voor reselling van Window Farm-waren. Het zoeken van business-partners en prototyping vond plaats op dag twee. De uitvoering en uiteindelijke verkoop van de producten zijn op dag drie aangepakt. Geen van de ondernemingen draaide verlies. Eén van de teams wist zelfs het eindproduct met een flinke marge terug te verkopen aan haar leverancier van halffabrikaten.

Middelgroot: teeltunits voor in of op een gebouw

Middelgrote teeltunits in, op of bij een gebouw, zijn al op de markt. Veelal voor commerciële doeleinden. Deze middelgrote concepten spelen vaak in op gewenste flexibiliteit. Ze zijn tijdelijk te plaatsen in een leegstaande ruimte, op een gebouw of op een braakliggend terrein. Een middelgroot concept leent zich ook prima voor het doen van onderzoek naar nieuwe teelttechnieken.

Voorbeelden van teeltunits op middelgrote schaal zijn:

- Rooftop farm op het dak. Zie het in paragraaf 2.1 genoemde Zuidpark-project.
- Office farm: teeltmodules op een verdieping in een leegstaand kantoorpand. Voorbeelden van organisaties in Amsterdam die hiermee bezig zijn, zijn Symbicity en Metfarm.
- Grow modules. De module van het bedrijf PlantLab is compleet afgesloten van de buitenwereld, zodat het klimaat volledig te regelen is. De modules zelf zijn middelgroot, maar door ze te schakelen, zijn productieruimtes van duizenden vierkante meters mogelijk. Met de modules van PlantLab is het ook mogelijk onderzoek te doen naar teelttechnieken. Een ander voorbeeld is het HortiHotel dat wordt ontwikkeld door Fytagoras met vergelijkbare functionaliteiten als PlantLab.

Groot: geïntegreerde gebouwen

Aan het andere eind van het schaalgroottespectrum vinden we de complete gebouwen en projecten binnen de stedelijke omgeving. Denk aan:

- Kweekflat, zoals de kweekflat van Deliscious die met behulp van Philips LED-groeilampen [3] slazaadjes opkweekt tot kleine plantjes.
- Urban Development: integratie van het gebouw met het ecosysteem in de wijk of industrieën in de buurt. Deze volledig geïntegreerde stedelijke vertical farming-systemen zijn vooralsnog utopische concepten. Plantagon is een bedrijf in Zweden dat volledig geïntegreerde concepten uitwerkt.

2.4 Integrale concepten

Tot slot zijn er verschillende zogenoemde integrale concepten, die elementen uit de drie assen (doelstelling, geavanceerdheid en schaalgrootte) met elkaar combineren. Vaak hebben integrale concepten een sociaalmaatschappelijke doelstelling én een aantal commerciële uitgangspunten. Denk aan concepten die de plaatselijke horeca voorzien van vers geproduceerd voedsel. Het zijn vaak concepten waarin een combinatie van lowtech- en hightechoplossingen zijn toegepast. De oplossingen zijn zowel klein- als grootschalig.

We noemen het concepten, omdat veel van de ideeën en initiatieven nog niet of slechts deels zijn verwezenlijkt. De verwachting is dat de komende jaren een deel van deze concepten, al dan niet in aangepaste vorm, daadwerkelijk het licht zien.

GrownDownTown, Amsterdam
GrownDownTown is een initiatief van Philip van Traa. Het initiatief is ook wel bekend onder de naam 'De Groenten Uit Amsterdam'. Verschillende bedrijven en technologieleveranciers zijn bij het initiatief betrokken. GrownDownTown staat op het punt een stadskwekerij op een braakliggend terrein in Amsterdam te openen. Het concept bestaat uit een combinatie van duurzame teelt door onder meer een gestapelde LED-kwekerij, een tomatenkas, een kruidentuin, een restaurant en 140 moestuintjes voor buurtbewoners (zie figuur 2.4). Ook is er plek voor educatie en onderzoek. In de nabije toekomst richt GrownDownTown een eerste deel van de kwekerij in waar bedrijven kunnen experimenteren met nieuwe urban farming-technieken. De ambitie is om na een succesvolle start in Amsterdam het concept in meerdere steden in de wereld uit te rollen.

De Groenfabriek
De enorme leegstand in kantoorgebouwen en de verwachting dat dit alleen maar toeneemt, zijn voor een aantal architecten, deskundigen uit de energie- en bouwwereld, toeleveranciers uit de tuinbouw en een aantal vrijdenkers aanleiding voor de oprichting van De Groenfabriek. De 'denktank' onderzoekt of het mogelijk is om leegstaande kantoren om te bouwen tot 'Groenfabrieken' (zie figuur 2.5). Multifunctionele locaties die zelfstandig duurzame energie opwekken en waar duurzame plantenteelt plaatsvindt. De Groenfabriek kijkt hierbij naar decentrale energieopwekking door licht, warmte en wind in combinatie met het gebouw, meerlaagsteelt binnen in het gebouw en verkoop van de teeltopbrengst via een restaurant of winkel in de plint van het gebouw. De Groenfabriek zoekt naar een proeflocatie in Noord-Holland, maar ook daarbuiten.

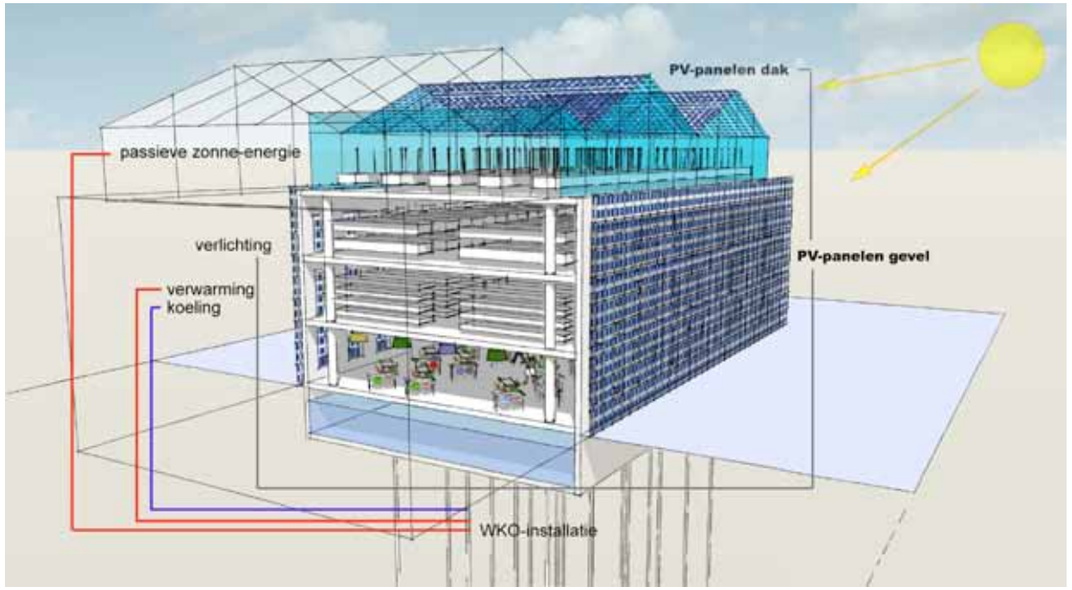
Andere initiatieven in Nederland

Uiteraard reikt standslandbouw verder dan de grenzen van Amsterdam. Ook andere steden in binnen- en buitenland initiëren verschillende integrale concepten. Zo hebben een aantal Westlandse bedrijven de Stichting STAD + KAS in het leven geroepen. De bedrijven willen hun kennis en ervaring samenbrengen voor de ont-

Figuur 2.4 Impressie urban farming centre GrownDownTown

Beeld: GrownDownTown





Figuur 2.5 Concept De Groenfabriek *Beeld: De Groenfabriek*

wikkeling van projecten die stedelijke functies (wonen, werken en leven) combineren met tuinbouwfuncties en -technieken. Twee andere noemenswaardige initiatieven zijn Uit Je Eigen Stad in Rotterdam en FarmCity in Heerlen.

Uit Je Eigen Stad in Rotterdam

Uit je Eigen Stad zaait, kweekt en teelt op braakliggende terreinen in Rotterdam. De eerste locatie, nabij het Marconiplein, is in 2012 geopend. De stadsboerderij ligt in het Rotterdamse havengebied en bestaat uit een loods van 800m² en een stuk grond van twee hectare. Op een nieuwe laag aarde op gronddoek kweken ze in tunnelkassen groenten, fruit en paddenstoelen. De loods herbergt een restaurant en een viskwekerij. Ook is er een grote ren met vleeskippen. Uit Je Eigen Stad verkoopt de zelfgekweekte producten voor een prijs die vergelijkbaar is met de prijs van biologische producten bij Albert Heijn.

Uit Je Eigen stad heeft een commerciële insteek. Het initiatief heeft de afgelopen jaren een paar miljoen euro kunnen investeren, bijeengebracht door crowd sourcing, en leningen en schenkingen van verschillende organisaties en bedrijven. Uit Je Eigen Stad wil de investering terugverdienen door de oogst te serveren in het eigen restaurant. En door de opbrengst te verkopen aan andere restaurants via een marktkraam en in een winkel. Bovendien verdient ze geld met betaalde rondleidingen, catering van lunches voor bedrijven in de buurt en de verhuur van vergaderzalen. Het doel is om dit concept in de toekomst uit te breiden naar andere steden.

FarmCity in Heerlen

Ook in het voormalige CBS-complex in Heerlen is in 2012 gestart met stadslandbouw. In één van de gebouwen van het 40.000m² grote complex, het kantoor 'Carbon6', realiseert ontwikkelaar WalasConcepts stadslandbouw in combinatie met wonen en werken. FarmCity is klein gestart met de teelt van kruiden en heeft de ambitie om ook tomaten, vis en aardbeien, bessen en frambozen te gaan kweken. De oogst wil FarmCity serveren in een restaurant in het gebouw. Wat overblijft, wil de organisatie elders in Heerlen en omgeving afzetten. In de toekomst realiseert FarmCity ook een datacentrum in Carbon (6). Het concept behelst verder een werkervaringsproject en heeft tot doel de stedelijke economie te versterken. Aansluitend beoogt FarmCity dat het gebouw in de eigen groene energie gaat voorzien

2.5 Afbakening onderzoek

Om ons onderzoek af te bakenen, concentreert het CleanTech-onderzoeksprogramma zich op hoogwaardige verticale teelt. Deze keuze sluit aan op de expertise van de Engineeringopleidingen van HvA Techniek. Met name op het vlak van integraal ontwerpen en het bedenken van slimme, technische en zakelijke toepassingen. De focus op verticale teelt is bovendien ingegeven door het feit dat deze teeltvorm in de toekomst ook perspectieven kan bieden voor het oplossen van andere maatschappelijke vraagstukken. Despommier (2010) noemt bijvoorbeeld het produceren van schoon drinkwater, medicijnen en biobrandstoffen.

Hoewel onder stadslandbouw volgens de definitie van RUAF (2010) ook veeteelt valt, beperken we ons in het onderzoek tot de teelt van groenten en fruit, en tot systemen die met behulp van dieren bijdragen aan het verduurzamen van de gewassenteelt door het sluiten van kringlopen, zoals *aquaponics* en *insectenteelt*.

Enkele redenen om veeteelt niet mee te nemen in dit onderzoek zijn:

- Bij veeteelt is altijd een langere voedselketen nodig dan bij gewassenteelt. Het vee heeft immers zelf voedsel nodig. Dit is in beginsel minder duurzaam dan het verbouwen van gewassen.
- De hoge CO_2-footprint, onder meer de uitstoot van methaan.
- Er ontstaan ethische en duurzame vraagstukken bij veeteelt in de stad. De uitstoot is ongezond voor mens en dier, en de dieren leven niet in hun natuurlijke omgeving.



GrownDownTown: *"In Nederland draagt urban farming voornamelijk bij aan de kwaliteit en versheid van ons voedsel, en het bewustzijn daarover."*

Philip van Traa is mede-initiatiefnemer van GrownDownTown, een coöperatie die zich inzet om de hoogspecialistische voedselteelt, zoals we die in Nederland kennen uit het Westland, ook binnen de stedelijke omgeving te implementeren. Van Traa was lid van de klankbordgroep van het honoursproject Urban Farming.

Waarom een initiatief als GrownDownTown? Is onze voedselvoorziening een zodanig urgent probleem dat we de voedselproductie naar de steden moeten verplaatsen?

In Nederland ligt de urgentie niet zozeer op het gebied van dreigende voedseltekorten; het Westland voorziet ruimschoots in de Nederlandse voedselbehoefte. Naar mijn mening moet je urban farming ook niet perse één definitie toe willen kennen.

In een land als Nederland draagt urban farming voornamelijk bij aan de kwaliteit en versheid van ons voedsel, en het bewustzijn daarover. Ik leg de nadruk in Nederland liever op duurzaamheid, het laten zien aan de consument hoe we voedsel produceren, en het supervers produceren van luxeproducten als verse kruiden en sla- en cressvarianten. In échte grootstedelijke gebieden daarentegen, bijvoorbeeld de metropolen in Azië, kan urban farming wel degelijk een oplossing bieden voor de logistieke problemen die het voeden van zoveel monden in de stad met zich meebrengen. Het creëren van bewustzijn waar het eten vandaan komt, speelt daar een minder grote rol.

Het GrownDownTown-project in Amsterdam focust zich in eerste instantie op de behoefte van de lokale bevolking, waarbij bewustwording als gezegd een grote rol speelt. De bedoeling is om vervolgens over de grens te kijken, en te experimenteren met urban farming-technieken die elders op de wereld van levensbelang zijn.

In welke techniek zie jij persoonlijk de meeste potentie: aquaponics, hydroponics, of misschien wel aeroponics?

Hydroponics. Ik geloof zeker ook in het sluiten van de kringloop, typerend voor aquaponics. Maar dan geef ik de voorkeur aan hydroponics, met apart een viskweekmogelijkheid. Waarbij uitwisseling van afval en voedselstromen plaatsvindt, maar ze fysiek niet één systeem vormen. Puur omdat anders de systemen te complex zijn en er te veel mis kan gaan bij ontregeling.

Hoe heb je de samenwerking met de HvA als lid van de klankbordgroep tijdens het honoursprogramma urban farming ervaren?

De samenwerking was goed. Wat mij betreft hadden er nog meer bijeenkomsten mogen zijn tijdens het honoursprogramma. Het is fijn om te constateren dat de studenten daadwerkelijk iets doen met je inbreng.

3 TRENDS EN DRIJFVEREN

Klimaatverandering, de bevolkingsgroei en de verstedelijking van de samenleving beloven een stijging van de voedselprijzen. En in Amsterdam staan miljoenen vierkante meters kantoor leeg als gevolg van de vastgoedcrisis en Het Nieuwe Werken. Samen met een aantal interessante technologische ontwikkelingen vormen deze de drijfveren voor de huidige aandacht voor verticale stadslandbouw. En voor de hoge verwachtingen die onderzoekers, ondernemers en beleidsmakers hiervan hebben. In dit hoofdstuk geven we een overzicht van de maatschappelijke ontwikkelingen en vraagstukken rondom de duurzaamheid van onze voedselvoorziening.

3.1 Maatschappelijke trends

De volgende trends en ontwikkelingen van maatschappelijke en sociaalgeografische aard zijn van invloed op stadslandbouw.

Stijgende vraag naar voedsel in de stad

Momenteel woont meer dan 50% van de wereldbevolking en driekwart van de West-Europese bevolking in de stad (NIDI, 2006). De stadsbewoners verlangen naar een duurzame, schone en veilige stad. Maar bovenal naar een stad waar voldoende te eten is. Een stad als Londen heeft nu al meer landbouwgrond nodig dan er in het gehele Verenigd Koninkrijk voorhanden is (Steel, 2008). De verwachting is dat het percentage stadsbewoners voorlopig nog blijft groeien. Dit betekent dat het aantal kilo's geproduceerd voedsel per vierkante meter per jaar omhoog moet. Volgens Despommier (2010) is dit haalbaar door de teelt te stapelen. Dit vraagt nog wel enkele grote ontwikkelingsstappen. Hier komen we in hoofdstuk 4 op terug.

Transparantie voor de voedselveiligheid en voedselzekerheid

Consumenten zijn zich bewuster van de voedselvoorziening. Ze zoeken daarom meer en meer naar transparantie over productieprocessen. Ondanks de uitgebreide wet- en regelgeving rondom voedselveiligheid, blijkt de groeiende maatschappelijke bezorgdheid niet altijd onterecht. Voedselschandalen zijn de laatste jaren veelvuldig in het nieuws. Neem het EHEC-schandaal in 2011. Het duurde in dit geval vrij lang om de infectiebron te achterhalen. Onder meer door dit soort schandalen, groeit bij bewuste consumenten de voorkeur voor lokaal geproduceerd voedsel. Hoogwaardige verticale stadslandbouw kan daarop een transparant antwoord zijn, met een relatief hoge opbrengst op zeer korte afstand van huis.

Groeiende belangstelling voor voedselconsumptie en gezondheid

Meer dan de helft van de Nederlandse volwassenen en één op de zeven kinderen kampt met overgewicht. Naar verwachting is obesitas in 2015 's werelds grootste gezondheidsprobleem. De belangstelling voor bestrijding ervan groeit onder de bevolking. Ook bedrijven spelen er meer op in. Denk aan het RTL-televisieprogramma Obese, dat deelnemers met morbide obesitas een jaar lang volgt in hun strijd tegen de kilo's. Ook door deze trend is er steeds meer aandacht voor gezond en transparant geproduceerd voedsel. Consumenten willen meer inzicht in de herkomst van voedsel en de invloed ervan op hun gezondheid. Een kans voor lokale voedselproducenten en stadslandbouwers.

De invloed van ons dieet op onze gezondheid geniet ook de aandacht van de geneeskundige wereld. Onlangs heeft een internationaal conglomeraat van wetenschappers een routeplanner ontwikkeld rondom dit thema. De routeplanner laat zien voor welke ziektes de mens aanleg heeft, welke tekorten hem of haar parten gaan spelen en welke voeding, al dan niet in combinatie met medicijnen, het meest geschikt is om ziektes te voorkomen of te behandelen (Keulemans, 2013). Tien jaar geleden is een dergelijke routekaart al aangemerkt als 'een revolutie in de maak'. Met hoogwaardige verticale teelt is het in theorie mogelijk de samenstelling van voedingsstoffen en daarmee het voedselgewas nauwgezetter te controleren. Dit sluit aan op de in de routekaart geformuleerde vraag naar een maakbaar dieet.

Leegstand van gebouwen in de stad

Volgens DTZ Zadelhoff (2011) stond er in Nederland de afgelopen jaren meer dan 7 miljoen m² kantoor leeg. Dit is landelijk bijna 14% en in Amsterdam zelfs 18,5% van het totale aanbod. Gemeentes en vastgoedeigenaren zijn dringend op zoek naar een herbestemming voor deze leegstand, omdat een leeg kantoor geen inkomsten genereert en omdat de kosten voor onderhoud van een leegstaand pand onverminderd hoog zijn. Leegstand heeft verder nadelige effecten op de buurt. Het kan tot verpaupering, criminaliteit en vervuiling leiden (Remoy, 2010). Door leegstaande panden, al dan niet tijdelijk, te vullen met teelt, is een deel van de leegstandsproblematiek op te lossen. Let wel: zo lang het de technische staat van het gebouw niet negatief beinvloedt.

Sociale cohesie

Urban farming als middel om mensen bij elkaar te brengen, is inmiddels uit de Verenigde Staten overgewaaid naar een aantal steden in Nederland. Tegenwoordig zijn er ook ideeën om verticale teelt met de voedselbank te combineren, zoals in het vorige hoofdstuk te lezen is. Een ander voorbeeld is Foodscape Schilderswijk, een door kunst- en architectuurcentrum Stroom gesponsord project met binnentuinen, waar fruitbomen, bessenstruiken, rabarber, aardbeien en kruiden welig tieren.

Net als urban farming, zal ook vertical farming een dergelijke bijdrage kunnen leveren aan sociale cohesie in de buurt. Door slimme combinaties te maken tussen commerciële verticale teelt en particuliere moestuinen, kan een project aan sociale relevantie winnen. Uit je Eigen Stad, dat op de Rotterdamse Marconistrip onder meer fruit, kippen, vissen en groente produceert, doet dit bijvoorbeeld met een re-integratietraject [4].

Stijgende vraag naar duurzame voedselproductie

Bevolking, bedrijfsleven en overheid hebben in toenemende mate aandacht voor duurzaamheid (Bastiaansen, 2012). Gevoed door het gevoel dat bronnen niet onuitputtelijk zijn. En door een toenemend bewustzijn dat het duurzamer maken van processen voor producten en diensten leidt tot een gezondere leefomgeving. Neem de verwachte fosforschaarste, die grote invloed gaat krijgen op voedselzekerheid in de wereld (Cordell, 2010). Of de groeiende aversie tegen pesticiden vanwege de mogelijke invloed op de bijensterfte (Kluser et al, 2011). Dickson Despommier, professor Public Health in Environmental Health Sciences van Columbia University, stelt dat hoogwaardige verticale teelt in potentie kan leiden tot een reductie van energieverbruik, CO_2-uitstoot, waterverbruik, biocidegebruik en afvalstromen in de stad (Despommier, 2010).

Studentenproject: URBAN FARMING ALS NIEUWE BEDRIJFSSTRATEGIE

Binnen het vak merkstrategie van de opleiding Product Design ontwikkelen studenten strategieën om (vergeten) merken (opnieuw) te profileren. Een aantal studenten koos SRV, de rijdende kruidenier, als hypothetische opdrachtgever. De strategie baseerden ze op een toekomstbeeld in 2030 waarin urban farming alom aanwezig is. SRV profileert zich in dit scenario als urban farming-bedrijf dat zorgt voor teelt van groenten en fruit in teeltmodules langs invalswegen. Teelt langs wegen is denkbaar in een toekomstbeeld met 100% elektrisch transport in 2030. Als vanouds zorgt SRV in die toekomst ook voor het transport van de producten naar de consument, maar dan door het luchtruim, met behulp van drones.

Ze adviseerden SRV om nu al pro-actief op urban farming in te spelen, door consumenten te informeren, actief te investeren in onderzoek, en ernaar te streven de eerste commerciële partij te zijn die teeltmodules plaatst in het landschap. De ontwikkelde strategie presenteerden de studenten aan de hand van een expositiemeubel. Een video presenteerde het toekomstscenario waarbinnen de gevormde strategie plaats zou hebben. Beeld en tekst onderbouwden het concept. De expositie nodigde de toeschouwer uit om het concept niet alleen te zien en lezen, maar ook te ruiken, horen en proeven.

3.2 Vraagstukken rondom duurzaamheid van onze voedselvoorziening

De stijgende vraag naar duurzame voedselproductie gaat hand in hand met een aantal prangende vraagstukken over de daadwerkelijke duurzaamheid van onze voedselvoorziening. We schetsen een aantal van de belangrijkste vraagstukken.

Uitstoot van broeikasgassen in traditionele teelt

In CO_2-equivalenten dragen CO_2 (54%) en N2O (45%) en CH4 (1%) voor een groot deel bij aan het broeikaseffect. Volgens Kramer, Moll, & Nonhebel (1999) was de traditionele akkerbouw en tuinbouw in 1990 verantwoordelijk voor 1% van de totale CO_2 en CH4-emissies in Nederland en 6% van de totale Nederlandse N2O-uitstoot. Traditionele akkerbouw maakt voor de bewerking van de grond veel gebruik van landbouwmachines. De productie van die machines en de verbranding van de diesel bij het bewerken van het land veroorzaken een deel van de uitstoot. Een andere deel komt voort uit de productie van kunstmest en biociden, die de akkerbouw veel in de open lucht gebruikt (Kramer et al., 1999).

Binnen de traditionele glastuinbouw op haar beurt, is veel van de CO_2-uitstoot toe te schrijven aan de verbranding van fossiele brandstoffen. Deze CO_2 gebruikt de tuinbouwer vaak weer in de kassen om de groei van de gewassen te verbeteren. Het sluiten van de CO_2-kringloop en het zorgen voor een duurzame energievoorziening verlagen de CO_2-uitstoot drastisch. Bovendien is het in sommige gevallen ook mogelijk te telen met een meer gedoseerde hoeveelheid CO_2.

Bodemdaling en zeespiegelstijging als gevolg van landbouw

In Nederland is een discussie gaande over de gevaren van overstroming door zeespiegelstijging als gevolg van het broeikaseffect. De Nederlandse bodem daalt bovendien ook al eeuwen door het leegpompen van polders voor de landbouw[5]. Dit wordt versterkt door het verlies van grondwater door irrigatie, industriële processen en drinkwaterwinning, wat tegelijkertijd weer voor ongeveer 20% verantwoordelijk is voor de wereldwijde zeespiegelstijging (Wada, van Beek & Bierkens, 2012). Door over te stappen op teeltvormen die minder water gebruiken, neemt dit effect af. Met hoogwaardige verticale teelt kunnen de waterkringlopen voor een groot deel gesloten worden.



De CO_2-footprint van voedseltransport

Een lange waardeketen kenmerkt de huidige voedselmarkt. In Nederland wordt er dagelijks 25 miljoen kilo voedsel naar de supermarkten gebracht. Tel hier nog een veelvoud aan intermediaire leveringen bij op. Maar liefst 28 procent van het totale wegvervoer in Nederland bestaat uit agrologistiek. Een gemiddelde Nederlandse maaltijd bevat volgens van Traa van GrownDownTown dan ook ruim 30.000 voedselkilometers. En omdat de helft van het agrologistieke wegvervoer is gekoeld, is de CO_2-uitstoot hoger dan bij regulier vervoer.

Omdat minder logistieke bewegingen de kostprijs en de CO_2-uitstoot doen dalen, is er op dit moment veel interesse voor local-for-local-businessmodellen voor voedsel. Het lijkt het ei van Columbus, maar toch gaat deze vlieger niet helemaal op. Onderzoek van de University of Toronto (Desrocher & Shimizu, 2012) toont aan dat transport slechts een klein deel van de CO_2-footprint veroorzaakt. De grote boosdoener is de gewassenproductie. Gemeten in tijd maakt het logistieke systeem slechts een klein deel uit van de totale waardeketen. Voedselkilometers blijken van minder effect op de CO_{2v}-footprint van ons voedsel dan de manier waarop er geteeld wordt.



3.3 Nieuwe technologische mogelijkheden

De meningen verschillen sterk of de biologische landbouw voldoende perspectieven biedt voor het voeden van de wereldbevolking. Hoe dan ook, een aantal bedrijven, burgers en overheden zien landbouw in een stedelijke context als een belangrijke oplossingsrichting voor het creëren van een duurzame voedselvoorziening (sociaal, economisch en ecologisch) (Deelstra & Girardet, 2000) en voor hergebruik van ruimte in de stad. Zeker als nieuwe technologische mogelijkheden eraan bijdragen.

De opkomende belangstelling voor stadslandbouw past in een algemene trend die de landbouw herwaardeert (Remmers, 2011). Na de modernisering van de landbouw, ingezet na de Tweede Wereldoorlog om voedselproductie zeker te stellen, was er vanaf de jaren '70 veel aandacht voor biologische landbouw die weer de verbinding maakt met de natuur. Vanaf de jaren '90 volgde de ontwikkeling van de multifunctionele landbouw. In deze periode zijn steeds meer additionele diensten aan de landbouw toegevoegd, die meerwaarde hebben voor mens en samenleving. Zoals de inzet van landbouw voor recreatieve en educatieve doeleinden of voor zorgprojecten. Remmers ziet stadslandbouw als de volgende stap (zie figuur 3.1). Vanuit het besef dat landbouw in een stedelijke context meerwaarde kan bieden voor stedelijke ontwikkeling.

Technologische ontwikkelingen versterken de vraag naar stadslandbouw. De ontwikkelingen in de kassenbouw leveren een aantal sprekende voorbeelden. Denk aan de (semi)gesloten teeltsystemen. Of aan de energieleverende kas die de overproductie van warmte levert aan bedrijven in de omgeving. Ook het OCAP-project, dat CO_2 uit andere sectoren aanbiedt aan telers is vermeldenswaardig. Het zijn deze ontwikkelingen die steeds meer kansen scheppen voor duurzame teelt van vers voedsel in de moderne stad. Ze kunnen een grote rol spelen in de totstandkoming van stadslandbouw en het oplossen van de beschreven duurzaamheidsvraagstukken.

De tijd is rijp. Maar waarom bestaan er dan nog zo weinig commerciële stadslandbouwconcepten met verticale teelt? En wat voor (technologische) ontwikkelingen zijn er nodig om commerciële stadslandbouw tot een succes te maken? Voordat we op deze vragen antwoord geven, maken we in het volgende hoofdstuk inzichtelijk:

- Wat er nodig is voor succesvolle teelt;
- Welke technologische innovaties er zijn geweest en komen;
- En hoe deze innovaties zijn in te zetten in een vertical farm.

Zowel de voordelen als de uitdagingen en belemmeringen komen aan bod.

Figuur 3.1 Stadslandbouw

	Herverbinding met		
Tijdvak	Natuur	Met mens	Met stad
Jaren 1960 - 1970	Biologische en organische landbouw		
Jaren 1980 - 2010		Multifunctionele landbouw	
Jaren 2000 -			Stadlandbouw

Bron: Remmers (2011)



SymbiCity: *"Het is altijd goed om als bedrijf in contact te staan met kennisinstellingen als de HvA."*

John Apesos is oprichter van SymbiCity en ging in 2012 een samenwerkingsverband aan met de Hogeschool van Amsterdam voor de ontwikkeling van het concept Pop-up-Farm.

Wat heeft de samenwerking met de Hogeschool van Amsterdam inhoudelijk gebracht?

Ik ben met de HvA een project gestart voor de ontwikkeling van een zogenoemde Pop-up-Farm. Een modulaire teeltinstallatie die gebruikmaakt van hydropone systemen en LED-verlichting om sla te telen in leegstaande kantoorpanden. De uitkomst van het project dat uitgevoerd werd door tweedejaarsstudenten was een prototype. Er waren op een paar punten nog aanpassingen nodig om dit systeem in gebruik te nemen. Zo bleek dat in het opgeleverde prototype het verval van het hydropone systeem niet groot genoeg was om het geheel naar behoren te laten functioneren. Er zijn verder ook aanpassingen gedaan aan de verbindingen in de constructie om een steviger eindmodel te krijgen.

Hoe heb je de samenwerking met de HvA ervaren?

Erg positief. Er was veel mogelijk, de begeleidende docenten waren goed benaderbaar, en ik had bij het Pop-up-Farm-project te maken met een ambitieuze groep studenten.

Waar staat het bedrijf nu in de ontwikkeling van het project?

Het prototype Pop-up-Farm dat ontwikkeld is in samenwerking met de HvA heeft enorm geholpen bij de uitwerking van een model dat geschikt is voor massaproductie. Dit model is aangepast zodat het stabieler is, minder en kleinere componenten bevat en beter schoon te maken en te vervoeren is. Er zijn al gesprekken geweest met een producent die het wil gaan produceren. Er is dus zeker spin-off van het oorspronkelijke project.

Wat zijn de toekomstverwachtingen van het specifieke concept waar het bedrijf nu mee bezig is? En wat wil het bedrijf ermee bereiken?

Het is nog altijd een streven om zoveel mogelijk leegstaande panden in de stad te vullen met systemen die kunnen zorgen voor voedselproductie. Met ons model zijn we weer een stapje dichterbij. Eén van de uiteindelijke doelen is om mensen weer terug in verbinding te brengen met de productie van het eigen voedsel.

Wat zijn de toekomstige plannen van het bedrijf, met betrekking tot urban farming of in het algemeen?

We zijn al aan het denken over nieuwe invullingen op het gebied van urban farming. Over deze nieuwe plannen kan ik nog niet te veel zeggen, behalve dat de ontwikkelde Pop-up-Farm daar nog altijd een sleutelrol in speelt. Voedselproductie in de stad blijft het onderwerp van onze onderneming.

4 VERTICAL FARMING

Kijkend naar de ontwikkelingen in de markt en de technologische innovaties bieden integrale concepten van hoogwaardige verticale gewassenteelt in de stad grote voordelen. In de komende paragrafen laten we zien dat het maatschappelijk verantwoord hoogwaardig verticaal telen van gewassen, een bijdrage levert aan:

1. Duurzaamheid van de stad.]
2. Voedselvoorziening in de stad.
3. Ruimtegebruik in de stad.

We begin nen met een introductie over wat er nodig is voor het kweken van gewassen. We maken het belang van controle over de teeltingrediënten duidelijk en de rol die de vertical farm in de stad daarin kan spelen. Hierna lichten we de voordelen voor duurzaamheid, voedselvoorziening en ruimtegebruik nader toe. Tot slot komen de uitdagingen aan bod.

4.1 Wat heb je nodig voor gewassenteelt?

Een gewas groeit en ontwikkelt zich optimaal onder de volgende zes voorwaarden[6]:

1. Vanzelfsprekend moet er een gewas aanwezig zijn om het voedsel aan te laten groeien.

2. Er moet een geschikt teeltmedium zijn om de plant een plek te geven en te ondersteunen. Naast ondersteuning bij de wortels hebben sommige planten, waaronder tomaten, ook ondersteuning bij de stengel nodig. Het teeltmedium biedt verder plaats aan water en voedingsstoffen (nutriënten).

3. Er moet fotosynthese, respiratie en transpiratie in de plant kunnen voltrekken (Peterson, 2004).

4. Er moeten water en nutriënten aanwezig zijn voor de aanmaak van enzymen die het fotosyntheseproces ondersteunen. Dit zijn onder meer stikstof, fosfor, zwavel en natrium. Het is belangrijk dat de mix van water en nutriënten de juiste pH-waarde heeft, zodat de wortels in staat zijn de voedingsstoffen op te nemen.

5. Er moet een voor de plant geschikt klimaat zijn. Dit betekent dat de volgende zaken zich binnen bepaalde grenzen moeten bevinden:

    - Luchttemperatuur;
    - Luchtvochtigheid;
    - Atmosferische samenstelling (zuurstof, stikstof, CO_2).

6. De plant moet voldoende afweer hebben tegen concurrerende organismen, zoals ziektes, schimmels, ongedierte en onkruid.

We zoomen even in op fotosynthese en het klimaat:

Wat is fotosynthese?

Fotosynthese is het proces waarin lichtenergie koolstofdioxide en water omzet in zuurstof en koolwaterstoffen voor de plant (zie figuur 4.1). De koolwaterstoffen die tijdens fotosynthese worden geproduceerd, zet de plant deels weer om in energie. Deze energie gebruikt de plant voor de aanmaak van nieuwe bouwstoffen, zoals suikers en zetmeel. Dit proces noemen we respiratie. Transpiratie is het verdampen van vocht via huidmondjes (stomata) in de bladeren. Transpiratie is nodig voor het transport van mineralen, suikers en andere stoffen in de wortels en de plant en voor koeling van de plant. Ook houdt transpiratie de turgordruk in de plantcellen op peil, waardoor de plant stevig blijft. Voor al deze processen zijn de onderstaande ingredienten nodig

- Licht via de bladeren;
- CO_2 via de bladeren;
- Water (H20) via de wortels en bladeren.

Alle groene gewassen, zoals planten en bomen, groeien door fotosynthese.



Figuur 4.1 Het fotosyntheseproces

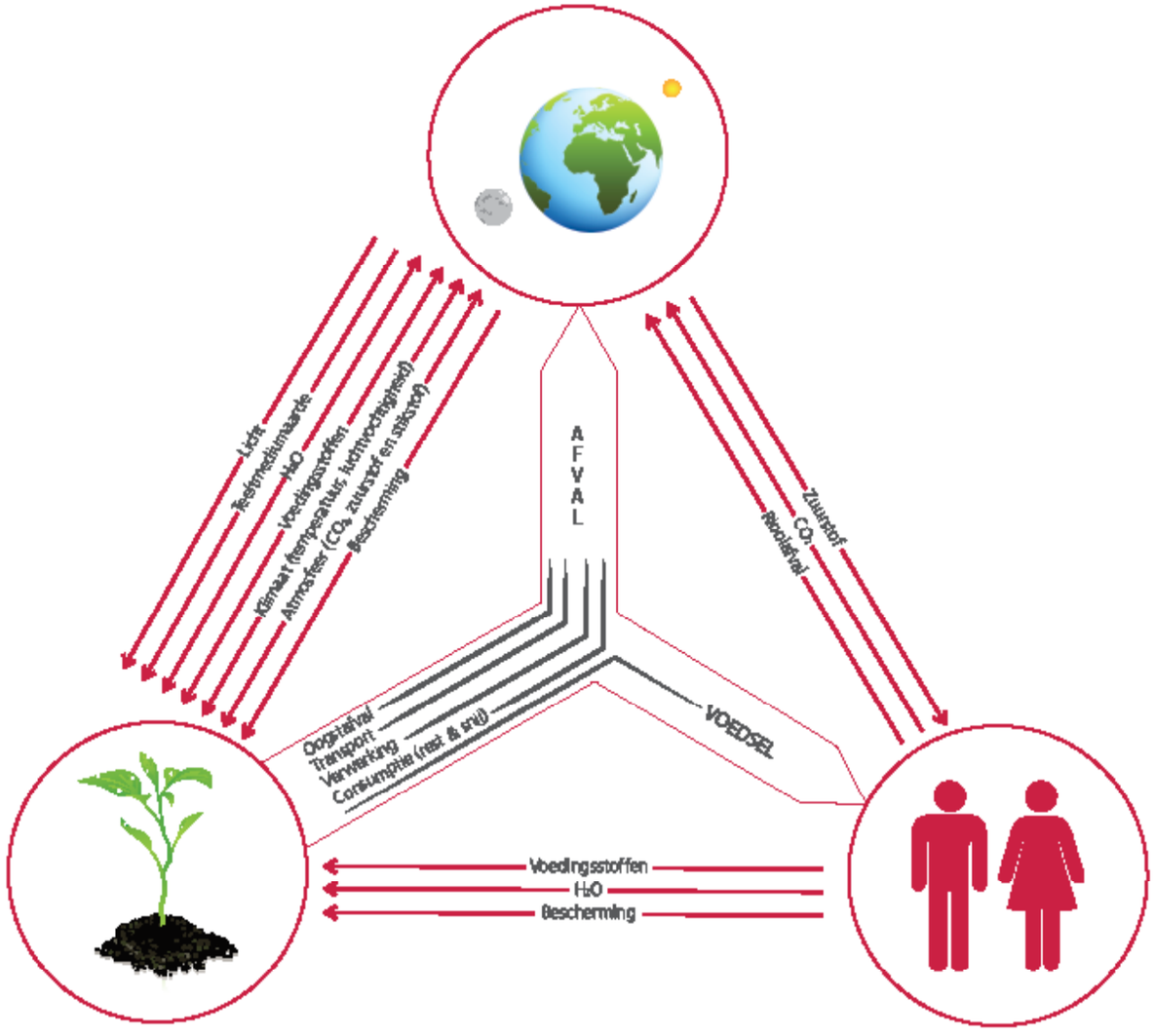
Het juiste klimaat

Iedere plant heeft een optimaal klimaat nodig, bestaande uit een bepaalde luchttemperatuur, luchtvochtigheid en atmosferische samenstelling (zuurstof, stikstof, CO_2). Dit klimaat is voor ieder gewas anders. Bij een te hoge luchtvochtigheid is de vruchtproductie van een tomatenplant bijvoorbeeld laag, omdat de plant minder water en dus ook minder calcium opneemt. Calcium is één van de bouwstenen die de plant nodig heeft voor productie van tomaten. Bij een te lage luchtvochtigheid sluiten de huidmondjes van de bladeren zich om uitdroging te voorkomen. Het negatieve gevolg is dat er zo minder fotosynthese mogelijk is, waardoor er op den duur ook minder vruchtproductie is. En bij een te lage luchtvochtigheid loopt de tomaat ook het risico dat de bladeren uitdrogen (Dieleman, 2008).

4.2 Controleren van teeltomstandigheden

In traditionele teeltmethoden, zoals akkerbouw, groeien planten in de open lucht. Dit betekent dat de teler volledig afhankelijk is van weersinvloeden, bodemgesteldheid en of er ziektes, schimmels of andere plagen aan- of afwezig zijn. De teler is gebaat bij een zo groot mogelijke opbrengst en een zo hoog mogelijke vruchtkwaliteit (uitgedrukt in smaak, textuur, vorm en kleur). Er zijn in de loop der jaren een aantal technologische ontwikkelingen geweest om de opbrengst en kwaliteit te stimuleren. Deze ontwikkelingen gaan twee richtingen uit (Dieleman & Marcelis, 2007):

- Het veredelen van planten, zodat de planten succesvol produceren onder ruime teeltomstandigheden.
- Het controleren van de teeltomstandigheden, zodat de plant optimaal blijft produceren.



Figuur 4.2 Gewassenteelt en de invloed van de omgeving en vice versa

In deze publicatie kijken we niet zozeer naar de biotechnische aspecten van de landbouw, zoals het veredelen van planten door kruisen of genetische modificatie. We beperken ons tot het controleren van de teeltomstandigheden. Figuur 4.2 geeft weer hoe in traditionele teeltmethoden de buitenwereld het gewas beïnvloedt, en andersom hoe het gewas de omgeving beïnvloedt. We gaan hierna specifiek in op het bieden van een goede voedingsbodem, beschermen van gewassen, regelen van het klimaat en belichten van het gewas. Daarnaast stippen we de ontwikkelingen op dit vlak aan.

De voedingsbodem: teeltmedium, water en voedingsstoffen

De teler kan het teeltmedium optimaliseren door extra nutriënten zoals (kunst)mest toe te voegen. In de traditionele akkerbouw is het teeltmedium aarde. De laatste jaren wordt er steeds meer geëxperimenteerd met andere teelttechnieken, zoals telen op water, ook wel hydroponics genoemd. Hydroponics is een vorm van hydrocultuur waarbij de wortels van de plant in het water hangen en de plant niet met aarde, maar met een teeltmedium als bijvoorbeeld steenwol op zijn plaats gehouden wordt (RUAF, 2010). Dit heeft als voordeel dat een watercirculatiesysteem de voedingsstoffen direct naar de plant kan brengen (Dieleman & Marcelis, 2007).

Bescherming gewas tegen concurrerende organismen

Ziektes, schimmels en plagen zijn te bestrijden met natuurlijke of onnatuurlijke bestrijdingsmiddelen. Dit soort middelen verhogen de weerstand tegen concurrerende organismen of bestrijden ze: actief of preventief. Ook zijn gewassen te beschermen met insecten of door mechanische bescherming (Wijnands, Sukkel & Booij, 2006).

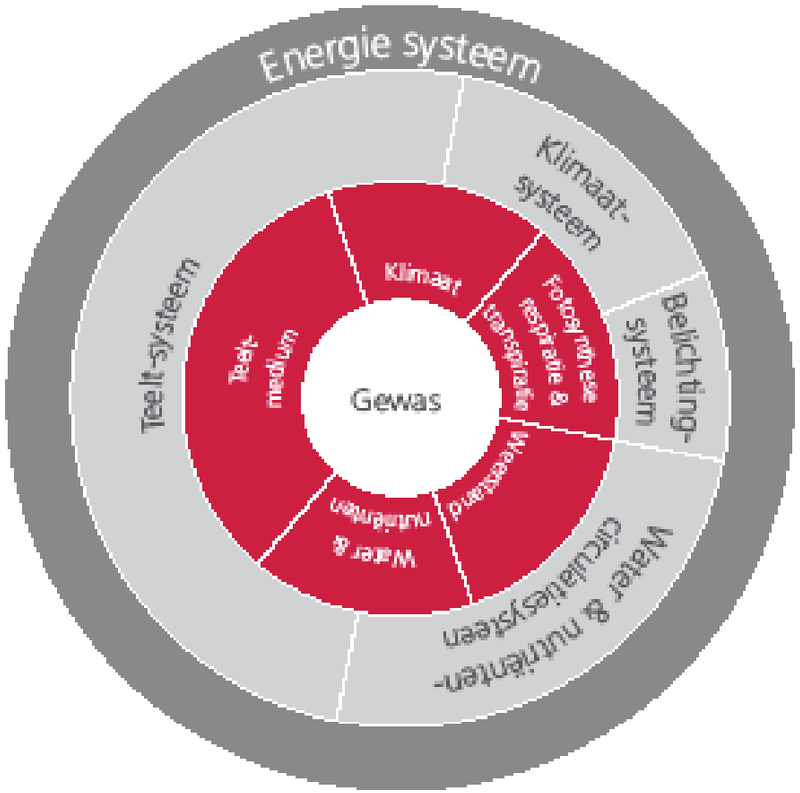
Klimaatbeheersing in (semi-)gesloten systemen

Door de komst van de kas is het mogelijk om ook het klimaat te sturen. Door in de kas te spelen met de temperatuur en luchtvochtigheid is het mogelijk de opbrengst te vergroten. Ook door de hoeveelheid CO_2 op te voeren, vergroot je de opbrengst van de plant, omdat het fotosyntheseproces gemakkelijker plaatsvindt. De eerste generatie kassen maakte gebruik van luiken om overtollige warmte af te voeren naar de buitenlucht. Tegenwoordig zijn er steeds meer gesloten kassen. Die hebben tot voordeel dat de overtollige warmte niet verloren gaat, maar te hergebruiken is. Zo is het mogelijk de warmte te bufferen en die in een koudere periode, bijvoorbeeld 's nachts of in de winter, weer te gebruiken (Knoll et al, 2006). Ook is de warmte bruikbaar voor afnemers in de stad of bedrijven in de omgeving (Knies et al, 2005).

Belichten van het gewas

Sinds enkele jaren zetten tuinders steeds meer kunstlicht in om fotosynthese te bevorderen. Ze gebruiken lampen om de dagen te verlengen aan het begin en einde van het seizoen. Zo blijven de planten over een langere periode in het jaar groeien. Buiten het traditionele teeltseizoen is het normale productaanbod in de markt lager. Hierdoor is het mogelijk een hogere prijs te vragen en verkrijgt de tuinder, ondanks de hogere investeringen en gebruikskosten zoals onderhoud en energie, toch een acceptabele opbrengst (de Boer & Marcelis, 2009). Telers zijn in hoge mate geïnteresseerd in de opkomende Power LED-technologie, omdat deze technologie in potentie een hoge opbrengst kan produceren tegen relatief lage kosten. Toch blijft kunstmatig verlichten een kostbare aangelegenheid. Ter vergelijking, de zon is gratis. Dit neemt niet weg dat er mogelijkheden zijn om een efficiencyslag te maken. Met telen in meerdere lagen (Wildschut & Campen, 2010) en door fotosyntheseprocessen te optimaliseren op een manier waar zonlicht niet aan kan tippen. Dit bespreken we verder in hoofdstuk 5.

Figuur 4.3 Samenhang teeltingrediënten en technische systemen



4.3 Functies en systemen in een hightech vertical farm

Net als in elke andere traditionele teeltvorm, spelen ook in een vertical farm de teeltomstandigheden een grote rol. We onderscheiden hierbij de volgende vijf ingrediënten: teeltmedium, water en nutriënten, fotosynthese, klimaat en bescherming. In een verticale kwekerij zijn deze teeltomstandigheden stuk voor stuk te reguleren met hoogwaardige technologische systemen. Systemen die nu al volop worden toegepast in glastuinbouw (Dieleman & Marcelis, 2007). De systemen zorgen voor optimale omstandigheden, waardoor het mogelijk is een zo hoog mogelijke opbrengst per vierkante meter per jaar te produceren, tegen zo laag mogelijk kosten. Een ander voordeel van de huidige systemen is dat ze ook de kwaliteit van het product erop vooruit laten gaan.

De teeltingrediënten zijn door vijf verschillende systemen in een vertical farm te controleren. In figuur 4.3 is weergegeven hoe teeltingrediënten en -systemen met elkaar samenhangen. Hierna beschrijven we de functies die de vijf systemen uit figuur 4.3 vervullen:



Teeltsysteem

Het teeltsysteem vervult de volgende functies:

- Het bieden van een plaats aan het gewas, waarbij het gewas de ruimte krijgt om eetbare biomassa (bijvoorbeeld bladeren of vruchten) te laten groeien.
- Het aanbieden van water en nutriënten aan de wortels van de plant ter bevordering van de fotosynthese, respiratie en transpiratie.
- Beschermen (of in quarantaine zetten) tegen concurrerende organismen door mechanische afsluiting.
- Afschermen van de buitenwereld zodat een voor het gewas op ieder specifiek moment meest geschikte klimaat te creëren is.
- Faciliteren van zaaien, planten en oogsten.
- Faciliteren van transport van het product (optioneel). Een voorbeeld hiervan is het floating raftsysteem dat het product van de invoerzijde van de teeltlijn verplaatst naar de uitvoerzijde met behulp van drijvende vlotten.

Belichtingssysteem

De functie van het belichtingssysteem is het belichten van het gewas om zo fotosynthese te initiëren. Met direct zonlicht of met kunstlicht als LED. Bijkomend effect is de productie van warmte.

Water- en nutriëntencirculatiesysteem

Het water- en nutriëntencirculatiesysteem is gericht op toevoer en circulatie. De te onderscheiden functies zijn:

- Toevoeren van voedingsstoffen en water.
- Toevoeren van bestrijdingsmiddelen (bij voorkeur natuurlijk afbreekbaar).
- Sluiten van de water- en voedingsstoffenkringloop: circulatie van water en verwerking van afvalstoffen tot herbruikbare stoffen (bijv. compost) of energie (bijv. door vergisting tot biogas).

Klimaatsysteem

Het klimaatsysteem verricht aan de hand van een plantspecifiek teeltrecept op intelligente wijze metingen aan het klimaat en aan de plant met als doel het reguleren van de temperatuur, luchtvochtigheid en samenstelling van de atmosfeer (onder andere CO_2- en zuurstofgehaltes).

Energiesysteem

Alle systemen moeten worden voorzien van energie, waaronder:

- Elektrische energie voor het groeisysteem;
- Elektrische energie en koeling voor het belichtingssysteem;
- Elektrische energie, warmte en koeling voor het klimaatsysteem;
- Elektrische energie voor het water- en nutriëntencirculatiesysteem.

De uitdaging is om de energiekringloop zo veel mogelijk te sluiten, zodat er zo min mogelijk toevoer van energie nodig is.

4.4 De voordelen

De hightech verticale stadskwekerij kan in de stad een duurzame oplossing zijn voor de mens, de aarde en de economie (people, planet, profit).We leggen dit uit aan de hand van drie thema's:

- Duurzaamheid van de stad.
- Voedselvoorziening in de stad.
- Ruimtegebruik in de stad.

Duurzaamheid van de stad

Hoogwaardige verticale gewassenteelt speelt in op duurzaamheid door:

A. Reduceren van uitstoot van broeikasgassen.
B. Reduceren van waterverbruik.
C. Sluiten van afvalkringlopen.
D. Verlengen van de levensduur van gebouwen.
E. Teruggeven van landbouwgrond aan de natuur.

Ad A. Reduceren van uitstoot van broeikasgassen
Bij verticale teelt is het mogelijk om de uitstoot van broeikasgassen sterk terug te dringen en wel door:

- Verbeterde teeltprocessen die geen gebruikmaken van dieselverbrandende landbouwmachines en die het gebruik van kunstmest waar mogelijk elimineren.
- Vermindering logistieke bewegingen. Door binnen een straal van 30 kilometer te telen en te consumeren, is minder (gekoeld) vervoer nodig.

Ad B. Reduceren van waterverbruik
Door gebruik van nieuwe technieken en hergebruik van water, is het waterverbruik sterk te reduceren. Bij de traditionele teeltmethode verdwijnt een groot deel van het gebruikte water in kanalen, rivieren en uiteindelijk de zee. Nieuwe teelttechnieken maken het mogelijk om het overtollige water te recyclen. Daarnaast is het water dat verdampt via de bladeren op te vangen; dit is uitermate schoon en drinkbaar water. Verder is het mogelijk om regenwater op te vangen voor gebruik in de teelt, zonder verliezen in de grond.

Ad C. Sluiten van afvalkringlopen
Bij het sluiten van afvalkringlopen is te denken aan de volgende onderwerpen:

- Doordat je in een vertical farm in een afgesloten ruimte teelt, ontstaan er mogelijkheden om ziektes, schimmels en insecten te bestrijden zonder chemische middelen. Ook is het mogelijk om op kleine schaal gebruik te maken van biologische bestrijdingsmiddelen, zoals insecten. Mocht er onverhoopt toch sprake zijn van een infectie, dan is de geïnfecteerde ruimte eenvoudig in quarantaine te plaatsen om te voorkomen dat de gehele oogst mislukt.
- Door de vertical farm aan te sluiten op een CO_2-netwerk in de stad, is de CO_2-uitstoot van de stad in te zetten om het groeiproces van de planten te verbeteren. De winst is tweeledig: de uitstoot van de stad neemt af en er hoeft niet, zoals in traditionele kassen, gestookt te worden om CO_2 te produceren voor de teelt.
- Door in de afgesloten omgeving gebruik te maken van short cycle animals, zoals vissen, insecten en bacteriën, is het mogelijk om biologisch afval om te zetten in voedingsstoffen. Deze voedingsstoffen zijn op hun beurt weer in te zetten voor een nieuwe oogst.
- Door GFT-afval uit het teeltproces te vergisten, ontstaat biogas. Dit gas is te gebruiken als energiebron voor opwekking van warmte of elektriciteit. Ook is het mogelijk het biogas te leveren aan een energiebedrijf voor de productie van groene stroom. Na vergisting blijft een digestaat over die weer te composteren is.



Ad D. Verlengen van de levensduur van leegstaande gebouwen
Bestaande gebouwen zijn tijdelijk of permanent, geheel of gedeeltelijk te vullen met teeltmodules en verkooppunten van producten. Dit komt ten goede aan de levensduur van de gebouwen en de vitaliteit van de stad.

Ad E. Teruggeven van landbouwgrond aan de natuur
Door te telen in de stad, is het mogelijk delen van de akkers terug te geven aan de natuur. Hierdoor is ook het grondwaterpeil naar een hoger niveau te brengen, waardoor de bodem minder snel daalt.

Voedselvoorziening in de stad

Door verticaal te telen stijgt de jaarlijkse opbrengst van voedselgewassen, ofwel de hoeveelheid geproduceerd voedsel per landoppervlakte-eenheid per jaar sterk. Met de volgende twee voordelen:

1. Teeltomstandigheden zijn optimaal te meten en te regelen door de scheiding van productieruimte en buitenwereld. Dit schept mogelijkheden voor:
    - Een zeer hoge opbrengst per vierkante meter door optimale teeltomstandigheden en teelt in meerdere lagen;
    - Kwalitatief hoogwaardig voedsel;
    - Just-in-time levering van voedsel, zonder afhankelijk te zijn van externe partijen en lokale weersomstandigheden (het gehele teeltproces is op basis van afzetprognoses in gang te zetten);
    - Veilig voedsel zonder gebruik te maken van chemische biociden;
    - Vers voedsel, direct na de pluk te consumeren.
2. De productie van voedsel vindt daar plaats waar het ook genuttigd wordt. Hierdoor kan de consument met voedselproductie kennismaken.

Ruimtegebruik in de stad

Hoogwaardige verticale landbouw:

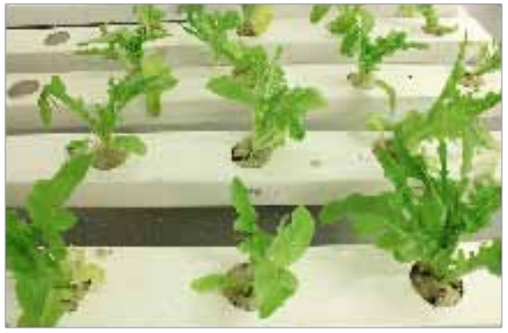
- Reduceert het ruimteoverschot in de stad. Het is technisch geen probleem om bestaande leegstaande (kantoor)panden te gebruiken voor groenteteelt. Ook het plaatsen van (tijdelijke) kweekflats op braakliggend terrein behoort tot de mogelijkheden.
- Creëert economische vitaliteit in de stad. Er ontstaat werkgelegenheid voor onderzoek, telen en afzetten van de producten (Despommier, 2010). Daarnaast ontstaan ook plaatsen voor het kopen en nuttigen van de producten (Steel, 2008).
- Creëert meer groen in de stedelijke omgeving

Studentenproject: ONTWERP POP-UP-FARM

Metfarm is een bedrijf dat vers voedsel wil produceren in de stedelijke omgeving. In het InnovatieLab van de Hogeschool van Amsterdam plaatste Metfarm de volgende opdracht: Ontwerp en ontwikkel een urban farming-systeem dat sla teelt in leegstaande kantoorpanden. Maak gebruik van hydropone systemen en kunstlicht, en zorg ervoor dat het systeem eenvoudig te (de)monteren en transporteren is. Drie enthousiaste tweedejaarsstudenten Engineering, Design & Innovation en E-Technology gingen met de opdracht aan de slag. Ze maakten een ontwerp en een functioneel model.

Daarbij gaven ze materiaalsuggesties voor de constructie en berekenden de optimale plaatsing van de LED-verlichting. Het prototype was uiteindelijk in 20 tot 30 minuten montabel. Hiermee voldeed dit eerste model nog niet geheel aan de eis van snelle en eenvoudige (de)montage. Ook de stabiliteit van de constructie liet in het prototype nog te wensen over. Op basis van deze bevindingen zijn dan ook aanbevelingen gedaan aan de opdrachtgever voor een volgend prototype.





4.5 Uitdagingen en belemmeringen

Waar de voordelen zo evident zijn, is het de vraag waarom deze manier van landbouw bedrijven niet al ruimschoots toegepast wordt. Hoe komt het dat er met zo veel geïnteresseerde bedrijven, kennisnetwerken, overheidsinstanties en burgers, het tot dusver slechts blijft bij een aantal ideeën en businessconcepten? Het antwoord is omdat vertical farming complex is. Hieronder een greep uit de diverse uitdagingen en belemmeringen:

Organisatorische en juridische belemmeringen

Organisatorische en juridische belemmeringen zijn bijvoorbeeld:

- Locatie: Welke bestaande en nieuwe gebouwen zijn er in de stad geschikt? En welke afzetmogelijkheden zi ingen en bouwbesluit: De vertical farm moet voldoen aan vergunningen en bouwbesluit. Vaak moeten eerst de bestemmingsplannen gewijzigd worden.
- Verantwoordelijkheid: Van wie is het idee, wie exploiteert het en wie investeert?

Economische belemmeringen

Vertical farming vraagt om nieuwe businessconcepten en verdienmodellen. Enerzijds omdat de kosten van een gebouw in de stad aanzienlijk hoger zijn dan die van een lap grond in de polder. Anderzijds omdat de prijs van het geteelde voedsel moet kunnen concurreren met de bestaande voedselketen. Biedt vertical farming zo veel meerwaarde aan de consument dat hij bereid is meer te betalen? Wie neemt het financiële risico op zich?

Marktacceptatie

De vraag is hoe consumenten staan tegenover de nieuwe technologieën die vertical farming mogelijk maken:

- Vindt de consument het product nog even lekker en gezond?
- Vindt de consument het product nog duurzaam?
- Hoe maak je de vertical farm aantrekkelijk voor consumenten?

Biotechnologische uitdagingen

Door de vraag naar een divers productaanbod, spelen de volgende zaken een grote rol:

- Teeltrecepten zijn voor de meeste gewassen nog niet bekend.
- Het meten en regelen van het teeltproces moet verder geoptimaliseerd worden. In het bijzonder het meten van de plantgesteldheid.

Technologische uitdagingen

Tot slot zijn er op technologiegebied nog een aantal uitdagingen:

- Systeemintegratie en implementatie van de vertical farm in gebouw en stad.
- Duurzame energievoorziening voor voornamelijk de belichting.
- Creëren van waarde door toepassing van nieuwe technologieën.
- Sluiten van de kringlopen.

Al met al is er uiteenlopende kennis en multifunctionele en sectoroverstijgende samenwerking nodig. Als ondernemer, bedrijf of adviseur met belangstelling voor het onderwerp vertical farming is het belangrijk te bepalen op welk vlak uw expertise ligt en wat voor rol u in het geheel wilt spelen. Wilt u aanjager zijn, kennisleverancier, ondernemer of bijvoorbeeld financier? En met wie wilt u samenwerken om bovenstaande belemmeringen weg te nemen en uitdagingen aan te gaan?

Als CleanTech-onderzoeksprogramma houden wij ons in ieder geval aanbevolen om de rol van kennisleverancier te vervullen en concentreren we ons in deze publicatie op de uitdagingen waar technologie een belangrijke rol in speelt.

Universiteit van Amsterdam: *"Het is mogelijk tot wel 30% op energie te besparen voor effectieve plantengroei."*

Theo van Lieshout is Sr. projectleider wetenschappelijke instrumentatie aan de Universiteit van Amsterdam. In 2011 won hij de Sustainable University Award met het UvA/HvA project 'Energie uit onverwachte hoek.' Over het opwekken of besparen van energie met behulp van thermische uitstraling.

Hoe bent u bij het Sustainable System for Food-project betrokken geraakt?

Via het innovatielab van de Hogeschool van Amsterdam. Daar werk ik sinds 2012 mee aan drie projecten over het duurzaam opwekken van energie. Bij het lab kwam ik in contact met Kasper Lange van het CleanTech-onderzoeksprogramma. Hij nodigde me uit om mijn expertise in (LED-)verlichting te delen met de studenten van het urban farming-honours-project.

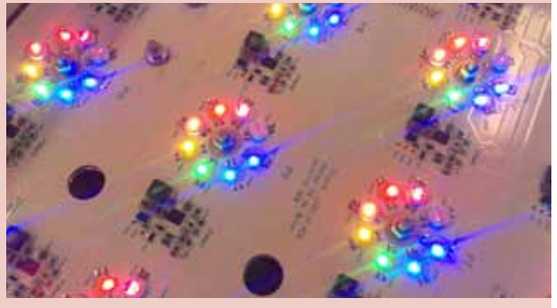
De verlichting die tot dan toe gebruikt werd voor de urban farming-projecten op de hogeschool was verouderd. Ik heb de honoursstudenten laten zien hoe we de efficiëntie van de plantengroei beïnvloeden en verhogen door op het goede moment het fotosysteem aan te laten slaan. Met de nieuwste LED-technologie, waarbij verschillende kleuren in intensiteit regelbaar zijn, en de LED-lampen niet continu aanstaan, maar zeer snel aan- en uitschakelen. Met deze nieuwe technologie bespaar je tot wel 30% op de benodigde energie voor effectieve plantengroei.

Op zo'n moment merk je wat de toegevoegde waarde van samenwerking tussen universiteit en hogeschool is. Waar de universiteiten namelijk state-of-the-art kennis genereren, zijn de hogescholen onmisbaar om die kennis daadwerkelijk te vertalen naar praktische toepassingen.

Wat kunt u zeggen over de spin-off van uw medewerking aan het urban farming-honoursproject?

Er zijn twee nieuwe projecten uit deze samenwerking voortgekomen. De één gaat over het produceren van biobrandstof met LED-verlichting, de ander gaat over de ontwikkeling van een feedbacksysteem over de lichtbehoefte van planten. Beide projecten zijn afstudeerstages van studenten die deelnamen aan het CleanTech-honoursprogramma.

Een derde student gaat op één van mijn lopende projecten aan de UvA meedraaien voor zijn afstudeeropdracht 'GreenIt'. Aangezien het gaat over de ontwikkeling van potentieel patenteerbare toepassingen, denk ik dat het heel interessante projecten zijn voor zowel de UvA als de HvA.



Een aan de UvA ontwikkelde geavanceerde LED-armatuur. Doel is het verhogen van de efficiëntie in de horticultuur.

5 TECHNOLOGIE VAN NU EN MORGEN

In het vorige hoofdstuk zijn vijf systemen en hun functies in een hightech vertical farm besproken. In dit hoofdstuk gaan we in op de technologieën achter deze functies en de verwachte toekomstige technologische ontwikkelingen. Allereerst presenteren we een technologieroadmap waarin zichtbaar is welke technologieën we per deelsysteem verwachten. Daarna bespreken we per deelsysteem de genoemde technologieën.

5.1 Technologieroadmap vertical farming

De belangrijkste technologieën die een rol spelen bij het verwezenlijken van de verschillende systemen binnen een vertical farm zijn opgenomen in een technologieroadmap (zie figuur 5.1). In deze technologieroadmap maken we onderscheid in drie termijnen:

- Kortetermijn (nu tot 2015): wat is er nu mogelijk op basis van bestaande kennis en technologie en is dus in systemen toe te passen?
- Middellangetermijn (2015 tot 2020): wat zijn de verwachte technologische ontwikkelingen die deel gaan uitmaken van de volgende generatie vertical farming-systemen?
- Langetermijn (2020 tot 2030): wat zijn de verwachtingen voor de (verre) toekomst?

De roadmap laat zien dat sommige technologieën rijp zijn voor toepassing in vertical farming en dat andere nog in ontwikkeling zijn. In oranje zijn de technologische ontwikkelingen weergegeven die zich nog in het stadium van fundamenteel onderzoek bevinden. Geel betekent dat de technologie in het stadium van toegepast onderzoek is. In groen zijn die technologieën weergegeven die marktrijp en dus toepasbaar zijn. Dit betekent niet dat ze al uitontwikkeld zijn: er zijn nog flinke verbeterslagen mogelijk en gewenst. Deze verbeterslagen zijn in de technologieroadmap in lichtgroen aangegeven. De verschillende technologieën die in de roadmap staan vermeld, beschrijven we in de volgende paragrafen per systeem.

5.2 Teeltsysteem

In paragraaf 4.4 zijn de functies van het teeltsysteem al besproken. Belangrijke functies van het systeem zijn het bieden van plaats en ruimte voor het gewas, en de toevoer van water en nutriënten zodat het gewas kan groeien. De technologieroadmap laat zien dat hydroponics, telen op water, op dit moment de meest toegepaste kweekmethode is. Er is ook steeds meer onderzoek naar aeroponics, telen op mist. De verwachting is dat aeroponics in de toekomst steeds meer terrein verovert in hightech vertical farming. Beide technologieën lichten we nader toe.

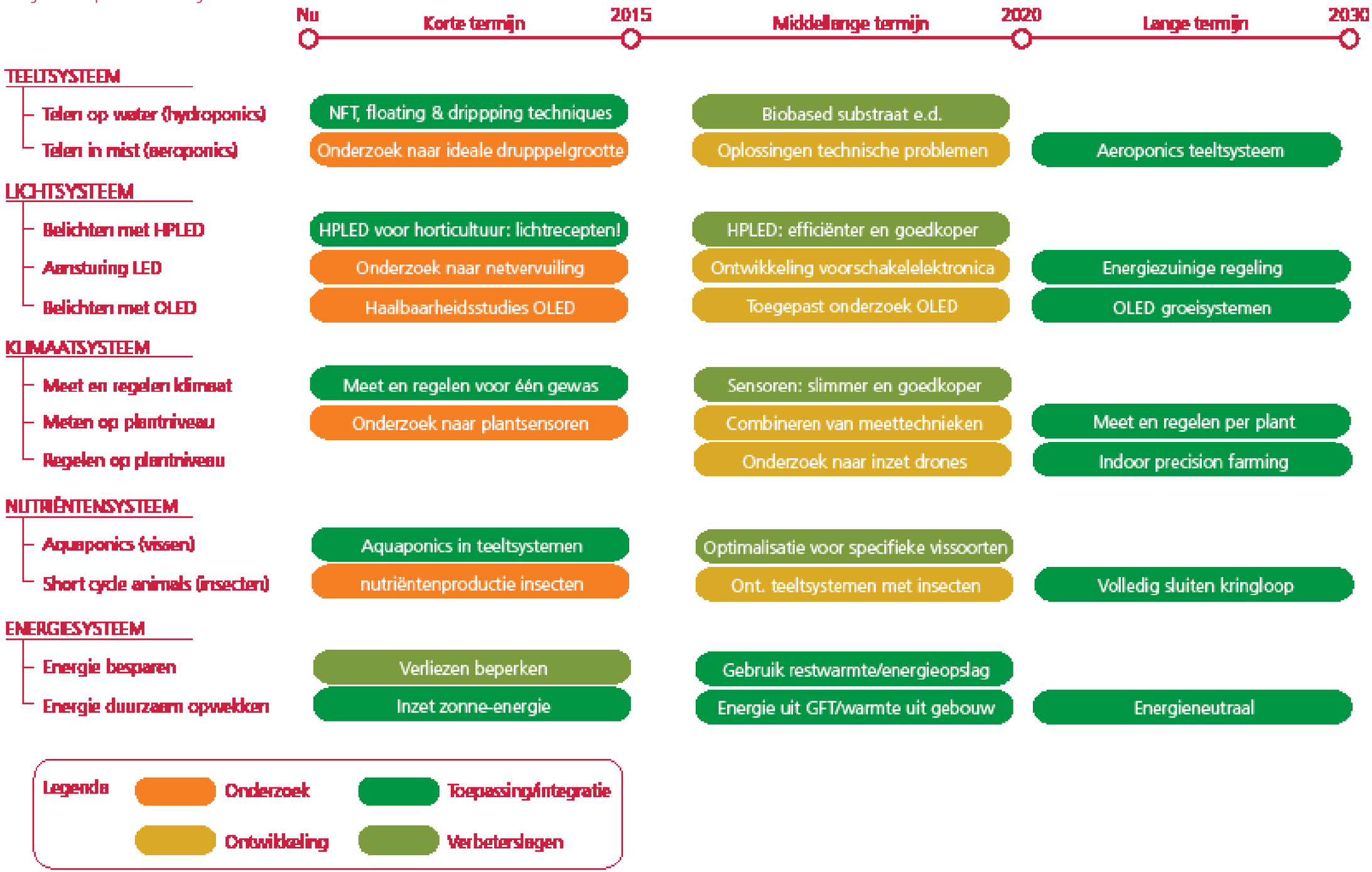
Hydroponics, telen op water

Hydroponics (hydroponisch kweken) is een vorm van hydrocultuur waarbij de wortels van de plant in het water hangen. Niet aarde, maar een teeltmedium als turf, kleikorrels, kokosvezels of steenwol, houdt de plant op zijn plaats. Mineralen, zuurstof en voedingstoffen worden direct aan het water toegevoegd. Deze methode bestaat al sinds het begin van de 20ste eeuw, maar heeft vanaf 1960 een grote vlucht genomen in de commerciële landbouw.

Met hydroponisch kweken is het mogelijk om optimale groeicondities voor de plant nauwkeurig te regelen. Dit resulteert in hogere opbrengsten dan met klassieke vollegrondsteelt (geoponisch telen). Bij hydroponics kweken heb je geen last van ziekten en ongedierte uit de aarde. En bestrijdingsmiddelen of overbodige stoffen uit kunstmest komen niet in het grondwater terecht. Bijkomend voordeel is dat hydroponisch gekweekte groenten over het algemeen zo schoon zijn dat ze direct te verpakken zijn.

Technologie van nu en morgen

Figuur 5.1 Technologieroadmap vertical farming



Hydroponics is uit te voeren in verschillende vormen. Voor alle systemen geldt dat het water de juiste nutriënten moet bevatten voor het te telen gewas en dat het water voldoende zuurstof bevat. In geavanceerde systemen worden de teeltingrediënten, zoals nutriënten, zuurstofgehaltes en pH-waarden van het water, automatisch gecontroleerd en zo nodig gereguleerd.

We onderscheiden systemen met circulerend en niet-circulerend water. Binnen de circulerende systemen zijn de Nutrient Film Technique (NFT), Deep Flow Technique (DFT) en Ebb and Flow het meest gebruikt. Van de niet-circulerende methoden zijn dripping, root dipping en floating technique het meest gangbaar (RUAF, 2010) en (Sheikh, 2006). De uitvoeringsvormen die je het vaakst ziet bij vertical farming lichten we aan de hand van figuur 5.2 toe.

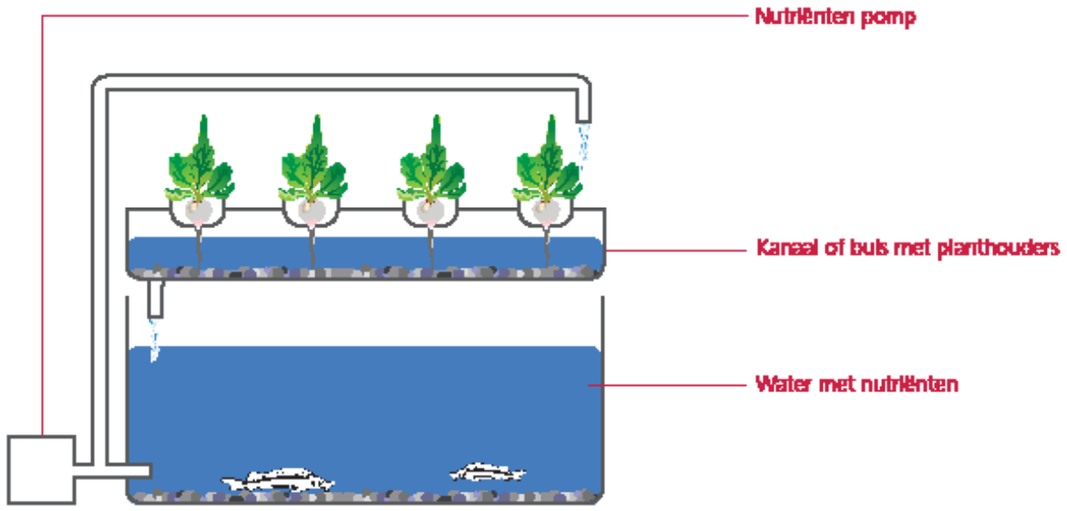
Nutrient Film Technique (NFT)
De Nutrient Film Technique (NFT) stelt de wortels van de plant direct bloot aan een kleine laag stromend water in plastic kanalen. De planthouder met plant bevindt zich in de buis. De wortels vormen een dikke mat onder in de buis. Het water met nutriënten wordt rondgepompt door de kanalen en stroomt zo langs de wortels. Het voordeel van deze techniek is dat zuurstof, nutriënten en water altijd beschikbaar zijn. Dit maakt een ideaal groeiproces mogelijk. Het nadeel van deze techniek is dat bij storing of verstopping van de watertoevoer de planten zeer snel beschadigen.

Deep Flow Technique (DFT)
De Deep Flow Technique (DFT) lijkt veel op de NFT. Het grote verschil is dat de plant niet in een buis staat maar in een klein potje (planthouder) met een groeimedium. De onderkant van het groeimedium staat in een kleine laag water (2/3 cm) en absorbeert het water en de nutriënten. Het water dat uit de buis stroomt wordt opgevangen in een reservoir en weer rondgepompt.

Dripping
Deze druppeltechniek zie je onder meer veel bij Window Farms, waarin planten boven elkaar zijn geplaatst. Het water met nutriënten wordt omhoog gepompt en druppelt langzaam door alle planthouders met groeimedia heen. Het water wordt uiteindelijk opgevangen in een reservoir en vervolgens weer omhoog gepompt.

Floating Technique
Met floating technique (ook wel bekend onder de naam Dry Hydroponics) zijn kort cyclische gewassen te telen zoals zomerbloemen, kruiden en sla. In waterbakken of vijvers drijven vlotten (veelal van piepschuim) met daarin planthouders met planten. De wortels van de planten hangen direct in het water met nutriënten. Diverse kassen, onder meer in Nederland, passen deze techniek al met veel succes toe.

Figuur 5.2 Verschillende uitvoeringen van hydroponics



Eb and Flow
Het eb-en-vloedsysteem is een vorm van hydroponics die bekend staat om zijn simpelheid, bedrijfszekerheid en lage investeringskosten. Een bak gevuld met groeimedium, met een constante instroom van water, loopt om de zoveel minuten vol en weer leeg. Een speciaal sifon (hevel) van het type 'Affnans Bell' maakt dit eb-en vloedeffect veelal mogelijk. Een energiebron is niet nodig. Het nadeel van deze techniek is de inefficiëntie van de hoeveelheid water en voedingsstoffen die rondgepompt worden.

Telen op water is als gezegd een veel toegepaste techniek. De vertaling van deze techniek naar vertical farm-opstellingen begint nu te komen; vaak in de vorm van kanalen, vlotten of druppeltechniek op substraat. Bij telen op substraat is de verwachting dat op de middellangetermijn biobased substraten het zeer moeilijk te scheiden steenwol gaan vervangen.

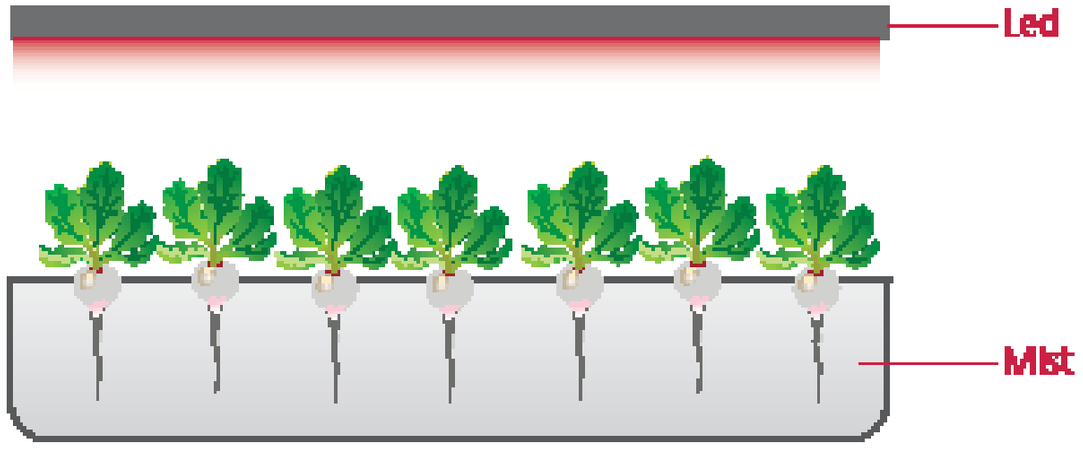
Aeroponics, telen in mist

Bij aeroponics, onder meer ontwikkeld voor NASA, hangen de wortels van de plant in lucht. De plant heeft bij deze techniek geen groeimedium of substraat nodig. Wel moet iets de plant op zijn plaats houden (zie figuur 5.3). Een zogenoemde spray nozzle doseert het water, inclusief de voedingsstoffen, zeer nauwkeurig als een mist aan de wortels.

Voordelen
Volgens het bedrijf Aerofarms zijn de voordelen van aeroponics:

- De wortels van de plant kunnen vrij groeien en ze hebben altijd toegang tot voldoende zuurstof, water en voedingstoffen;
- De plant heeft geen groeimedium nodig;
- Aeroponics kan tot wel 65% water besparen ten opzichte van hydroponics;
- De condities zijn zeer goed onder controle te houden;
- In principe kunnen alle typen gewassen met deze techniek groeien;
- In het algemeen hebben planten op aeroponics een hoger groeitempo.

Figuur 5.3 Aeroponics



Technologie van nu en morgen



Figuur 5.4 LED-groeilamp van Philips

5.3 Belichtingssysteem

Uitdagingen
Aeroponics wordt al op kleine schaal commercieel toegepast, maar de techniek bevindt zich nog in de ontwikkelfase. De grote uitdaging is het voor elk gewas vinden van de ideale combinatie van waterdruk en spray nozzles om zo de ideale druppelgrootte en verdeling van vocht over de wortels te bereiken

Veelvoorkomende technische problemen zijn:

- Het verstopt raken van de spray nozzles. Dit is deels te voorkomen door een grote waterdruk en het toepassen van filters. Een energiebesparing is mogelijk door de frequentie van het sprayen te verminderen zonder dat de plantgroei hieronder lijdt.
- De aangroei van algen en bacteriën, deels te voorkomen door gebruik van uv-licht en actieve filters.
- Bij uitval van het systeem raken de planten snel beschadigd, omdat er geen vochtvasthoudend groeimedium aanwezig is. Om deze reden wordt aeroponics soms gecombineerd met NFT als back-upsysteem. Zo gaat bij uitval van het systeem de oogst niet verloren.

Fotosynthese is het proces waarin lichtenergie wordt gebruikt om koolstofdioxide om te zetten in bouwstoffen en energie voor de plant. Als het gewas buiten groeit of in een kas, gebeurt dit overwegend met zonlicht. In binnensituaties zijn zogenoemde groeilampen nodig. De meest toegepaste verlichting op dit moment zijn natriumlampen (SON-T). LED-technologie is echter met een opmars bezig, mede omdat LED-armaturen minder heet worden en daardoor dichter op het gewas te plaatsen zijn. Hierdoor verbruikt het gewas tot 90% minder vocht, kan het tot 2,5 keer zo snel groeien[7] en is het op elkaar stapelen van meerdere groeilagen mogelijk. Ook de ontwikkeling van High Power LED gaat snel. Dit is goed én noodzakelijk, want High Power LED is nu nog duur en de verlichting kan efficiënter. Ook de aansturing van de lampen is nog voor verbetering vatbaar. Tot slot is de ontwikkeling van Organische LED's (OLED) eentje om in de gaten te houden.

High Power LED, voordelen en uitdagingen

LED staat voor Light Emitting Diode. LED's zijn halfgeleiders die elektrische energie omzetten in licht. Licht van een LED is vrij monochromatisch, wat ideaal is voor het belichten van gewassen. Een plant gebruikt voor het fotosyntheseproces namelijk niet alle lichtfrequenties. Door het gebruik van LED is energie te besparen omdat het mogelijk is alleen de benodigde frequenties rood (rond 650 nm), 'ver-rood' (700-780 nm) en blauw (rond 450 nm) uit te zenden. Dit levert het bekende paarse licht op. De levensduur van LED-lampen ligt rond de 50.000 branduren, wat relatief zeer lang is (Belmans, 2002).

Met de opkomst van High Power LED (HPLED's) van meer dan 1 Watt is het mogelijk[8] om te kweken met LED. Door ze te beschermen tegen vocht en door ze te koelen (Fangming, 2009), zijn HPLED's sinds kort ook geschikt voor horticultuur. Met dank aan een aantal Nederlandse fabrikanten, zoals Philips Lighting en Lemnis Lighting[9]. Een voorbeeld van de huidige generatie LED-groeilampen is weergegeven in figuur 5.4.

Lichtrecepten
Voor een optimale opbrengst van de vertical farm moet het lichtsysteem in staat zijn zich aan te passen aan de wensen van het specifieke gewas op een bepaald moment in de groeicyclus. We noemen dit het lichtrecept. Vandaag de dag zijn de lichtrecepten van slechts een beperkt aantal gewassen bekend. Er wordt wel veel onderzoek naar gedaan, onder meer door PlantLab en Lumigrow[10].

Uitdagingen
HPLED's zijn, net zoals andere type lampen, inefficient. Ze geven nog steeds 70% van de energie af in de vorm van warmte. In de winter is deze warmte goed te gebruiken voor klimaatregeling. In de zomer moet de overtollige warmte worden afgevoerd. Toekomstige energiebesparing is mogelijk door het optimaliseren van de lichtrecepten. Het mes snijdt hierbij aan twee kanten: de energievraag verlaagt en het gewas groeit sneller. Door met sensoren te meten wat de plant nodig heeft, kan het lichtaanbod bijgestuurd worden.

Bij grootschalige toepassing van HPLED-verlichting moet rekening gehouden worden met mogelijke netvervuiling. LED's zijn uitgerust met voorschakelelektronica (VSA, of LED Drivers) om de spanning te verlagen als die op het lichtnet te hoog is. De kwaliteit van het ontwerp van de VSA bepaalt hoe de energie van het net wordt gevraagd en de mate van netvervuiling die optreedt. Bij gebruik van enkele modules levert dit geen problemen op. Maar bij grootschalige LED-teelt is (voor aanschaf van de modules) onderzoek naar de Power Quality een must. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat er meer stroom loopt dan de lampen werkelijk gebruiken, ook wel blindstroom genoemd. Hierdoor ontstaan overbodige energieverliezen, warmte (mogelijk met brandgevaar) en storingen. Ook kan de totale harmonische vervorming (THD), de som van de vermogens van alle harmonische componenten, voor vergelijkbare problemen zorgen bij toepassing op grote schaal.

HPLED's zijn nog relatief duur, maar de prijs daalt snel nu de gewassenteelt ze vaker inzet.

OLED, de groeilamp van de toekomst?

Organic Light Emitting Diodes (OLED's) zijn opgebouwd uit organische materialen. Hierdoor zijn er flexibele lichtstralende oppervlakken van te maken. Door de zeer dunne uitvoering kennen ze vele toepassingen in kleine beeldschermen en lichtgevende oppervlakken. De flexibiliteit van deze LED's maakt het op termijn wellicht mogelijk de OLED's om de bladeren heen te vouwen en zo in theorie een hoog fotosyntheserendement te behalen. Nadelen zijn momenteel de relatief hoge kostprijs en de beperkte levensduur van een paar duizend uur. En OLED's gebruiken nu nog net zo veel energie als gloeilampen. De precieze mogelijkheden van OLED's als groeiverlichting worden momenteel onderzocht[11].

5.4 Klimaatsysteem

Op de kortetermijn staat er voornamelijk veel onderzoek op de agenda naar het regelen van het klimaat in een afgesloten ruimte waarin één soort gewas geteeld wordt. Dit maakt het mogelijk de optimale omstandigheden voor een specifiek gewas in een bepaald groeistadium te meten en te regelen. Het plantspecifieke teeltrecept bevat, naast het licht-, water- en nutriëntenrecept, ook een recept voor de klimaatomstandigheden, zoals temperatuur, luchtvochtigheid en de samenstelling van de atmosfeer.

Klimaatomstandigheden zijn aan te passen aan de hand van kwantitatieve informatie uit het klimaat zelf en uit het gewas. In de nabije toekomst wordt de laatste, het sturen op gewasniveau, steeds belangrijker.

Meten en regelen klimaat

Voor het meten en regelen van het klimaat zijn er zeer veel instrumenten op de markt, onder meer van het bedrijf Catec[12]:

- Thermometers;
- Relatieve vochtigheidsmeters;
- Gasanalysers voor het meten van fotosynthese, fluorescentie, CO_2 en H2O;
- Lichtsensoren;
- Luchtsnelheid en -hoeveelheid.

Deze meters zijn er in verschillende uitvoeringen, van draagbaar tot monteerbaar. Inclusief dataloggers die steeds meer inzicht geven in de meetgegevens over een bepaalde tijd.

Studentenproject: ONTWERP LED GROWLIGHT

Om inzicht te verkrijgen in de werking van LED-groeilampen is door studenten E-technology een verkennend onderzoek uitgevoerd. Ze onderzochten welke standaard beschikbare LEDs geschikt zijn voor de voor plantengroei benodigde golflengtes. Het gerealiseerde prototype bleek uitstekend geschikt voor het kweken van sla. Het project laat zien dat het vrij eenvoudig is op basis van beschikbare componenten een eenvoudige groeilamp te realiseren. Het ontwerp is geschikt voor het maken van testopstellingen voor kleinschalige vertical farming-concepten.



Draadloos

Veel van de genoemde sensortechnieken zijn tegenwoordig draadloos. Zelfs op de consumentenmarkt zijn er draadloze producten te koop die meten of het nog goed gaat met een plant. Een voorbeeld hiervan is de Koubachi plantsensor[13]. Je steekt de sensor in de pot en leest vervolgens af hoe het staat met het watergehalte, de meststoffen, temperatuur en lichtomstandigheden. Via een iPhone-app of e-mail krijg je vervolgens verzorgingstips toegestuurd. Deze ontwikkeling geeft aan dat dergelijke slimme meet- en regeltechnieken steeds gangbaarder en beter betaalbaar zijn.

Klimaat regelen met informatie uit het gewas
Door gewassen kwantitatief te monitoren, zijn de groei en ontwikkeling van dit gewas beter te voorspellen. Vanuit het oogpunt van de kweker is dit zeer wenselijk. Hiermee is zijn productie namelijk beter te plannen op basis van de vraag. Volgens Plan Dynamics[14] zijn sensoren te onderscheiden naar traagheid van de respons van de te meten variabelen:

- Trage respons: bladoppervlak, generatieve ontwikkeling van de plant. Dit is te meten met digitale cameratechnieken.
- Medium respons: koolstofverdeling, nutriëntenopname en groei (aan de hand van plantgewicht).
- Snelle respons: fotosynthese en verdamping.

Hoe sneller de respons, hoe makkelijker te reguleren. Plant Dynamics en Catec noemen enkele meettechnieken:

- Image-processing om groei- en ontwikkelingsprocessen in beeld te brengen.
- Spectrale metingen van lichtreflectie en -absorptie maken het mogelijk kwantitatieve informatie over verschillende variabelen met een verschillende responstijd te verkrijgen, zoals stikstofgehalte, pigmentsamenstelling en (water- of nutriënten)stress.
- Sensoren voor pigmentanalyse.
- Tranducersystemen voor metingen van vruchtgroei.
- Weegschalen of load-cells onder of aan het gewas (eventueel met teeltsysteem) om de gewichtstoename van het gewas te meten.
- Porometers, voor het meten van de zogenoemde stomatal conductance. Dit geeft inzicht in waterstress, waterverbruik en de waterbalans in een plant.
- Bladoppervlaktemeters om de groei en ontwikkeling te meten.
- Bladnatmeters om de eventuele aanwezigheid van vocht op een bladoppervlak en de tijdsduur van het vocht op het bladerdek te meten. Dit om het risico op ziektes en schimmels te verlagen.

Meetmethoden zijn ook in te delen in invasieve en niet-invasieve meetmethoden. Bij voorkeur gebruiken we niet-invasieve methoden, omdat deze het minste invloed uitoefenen op de plant en vaak weinig meetwerk vergen.

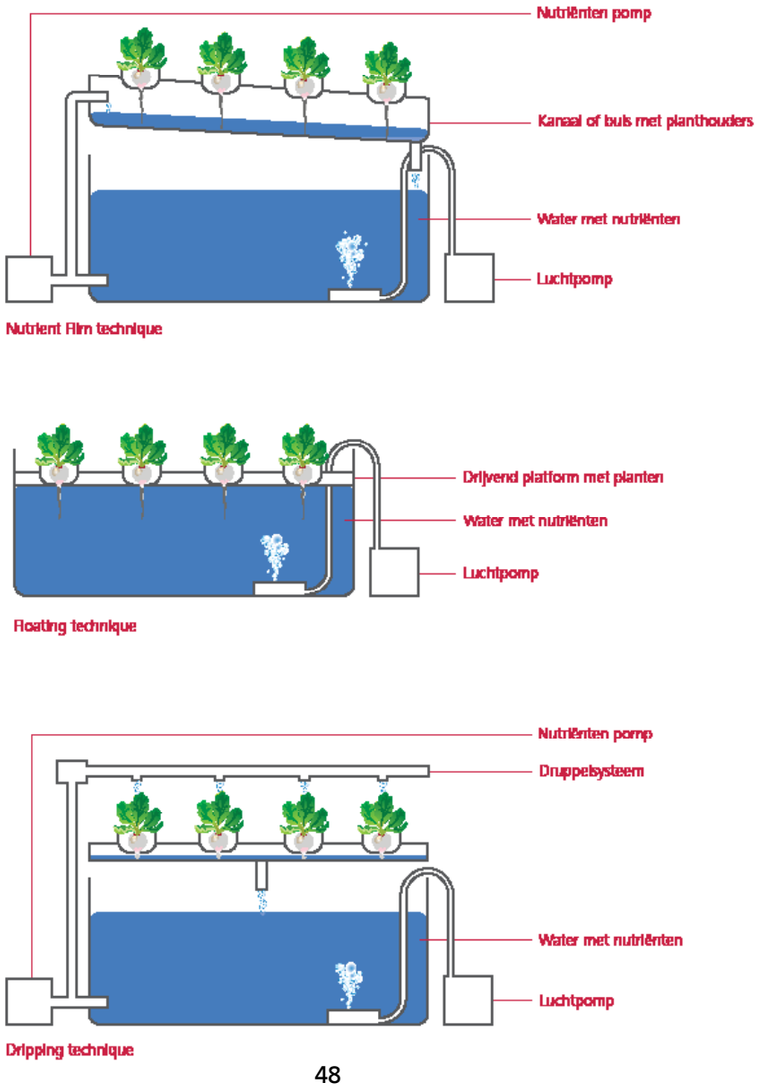
Volgens Plant Dynamics is er op de korte- en middellangetermijn veel onderzoek nodig naar de combinaties van verschillende technieken en de invloed ervan op de specifieke gewassen.

Op de langetermijn kan ook de dronetechnologie bijdragen aan het plaatselijk meten en regelen van klimaat- en plantgesteldheid. De TU Delft heeft een zwerm drones ontwikkeld die, met behulp van een slim draadloos netwerk, gezamenlijk een taak kunnen vervullen (Verhoeven et al, 2010). Deze technologie is te vergelijken met een mierenkolonie, waarbij alle mieren een specifieke deeltaak vervullen om het hoofddoel (in dit geval het voortbestaan van de kolonie) te realiseren. Deze drones zijn wellicht in de toekomst in te zetten voor precisielandbouw in de compacte vertical farm.

5.5 Water- en nutriënten-circulatiesysteem

Het water- en nutriëntensysteem zorgt voor de toevoer en recirculatie van water en voedingsstoffen. Daarbij is het te gebruiken voor het toevoeren van (bij voorkeur natuurlijk afbreekbare) bestrijdingsmiddelen. Overtollig water met toevoegingen is, na filtering van afval en plantenresten, opnieuw aan planten aan te bieden. Er vloeien, op de door de plant opgenomen stoffen na, dus geen voedingsstoffen weg uit het systeem. Er zijn verschillende manieren om de voedingsstoffen aan het water toe te voegen. Bijvoorbeeld met een doseringssysteem. Of door het gebruik van biologische omzettingsprocessen van micro-organismen met behulp van vissen (aquaponics) en short cycle insecten.

Figuur 5.5 Aquaponics



Aquaponics

Bij aquaponics worden er in het waterreservoir vissen gekweekt, zie figuur 5.5. Micro-organismen zetten de uitwerpselen van de vissen om tot bruikbare nutriënten voor het gewas. De vissen worden grotendeels gevoed met plantenresten uit het teeltsysteem en bijgevoerd met visvoer. Een voordeel van deze techniek is dat het bijproduct, de vissen, ook voor consumptie geschikt is.

Een aantal uitdagingen en belemmeringen voor toepassing van aquaponics is:

- Het kost tijd om een aquaponicssysteem te stabiliseren na de opstart. Dit kan tot wel een jaar duren, blijkt uit ervaringen van Mediamatic.
- Niet alle vissoorten zijn zomaar in een gesloten kringloop te kweken. Palinglarven, ook wel glasaal genoemd, zijn bijvoorbeeld alleen uit het wild te halen[15].
- Een aantal vissoorten heeft relatief warm water nodig. Voor tilapia's is dit bijvoorbeeld minimaal 25°C. Dit kost zeer veel energie, die niet alleen uit restwarmte van de LED-kwekerij is te halen.

Insecten

Hoewel de biologische teelt al veelvuldig insecten inzet voor bestrijding van plagen, is het gebruik van insecten voor het sluiten van kringlopen nog nieuw in de gewassenteelt.

Onderzoek van Wageningen UR (Veldkamp, 2012) noemt de Zwarte Soldatenvlieg (Black Soldier Fly, BSF, Hermetica illucens), de huisvlieg (Housefly, Musca domestica) en de Gele meelworm (Yellow Mealworm, Tenebrio molitor) als meest interessante insectensoorten voor grootschalige productie. Dit omdat de voortplantingscyclus van deze soorten kort is en ze uit laagwaardig organisch materiaal hoogwaardige eiwitten kunnen produceren. Varkens en pluimvee zijn uitstekend te voeden met insectenlarven, waardoor de kringloop van de varkens- en pluimveehouderij ook gedeeltelijk lokaal te sluiten is.

Het gebruik van insecten in industriële processen is volop in ontwikkeling. Het zal niet lang duren voordat de eerste toepassingen hun intrede doen in de markt. Een voorbeeld hiervan is het samenwerkingsverband tussen het Amsterdamse Afval Energie Bedrijf (AEB) en Jagran BV. Zij willen vanaf 2015 in een GFT-larvenfabriek organisch afval uit de gemeente Amsterdam, met behulp van larven van de huisvlieg, omzetten in veilige en eiwitrijke grondstof.

Sluiten van afvalkringloop

De voorkeur is om de kringlopen fysiek zo dicht mogelijk bij de teelt te hebben, direct in of aan het circulatiesysteem. Bijvoorbeeld door met biologische processen de afvalstoffen te verwerken in herbruikbare stoffen voor de teelt (compost uit vissen of insecten) of energie (door vergisting tot biogas). Wanneer dit niet op locatie mogelijk is, is het een idee om interactie met de stad te zoeken. Door een leiding naar het riool, het afvalverwerkingsbedrijf of het energiegrid te leggen.

5.6 Energiesysteem

Alle bovengenoemde systemen moeten worden voorzien van elektrische energie, warmte en/of koeling. Uiteraard zal, volgens het model van de Trias Energetica, eerst geprobeerd moeten worden de hoeveelheid benodigde energie te minimaliseren. Bijvoorbeeld door de kringlopen van warmte en koeling zoveel mogelijk te sluiten. De energiebehoefte die na deze stappen overblijft, is idealiter duurzaam opgewekt. Zie figuur 5.6 voor een afbeelding van de Trias Energetica.

Figuur 5.6 Trias Energetica





Energie besparen

Energiebesparing kan door:

1. Verliezen te beperken;
2. Combineren van energiestromen (intern en extern);
3. Opslag van energie.

Ad 1. Verliezen beperken
Warmte- en koudeverliezen zijn eenvoudig te beperken door klimaatcellen goed te isoleren. Ook zijn er methodes om met slimme technieken van overtollige warmte af te komen. Voorbeelden hiervan zijn warmtewerende coatings, warmtewerende schermen en passief koelen. De glastuinbouw past deze voorbeelden al ruimschoots toe. Een nieuwe technologie is fotovoltaïsch glas, dat licht omzet in energie. Het glas is deels te gebruiken voor de teelt (omdat het licht doorlaat), en deels voor het opwekken van elektriciteit.

Ad 2. Intern of extern combineren van energiestromen
Door de restwarmte of -koude in te zetten op plaatsen waar het nodig is, is het mogelijk om energie te besparen. Restwarmte van LED-verlichting is bijvoorbeeld te gebruiken voor het klimaat in de teeltruimte. Andere voorbeelden zijn levering van elektriciteit aan een smart grid van het energiebedrijf. Of levering van restwarmte uit de vertical farm aan een warmtenet van het energiebedrijf voor stadsverwarming.

Ad3. Opslag van energie
Ten slotte is er een enorme winst te behalen door energie op te slaan door:

- Het vergisten van biomassa tot biogas;
- Warmte of koude op te slaan in een WKO, of in een pakket van Phase Change Materials (PCM).

Voor elektriciteit zijn er in combinatie met vertical farming (nog) geen rendabele opslagmethodes voorhanden. Vooralsnog zijn we daarvoor aangewezen op het lichtnet.

Energie duurzaam opwekken

Mogelijkheden om duurzaam energie op te wekken in de stad zijn beperkter dan op het platteland.

In deze publicatie ligt de focus op de vertical farming-technologieën. Daarom beperken we ons tot een rij voorbeelden van toepasbare technologieën voor het opwekken van duurzame energie op de vertical farm:

- Zonnecellen voor het opwekken van elektriciteit. De ontwikkeling in PV-cellen gaat razendsnel. Zonnecellen op basis van grafeen zijn nu volop in ontwikkeling en kunnen in potentie een veel hoger rendement behalen dan conventionele cellen op basis van silicium;
- Zonnecollectoren voor het verwarmen van water;
- Het is in beperkte mate mogelijk om windturbines te plaatsen in de stad;
- Energie uit biogas door vergisting van GFT-afval uit de vertical farm;
- Warmte uit een kas op het dak of aan de gevel van een gebouw.

Voor een energieneutrale vertical farm is nog veel onderzoek nodig. Dit komt vooral door de energievraag van het belichten, zoals we in hoofdstuk 6 nader toelichten.

5.7 Gebruik van de technologieroadmap

De ontwikkeling van technologieën gaat momenteel razendsnel. Voor ondernemers of bedrijven die de ambitie hebben om een vertical farm in de stad te starten, is het belangrijk goed te onderzoeken welke technologieën nu én straks toepasbaar zijn. De in dit hoofdstuk beschreven technologieroadmap geeft u inzicht in de huidige en toekomstige technologische mogelijkheden. Door het bestaande concept voor te bereiden op nieuwe ontwikkelingen, zijn nieuwe technologieën in de toekomst makkelijker te integreren.

Voor technologiebedrijven biedt de roadmap een startpunt voor strategieontwikkeling. Afhankelijk van het specifieke kennisgebied van het bedrijf, is op basis van deze kennis een eigen gedetailleerde roadmap te ontwikkelen die richting geeft aan de research- en ontwikkelagenda van het bedrijf.

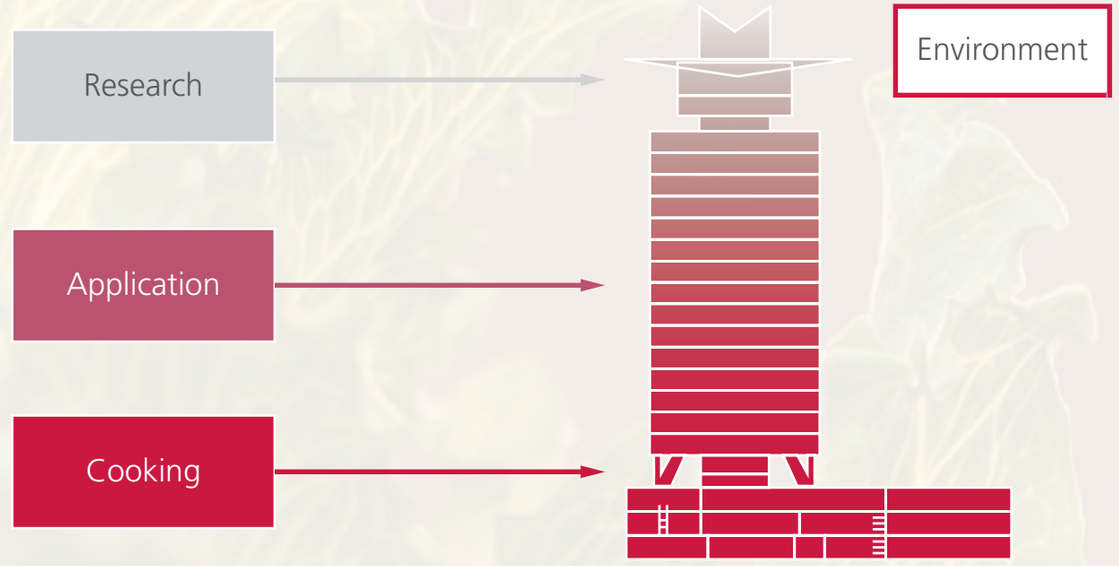
6 INNOVATIERICHTINGEN

Om de uitdagingen voor verticale stadslandbouw uit hoofdstuk 4 het hoofd te bieden, hebben we onderzocht wat mogelijke innovatierichtingen zijn. In dat onderzoek maken we gebruik van de technologieën die in het vorige hoofdstuk zijn besproken. Een project in het kader van het honoursprogramma heeft vervolgens een belangrijke bijdrage geleverd. Met het concept CARE (zie figuur 6.1) spelen de honoursstudenten in op de verschillende technologische uitdagingen in de markt:

- Met het ontwerp van een teeltmodule is een aanzet gegeven voor een integraal systeem met inachtneming van gewas en teeltomgeving.
- Met een simulatiemodel is gekeken naar mogelijkheden voor duurzaam belichten met High Power LED-technologie.
- Met een businessmodel is een start gemaakt voor het reduceren van de kosten en het aantrekkelijk maken van vertical farming-productie in de stad.
- In het ontwerp en het simulatiemodel is er een begin gemaakt met het sluiten van de kringlopen.

In de volgende paragrafen gaan we dieper in op de resultaten van het onderzoek.

Figuur 6.1 Concept CARE



Studentenproject: CONCEPT CARE

Het CleanTech-honoursprogramma is een speciaal programma voor excellente 4dejaars-studenten. Het programma biedt de studenten extra kennis op het vlak van clean technology en verdiept hun onderzoeksvaardigheden. Aan het honoursprogramma 2012-2013 namen studenten deel van de opleidingen Engineering Design & Innovation, E-technology en Technische Bedrijfskunde. Onderdeel was een gezamenlijk project met de volgende opdracht: Ontwikkel een innovatief technologisch concept en businessmodel voor een energieneutrale automatische voedselproductieunit, waarmee in 2020 jaarrond blad- of kropgroenten verbouwd kunnen worden binnen de ring van Amsterdam. Een klankbordgroep, bestaande uit organisaties als Priva, Climeco, Cropeye, GrownDownTown, UvA, Proeftuin Zwaagdijk en FarmingTheCity, ondersteunde de studenten met input en feedback.

Het resultaat is concept CARE. CARE staat voor Cooking, Application, Research & Environment en is een combinatie van een restaurant, productieruimte en proeftuin in een bestaand leegstaand kantoorpand in Amsterdam. In het gebouw is een verdieping als productieruimte ingericht met afgesloten teeltlijnen bestaande uit vertical farming-teeltmodules. Deze teeltmodules zijn geschikt voor het jaarrond telen van verschillende gewassen. In de proeftuin onderzoeken universiteiten, hogescholen en bedrijven klimaat- en lichtrecepten. In het restaurant zijn de groenten voor een goede prijs te verkopen. De doelgroepen van het totale concept zijn onder meer consumenten, kennisinstellingen, (bio-)technologische bedrijven, vastgoedbedrijven en de gemeente.

6.1 Uitdaging 1: Systemen integreren

In hoofdstuk 4 zijn de nieuwe technologische mogelijkheden besproken die leiden tot steeds meer controle over de teeltomstandigheden. Vooral de LED-technologie en het telen op water maken vertical farming haalbaar. Op dit moment zijn deze technologieën te vinden in bestaande kassen buiten de stad. De honoursstudenten hebben een aanzet gegeven om deze technologieën succesvol in een teeltmodule voor vertical farming te integreren binnen een kostenbewust, duurzaam, flexibel en hygiënisch ontwerp.

Ontwerp teeltmodule concept CARE

In het ontwerp van de teeltmodule zijn het teelt-, licht-, klimaat-, water- en nutriëntencirculatie- en energiesysteem te onderscheiden.

Teeltsysteem
De teeltmodule is een afgesloten kabinet met verstelbare meerlaagse hydroponics teeltlagen (zie figuur 6.2). Het bevat de volgende eigenschappen:

- Het systeem biedt – indien gewenst – plaats aan verschillende gewassen.
- Een eb- en vloedsysteem voorziet de wortels van de plant van water en nutriënten.
- Het gewas is beschermd tegen concurrerende organismen door mechanische afsluiting. Ook is het mogelijk het gewas in quarantaine te zetten door afsluiting van een module..
- De modules zijn afgeschermd van de buitenwereld zodat op elk gewenst moment een specifiek voor het gewas geschikt klimaat te creëren is. Een ander voordeel is dat het gebouw niet kan worden aangetast door een te vochtig klimaat
- De modules zijn achter elkaar te plaatsen en zijn voorzien van een transportsysteem. Jonge plantjes of zaadjes worden aan de voorkant van de teeltlijn in trays op het transportsysteem gezet. De trays schuiven naar achter door. Aan het einde van de lijn zijn de trays met volgroeide planten te oogsten.

Figuur 6.2 Modulair teeltsysteem voor bestaande leegstaande (kantoor)ruimtes



Belichtingssysteem
De teeltmodule heeft een spanning van zowel 230VAC als 24VDC nodig. De 230VAC is direct uit het stopcontact te krijgen. Voor de 24VDC is een 5A-voeding nodig. Omdat deze 5A-voedingen prijzig zijn, is het niet gewenst om elke module met een 5A/24VDC-voeding uit te rusten. Door deze voeding in de eerste module te plaatsen, is de 24VDC spanning door te lussen naar de overige modules die in de rij staan. Om overbelasting van de groepenkast te voorkomen, is een extra voeding bij te plaatsen.

In de praktijk heeft een gewas 14 tot 16 uur licht nodig. Door gebruik te maken van load shifting, kan de processor selecteren welke rij hij wel en niet belicht.

Klimaatsysteem
Aan de hand van een plantspecifiek teeltrecept meet het klimaatsysteem op intelligente wijze het klimaat en de plant om zo de optimale temperatuur, luchtvochtigheid en samenstelling van de atmosfeer (onder andere CO_2- en zuurstofgehaltes) te bereiken.

Het meten van de temperatuur en relatieve vochtigheid gebeurt met een luchtvochtigheids- en temperatuursensor met meetomvormer. Om de gewenste CO_2 in de module op peil te houden, installeren we per rij een CO_2-sensor om zo het CO_2-niveau op 400-600 ppm te houden. Alle sensoren leveren een 0-10V signaal, dat door een PLC is uit te lezen voor optimale klimaatregeling. In de toekomst zullen ook andere sensoren op het systeem aan te sluiten moeten zijn.

Water- en nutriëntencirculatiesysteem
Een circulatiesysteem brengt water en nutriënten naar de modules. Dit circulatiesysteem is aan te sluiten op meerdere teeltmodules, rekeninghoudend met de capaciteiten van pompen, buffers en filters. Het reservoir in het ontwerp is gevuld met vissen (aquaponics) en andere waterorganismen die de nutriënten produceren die het gewas gebruikt voor de groei. Het is dan ook van belang dat het water in het reservoir niet te laag komt te staan, omdat dit tot de dood van de organismen kan leiden. Daarom is er een niveaumeter aangebracht om te controleren of het water in het reservoir op een goed niveau blijft. Een pomp brengt het water met nutriënten naar de bakken met gewassen. Het is aan te bevelen om na de debietmeter een zuurgraadmeter en een nutriëntenmixer te plaatsen. Een PLC-aangestuurde driewegklep stuurt de water- en nutriëntentoevoer afwisselend naar de bak van de eerste rij planten en vervolgens naar de volgende rij. De bakken zijn voorzien van intelligente kleppen die ervoor zorgen dat ze niet leegstromen of overstromen. Het systeem voert vervolgens het water terug naar het reservoir en voorziet de waterorganismen van de voedingstoffen die door de plant zijn uitgescheiden. Een filter zorgt ervoor dat het leidingsysteem niet verstopt.

6.2 Uitdaging 2: Duurzaam belichten

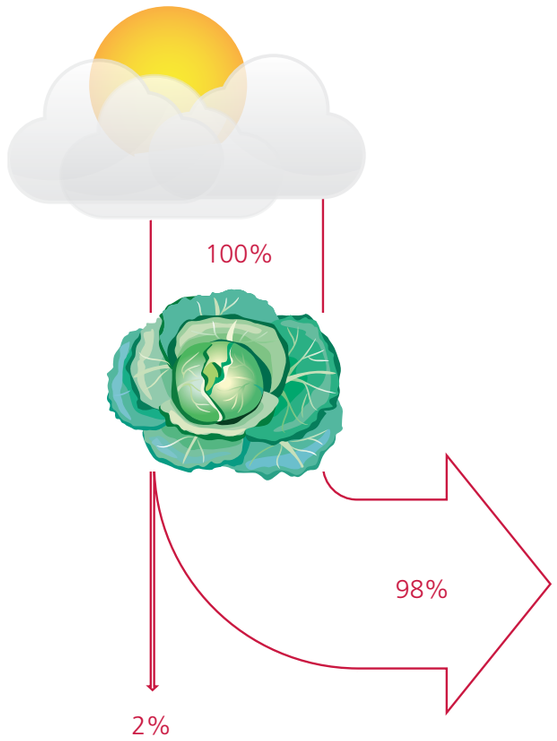
Het groeisysteem en het water- en nutriëntencirculatiesysteem vergen slechts enkele aandrijvingen en pompen die relatief weinig energie verbruiken; per systeem enkele kilowatts geïnstalleerd vermogen. Ook de klimaatregeling kost weinig energie. Een voorbeeldberekening uit het energiemodel dat de honoursstudenten maakten voor concept CARE laat zien dat de LED-verlichting veruit het grootste aandeel heeft in het energieverbruik.

Energiemodel concept CARE

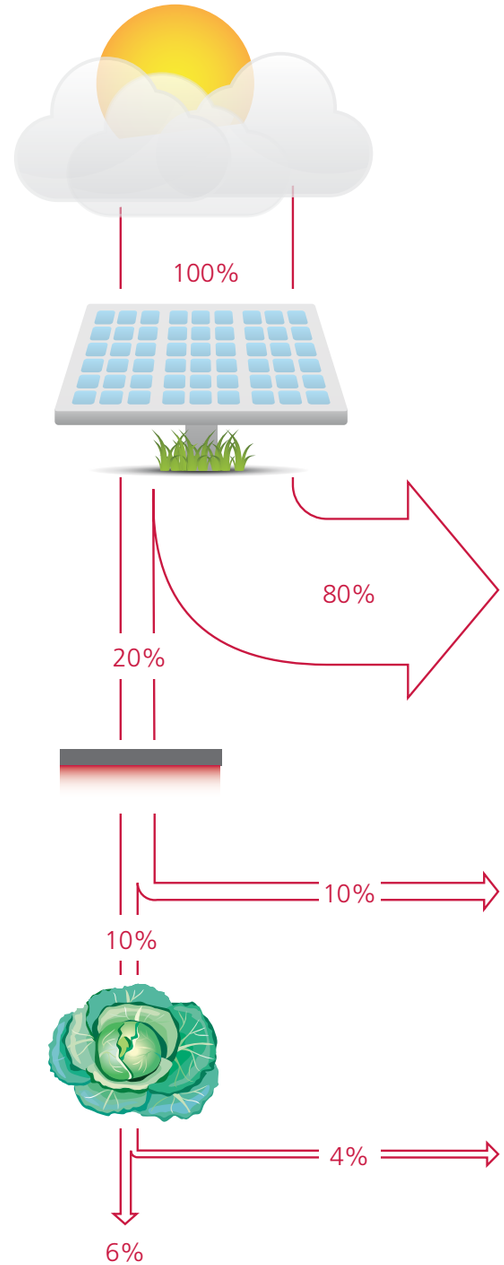
Een slaproductielijn bestaat uit 35 modules van 1 bij 1,20 meter. Met deze lijn wordt er jaarlijks ruim 3100 kilogram sla geteeld. Op het systeem zijn twee transportaandrijvingen en twee watercirculatiepompen aangesloten met elk een geïnstalleerd vermogen van ongeveer 0,3 kW. Het totaalverbruik van het circulatie- en transportsysteem bedraagt per jaar 1,2 kW x 24x 365 = 10,5 kWh.

Voor de belichting is een vermogen nodig van 78W per laag. Een lamp brandt 16 uur per dag en er zijn over de hele lijn 414 teeltlagen aanwezig. Dit betekent dat op jaarbasis ongeveer 187.000 kWh nodig is voor de belichting.

Een deel van de verlichtingsenergie gaat verloren in de vorm van warmte die weer te gebruiken is om de ruimte waar de productielijn staat te verwarmen. In de zomer neemt een gebouw zoveel warmte op van buiten, dat koeling noodzakelijk is. Koelnet[16] stelt dat in de regel een ruimte maximaal 40 W/m3 koelvermogen nodig heeft. In een zeer ongunstig geval betekent dit dat een productieruimte van 2.100 m3 ruim voldoende voor een lijn van 35 modules, jaarlijks 3.100 kWh verbruikt om te koelen. Het simulatiemodel laat zien dat er jaarlijks ongeveer 12.500 kWh aan extra energie nodig is voor het koelen van de overtollige warmte van het verlichtingssysteem. Totaal komt het benodigde koelvermogen dan uit op nog geen 16.000 kWh. Dit is verwaarloosbaar ten opzichte van de benodigde 187.000 kWh voor de LED-belichting.



Momenteel wordt er door LED-technologiebedrijven en universiteiten onderzoek verricht naar het verhogen van het fotosyntheserendement voor een zo laag mogelijk energieverbruik. Zonlicht wordt bij lange na niet volledig door de planten benut: slechts 1 á 2 procent wordt gebruikt in het fotosyntheseproces. In figuur 6.3 is te zien hoe een combinatie van LED-verlichting en zonnepanelen theoretisch een rendementsverbetering oplevert. Desondanks blijft de energievraag bij meerlaagse teelt hoog.



Figuur 6.3 Energieverliezen bij belichten met zon en LED

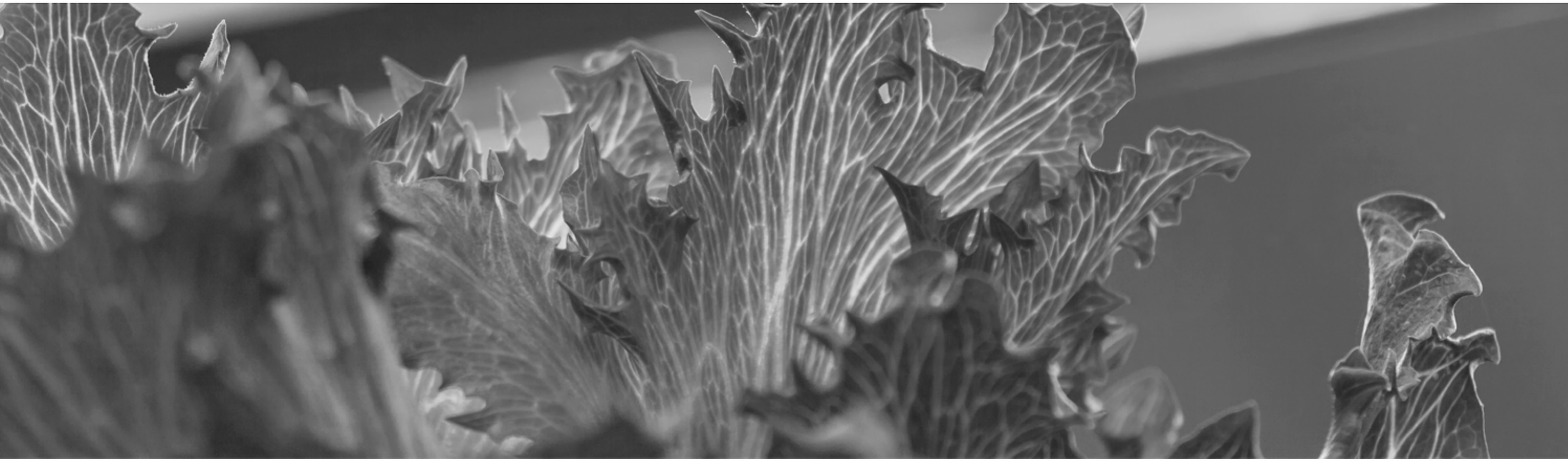
De vraag is hoe de grote hoeveelheid energie, nodig voor het belichten van de gewassen, zo duurzaam mogelijk te leveren is. Mogelijkheden die hiervoor te onderzoeken zijn, zijn het winnen van energie uit:

- Interne kringlopen, bijvoorbeeld door vergisting van GFT-afval;
- Het gebouw, bijvoorbeeld door het plaatsen van zonnepanelen of windmolens op het gebouw;
- Energiesystemen uit de directe omgeving en de stad, bijvoorbeeld uit warmtebuffers of WKK-systemen;
- De stad, bijvoorbeeld uit smart grids van het energiebedrijf.

6.3 Uitdaging 3: Waarde creëren

Hoogwaardige verticale teelt is pas concurrerend als de opbrengst per oppervlakte-eenheid per jaar hoger uitvalt dan bij traditionele teeltmethoden. De productiekosten zijn namelijk hoger, terwijl de verkoopprijs van het eindproduct concurrerend moet zijn.

Door te telen in de stad, op de plek waar het voedsel geconsumeerd wordt, is het mogelijk te besparen op logistiek en opslag. Echter, de prijs van een vierkante meter grond in de stad is aanzienlijk hoger dan op het platteland en het energieverbruik brengt hoge kosten met zich mee. Om een hogere prijs te rechtvaardigen moet de meerwaarde van hoogwaardige verticale teelt ten opzichte van traditionele producten aangetoond worden. Denk bijvoorbeeld aan de versheid van het product. Daarnaast zijn experimenten nodig met nieuwe businessconcepten en verdienmodellen rondom de verkoop van het geproduceerde voedsel.



Businessmodel concept CARE

De missie van het concept CARE is de mogelijkheden van duurzamere manieren van voedselproductie in de stad aan te tonen door het sluiten van kringlopen en het gebruik van duurzame energie. Om aan deze missie te voldoen is een businessmodel ontwikkeld, bestaande uit de combinatie van:

- Een onderzoekscentrum voor ontwikkeling van de nieuwste tuinbouwtechnologie;
- Een productieketen voor sla en andere gewassen;
- Een rendabel restaurant met lokaal geproduceerd vers voedsel, voornamelijk uit het gebouw zelf;
- Een educatieve demokwekerij voor verschillende technologiebedrijven in de tuinbouw;
- Een verkooppunt voor de afzet van vertical farming-productielijnen?

Voor inkomsten uit de verkopen van het restaurant en proeftuinen, is de consument en de demokwekerij van groot belang. De meeste inkomsten moeten komen uit de verkopen van het restaurant. De personeelskosten zullen in dat scenario het grootste aandeel hebben in de kostenopbouw.

In een eerste verkenning met het verbouwen van botersla is CARE in 2020 alleen economisch rendabel in het 'best case' scenario. Verder onderzoek naar de mogelijkheden van andere gewassen is nodig om het concept ook in de 'worst case' economisch rendabel te krijgen in 2020.

6.4 Uitdaging 4: Kringlopen sluiten

Het sluiten van grondstoffen- en energiekringlopen is, uit economisch en ecologisch oogpunt, belangrijk. De kringlopen zijn op verschillende manieren te sluiten:

- In het teeltsysteem zelf;
- Met systemen in en op het gebouw;
- Met de directe omgeving;
- Met de stad.

Bij voorkeur begin je zo dicht mogelijk bij de bron. Hoe verder de oplossing van de bron ligt, hoe moeilijker de kringloop te sluiten is. Standaardoplossingen zijn het gemakkelijkst. Ze zullen door schaalvergroting op termijn ook goedkoper worden.

GFT-afval

Het uitgefilterde plantafval is, in combinatie met snoeiafval, geschikt voor hergebruik. GFT-afval is met bacterie- en schimmelculturen om te zetten in voedingsstoffen voor nieuwe productie. Ook zijn short cycle animals, zoals vissen (aquaponics) en insecten, te gebruiken. Dit soort short-cycle-systemen bevorderen de groei van, voor de teelt, gunstige bacteriën.Vliegenlarven zijn uitermate geschikt voor het omzetten van GFT-afval in compost. Bovendien zijn ze prima te gebruiken voor het kweken van vissen (Kaimba, 1983) of kippen. Uit Je Eigen Stad in Rotterdam experimenteert met kippen om de kringlopen te sluiten.

Nutriënten

Essentiële voedingsstoffen voor de mens zijn mineralen en spoorelementen, omdat het menselijk lichaam deze elementen niet zelf kan aanmaken. De mineralen in ons dieet zijn: fosfor, calcium, magnesium, natrium, kalium en chloride. Tot de spoorelementen behoren onder andere: koper, ijzer, fluoride, zink, chroom, mangaan, molybdeen, jodium en selenium (Dissanayake & Chandrajith, 1999). Voorzichtigheid is geboden, omdat sommige mineralen en spoorelementen in grote hoeveelheden giftig zijn.

De voedingsstoffen worden toegediend aan de gewassen, die precies opnemen wat ze nodig hebben voor het groeiproces. Bij opengrondsteelt verdwijnen de voedingsstoffen die niet door de gewassen zijn opgenomen in het grondwater. Naast verspilling van kostbare voedingsstoffen kan het ook een verandering van het ecosysteem in de bodem en het grondwater veroorzaken. Dit proces heet eutrofiëring. Een bekend voorbeeld is extreme algengroei in een meer als gevolg van overtollig kunstmest in het grondwater. Vissen en planten krijgen hierdoor onvoldoende zuurstof en sterven.

Door de kringlopen in een vertical farm te sluiten blijven de voedingsstoffen uiteindelijk toch voor de gewassenteelt behouden. Het voordeel is tweeledig: je ontziet het milieu door minder afvalstoffen te produceren en het is gunstig voor de portemonnee, omdat je minder voedingsstoffen hoeft in te kopen. Aquaponicssystemen en/of systemen met insectenlarven of wormen kunnen in een groot deel van de benodigde nutriënten voor de gewassenteelt voorzien. Toch blijft het nodig om een deel van de benodigde elementen aan te voeren tijdens de teelt.

Vandaag de dag is er veel aandacht voor hergebruik van fosfor. Wetenschappers en overheden vrezen namelijk voor een fosforschaarste (Cordell, 2010). Veel fosfor verdwijnt momenteel in de vorm van fosfaten in het grondwater en uiteindelijk de zee, waaruit het moeilijk opnieuw te winnen is. In een gesloten kringloop zorg je ervoor dat je alle fosfor effectief gebruikt voor de productie van voedsel.

Water

In tegenstelling tot in Nederland is zoet water in veel landen schaars. Recyclen van water is dan ook een welkome oplossing[17] voor droge gebieden buiten Nederland. In Nederland kan het gebruik van regenwater voor de teelt toch ook lucratief zijn, door het water- en nutriëntencirculatiesysteem aan te sluiten op een hemelwateropvangsysteem. Wel blijft als achtervang een aansluiting op het leidingwaternet noodzakelijk. Deze constructie lost tegelijkertijd een deel van het regenwaterafvoerprobleem in de stad op. Voordeel is dat het 'grijze' water dat de planten opnemen, via de bladeren verdampt. Dit schone water is vervolgens weer te gebruiken voor andere doeleinden.

CO_2

Een gewas heeft de prettige eigenschap om via fotosynthese CO_2 om te zetten in water. Er zijn zeer veel mogelijkheden om CO_2 te verkrijgen. Je kunt de teelt combineren met CO_2-producerende producten, zoals champignons. Ook is het mogelijk om afvoerkanalen van luchtbehandelingskasten uit het gebouw of van omliggende panden aan te sluiten. In de stad wordt veel CO_2 uitgestoten, vooral door de industrie. Dit overschot is te gebruiken om de fotosynthese te bevorderen in de teeltmodules. In Amsterdam is het ook mogelijk om de modules aan te sluiten op de bestaande OCAP- CO_2-transportleiding.

6.5 Conclusies en richting voor verder onderzoek

De hiervoor beschreven concepten en technologische oplossingen geven een idee hoe we strijd aan kunnen gaan met de vier technologische uitdagingen. Uiteraard is het besproken concept CARE slechts één van de vele richtingen bij verticale stadslandbouw. De uitkomsten geven in ieder geval een richting aan verder onderzoek en verdere ontwikkeling. De belangrijkste conclusies en vragen die nog open staan, geven we hieronder weer. Deze kunnen als leidraad dienen voor bedrijven en kennisinstellingen die met dit onderwerp verder willen.

Uitdaging 1: Systemen integreren

De technologieroadmap toonde het al aan: integratie van verschillende technologieën en slimme duurzame ontwerpen is noodzakelijk om technische systemen voor vertical farming te ontwikkelen die een zo hoog mogelijke kwalitatieve productie opleveren tegen een zo laag mogelijke prijs. Het ontwerp dat de honoursstudenten maakten van een modulaire en flexibele teeltmodule laat zien dat het goed mogelijk is om door integratie van bestaande en nieuwe technologieën invulling te geven aan de functionaliteit die van een vertical farm wordt verwacht. Wel zijn er nog een aantal flinke ontwerpuitdagingen. Vooral de flexibiliteit rondom typen gewassen, gebouw en omgeving vormt een uitdaging.

Uitdaging 2: Duurzaam belichten

De berekeningen met het energiemodel tonen aan dat de energiebehoefte van een vertical farm groot is. Naast reductie van de benodigde energie door verbetering van de LED-groeilampen zijn er ook mogelijkheden om nog efficiënter gebruik te maken van het licht. Bijvoorbeeld door het licht optimaal af te stemmen op de behoefte van de plant. Neemt niet weg dat we nog steeds een duurzame oplossing voor het opwekken van de alsnog benodigde energie moeten bedenken. Het is daarom belangrijk om nieuwe ontwikkelingen op het gebied van duurzame energieopwekking scherp in de gaten te houden en de toepasbaarheid ervan op vertical farming te toetsen.

Uitdaging 3: Waarde creëren

De uitwerking van het CARE-concept laat zien dat het vandaag de dag niet eenvoudig is om een rendabele verticale stadsboerderij in een bestaand gebouw te realiseren. Zelfs wanneer er door het toevoegen van andere functies meerwaarde gecreëerd wordt, blijft het lastig om een sluitend businessmodel te ontwikkelen. Ook andere integrale concepten ondervinden dit probleem.

Belangrijke kostenposten zijn de huidige hoge prijs van LED-groeilampen en de hoge energiekosten. Wel is de verwachting is dat de prijs voor LED-groeilampen gaat dalen en dat ze een stuk efficiënter zullen worden. Verder is het mogelijk om door biotechnologisch onderzoek de belichting optimaal af te stemmen op de plant. Hierdoor verloopt het teeltproces efficiënter (hogere productie, sneller) en is het mogelijk een hogere voedselkwaliteit te bereiken. Ook is met vertical farming extra waarde te creëren voor de stad door hergebruik van bestaande gebouwen, het verminderen van logistieke bewegingen, vitalisering van de omgeving, het creëren van werkgelegenheid en het bevorderen van nieuwe business voor mkb'ers.

Uitdaging 4: Kringlopen sluiten

Sommige kringlopen zijn eenvoudig te sluiten. De nutriëntenkringloop is grotendeels te sluiten binnen het teeltsysteem zelf door gebruik te maken van vissen in aquaponics en andere short cycle animals. De waterkringloop is grotendeels te sluiten door regenwater op te vangen en te gebruiken voor de teelt. Voor het verkrijgen van de benodigde CO_2 en het hergebruiken van het GFT-afval moeten combinaties met systemen in de omgeving van het gebouw of in de stad worden onderzocht. De mogelijkheden om deze kringlopen binnen het teeltsysteem zelf te sluiten zijn beperkt.



Climeco: *"Urban farming gaat een grotere rol spelen in ons bedrijf."*

Rob Wientjens is adviseur klimaat en energie bij Climeco. Hij neemt deel aan het consortium 'De Groenfabriek' en was lid van de klankbordgroep tijdens het honoursproject Urban Farming.

Wat heeft de samenwerking met de Hogeschool van Amsterdam inhoudelijk gebracht?

De Groenfabriek is gebaseerd op een iets ander concept dan het honoursproject waar de honoursstudenten van de Hogeschool van Amsterdam mee aan de slag zijn gegaan. Maar we kunnen zeker gebruikmaken van een aantal inzichten die het honoursproject opgeleverd heeft. De energie- en kostencalculaties zijn bijvoorbeeld goed bruikbaar voor De Groenfabriek. Ook de kennis die ik in de klankbordgroepsessies heb opgedaan over LED-verlichting kan in de toekomst van pas komen voor Climeco.

Bovendien heeft de samenwerking een aantal goede contacten met andere deelnemende bedrijven opgeleverd, waaronder de UvA en proeftuin Zwaagdijk. Het is nuttig om te zien hoe deze partijen met urban farming bezig zijn. Het is ook bijzonder om te ervaren dat instellingen als de HvA en de UvA graag hun nieuwe ontdekkingen met partijen in het veld willen delen. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is bij commerciële clubs.

Wat zijn de toekomstplannen van het bedrijf voor urban farming?

Binnen Climeco ligt de focus op dit moment maar beperkt op urban farming. Dit verandert zodra we met De Groenfabriek richting realisatiefase gaan. Tegelijkertijd merken we dat er vraag vanuit andere hoeken ontstaat voor urban farming; de markt is er actief mee bezig. Ook daardoor ben ik ervan overtuigd dat urban farming op termijn een grotere rol gaat spelen in ons bedrijf.

Zijn er punten waarop Climeco in de toekomst een samenwerking met de HvA ziet?

De samenwerking tijdens het honoursproject verliep goed, dus ik sta er zeker open voor. Binnen het afgelopen project is datgene waar wij ons voornamelijk mee bezig houden, klimaatbeheersing, maar summier aan bod gekomen. Ik zou bij een eventueel vervolg meer nadruk willen leggen op dit onderwerp. Daarmee is mijn inhoudelijke bijdrage aan het programma ook van meer betekenis.

7 HOE NU VERDER?

De onderzoeksresultaten die we in voorgaande hoofdstukken hebben gepresenteerd, laten zien dat er veel kansen en mogelijkheden zijn voor verticale landbouw. In dit hoofdstuk delen we onze visie op hoe wij denken dat verticale landbouw zich de komende tijd verder gaat ontwikkelen. We gaan vervolgens in op de samenwerking die noodzakelijk is om de volgende stappen te zetten. En welke rol verschillende organisaties met de informatie uit deze publicatie daarin kunnen spelen. Tot slot laten we zien wat de bijdrage is die de HvA, samen met het werkveld, aan de verdere ontwikkeling van stadslandbouw wil leveren.

7.1 Visie op verticale stadslandbouw

In het voorgaande hoofdstuk zijn een aantal technologische uitdagingen verkend aan de hand van een concept voor het realiseren van verticale teelt in een bestaand kantoorgebouw. Dit is slechts één van de vele richtingen waaraan je kunt denken bij verticale landbouw in een stedelijke context. De uitwerking van dit concept laat zien dat het op dit moment niet eenvoudig is om een verticale stadsboerderij in een bestaand gebouw rendabel te krijgen. Desondanks tekenen de contouren van economisch haalbare duurzame commerciële verticale teelt zich wel af.

Verticale stadslandbouw: onderdeel van landbouw in een stedelijke omgeving

De initiatieven en concepten zoals beschreven in hoofdstuk 2 tonen veel verschillende manieren voor een duurzame voedselvoorziening in de stad. Welke concepten wel en welke niet zullen werken, en welk deel daarvan verticale stadslandbouw betreft, zal de komende jaren duidelijk worden. Afhankelijk van de scope die je kiest voor de term 'stad' zijn er verschillende standpunten voor stadslandbouw. De term 'stad' als in 'de stad Amsterdam' betekent dat het bij stadslandbouw gaat om teelt binnen de grenzen van de stad. Een enkele vertical farm, zonder aanvullende functies, is hier moeilijk rendabel te maken, ook in de toekomst.

De term 'stad' als grootstedelijke regio, waarin combinaties gemaakt worden van verschillende teeltmethoden, is een heel ander verhaal. Als je bijvoorbeeld de Randstad als uitgangspunt neemt dan is met grootschalige meerlaagsteelt, in bijvoorbeeld de regio Noord-Holland Noord of het Westland in Zuid-Holland, de totale bevolking in de Randstad te voorzien van een deel van het voedsel. Dit is waarschijnlijk goed rendabel te maken. In Brabant is een dergelijk systeem al up-and-running: tuinbouwbedrijf Deliscious heeft in 2012, in samenwerking met Philips, al een verticale slakwekerij in productie genomen[3].

Nederland: geen grote vertical farm flats, wel een prominente kennispositie

Onze verwachting is dat Nederland geen echt grote hightech vertical farms zal bouwen. Grote grootstedelijke gebieden in Azië, Zuid-Amerika en Afrika lenen zich hier meer voor. Door hun uitgestrektheid, de groeiende stedelijke bevolking en de groeiende welvaart is de noodzaak om de stad op een nieuwe manier van vers voedsel te voorzien daar veel groter. Nederland kan potentieel wel bijdragen aan de ontwikkeling met kennis over verticale stadslandbouw. De prominente kennispositie die Nederland al sinds jaar en dag inneemt op landbouwvernieuwing (bijvoorbeeld bij Wageningen UR, maar ook andere kennisinstellingen) en zaadveredeling (onder andere aan de Universiteit van Amsterdam) zal hier zeker aan bijdragen. Hetzelfde geldt ook voor de technologische ontwikkelingen van Nederlandse bedrijven als Philips en Priva.

Een moeizame start voor telen onder LED, maar wel potentie

Kijkend naar de benodigde functionaliteit van een commerciële vertical farm (zie hoofdstuk 4) en de technologische oplossingen die nu al beschikbaar zijn om deze te ontwikkelen (zie hoofdstuk 5), zal verticale teelt zich verder blijven ontwikkelen. Het op grote schaal telen met LED van een brede range aan voedsel zal voorlopig

moeilijk kunnen concurreren met traditionele productiewijzen. Pas als de efficiency van het belichten van een gewas en van de LED zelf wordt vergroot en de benodigde energie ter plekke duurzaam en goedkoop op te wekken is, is het interessant. In de tussentijd zullen complexere constructies nodig zijn die meerlaagsteelt combineren met meer traditionele teeltmethoden en met andere functies, zoals een restaurant of de productie van duurzame energie. Dit zijn in onze optiek – voorlopig – de mogelijkheden voor een rendabel businessconcept.

LED-verlichting leent zich wel al goed voor specifieke gewassen als cressen[18] en voor het kweken van kleine plantjes[3]. Een interessante optie is het op locatie verder opkweken van deze plantjes, bijvoorbeeld in de winkel, het restaurant, de kantine of thuis. Het voedsel behoudt in dat scenario al groeiend zijn smaak en textuur. Beter dan in een koelkast, waar het voedsel niet meer doorgroeit.

De technieken voor vertical farming zijn overigens niet alleen interessant voor voedselproductie. Ook sierteelt is een aantrekkelijke markt, met relatief hoge marges.

Integrale stadslandbouwconcepten als ontwikkelplatform

De ontwikkeling van integrale stadslandbouwconcepten zijn belangrijke eerste stappen op weg naar duurzame voedselvoorziening in de stad. Ze bieden een uitgelezen kans om aan de maatschappij te laten zien wat stadslandbouw is en betrekken de stedeling bij de ontwikkeling ervan. Bovendien zijn het belangrijke platforms om te experimenteren. Bijvoorbeeld met teeltrecepten, nieuwe technologieën en mogelijkheden om de kringlopen te sluiten. Ook geven ze een goede basis voor onderzoek naar acceptatie van de consument, interactie met de consument, naar welke businessconcepten en verdienmodellen werken en naar het effect op de stedelijke ontwikkeling en de stedelijke logistiek.

Studentenproject: ONDERZOEK VOOR DE GROENFABRIEK

Consortium De Groenfabriek heeft als doelstelling een leegstaand bedrijfsgebouw te transformeren naar een gebouw voor de productie van vers voedsel en groene energie. Voor De Groenfabriek zijn twee onderzoeken uitgevoerd.

Onder regie van Cropeye, één van de consortiumleden, deed een afstudeerder van Bouwtechnische Bedrijfskunde onderzoek naar de ruimtelijke en technische randvoorwaarden voor potentiële locaties voor De Groenfabriek. Hij bracht verschillende leegstaande gebouwen in kaart en maakte op basis van locatie, duurzaamheid, aantrekkelijkheid, logistieke en technische mogelijkheden een keuze. Voor deze locatie zijn vervolgens berekend wat de kosten zijn voor transformatie tot een urban farm.

In een ander project, onder regie van adviesbureau Climeco, is door vierdejaarsstudenten van de minor Energie & Duurzaamheid gekeken naar de energiehuishouding van een Groenfabriek. Zij hebben hiervoor de energiebalans opgesteld en doorgerekend van een kas op het dak van een gebouw. Hierbij hebben ze enkele besparingsalternatieven onderzocht, zoals zonnepanelen, als één van de duurzame energiebronnen voor een urban farm.

7.2 Multifunctionele en sectoroverstijgende samenwerking

Stadslandbouw is multifunctioneel. Het vergt sectoroverstijgende oplossingen en een interdisciplinaire aanpak. De ontwikkeling en realisatie van (verticale) stadslandbouw vergt dan ook samenwerking van veel verschillende partijen. Van bedrijven, kennisinstellingen en overheden. Van fundamentele wetenschap en praktische toepassers. En van 'groene' teeltkennis en 'grijze' technologische kennis.

Of je nu een ondernemer bent die in de stad wil telen, een gebouweigenaar die verticale teelt in zijn gebouw overweegt of een technologiebedrijf dat deelsystemen wil ontwikkelen en leveren: je hebt partners nodig om je ambities te verwezenlijken. Iedereen die actief wil zijn in verticale stadslandbouw, moet zich daarom de volgende vragen stellen:

- Welke kennis en vaardigheden heb ik en wil ik hiervoor inzetten?
- Wat zijn mijn ambities en welke rol speelt verticale stadslandbouw daarin?
- Welke aanvullende kennis en vaardigheden heb ik nodig om deze ambities te verwezenlijken?

De informatie in deze publicatie kan van dienst zijn bij het beantwoorden van de laatste twee vragen. In hoofdstuk 2 en 3 zijn verschillende concepten, trends en drijfveren besproken. Deze informatie is nuttig bij het scherpstellen van uw drijfveren om verticale stadslandbouw te bedrijven en in welk segment de kansen voor uw organisatie liggen.

In hoofdstuk 4 zijn de uitdagingen bij verticale teelt geschetst. En hoofdstuk 5 en 6 geven een blik op de mogelijke technologieën en innovatieve oplossingsrichtingen die hier invulling aan kunnen geven. Op basis van deze informatie kunt u bepalen welke ontwikkelingen relevant zijn voor uw ideeën en welke kennis daarvoor nodig is. Dit vormt de basis voor een strategische ontwikkelagenda en om de samenwerkingspartners te bepalen die u nodig hebt om uw verticale stadslandbouwambities te verwezenlijken.

Met praktijkgericht onderzoek wil het CleanTech-onderzoeksprogrammma het onderzoek naar technische vertical farming-systemen voortzetten. Het Clean-

7.3 Vervolgonderzoek: drie vertical farming-demonstrators

Tech-onderzoeksprogramma heeft de ambitie om, samen met verschillende marktpartijen, te werken aan drie demonstrators met elk een eigen onderzoeksdoelstelling:

A. Vertical farming-testsysteem en -simulatiemodel voor toegepast onderzoek naar deeltechnologieën.
B. Flexibel teeltsysteem voor commerciële teelt in bestaande gebouwen voor onderzoek naar de technische en commerciële haalbaarheid van een vertical farm.
C. Teeltautomaat voor het afgroeien van gewassen voor acceptatieonderzoek en demonstratie

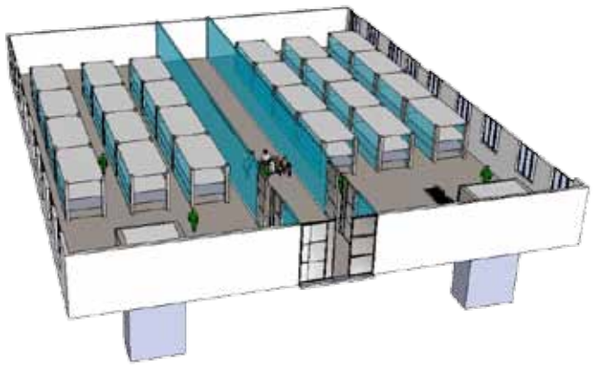
Ad. A Vertical farming-testsysteem en -simulatiemodel

Hoogwaardige vertical farming staat nog voor een aantal technologische uitdagingen. Uitdagingen die vooral betrekking hebben op het meten en regelen van het teeltproces en het klimaat, het sluiten van (interne) kringlopen en het beperken van de energievraag. Verschillende bedrijven werken aan technologische oplossingen en onderzoeken hoe deze in de praktijk functioneren.
De doelstelling van dit deelonderzoek is het bieden van een testplatform waar bedrijven de technische haalbaarheid van nieuwe technologische oplossingen (teeltsystemen en deeltechnologieën) en de energiebalans van nieuwe vertical farming-concepten kunnen evalueren.

Hiervoor willen we, in samenspraak met technologieontwikkelaars, een modulair testsysteem voor vertical farming ontwikkelen.

Voorlopig uitgangspunt is dat de basis van het testsysteem bestaat uit meerlaagsteelt met gebruik van hydroponics en LED-groeilampen. In de toekomst kunnen we dit testsysteem uitbreiden met technieken als aquaponics, insectenteelt en aeroponics. Naast het testsysteem gaan we het simulatiemodel voor de energiebalans verder ontwikkelen. Met dit simulatiemodel is de energiebehoefte van verschillende ideeën en concepten van externe partijen door te rekenen en het effect van nieuwe oplossingen te beoordelen.

Figuur 7.1 Flexibele teelt in bestaand gebouw



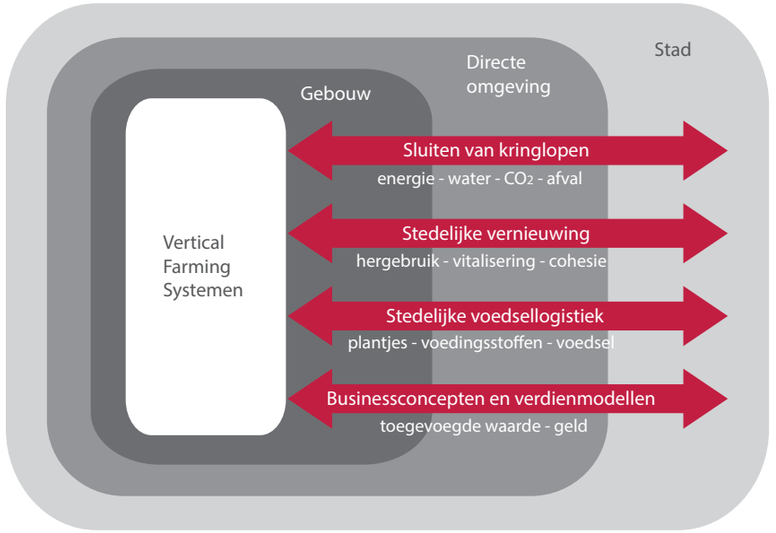
Ad B. Flexibel teeltsysteem voor commerciële teelt in bestaande gebouwen
Door het HvA CleanTech Honoursprogramma 2012-2013 is een eerste aanzet gedaan tot een ontwerp van een flexibel systeem waarmee in bestaande gebouwen grootschalige teelt op te zetten is. Met modules die zijn samen te voegen tot complete productielijnen (zie figuur 7.1). De doelstelling van dit deelonderzoek is om samen met potentiële gebruikers van een dergelijk systeem het ontwerp door te ontwikkelen tot een flexibel en modulair teeltsysteem voor het telen van verschillende blad- en kropgroenten in (leegstaande) ruimtes. Het project moet inzicht geven in de technische en commerciële haalbaarheid van een dergelijk systeem en de toepassing ervan voor grootschalige teelt. Doelstelling blijft de realisatie van een commercieel inzetbaar product.

De belangrijkste uitdagingen voor de ontwikkeling van dit teeltsysteem zijn de randvoorwaarden die aan een dergelijk systeem gesteld worden. Enerzijds zijn dit randvoorwaarden vanuit de commerciële teelt, zoals een optimaal teeltproces (en alle meet- en regelsystemen die hiervoor nodig zijn), de mogelijkheid tot het telen van verschillende gewassen en het minimaliseren van het energieverbruik. Anderzijds zijn dit randvoorwaarden voortkomend uit de plaatsing in bestaande gebouwen. Is het systeem geschikt voor meerdere gebouwen? Hoe staat het met de integratie met de gebouwsystemen en is het mogelijk kringlopen te sluiten? Tot slot zijn er algemene ontwerpuitdagingen: kostenbewust, hygiënisch en duurzaam ontwerpen en slimme integratie van deelsystemen.

Ad C. Teeltautomaat voor afgroeien gewassen
Verticale stadslandbouw is vrij nieuw. De consument is nog onbekend met technologische oplossingen zoals telen onder LED en het voeden van gewassen met nutriënten afkomstig van vissen. Het is belangrijk om te weten hoe consumenten op dergelijke systemen gaan reageren. Is de markt wel rijp voor vertical farming? En is het mogelijk een ontwerp te ontwikkelen dat acceptatie van de technologie versnelt?

De demonstrator is het vertrekpunt voor de ontwikkeling van een serie teeltautomaten. De stand-alone-teeltautomaat is te plaatsen in drukke bestaande gebouwen waar ook de opbrengst van de productie af te zetten is. Bijvoorbeeld in de hal van een (kantoor) gebouw dat ook een restauratiefunctie heeft, in de kantine/restauratie zelf, of op een beurs. Een dergelijke teeltautomaat is ook in te zetten om zichtbaar te maken dat er elders in het gebouw op grootschaliger wijze voedsel wordt geteeld.

Figuur 7.2 Interactie tussen vertical farmingsystemen, gebouw en stedelijke omgeving.



7.4 Verbreding onderzoek naar stedelijke context

Het is duidelijk dat de technische systemen niet los staan van hun context. De HvA wil de komende jaren het onderzoek naar urban farming uitbreiden. Drie onderzoeksprogramma's van HvA techniek verenigen hiervoor hun krachten: onderzoeksprogramma CleanTech, onderzoeksprogramma De Stad en onderzoeksprogramma Logistiek. De vier thema's waarop de HvA onderzoek wil doen zijn weergegeven in figuur 7.2.

De HvA wil met dit praktijkgericht onderzoek bijdragen aan het oplossen van stedelijke vraagstukken en het verbinden van hogeschool, stad en bedrijfsleven. We zoeken hiervoor samenwerking met initiatieven in de regio. Samen met verschillende ontwikkelpartners zullen we de specifieke uitwerking van deze onderzoeksthema's en de aanpak van het onderzoek bepalen. De mogelijke onderzoeksvragen en uitdagingen binnen deze vier thema's zijn:

Thema A: Sluiten van kringlopen

Dit onderzoeksthema richt zich op de mogelijkheden om bij de ontwikkeling en realisatie van verticale stadslandbouwconcepten de kringlopen zoveel mogelijk te sluiten. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om:

- Gebruik van het warmteoverschot van de belichting elders in het systeem of in de omgeving;
- Opvang, opslag en filtering van regenwater voor de watervoorziening;
- Gebruik van CO_2-overschot elders in de omgeving voor de teelt;
- Hergebruik van plantafval als biomassa;
- Duurzaam opwekken van de benodigde energie.

Het sluiten van de kringlopen kan dus in het teeltsysteem zelf, met systemen in en op het gebouw of door functionaliteiten te combineren met de directe omgeving of in de stad. In paragraaf 4.4 en 6.4 zijn enkele voorbeelden besproken.

Betrokken HvA-onderzoeksprogramma: De Stad i.s.m. Urban Management

Thema B: Stedelijke vernieuwing

Verticale stadslandbouw kan leegstand (tijdelijk) tegengaan. Binnen dit thema willen we enerzijds kijken naar aanpassingen die nodig zijn aan gebouw en omgeving. Anderzijds willen we de effecten van stadslandbouw op de stedelijke omgeving onderzoeken. Onderwerpen zijn:

- Reduceren van ruimteoverschot in de stad;
- Creëren van economische vitaliteit;
- Verbeteren van leefbaarheid.

Betrokken HvA-onderzoeksprogramma: De Stad i.s.m. Urban Management

Thema C: Stedelijke voedsellogistiek

Binnen dit thema willen we de mogelijkheden en effecten van stadslandbouw op de stedelijke onderzoeken. Onderwerpen zijn:

- Lokale afzetketens: van macrologistiek naar micrologistiek;
- Milieueffect: terugdringen van voedselkilometers en duurzame vormen van distributie;
- Diversiteit: afstemmen van vraag en aanbod.
- Betrokken HvA-onderzoeksprogramma's: De Stad, Logistiek

Thema D: Businessconcepten en verdienmodellen

Binnen dit thema willen we onderzoeken wat succesvolle businessconcepten en verdienmodellen zijn voor (verticale) stadslandbouw. Het onderzoek brengt bijvoorbeeld in kaart welke businessmodellen stadslandbouwprojecten in het buitenland hanteren en welke hiervan succesvol zijn. Daarnaast willen we verschillende Nederlandse initiatieven volgen. De uitkomsten geven inzicht in de businessconcepten en verdienmodellen, en hoe deze zich in de loop der tijd ontwikkelen.

Oproep tot samenwerking

Zoals hierboven is beschreven werkt de HvA aan concreet praktijkgericht onderzoek rondom urban farming en in het bijzonder vertical farming. Dit doen wij alleen voor en samen met andere partijen (bedrijven, kennisinstellingen en overheid). Wilt u graag samenwerken met de HvA op dit onderwerp? Neem dan contact op met onderzoeksprogramma CleanTech. De contactgegevens zijn te vinden op ww.hva.nl/cleantech.

Noten

1 http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/vertical-farming

2 http://www.futureearth.com.au/science/nano-farms/

3 http://www.lighting.philips.nl/nl_nl/application_areas/horticultural/news/20110627_vakpers_telen_met_led_verlichting.wpd

4 http://www.vngmagazine.nl/archief/2576/stadslandbouw-nieuwe-rage-waait-over-uit-verenigde-staten

5 http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000880.html

6 http://ag.arizona.edu/pubs/garden/mg/botany/physiology.html

7 http://www.kennisbankherbestemming.nu/kennisdossiers/innovatie/urban-farming/urban-farming

8 http://www.lumigrow.com/how-to-select-an-LED-grow-light/

9 http://lemnislighting.com/nl/about_greenhouse.html

10 http://www.plant-dynamics.nl/index.php?page=4

11 www.OLEDgrowlights.net

12 http://www.catec.nl/producten/meet-gebieden/plantonderzoek/analysers.php?productType=Analysers&meetgebied =Plantonderzoek

13 Ko http://www.iphoneclub.nl/172893/koubachi-plantsensor-praat- draadloos-met-iphone-app/

14 from http://www.plant-dynamics.nl/index.php?page=4

15 http://www.volendamglasaal.com/nl/fd-08-04-12-een-volendams-bedrijf-probeert-te-ontdekken-wat-palinglarven-eten/

16 http://koellast.koelnet.nl/

17 http://www.kennisalliantie.nl/2012/06/afvalwater-is-de-nieuwe-olie/

18 http://benelux.koppertcress.com/news/koppert-cress-de-wilde-keuken-van-wouter-klootwijk

Literatuurlijst

Bastiaansen, G. (2012). 'Duurzaam: Trend of toekomst?' In: De Telegraaf, 28 mei 2012.

Belmans, R. (2002). Elektrische energie - deel 2, p.526. Antwerpen/Apeldoorn: Garant.

Boer, P. de & L. Marcelis (2009). Fotoperiodisch stuurlicht - verkenning van de mogelijkheden voor toepassing van fotoperiodisch stuurlicht om de groei te stimuleren. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

Cordell, D. (2010). The story of phosphorus: Sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security. Zweden: Linköping University.

Deelstra, T. & H. Girardet (2000). Urban agriculture and sustainable cities, p. 43-65. In N. Bakker, M. Dubbelling, S. Gündel, V. Sabel-Koschella, and A. Zeeuw (eds.), Growing Cities, Growing Food: Urban Agriculture on the Policy Agenda. Feldafing, Duitsland: Food and Agriculture Development Centre.

Despommier, D. (2010). The vertical farm: Feeding the world in the 21st century. New York, NJ, Verenigde Staten: Thomas Dunne Books.

Desrocher, P. & H. Shimizu (2012). The locavore's dilemma: In praise of the 10,000 mile diet (1e editie). Bozeman, MT, Verenigde Staten: Perc.

Dieleman, A., & L. Marcelis (2007). HortiModel 2006: Ontwikkelingen voor teelt en energiegebruik in de glastuinbouw. Wageningen UR, Glastuinbouw.

Dieleman, J. (2008). Effecten van luchtvochtigheid op groei en ontwikkeling van tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw.

Dissanayake, C., & R. Chandrajith (1999). 'Medical geochemistry of tropical environments.' In: Earth-Science Reviews,p.219-258. Elsevier.

Distributieland (NDL/HIDC), Platform Agrologistiek, & TNO (2009). De agrologistieke kracht van Nederland. Zoetermeer.

DTZ Zadelhoff (2011). Van veel te veel. De markt voor Nederlands commercieel onroerend goed. Utrecht: DTZ Zadelhoff.

Fangming, Y. (2009). High power LEDs: A review. Geraadpleegd 4 maart 2013, van website: http://people.duke.edu/=~fy11/High%20Power%20LEDs%20Review.pdf.

Kaimba, B. (1983). Fly larvae production in compost. various constituents. nutritional value of these larvae in tilapia nilotica. Bangui, Centraal Afrikaanse Republiek : Institut Superieur de Developement Rutal de M'Baiki.

Keulemans, M. (2013). 'Dieet vervangt medicijn - 'routeplanner' menselijk lichaam brengt revolutie teweeg in geneeskunde.' In: De Volkskrant, p.1, 4 maart 2013.

Kluser, S., P. Neumann, M. Chauzat & J. Pettis (2011). UNEP emerging issues: Global honey bee colony disorder and other threats to insect pollinators. Nairobi, Kenia: United Nations Environment Programme.

Knies, P., M. Raaphorst & N. van der Velden (2005). De kas als knooppunt in een energiegrid. Wageningen: Agrotechnologie & Food Innovations BV.

Knoll, B., H. de Zwart, O.P. Tuinbouw, M.A. Jolman & L. Oprel (2006). Verbeterde (semi) gesloten kas. Delft: TNO en Glastuinbouw.

Kramer, K. J., Moll, H. C., & Nonhebel, S. (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. University of Groningen: Centre for Energy and Environmental Studies.

NIDI (2006). Bevolkingsvraagstukken in Nederland anno 2006. Grote steden in demografisch perspectief. No. ISBN-13: 978-90-8780-002-4). Den Haag: Nederlands Interdisciplinair Demografisch Instituut.

Peterson, C. J. (2004). Environmental factors that affect plant growth. Geraadpleegd 6 maart 2013, van website: http://oregonstate.edu/instruct/css/330/two/index.htm#EnviromentAffectGrowth.

Remmers, G. (2011). De volgende stap in duurzaamheid. Inaugurale rede Gaston Remmers, lector eco-effectief ondernemen in een stedelijke omgeving. Almere: CAH Almere.

Remoy, H. T. (2010). 'Structurele leegstand kantoren maatschappelijk probleem.' In: Nieuwsbrief Bouwkunde, 05, 2013.RUAF (2010). Hydroponics - department of agriculture; ministry of agriculture - research centres on urban and food security - South & South East Asia. Geraadpleegd 6 maart 2013, van website: http://ruafasia.iwmi.org/Data/Sites/6/PDFs/H_Eng.pdf.

Sheikh, B. (2006). Hydroponics: Key to sustain agriculture in water stressed and urban environment, p.53-57. Tandojam, Pakistan: Sindh Agriculture University.

Steel, C. (2008). Hungry city: How food shapes our lives. Londen, Verenigd Koninkrijk: Chatto & Windus London.

Veldkamp, T., G. van Duinkerken &

A. van Huis (2012). 'Insects as a sustainable feed ingredient in pig.' In: Food Chemistry, 50, p. 192-195. Lelystad: Wageningen UR.

Verhoeven, C., M. Bentum, G. Monna, J. Rotteveel & J. Guo (2010). On the origin of satellite swarms. Acta Astronautica, Technische Universiteit Delft.

Wada, Y., L. van Beek & M.F. Bierkens (2012). 'Non-sustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment.' In: Water Resources Research, 48, juni 2012.

Wijnands, F., W. Sukkel & C. Booij (2006). 'Hoofdstuk 3. Beheer van ziekten en plagen.' In: F. Wijnands & J. Holwerda (2006). Op Weg Naar Goede Biologische Praktijk. Resultaten en ervaringen uit BIOM,p.123. Lelystad: Wageningen UR/Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Wildschut, J., K. van der Putten, M. van Dam & J. Campen (2012). Meerlagenteelt in de praktijk. Wageningen: Wageningen UR/Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Betrokken organisaties

Aan het onderzoek naar Vertical Farming hebben verschillende bedrijven en instanties een bijdrage geleverd – als probleemeigenaar, opdrachtgever, expert of inspirator. We willen de volgende personen hartelijk bedanken voor hun waardevolle inbreng:

Agriboard: Jacques Dekker
Amsterdamse Innovatie Motor: Selma Hilgersom
Arup: Kevin Vervuurt
CITIES Farming the city: Anke de Vrieze
Climeco: Rob Wientjens
Cropeye: Daan Kuiper
Demokwekerij Westland: Lex Wubben
FFEW: Anthony Brouwers, Eelco van Harten
Greenlung Groenprojecten / GrownDownTown: Philip van Traa
GreenQ: Peter Klapwijk
Han van Zwieten Architecten: Han van Zwieten
Idee-Architect: Henk Jense
Jagran: Walter Jansen
Kenlog: Henk van Eijk
Lemnis Lighting: Jan-Peter Hock
Mentrum-Roads / CUFA: Gerard Smit
Metfarm: Masud Hussain
Mediamatic: Willem Velthoven, Saro van Cleynenbreugel
Metabolic Lab: Eva Gladek
Office-Up (BAM Utiliteitsbouw): Debby van der Werf
Philips Lighting: Roel Janssen
Priva: Jan Westra, Nick Ray
Proeftuin Zwaagdijk: Ronald Hand, Johan Kos
SymbiCity: John Apesos
Syntens: Jacques Walinga, Klaas Damstra
UvA Technologiecentrum: Theo van Lieshout
UvA: Hans Matthijs, Merijn Schuurmans

Dit project is mede mogelijk gemaakt met een RAAK MKB subsidie van de Stichting Innovatie Alliantie.

Studenten en medewerkers HvA

De belangrijkste studentenprojecten die bijgedragen hebben aan het onderzoek naar Vertical Farming zijn:

- Ontwerp window farm – Innovatielab 2e- jaars – Robin Bes, Wouter Pauw, Wessel Schilders
- Ontwerp pop-up-farm – InnovatieLab 2e- jaars – Jesse Beekman, Dennis Rinkel, Diederik Troost
- Ontwerp LED-growlight – E-technology 3e- jaars – Matthieu Boyault (in memoriam) en Housni Raj
- Merkstrategie urban farm bedrijf – studieroute Product Design 3e- jaars – Ching-Yao Lo, Noortje Snijder, Yanti Slaats
- Mini-businesscase Window Farming – 16 Techniek studenten in het kader van de minor Design for Life, Entrepreneurship & Technology
- Energiemodel Groenfabriek – minor Energie & Duurzaamheid – Bram van der Kraan, Erik-Jan Ras, Robert van Sloten
- Technische randvoorwaarden Groenfabriek – afstudeeronderzoek Bouwtechnische Bedrijfskunde – Yassine Nacro
- CARE concept met energiemodel, technisch ontwerp en business model – 4e- jaars honoursprogramma CleanTech – Stefan Bindi,
  Johannes Breevaart, Guus Bruijns, Sebastiaan IJzerman, Paul Koblens en Robbert Kraakman

Recent gestarte studentenprojecten zijn:

- Besturingssysteem teeltcel in opdracht van FFEW solutions – 3e jaars E-technology – Anas Khodor, Bejoy Sarnakar
- Meet- en regeltechniek voor productielijn compost en vliegenlarven in opdracht van Jagran BV – 3e jaars E-technology – Mark Kaper, Petteri Laine, Gerben Snoek, Quentin Teunissen
- Ontwerp en acceptatieonderzoek voor een teeltautomaat – afstudeeronderzoek Product Design – Yanti Slaats
- Sluiten afval-, water- en energiekringlopen voor urban farm voor de Voedselbank – Studium Excellentie programma – 1e- en 2e-jaarsstudenten Techniek

We bedanken alle studenten hartelijk voor hun inzet.

Ook hebben verschillende medewerkers van de HvA bijgedragen – door deel te nemen aan het onderzoek, door studenten te begeleiden of door inhoudelijke of praktische ondersteuning te leveren. Wij willen de volgende personen hartelijk bedanken voor hun constructieve bijdrage: Liselotte van Dijk, Ronald van Gent, Otto de Graaf, Matthijs de Jong, Laura Ramirez-Elizondo, Marianne Papavoine, Erik de Graaf, Jeroen Spoelstra, Martin Stolk, Wilbert te Velde, Boaz Visscher, Rutger de Vries, Katrien de Witte.

Links naar meer informatie

www.cropeye.com/index.php/activiteiten/actueel/181-groenfabriek > over De Groenfabriek en Cropeye, één van de initiatiefnemer

www.farm-city.com > over FarmCity Heerlen

www.farmingthecity.nl > over verschillende stadslandbouwinitiatieven in Amsterdam en daarbuiten
fytagoras.ffew.nl > spin-off van de TNO-afdeling Toegepaste Plant Wetenschappen in Leiden

www.groentenuitamsterdam.nl > over het initiatief tot een stadskwekerij van GrownDownTown

www.hva.nl/cleantech > over het onderzoeksprogramma CleanTech van HvA Techniek

www.honoursprogrammaurbanfarming.com > over de visie op urban farming die de studenten van het CleanTech honoursprogramma van de HvA ontwikkelden

www.innovatie-alliantie.nl > over de RAAK-stimuleringsregeling van Stichting Innovatie Alliantie

www.mediamatic.nl > over Stichting Mediamatic: kunst- en ontwerpprojecten over maatschappij en nieuwe technologieën

www.metfarm.com > bedrijf dat vers voedsel wil produceren in de stedelijke omgeving

www.ocap.nl > project waarin CO_2 wordt geleverd aan een grote hoeveelheid glastuinbouwbedrijven

www.oledgrowlights.net > over technische ontwikkelingen in OLED-verlichting

www.lemnislighting.com > over LED-growlights van Lemnis Lighting

www.lighting.philips.nl/application_areas/horticultural > over LED-growlights van Philips Lighting

www.plantdynamics.nl > bedrijf dat onderzoek doet naar plantfysiologie en sensortechnologie

www.plantlab.nl > bedrijf dat onderzoek doet naar plantrecepten en verschillende concepten ontwikkeld voor led-teelt

www.priva.nl/nl/ontdek-priva/inspiratie/2012/urban-farming > over Urban Farming-projecten waar Priva bij betrokken is

www.proeftuinzwaagdijk.nl > over agrarisch onderzoekscentrum Proeftuin Zwaagdijk

www.stadpluskas.nl > over de urban farming projecten van Stichting STAD+KAS

www.sustainablesystemsforfood.com > meer informatie en projectresultaten van het RAAK-mkb-project Sustainable Systems for Food

www.symbicity.nl > bedrijf dat vers voedsel wil produceren in de stedelijke omgeving

www.syntens.nl > over Syntens en de ondersteuning van het midden- en kleinbedrijf bij innovatie

www.urban-agriculture.wur.nl > over onderzoek van Wageningen UR naar stadslandbouw

www.uitjeeigenstad.nl > over de stadsboerderij Uit Je Eigen Stad in Rotterdam

www.zuidpark.nl > over het bedrijvencomplex Zuidpark en de urban farming daktuin





Hogeschool van Amsterdam