KAS in 2040

Ilias Tsafaras[1], Silke Hemming[1], Frank Kempkes[1], Anja Dieleman[1], Johanna Bac-Molenaar[1], Alexander van Tuyll van Serooskerken[1], Joseph Stoenner[1], Eric Poot[2], Aad van den Berg[2], Richard Steenvoorden[2], Maarten Vliex[3], Bram Rongen[3] en Birgit Teunissen[3]

1 Wageningen University & Research; 2 Delphy Improvement Centre; 3 Botany

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Referaat
De glastuinbouwsector wil en moet uiterlijk in 2040 toe naar een fossielvrije en emissievrije toekomst om een license-to-produce te behouden. De uitdagingen voor glastuinbouwondernemers liggen op het gebied van fossielvrij (geen CO_2-uitstoot), gesloten waterkringlopen, voorkomen van lichtemissies, nul emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlaktewater, grondwater en milieu, het leveren van een bijdrage aan een circulaire economie, sociale en ecologische inpassing in de ruimtelijke ordening en vraagstukken op het gebied van arbeid. Voor deze achtergrond is in deze studie gekeken hoe de kas in 2040 eruit zou kunnen zien. Het resultaat van een aantal expertsessies en workshops met bedrijven en stakeholders uit de sector wordt beschreven.

Abstract
The greenhouse horticulture sector must and will move towards a fossil-free and emission-free future by 2040 in order to retain a license to produce. The challenges for greenhouse horticulture entrepreneurs lie in the areas of fossil-free (no CO_2 emissions), closed water cycles, prevention of light emissions, zero emissions of nutrients and crop protection products to surface water, groundwater and the environment, contributing to a circular economy, social and ecological integration into spatial planning and issues in the field of labor. With this background, this study examines what the greenhouse could look like in 2040. The result of a number of expert sessions and workshops with companies and stakeholders from the sector is described.

Rapportgegevens
Rapport WPR-1431
Projectnummer: 3742324200
DOI: https://doi.org/10.18174/691621

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Kas als Energiebron hét innovatieprogramma van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) dat energiebesparing en het gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw stimuleert. Dit onderzoek is uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Glastuinbouw en Bloembollen in samenwerking met Delphy Improvement Centre en Botany.

Disclaimer
© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research,
Businessunit Glastuinbouw
Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research
Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens
Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk	Postbus 644, 6700 AP Wageningen
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk	Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
T +31 (0)317 48 56 06	T +31 (0)317 48 60 01
wur.nl/glastuinbouw	wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

1 Introductie 5

2 Materialen en methoden 7

2.1 Algemene benadering 7
2.2 Ontwerpmethodologie 7
2.3 Componenten van het kassysteem 8

3 Resultaten 9

3.1 De kansen voor de toekomst 9
3.1.1 Gewasproductie 9
3.2 De uitdagingen van de toekomst 9
3.2.1 Energie 9
3.2.2 Arbeid 10
3.2.3 Gewasbescherming 10
3.2.4 Circulariteit 11
3.3 Belangrijkste sleutelfuncties en beschikbare technologieën 12
3.3.1 Gewas 12
3.3.2 Teeltsysteem 13
3.3.3 Kassenbouw 16
3.3.4 Materialen 18
3.3.5 Isolatiematerialen / schermen 19
3.3.6 Belichting 20
3.3.7 Energiezuinige klimaatbeheersing 21
3.3.8 Energieopslag 22
3.3.9 Water en nutriënten 23
3.3.10 Gewasbescherming 24
3.3.11 Alternatieve bronnen en materialen 25
3.3.12 Digitalisering 26
3.4 Kas concepten 27
3.4.1 "In Nature we trust" – Het Nature Based Kas concept 27
3.4.2 "In Technology we trust" – Het Hightech gesloten kas concept 29
3.4.3 Kasontwerpen conceptueel 34

4 Conclusies 37

Literatuur 38

Bijlage 1 Deelnemers aan workshops met bedrijven 40

1 Introductie

Kassen zijn een van de meest efficiënte productiesystemen en zorgen voor een lager gebruik van hulpbronnen per hoeveelheid product in vergelijking met zowel landbouw in de volle grond als in vergelijking met daglichtloze teeltsystemen (Graamans et al., 2018; Stanghellini, 2013). Kassen verhogen de groei en productiviteit van planten door de groeiomstandigheden te verbeteren. Daarom moet het ontwerp van de kas worden aangepast aan de lokale weersomstandigheden en aan de eisen van de planten. Bovendien moet het ontwerp van kassen worden aangepast aan de algemene regelgeving en kan de werking ervan worden beïnvloed door factoren zoals fluctuaties in de beschikbaarheid van duurzame hulpbronnen en grondstofprijzen. Als gevolg hiervan kan het zijn dat een bepaald kasontwerp, zelfs als het onder de huidige omstandigheden geoptimaliseerd lijkt te zijn voor een bepaalde locatie, moet worden aangepast aan toekomstige eisen.

De glastuinbouwsector wil en moet uiterlijk in 2040 toe naar een **fossielvrije en emissievrije toekomst** om een license-to-produce te behouden. De uitdagingen voor glastuinbouwondernemers liggen op het gebied van fossielvrij (geen CO_2-uitstoot), gesloten waterkringlopen, voorkomen van lichtemissies, nul emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlaktewater, grondwater en milieu, het leveren van een bijdrage aan een circulaire economie, sociale en ecologische inpassing in de ruimtelijke ordening en vraagstukken op het gebied van arbeid.

Eind 2022 hebben de glastuinbouwsector en de overheid een energieconvenant gesloten. In dit convenant zijn afspraken opgenomen over doelen die behaald moeten worden op het gebied van energiebesparing, gebruik van duurzame energiebronnen en alternatieve CO_2-bronnen. De Nederlandse glastuinbouw heeft op dit moment een warmtevraag van 92 PJ. In 2040 moet dit teruggebracht zijn naar 60 PJ (35% reductie). Alle energiebronnen moeten duurzaam zijn, dat wil zeggen geen CO_2-uitstoot. De (groene) stroomvraag zal naar verwachting 7,5-10 TWh (toename) bedragen in 2040. Daarnaast is er minder CO_2 beschikbaar, maar is er nog steeds 2,5 Mton CO_2 uit duurzame bronnen nodig. Stijgende energieprijzen en energiebelastingen en de maatschappelijke roep om fossielvrije productie hebben de **urgentie voor de transitie** groter gemaakt.

De 'Demokas 2030' staat momenteel bij WUR Glastuinbouw in Bleiswijk. Deze kas is ontworpen in 2018. Het bestaat uit componenten die op dat moment 'state-of-the-art' waren en beschikbaar waren. Het doel was en is het testen en demonstreren van beschikbare fossielvrije en emissievrije teeltsystemen. Hiervoor is de Kas2030 ontworpen op basis van een all-electric aanpak, wat betekent dat de totale energievraag wordt geleverd in de vorm van (groene) elektriciteit van het net. Kas2030 resulteert in een integrale aanpak van energie, gewasbescherming en nutriëntenbeheer op systeemniveau.

De uitstoot van CO_2 is nul in een all-electric kas als alle elektriciteit een groene oorsprong heeft. Op dit moment is de elektriciteitsmix in Nederland echter nog niet helemaal groen (55% in 2024). Het is daarom belangrijk om eerst het totale energieverbruik zoveel mogelijk te verminderen. Voor belichte gewassen moet het verbruik van schaarse elektriciteit voor belichting worden verminderd, enerzijds door efficiëntere lampen te gebruiken, anderzijds door nog beter te begrijpen hoeveel licht van welke spectra de plant nodig heeft en wanneer. Om de warmtevraag verder te reduceren is verdere isolatie mogelijk door het isoleren van het dek en het gebruik van schermen en met tegelijkertijd de uitdaging om de kas efficiënt te ontvochtigen bij de vaak lage teelttemperaturen en een (kosten)efficiënte warmtebuffer in te zetten.

De uitstoot van water en nutriënten is in hoge mate verminderd. Recirculatie wordt in de praktijk reeds toegepast voor tafel- en gootteelten, maar voor grondgebonden gewassen zoals fresia is een uitdaging. Een waterdicht teeltsysteem is nog steeds een uitdaging voor grondgebonden teelten. De emissie van gewasbeschermingsmiddelen is op dit moment echter de grootste uitdaging. Dit verschilt per teelt. Nieuwe plagen, de introductie van onbekende, vaak invasieve soorten zijn nog steeds een uitdaging voor de praktijk.

Kortom, de roep om versnelling van de energietransitie blijft groot, evenals die van een aantal andere transities (circulariteit, gewasgezondheid, water, arbeid). Naast de ontwikkelingen in kennis sinds 2018, onder andere op het gebied van data-gedreven en autonoom telen, kasdek- en schermmaterialen, ontvochtiging, dynamische belichting, etc., is er behoefte aan nieuwe richtinggevende ontwerpen voor een kas en teeltsysteem: **Kas2040** (werktitel).

Binnen dit project staan de uitdagingen vanuit de teelt met betrekking tot een fossielvrije productie centraal. Deze zijn verschillend voor verschillende gewassen. De centrale vraag is hoe een m^2-kas optimaal en duurzaam benut kan worden en tegelijkertijd de licentie om te produceren kan behouden? Gewaskeuze, teeltsysteem, teeltplanning en vruchtwisseling kunnen hier onderdeel van uitmaken. Er moet echter niet alleen rekening worden gehouden met nieuwe technieken en teeltstrategieën in de kas. Met het oog op de toekomst is het noodzakelijk om de kas zelf onder de loep te nemen. Is de huidige kas en het toekomstige ontwerp, al dan niet met nieuwe teelttechnieken, nog steeds de meest duurzame optie?

Het is duidelijk dat het huidige kasontwerp moet worden herzien om te voldoen aan de toekomstige eisen en met name de energietransitie. Het tijdsbestek is vastgesteld op 2040, wat inhoudt dat het resultaat een kas moet zijn die klaar is om de uitdagingen van de (nabije) toekomst aan te gaan door gebruik te maken van nu al beschikbare technologieën. **Het doel van het huidige project is het ontwikkelen van kasconceptontwerpen voor een toekomstbestendig kasontwerp**. De focus ligt op energietransitie en fossielvrije oplossingen, maar het hele kassysteem zal ter discussie worden gesteld en opnieuw worden ontworpen om telers een licentie te geven om te produceren en een toekomstperspectief voor de exploitatie.

2 Materialen en methoden

2.1 Algemene benadering

Het doel van het project is de ontwikkeling van conceptuele ontwerpen van het productiesysteem voor kasgewassen en onderliggende componenten. Er worden echter geen gedetailleerde technische tekeningen voor de kas van 2040 gemaakt. Dit is de eerste stap naar de ontwikkeling van een Kas2040. Het ontwerp wordt op een creatieve en interactieve manier vormgegeven. Concreet zijn de ontwerpen tot stand gekomen door middel van een aantal sessies en brainstormbijeenkomsten tussen verschillende experts en belanghebbenden. Er vonden twee verschillende reeksen brainstormsessies plaats: in een eerste serie waren onderzoekers van de drie samenwerkende onderzoeksinstituten (Delphy, Botany en WUR) aanwezig, terwijl in de tweede serie experts van commerciële bedrijven deelnamen. In alle gevallen hadden de deelnemers verschillende achtergronden en expertisegebieden, wat bijdroeg aan een holistische benadering en het herontwerpen van de Kas2040.

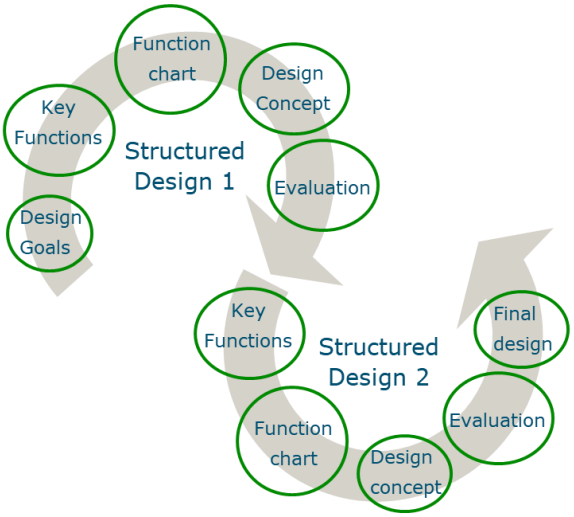
De ontwerpstudie startte met experts van de deelnemende kennisinstellingen om te komen tot innovatieve, inspirerende schetsen en richtinggevende beelden van zo'n Kas2040 waarin cutting-edge kennis en technologie van nationaal of internationaal gelegen kassen werd besproken. De ontwerpstudie werd vervolgd door de eerste schetsen ter inspiratie voor te leggen aan leveranciers, adviseurs en andere experts uit de sector om te komen tot richtinggevende maar ook praktisch haalbare concepten.

2.2 Ontwerpmethodologie

De workshops werden georganiseerd op basis van de Reflexive Interactive Design-methodologie (Bos et al., 2009). Volgens deze methodiek zijn een aantal stappen doorlopen alvorens tot het definitieve ontwerp te komen. Deze stappen kunnen worden samengevat in de onderstaande lijst en ook in Figuur 1.

1. Vaststellen van exacte ***ontwerpdoelen***. Dit zijn de randvoorwaarden waarin de Kas2040 naar verwachting zal opereren, evenals de verwachte toekomstige uitdagingen (bijv. wetgeving, "license to produce") en doelen/streefcijfers die moeten worden gehaald (bijv. geen fossiele CO_2-uitstoot)
2. Definitie van ***de belangrijkste sleutelfuncties*** in het nieuwe ontwerp. Voor elk onderdeel van het kassysteem worden de gewenste eigenschappen en functies beschreven op basis van de gedefinieerde ontwerpdoelen.
3. **Technologie scouting** (functietabel). Voor elk onderdeel van het kassysteem worden verschillende technieken opgesomd, gegeven de belangrijkste functies (stap 2) om aan de gedefinieerde ontwerpdoelen te voldoen (stap 1). Technologieën moeten al beschikbaar zijn of binnenkort beschikbaar komen. De focus ligt op technieken vanaf Technology Readiness Level (TRL) van minimaal 4-6 zodat deze daadwerkelijk binnen 1-2 jaar beschikbaar kunnen zijn. De technologie is vooral gericht op het doel van "emissievrij", namelijk CO_2-emissievrije energiebronnen met een gelijktijdig gebruik van duurzame CO_2 en gebruik van duurzame technieken en installaties om het absolute energieverbruik te minimaliseren.
4. ***Ontwerpen van het concept***. In deze stap worden integrale ontwerpen en schetsen gemaakt door uit elk kasonderdeel één of meer technologieën te selecteren uit de lijst die in de vorige stap is gemaakt.
5. ***Evaluatie*** van het resulterende ontwerpconcept op hoe het aan de oorspronkelijke ontwerpdoelen voldoet. Verbeterpunten worden gedefinieerd in een nieuwe set van sleutelfuncties en stappen 2-5 worden herhaald totdat het ontwerp is afgerond. Deze workshops hebben deze iteratie één keer voltooid. Een gedetailleerde kwantitatieve evaluatie valt buiten de scope van dit project.

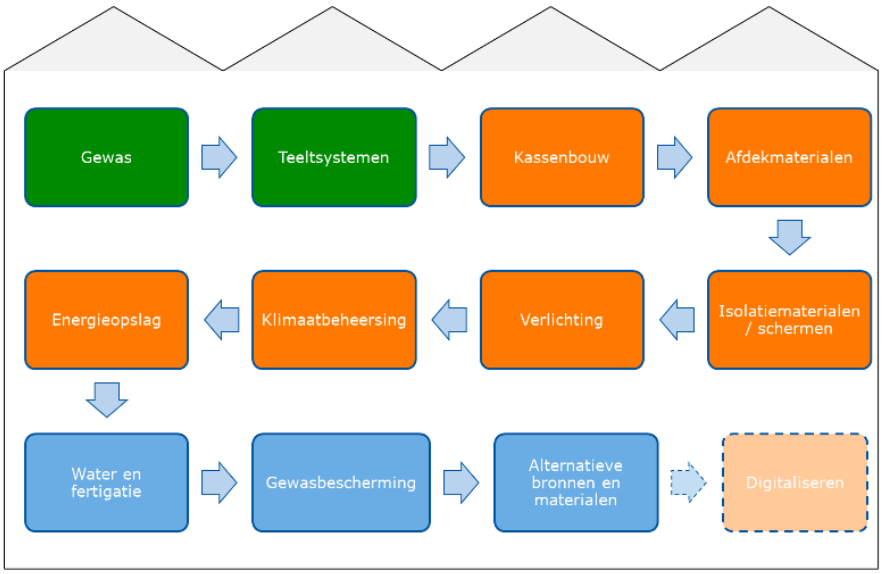
Stap 1 van de bovengenoemde methodologie vond plaats aan het begin van elke workshop met de aanwezigheid van de hele groep. Daarna werd de groep opgesplitst in subgroepen die ongeveer de helft van de resterende tijd in stap 2-4 werkten. In de volgende stap presenteerde elke subgroep kort de uitkomst van de stappen 2-4 aan de hele groep en gaf feedback op het werk van de andere subgroep. Daarna was er een tweede ronde van groepswerk waarbij elke subgroep zijn ontwerp verfijnde op basis van de discussie en de ontvangen feedback. Aan het einde van de sessie presenteerde elke groep zijn definitieve ontwerp. Meer details over de workshops en deelnemers zijn te vinden in de bijlage.



Figuur 1 *Overzicht van de toegepaste stappen van de ontwerpmethodologie tijdens het ontwerpproces van de Kas2040.*

2.3 Componenten van het kassysteem

In stap 2 en 3 van het ontwerpproces werden de belangrijkste sleutelfuncties en beschikbare technologische oplossingen voor elk kasonderdeel geïnventariseerd. Deze kasonderdelen werden vooraf door het projectteam gedefinieerd en omvatten alle onderdelen die verband hielden met het kasproductiesysteem, van de teelt zelf en de kasconstructie tot de gebruikte apparatuur. De kasonderdelen die tijdens de workshops als leidraad werden gebruikt, worden weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 *Individuele componenten van het kassysteem.*

3 Resultaten

De resultaten worden gepresenteerd volgens de methodologie beschreven in paragraaf 2. Eerst worden de verwachte toekomstige uitdagingen en operationele omstandigheden van de "Kas2040" opgesomd. Vervolgens worden de gedefinieerde sleutelfuncties beschreven samen met de beschikbare technologische oplossing, gestructureerd per kasonderdeel (Figuur 2). Ten slotte worden de gecombineerde ontwerpen gepresenteerd en toegelicht.

3.1 De kansen voor de toekomst

3.1.1 Gewasproductie

In de toekomst moet ons dieet meer plantaardig zijn – dat kan ook gevolgen hebben voor de glastuinbouw. De glastuinbouw productie zal moeten worden uitgebreid met een breder scala aan gewassen om dit dieet te dienen. Zowel kwantiteit (voldoende hoeveelheden groenten en fruit om een groeiende bevolking te voeden) als kwaliteit (goede smaak en gezondheidswaarde) zullen belangrijk zijn. We verwachten dat de glastuinbouw in de toekomst meer een 'vitamine- en mineralenbank' zal worden en dat de koolhydraten (voornamelijk) uit de akkerbouw zullen komen. Groenten en fruit die in kassen worden geproduceerd, moeten rijk zijn aan vitamines en mineralen en een goede smaak hebben. Deze drie factoren (productievolume, gezondheidsvoordelen van het product en productsmaak) moeten allemaal aanwezig zijn voor een succesvolle toekomstige kas. Er zal ook moeten worden verkend in hoeverre een kas in de toekomst ook kan dienen als bron voor eiwitproductie. Nederland heeft een sterke industrie op het gebied van planten- en bloemenproductie gericht op de vraag van consumenten. Welk type gewassen zijn in de toekomst het meest belovend om door onze industrie te worden geproduceerd? Deze vragen kwamen naar voren als discussiepunten in alle workshops met partners uit de industrie.

3.2 De uitdagingen van de toekomst

Voorafgaand aan het ontwerpen van de Kas2040 werden de verwachte uitdagingen van de toekomst, die in een toekomstig kasontwerp moeten worden aangepakt, besproken. Deze uitdagingen zijn essentieel omdat ze de eisen stellen aan de kasontwerpen en de eisen aangeven waaraan het kassysteem moet voldoen. De geïdentificeerde uitdagingen kunnen worden onderverdeeld in 4 verschillende groepen, namelijk de groepen Energie, Arbeid, Gewasbescherming en Duurzaamheid (Figuur 3). Andere aspecten die in workshops worden genoemd en die niet in deze categorieën pasten, zijn:

- Klimaatverandering: risico's in verband met waterschaarste of overstromingen; extreme weersomstandigheden, waaronder hagel, temperatuurstijging, CO_2 stijging.
- Data: risico's met betrekking tot cybersecurity en terugvalscenario's, AI, eigendom van data.

3.2.1 Energie

Het succes van de Nederlandse glastuinbouw is tegenwoordig grotendeels gebaseerd op het gebruik van fossiele brandstoffen. De deelnemers aan de workshops omschreven de werking van Kas2040 duidelijk als een **volledig fossielvrije** kas die geen fossiele CO_2 uitstoot meer kent. Als gevolg hiervan is het gebruik van aardgas gebaseerde WKKs niet meer mogelijk in een Kas2040. Verder zal er geen goedkope CO_2 meer beschikbaar zijn. Daarnaast zal de vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen ook in andere industrieën in Nederland en Europa ook de hoeveelheid beschikbare CO_2 als bijproduct beperken, waardoor deze voor de glastuinbouw niet meer ter beschikking staat. Er zal een duidelijke behoefte zijn aan **biogene CO_2-bronnen** of meer gebruik van **CO_2 uit de buitenlucht**.

Daarnaast moeten de kassen bijdragen aan de gehele energietransitie van Nederland. De energietransitie kan kansen met zich meebrengen zoals de aansluiting op het elektriciteitsnet (groene stroom) of andere duurzame energiebronnen (bijv. aardwarmte, restwarmte industrie of datacenters). De beschikbaarheid van (groene) elektriciteit en de prijs van elektriciteit kunnen een serieus knelpunt zijn om rekening mee te houden, vooral in de winterperiode. Congestie op het net is en blijft een serieuze uitdaging. De nadruk moet daarom komen te liggen op de vermindering van de totale energievraag, flexibel gebruik van energiebronnen en het gebruik van uitsluitend hernieuwbare energiebronnen, evenals lokale oplossingen ("achter de meter"). Gezien de toegenomen afhankelijkheid van hernieuwbare energiebronnen, zou de glastuinbouwsector ook (betaalbare) oplossingen voor energieopslag moeten ontwikkelen voor energieopslag op korte en lange termijn (seizoen) voor zowel warmte als ook elektriciteit. Economische haalbaarheid is en blijft een toekomstige vereiste.

3.2.2 Arbeid

Een uitdaging voor de toekomst zal het behouden van de license-to-produce zijn. Naast ecologische en economische duurzaamheid zal het behoud van **sociale duurzaamheid** en **sociale acceptatie** door consumenten en samenleving in de toekomst belangrijk zijn. Hiervoor moet de glastuinbouwsector hoog scoren op alle duurzaamheid gerelateerde indexen.

Tekort aan arbeidskrachten (hoeveelheid en opleiding), afhankelijkheid van seizoenarbeiders en arbeidsomstandigheden zijn nu nog een probleem in meerdere sectoren, waaronder de glastuinbouw. De verwachting is dat dit probleem in de toekomst ernstiger zal worden. De Kas2040 zal daarom moeten werken met een **lagere arbeidsbehoefte** in de kas en tegelijkertijd **aantrekkelijke arbeidsomstandigheden** moeten bieden voor de nieuwe jonge generatie. Ook **blijft de opleiding** voor zowel glastuinbouwers als werknemers een belangrijk aandachtspunt, deze kan echter veranderen door verschuiving van het type werkzaamheden indien bijvoorbeeld meer technologie wordt gebruikt of meer kennis van biodiversiteit nodig is.

Toenemende toekomstige eisen kunnen de investeringen en exploitatiekosten van kassen aanzienlijk verhogen. In dat geval mag worden verwacht dat er minder kleine (familie)boerderijen zullen zijn en dat het aantal/teeltoppervlak van grote bedrijven en **investeerders** zal toenemen. Deze trend is nu te zien en kan door toenemende eisen verder versnellen. Grootschalige kassen met een hoge mate aan technologie zijn nodig om het hele jaar door productie op afroep of een constante productie te leveren. Nieuwe bedrijfsmodellen zullen een impact hebben op het type apparatuur dat in de kassen zal worden gebruikt. Dit soort grote investeringen zullen een langere terugverdientijd hebben, dat zou zowel een langere levensduur vereisen als ook een hoge mate van flexibiliteit om zich aan te passen aan mogelijke veranderingen die tijdens hun (lange) levensduur nodig kunnen zijn.

Diversificatie is zeker ook mogelijk in de sector, met een focus op kleinschaligere nicheproductie dichter bij de consument. Deze heeft dan een sterke focus op lokaal geproduceerd voedsel, een grotere variëteit aan producten, wellicht in combinatie met een sociale of educatieve component. Deze typen productiesystemen vallen niet binnen het bestek van deze ontwerpstudie, maar kunnen een waardevolle rol spelen bij het behoud van de licence-to-produce.

3.2.3 Gewasbescherming

De verwachting is dat er in de toekomst geen chemische gewasbeschermingsmiddelen meer beschikbaar zijn of geaccepteerd zullen worden. Deze vereiste kan worden gesteld door wetgeving, door een verkorte lijst van beschikbare middelen, of kan worden opgelegd door consumenten en detailhandelaren die geen gebruik van chemische middelen en nul chemische residuen eisen. Daarnaast wordt een toenemende druk van ziekten en plagen verwacht (biotische en abiotische stress) als gevolg van zowel het veranderende klimaat als minder mogelijkheden tot chemische gewasbescherming. **Wetgeving** zal de uitstoot van gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater, het grondwater of misschien zelfs in de lucht afdwingen. Als gevolg hiervan zullen alternatieve middelen voor gewasbescherming nodig zijn. Dit heeft gevolgen voor het ontwerp van de kas.

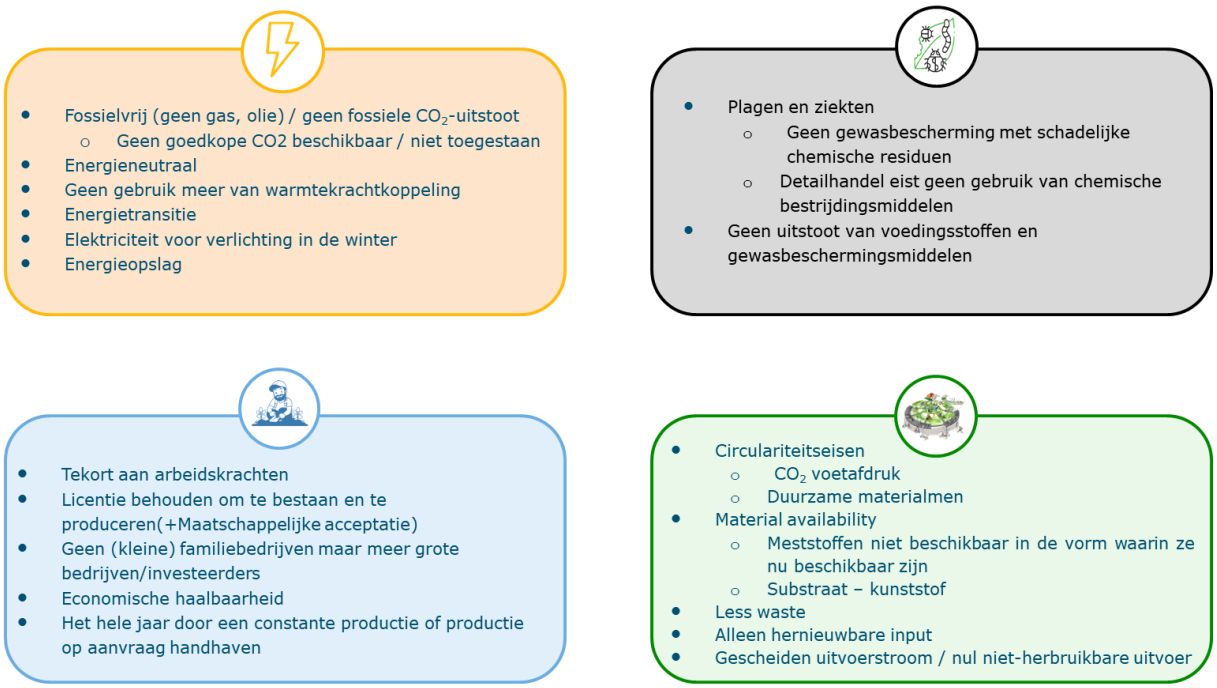
De regulering van **de emissies van nutriënten** naar oppervlakte, grondwater en milieu is al aanwezig.

Ook de emissie van licht is gereguleerd, maar het is niet uit te sluiten dat dit de komende 15 jaar verder wordt aangescherpt.

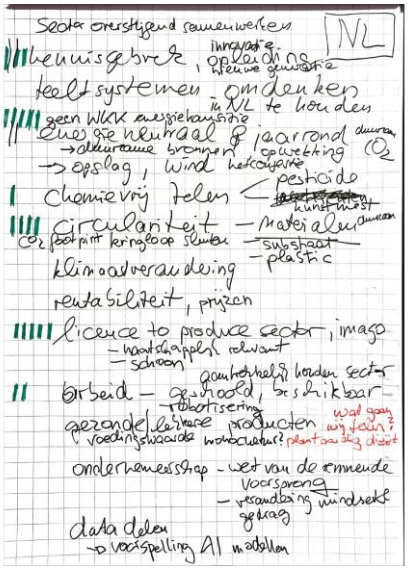
3.2.4 Circulariteit

Kas2040 zal onderdeel moeten zijn van en bijdragen aan een (meer) circulaire economie binnen Nederland en Europa. Dit impliceert dat de CO_2-voetafdruk van het productieproces een belangrijke index zal worden naast de totale levenscyclusanalyse van verschillende indicatoren. Transparantie in de toeleveringsketen zal nodig zijn. Het gebruik van materialen zal moeten worden ingebed in een dergelijke circulaire samenleving en het gebruik van andere nu gangbare materialen kan onmogelijk worden. Voorbeelden van materialen die mogelijk niet beschikbaar zijn of door circulaire alternatieven moeten worden vervangen, zijn verschillende soorten substraat, plastic elementen, meststoffen afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen of worden gedolven. De Kas2040 mag alleen **hernieuwbare materialen als input gebruiken, zo min mogelijk afval produceren** en moet in staat zijn om outputstromen te scheiden in delen die direct bruikbaar zijn als input in een ander proces.

De uitdagingen en kansen voor de toekomst kunnen worden samengevat in Figuur 3.



Figuur 3 *Groepen van gedefinieerde toekomstige uitdagingen voor de glastuinbouw.*



Figuur 4 *Voorbeeld van notities gemaakt tijdens groepsdiscussies over toekomstige uitdagingen van de Nederlandse glastuinbouw. Groene balken geven het aantal deelnemers aan dat voor een specifieke uitdaging het hoogste belang/hoogste prioriteit heeft.*

3.3 Belangrijkste sleutelfuncties en beschikbare technologieën

De belangrijkste sleutelfuncties in een kas zijn weergegeven in Figuur 2. In de workshops werden de beschikbare technologieën en ontwerpconcepten voor elke functie besproken. De resultaten worden in deze sectie gepresenteerd.

3.3.1 Gewas

Dit onderdeel omvat een discussie over het gewas zelf in de kas. Eerst was het idee om te concentreren op 3 "model" gewassen met verschillende kenmerken op het gebied van teeltsystemen. In het begin is gekozen voor een aantal kenmerken om gewassoorten te differentiëren op basis van de meest voorkomende manier van telen van die gewassen in Nederland:

- Substraat: grondgebonden versus gekweekt op substraat
- Groeiseizoen: meerdere cycli per jaar versus één lange cyclus
- Kunstmatige belichting: verlicht versus niet-verlicht.

Tijdens de workshops met experts van bedrijven werd echter sterk aangeraden om niet met specifieke "model"-gewassen te werken, maar zoveel mogelijk **flexibele teeltsystemen** te ontwikkelen voor een **breed scala aan gewassen**. Dit soort systemen zullen in de nabije toekomst waarschijnlijk de standaard zijn en daarom zal Kas2040 met die aanpak de toekomst beter vertegenwoordigen. Gezien de vereiste flexibiliteit van het kasontwerp, is ervoor gekozen om in het ontwerp niet te focussen op specifieke gewassen, maar vooral te kijken naar de gewenste eisen van een scala van gewassen die in Kas2040 worden geteeld. De tot uitdrukking gebrachte ideeën kunnen worden samengevat in de volgende punten:

- Kies de juiste gewassoorten en cultivars. Dit is altijd belangrijk, maar in de Kas2040 zijn een aantal eisen die het "ideale" type en de cultivar kenmerken specifiek:
  - Gewasflexibiliteit: tolerantie voor klimaatvariaties zoals een breed(er) temperatuurbereik. In het kader van de energietransitie is het gunstig om extremere temperaturen en temperatuurschommelingen in de kas toe te staan. Dit bespaart zowel op het totale energieverbruik (bijv. verwarming, koeling) als ook op CO_2 in het geval dat de ventilatie die nodig is voor koeling kan worden verminderd.
  - Bestand tegen ziekten en plagen. Ervan uitgaande dat er geen chemische gewasbeschermingsmiddelen beschikbaar zullen zijn, verhogen tegen plagen en ziekten weerbare gewassen de werking van biologische plaag- en ziektebestrijding.
  - In veel gevallen zal de weerbaarheid van het gewas niet voldoende zijn en daarom zal resistentie op basis van genetica erg belangrijk zijn (bijvoorbeeld wortelziekten).
  - Geschikt voor lage arbeidsbehoefte. Verwacht wordt dat in de toekomst geautomatiseerde teeltsystemen, zoals verplaatsbare teeltsystemen en geautomatiseerde gewashandelingen, gemeengoed zullen worden, omdat ze meerdere doelen dienen, zoals eenvoudige automatisering van alle processen of een betere bezetting van de kasruimte (meer details over verplaatsbare systemen in 3.3.2 Teeltsysteem sub-sectie). Rassen met een kortere internodiënlengte, compactere planten of rassen met een eindige groei zullen het gebruik van geautomatiseerde teeltsystemen versterken, zeker in de planten- en bloementeelt, maar mogelijk ook in de groente- en fruitteelt.
  - Zaad (en jonge plant) kosten. Het kan nodig zijn dat een systeemverandering (bijvoorbeeld een verandering in het teeltsysteem) resulteert in verhoogd gebruik van een aantal zaden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn in een systeem waarbij tomaten worden geteeld voor één oogst, waardoor meerdere cycli per jaar mogelijk zijn. In dat geval moeten de zaden tegen een lagere prijs beschikbaar zijn. De vermeerdering en productie van jonge planten zou ook kunnen worden geïntegreerd in de productielocatie wat mogelijk hygiëne voordelen op kan leveren.
  - Selectie tussen winter/zomercultivars om een grotere flexibiliteit in het kasklimaat mogelijk te maken (bijv. lage(re) temperaturen in de winter om te besparen op verwarmingsvraag en hoge(re) temperaturen in de zomer om te besparen op koelvraag, ventilatie, CO_2).

- Vruchtwisseling kan deel kan uitmaken van het teeltsysteem van de toekomst. Combinaties van gewassen (of rassen) met verschillende eisen kunnen worden geselecteerd om seizoensgebonden weersvariaties en de bijhorende energiebehoefte te verminderen, zoals momenteel ook op kleine schaal wordt getest in Kas2030 bij WUR. Hier wordt in een voorbeeld de combinatie van een teelt van paprika in de zomer en potplanten in de winter getest of de combinatie van meloen in de zomer en lelies in de winter. Het is aangetoond dat deze combinaties direct voordelen bieden voor het verminderen van de energievraag en de gewasbescherming.
- Een goede gewasselectie resulteert in een energieneutraal teeltplan op jaarbasis, waarbij bijvoorbeeld warmte die tijdens de ontvochtiging tijdens een teeltcyclus (een deel van het jaar) wordt geoogst, wordt gebruikt als warmte-input voor andere gewascycli van andere soorten gewassen (tijdens andere seizoenen). In het genoemde voorbeeld van de paprika en potplanten in Kas2030 was de oogst van latente warmte in de zomer in de paprika bijna voldoende voor de warmtevraag in de winter. Samen met het kunstlicht in de winter om de potplanten met 5 mol/m^2.dag te laten groeien, was het gebrek aan warmte gelijk aan 1 m^3/m^2 aardgas. Dat brengt een volledig elektrische benadering van kasklimaatbeheersing in de buurt. Andere gewascombinaties zijn mogelijk, bij voorkeur combinaties die hetzelfde teeltsysteem gebruiken.
- Breed scala aan gewassen met hoge vitamine en mineralen en mogelijk proteïnen (groenten en fruit) en hoge waarde voor het welbevinden voor de consumenten (bloemen en planten).
- Voetafdruk berekeningen. De verwachting is dat consumenten in de toekomst vragen naar de voetafdruk, daarom moeten deze berekeningen beschikbaar zijn voor de productie in een kassysteem van 2040 en hoog scoren. Het is mogelijk dat er een systeem als het beter-leven systeem wordt geïmplementeerd waarbij de consument ervoor kan kiezen om producten met een betere voetafdruk te kopen.

Conclusies gewas
Het teeltsysteem moet flexibel zijn ontworpen voor verschillende gewassoorten. Het gewas moet passen in de specificaties van het kasontwerp. Het gewastype en de variëteit moeten flexibel in het seizoen worden geselecteerd, een hoge weerbaarheid hebben en geschikt zijn voor een hoge mate van automatisering. Meer onderzoek naar vruchtwisseling en combinatie van gewasvariëteiten is waardevol. Een breder scala aan teelten in kassen worden in de toekomst verwacht en zelfs vereist, naast de ontwikkeling van nieuwe geschikte rassen.

3.3.2 Teeltsysteem

De verwachting is dat teeltsystemen in de toekomst zullen verschillen van de huidige. Dit onderwerp kwam naar voren tijdens alle discussies, in alle workshops en iedereen was het erover eens. Er werden twee belangrijke drijfveren genoemd voor een systeemverandering in het teeltsysteem. De Kas2040 vraagt, in vergelijking met de huidige systemen, om een teeltsysteem dat:
- Draagt bij aan energiebesparing
- Vereist minder arbeid en maakt meer automatisering mogelijk.

Voor het ontwerpen van het teeltsysteem van de Kas2040 is gekeken naar de volgende hypothese:

> *In 2040 zal het nog steeds moeilijk zijn om een volledige automatisering/robotisering te hebben van alle handelingsaspecten (indraaien, verwijderen van zijscheuten, bladplukken jonge bladeren, snoeien van fruit, oogsten enz.) van een hogedraad gewas in de huidige vorm. Het kan dus nodig zijn om het teeltsysteem aan te passen en/of nieuwe geschikte rassen te vinden.*

Rekening houdend met de uitdagingen in beschikbaarheid van voldoende geschoolde arbeidskrachten en de moeilijkheid voor robotica om alle menselijke arbeid volledig te kopiëren, moeten wij wellicht een andere aanpak kiezen. Er is een nieuw productiesysteem nodig dat werkt met de beschikbare mogelijkheden van momenteel beschikbare of bijna beschikbare automatiseringstechnologieën. Een nieuw productiesysteem zou heel goed kunnen samengaan met de selectie van nieuwe/andere variëteiten (bijv. bepaalde variëteiten versus onbepaalde variëteiten). Samengevat de kenmerken en ideeën voor een nieuw productiesysteem:

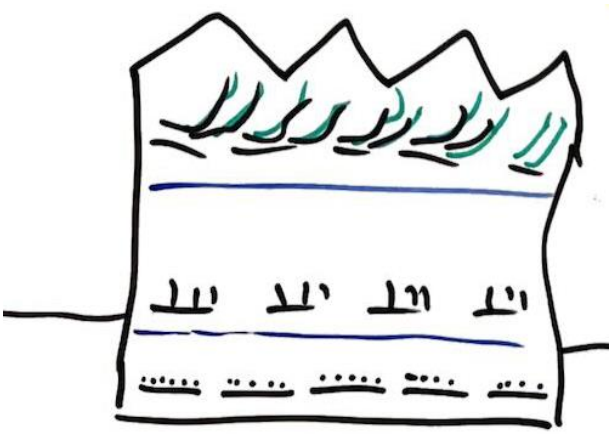
- Hoge plantdichtheid, flexibele plantdichtheid afhankelijk van het gewasstadium.
- Bewegend systeem of geautomatiseerd systeem voor alle nog nodige gewashandelingen (bijv. wijder zetten, oogsten).
- Hogedraad gewassen kunnen worden geteeld in nieuwe systemen die enkelvoudige oogst mogelijk maken, en zijn dus niet meer "hogedraad".
- Tijdens de teeltcyclus kunnen planten in verschillende compartimenten in de kas worden verplaatst/geplaatst. Verschillende kascompartimenten bieden plaats aan verschillende groeistadia van gewassen. Dit zorgt voor een efficiënter lichtgebruik, omdat het verschillende compartimenten in de kas mogelijk maakt voor jonge planten/volwassen planten etc. met verschillende plantdichtheden klimatisering. Dit wordt al veel gebruikt in de potplantenteelt (potten op grond, potten op tafels), flexibele afstand wordt ook toegepast in de slateelt (teelt op flexibele goten), maar een dergelijk teeltconcept het kan in de toekomst ook worden toegepast in de groente- en fruitteelt. Bewegende teeltsystemen kunnen ook een centrale werkruimte mogelijk maken, waardoor geklimatiseerde, ergonomische en efficiëntere werkplekken ontstaan voor de resterende werknemers.
- Het verplaatsen van planten brengt echter het risico met zich mee dat virussen gemakkelijker worden verspreid door contact tussen planten. Een reinigingsruimte tussen schakelcompartimenten, bijv. vacuüm, UV, laser kan een mogelijke oplossing zijn voor dat probleem (Clean Corridor). Gewashandelingen door en contact met mensen kan worden vermeden door robotisering van potten, goten en tafels.
- Bestuivers kunnen in een bepaald compartiment van de kas worden gehost, alleen waar dat nodig is. In de toekomst kunnen bestuivers worden vervangen door robots, drones of andere geautomatiseerde systemen.
- Verschillende fasen van het gewas hebben verschillende compartimenten (Figuur 5), bijvoorbeeld kleine zaailingen kunnen worden gestapeld. Tomaten die na de bloei gevoelig zijn voor ziektes kunnen in een apart compartiment worden geplaatst dan in de niet-bloeiende.
- De teelt heeft de mogelijkheid om "schoner" te worden als iedere kweker zijn eigen planten opkweek doet zodat hij de plagen en ziekten niet van derden krijgt en zijn eigen verantwoordelijkheid kan nemen.
- Meerlagen systemen kunnen worden gebruikt voor lage/jonge gewassen. Op het lagere niveau is het mogelijk om de planten te zaaien, en hoe hoger men gaat, hoe meer licht er beschikbaar is, dus hoe meer licht de planten/het gewas vragen (het bovenste platform kan de productiefase zijn). Dit zou kunnen worden ontwikkeld als een soort hybride systeem dat een daglichtloze teelt combineert met een kas met daglicht. De daglichtloze kas kan ook uit meerdere lagen bestaan. De eerste voorbeelden zijn beschikbaar in de praktijk.
- Geen/weinig handling – doel is geen handling. Het doel is om automatisering te ondersteunen. Het tot op zekere hoogte verplaatsbaar maken van de teelt is niet het doel, maar kan wellicht nodig zijn.
- Vermindering van het totale energieverbruik. Dat betekent dat de energie per m^2 lager moet zijn. Met zo'n flexibeler systeem wordt het energieverbruik per plant, per kg product echter verlaagd door een betere bezetting van de ruimte en door een betere afstemming van de energievraag op het gewasstadium en de geselecteerde rassen in het seizoen. Een compartiment met getopte tomatenplanten tijdens de rijpingsfase kan bijvoorbeeld minder (of geen) belicht zijn in vergelijking met een compartiment met tomatenplanten in een hogedraad systeem waar op hetzelfde moment vruchten zijn in zowel het stadium van groei en rijpening.
- Grondgebonden gewassen zoals chrysant kunnen worden verplaatst naar goten, tafels of drijvende systemen zoals bij sla.
- Voor grondgebonden gewassen geldt dat wanneer het gewas ongeschikt blijft voor een niet-grondgebonden teelt (bijv. gewassen met een zeer hoge plantdichtheid), de grond onder de wortelzone moet worden afgedicht om emissies naar de diepere grond en uiteindelijk grond- en oppervlaktewater te voorkomen. Wanneer desinfectie nog steeds nodig is, moet het bodemvolume worden teruggebracht tot een dunne laag om de energie die bij desinfectie wordt gebruikt te verminderen.

Proeven bij commerciële bedrijven en onderzoeksinstellingen gaan richting nieuwe teeltsystemen, zoals duidelijk te zien is aan de vele (succesvolle) pogingen om in verschillende teeltsystemen te telen. Enkele voorbeelden zijn:

- Het SAIA-systeem voor het verplaatsen van planten in een "robotvriendelijk" teeltsysteem en herbeworteling (https://www.saia-agrobotics.com/).
- Certhon Gronos productiesysteem voor cherrytomaten (https://certhon.com/gronos-tomatoes/)
- Ridder Tom4.0 tomato growing system op beweegbare goten (Nieuw concept moet tomatenteelt toekomstbestendig maken - Vakblad Onder Glas).
- Hogedraadgewassen (tomaten, komkommers) ondersteboven geteeld in een rol- en vouwsysteem.
- Tomaten horizontaal geteeld.

Conclusies teeltsysteem

De conclusie van de workshops over het teeltsysteem is dat het hogedraad systeem zoals dat nu bekend is, waarschijnlijk zal worden vervangen door **teeltsystemen met korte cycli**. Teeltsystemen zullen minder arbeid vergen en beter aanpasbaar zijn voor automatisering. Een dergelijk toekomstig teeltsysteem kan zo een bijdrage leveren aan de energiebesparing. Scheiding van gewasfasen in verschillende compartimenten zorgt voor meer flexibiliteit in de klimaatbeheersing met potentiële energiebesparende opties. Onderzoek om het energiebesparingspotentieel van nieuwe teeltsystemen te kwantificeren is waardevol.



Figuur 5 *Schets gemaakt tijdens workshops van meerlaagse compartimenten in een kas. Het idee achter de schets komt voort uit het scheiden van verschillende groeistadia van een gewas in verschillende compartimenten (lagen). Tijdens stadia met een lagere lichtbehoefte (bijv. jonge planten, planten met vruchten in de rijpingsfase).*

3.3.3 Kassenbouw

Ook de kassenbouw kan in de toekomst anders zijn. Als het teeltsysteem afwijkt, kan het zijn dat de constructie moet worden aangepast. De kasconstructie moet ondersteunend zijn voor nieuwe teeltsystemen. In dit stadium is er nog geen gedetailleerd ontwerp voorzien in de werkplaatsen, maar er kan worden aangenomen dat een flexibel/verplaatsbaar teeltsysteem (bijv. geen gewas hangend aan de constructie) zowel minder obstakels als meer ruimte vereist voor het installeren van logistieke apparatuur. Deze apparatuur kan te maken hebben met bewegende delen, automatisering of detectie. Idealiter creëert de constructie "vrijheid" voor bewegende delen en voor het mogelijke gebruik van robots of andere automatiseringssystemen in de toekomst. Er zal een centrale werkruimte zijn voor het verplanten van kleine gewassen naar de volgende fase, en dan zullen de gewassen wijder gezet als ze naar de volgende fasen gaan. Dit kan ook worden gedaan in de centrale werkruimte. **Mobiliteit** naar elk gebied in de kas kan dus voordelig of nodig zijn. De huidige hightech kassen met potplanten of sla kunnen de standaard zetten waarnaar toekomstige groenteteeltsystemen evolueren. In die toekomstige omgeving zullen er meer mogelijkheden zijn voor automatisering of zelfs robotisering. De beschreven aanpassingen dienen zodanig te worden uitgevoerd dat een optimaal gebruik van de ruimte gewaarborgd is. Niet alleen qua oppervlakte (m^2) maar meer qua volume (m^3).

Verder moet de kasconstructie de werking van een meer "gesloten" kas mogelijk maken. Elke vorm van lekkage (emissies, lozing, enz.) en luchtverversing worden tot een minimum beperkt (minder plaagdruk, enz.). Gezien de noodzaak van de Kas2040 om te voldoen aan de zero emissie doelstellingen, lijkt een **meer gesloten kas** een logische oplossing.

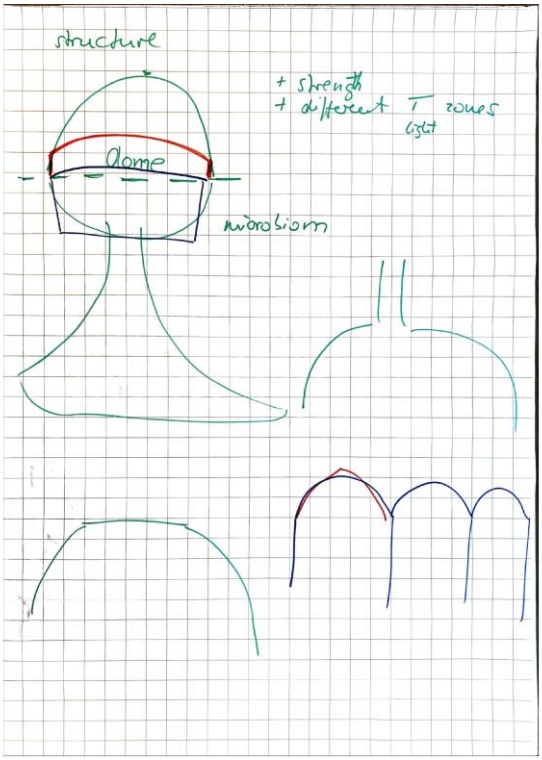
Bovendien heeft het meer compartimenteren aandacht nodig in het toekomstige ontwerp. De kas moet worden voorbereid op verschillende klimaatzones (bijv. verschillende licht of temperatuur condities), zoals hierboven beschreven in de teeltsysteem. Een gesloten teeltruimte, eventueel met **meerlaagse teelt**, kan onderdeel zijn van Kas2040. Dit zal niet het belangrijkste teeltcompartiment zijn, maar het kan worden gebruikt om specifieke perioden van de teeltcyclus op te vangen, zoals het kiemen van zaden en de vermeerdering van planten, die weinig licht nodig hebben.

Ten slotte werden in een "out-of-the-box" denkpoging verschillende dakvormen overwogen. Een "koepelvormige" kas leek de meest gunstige van de alternatieve kasvormen, omdat het een meerlaagse teelt voor jonge planten in het midden mogelijk zou maken en de planten tijdens hun groei uit het midden naar buiten zouden kunnen bewegen. Verschillende zones (ringen) nemen in oppervlak toe terwijl ze van het midden af bewegen, wat zou passen bij de natuurlijke behoefte aan meer ruimte tijdens de groei van de planten en ook verschillende temperatuurzones mogelijk kunnen maken. Het verwijderen van de planten en de uiteindelijke oogst zou plaatsvinden wanneer ze het buitenste gedeelte van de koepel hebben bereikt, wat de logistiek gemakkelijker maakt. Er wordt ook aangenomen dat een koepelvormige kas meer constructieve sterkte en weerstand zou hebben tegen extreme weersomstandigheden (bijv. wind). Wel moet worden onderzocht wat het effect van deze vorm op het landschap en het agrarisch/industrieel gebruik zou zijn. Een dergelijk koepelvormig ontwerp lijkt futuristisch (Figuur 6), maar het werd al meerdere keren gebruikt in botanische tuinen over de hele wereld (Figuur 7). Waaijenberg and Hoffmann (2001) Bakker et al. (1999)[1] hebben een eerder een haalbaarheidsstudie gemaakt naar diverse andersvormige productiesystemen. Indien een ander type kasvorm wordt overwogen, moet ook het type kasdekmateriaal worden heroverwogen. Daarnaast heeft dat gevolgen voor de integratie van apparatuur en biedt het nieuwe mogelijkheden om volledig circulaire gewasproductiesystemen te ontwerpen. Het kan daarom worden beschouwd als een innovatie- en transitieproces op zeer lange termijn, dat buiten het bestek van het ontwerp Kas2040 valt.

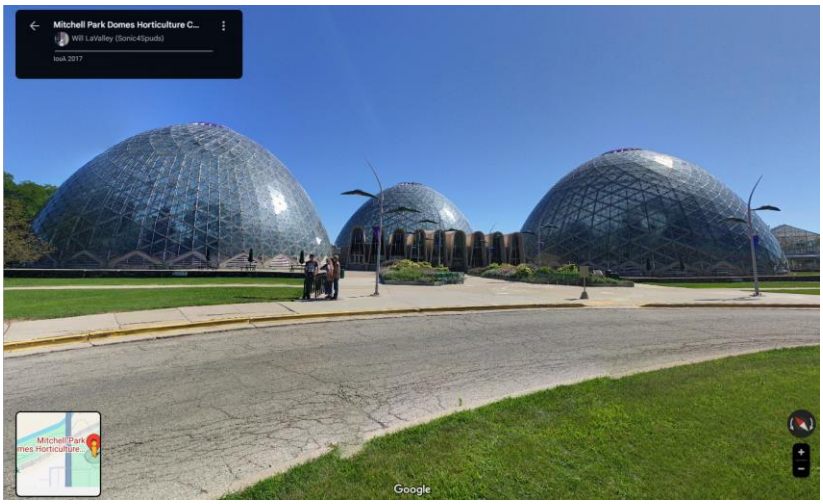
[1] Bakker, J.C. et al. (1999) Duurzaam Gewasproductie Systeem - Haalbaarheidsstudie IMAG Nota-V99-03.

Conclusie kassenbouw
Toekomstige kasconstructies moeten ondersteunend zijn voor nieuwe teeltsystemen om automatisering te ondersteunen. Het moet het mogelijk maken om als een meer "gesloten" kas te opereren om het bereiken van het doel van nul-emissies te vergemakkelijken. Verder moet er aandacht worden besteed aan compartimentering, om plaats te bieden aan verschillende klimaat- en teeltzones om energiebesparing te vergemakkelijken.

In de toekomst zou meer onderzoek naar toekomstige "out-of-the-box" kassystemen in relatie tot nieuwe weerbare teeltsystemen, circulair gebruik van alle materialen (kas, apparatuur, substraat, voedingsstoffen etc.) met substantiële vermindering van afval waardevol zijn.



Figuur 6 *Schets gemaakt tijdens workshops van verschillende kasvormen, koepelvorm (tekening linksboven), koepelvorm met "uitlaat"-opening in het dek (tekening rechtsboven), enkele overspanning met plat dak die kan worden geopend voor ventilatie (tekening linksonder) en kas met meerdere overspanningen met gebogen glas (tekening rechtsonder).*



Figuur 7 *Koepelvormige "kassen" bij Mitchell Park Horticulture Conservatory in Milwaukee (VS). Afbeelding van Google Street View.*

3.3.4 Materialen

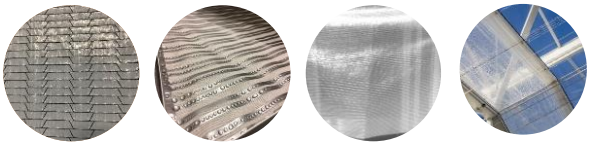
Hoe ver we ook in de toekomst kijken, de fundamentele en belangrijke vereisten aan kasdekmaterialen en hun eigenschappen zijn bekend en beschreven (Hemming et al., 2025). De beschikbaarheid van materialen is echter voortdurend in ontwikkeling en op welk niveau ze al aan de vereiste eigenschappen kunnen voldoen is continue in ontwikkeling. Een maximale lichtdoorlaatbaarheid blijft een van de belangrijkste wensen voor het kasdek onder Nederlandse omstandigheden. Er bestaat een vuistregel dat 1% meer licht gelijk is aan ~1% meer productie (Marcelis et al., 2005). Idealiter zou een hoge lichtdoorlaatbaarheid moeten worden gecombineerd met diffuus licht, hortiscatter is een goede waarde voor de diffusiteit van licht. Een vuistregel is dat 10% meer hortiscatter gelijk staat aan ~2% meer productie (van Breugel & Hemming, 2025; van Steekelenburg et al., 2024). Voor energiebesparing zijn low-e eigenschappen gewenst, waarvan is aangetoond dat ze ~20% energie besparen (van Breugel et al., 2021). Andere energiebesparende materialen zoals isolerende kasdekmaterialen (bijv. vacuümglas, nanoschuim) zijn bestudeerd (Swinkels et al., 2024) maar hebben nog steeds te maken met een uitdagende economische haalbaarheid.

In het kader van klimaatverandering worden fysische eigenschappen en weerstand tegen extreme gebeurtenissen zoals storm en hagel steeds relevanter. Gelaagd glas (Swinkels et al., 2024) zou hier een optie kunnen zijn, die nog verder moet worden onderzocht. Als alternatief kan dun glas (Hemming et al., 2018) een toekomstige oplossing zijn, maar heeft momenteel nog steeds economische uitdagingen. Duurzame ETFE (Kempkes & Janse, 2016) of geïsoleerde bubbel films (Kempkes et al., 2020) zijn getoond in nieuwe kasconcepten en kunnen in de toekomst worden gecombineerd in nieuwe klimaatbestendige kasconstructies. Van de laatste is aangetoond dat deze een energiebesparing van meer dan 20% opleveren voor klein fruit, courgette en meloen.

De optie van een spectraal aanpasbaar materiaal zou waardevol wanneer ze zonder vermindering van PAR-transmissie kunnen worden aangeboden, maar commercieel toepasbare oplossingen zijn nog schaars (Mishra et al., 2023). Dit jaar is een nieuwe studie gestart (PPS The Power of Sunlight) om nieuwe materialen te ontwikkelen. Aangezien het ontwerp Kas2040 zich richt op bijna commercieel verkrijgbare oplossingen, is het bovenstaande uitgesloten van de lijst met mogelijke opties. Het ideale “smarte” kasdekmaterialen zou de gebruiker flexibel in staat stellen om de hoeveelheid straling te kunnen regelen aangepast aan de momentane behoefte van het gewas. Hetzelfde is gewenst voor warmte-isolatie. Het zou mooi zijn als men zou kunnen regelen op hoge (momenten met warmtebehoefte) en lage (momenten met koelbehoefte) isolatie. Toekomstmogelijkheden zijn te vinden in Hemming et al. (2025).

Conclusies kasdekmaterialen
Kortom, het kasdek van de Kas2040 kan van glas zijn met een hoge doorlatendheid, hoge diffusiteit en lage emissiviteit. Gelaagd glas kan een alternatief zijn voor een betere aanpassing aan klimaatverandering, maar zal eerst verder moeten worden onderzocht. Andere alternatieven zijn duurzame kunststoffen (ETFE) en geïsoleerde kunststoffen (BEST-kas).

3.3.5 Isolatiematerialen / schermen



De verwachting is dat er ook in de Kas2040 intensief gebruik zal worden gemaakt van schermen om de isolatie van de kas op een flexibele manier te verhogen en bij te dragen aan energiebesparing. Wat kan veranderen, zijn de exacte eigenschappen van de schermen of zelfs de optie om slimme schermen te hebben waarvan de eigenschappen kunnen worden gewijzigd op basis van de speciale behoeften van het gewas op elk moment. Gericht op energiebesparing zijn de gewenste schermeigenschappen eerder gedefinieerd (Hemming et al., 2021). Een hoge reflectie van thermische warmtestraling en een laag lucht- en vochtransport zijn belangrijk. Binnen het lopende project Energlik[2] is aangetoond dat betere schermeigenschappen en een slim schermgebruik de energiebesparing aanzienlijk kunnen verhogen en geeft direct richtlijnen voor de selectie van materialen voor telers en de ontwikkeling van nieuwe materialen door leveranciers. Binnen het lopende project KaEb Low-e schermen wordt de rol van low-e eigenschappen op schermen op energiebesparing onderzocht. Binnen het lopende project KaEb Spouwschermen wordt de rol van meer schermlagen en hun convectieve warmteverlies onderzocht en zal direct richting geven aan toekomstige scherminstallaties.

Daarnaast wordt er in de toekomst intensief gebruik gemaakt van insectennetten in de ventilatieopeningen. De invloed van insectengaas op de luchtuitwisseling en het microklimaat in de kas vereist verder onderzoek.

Bovendien is het waarschijnlijk dat elke scherm van één enkel materiaalsoort is gemaakt, waardoor het gemakkelijker kan worden gerecycled of verwerkt aan het einde van zijn levensduur in de kas. Recyclen, hergebruiken, lange levensduur zijn belangrijke voorwaarden voor de toekomst.

Conclusies schermen
Het gebruik van schermen met nog betere energiebesparende eigenschappen zal zeker deel uitmaken van Kas2040. Transparante schermen met lage emissie eigenschappen en een hoge lichtdoorlatendheid zijn nodig. Meerdere schermen met een goed isolerende scherminstallatie zijn essentieel. Schermen maken het mogelijk om materialen met diverse eigenschappen op verschillende momenten flexibel in te kunnen zetten. Toekomstige uitdagingen zijn volledig duurzame materialen.

[2] Meer informatie over het Energlik-project vindt u hier (https://interregvlaned.eu/uploads/project-downloads/Rapport-3_2_d-Modelberekeningen-schermconfiguratie-en-gebruik.pdf).

3.3.6 Belichting

Licht is een van de belangrijkste klimaatfactoren die de groei en productie van gewassen bepalen. De "goedkoopste" lichtbron is de zon en daarom moet de bijdrage ervan aan de groei van het gewas maximaal worden benut. Kunstlicht blijft echter ook in de toekomst essentieel in de Nederlandse glastuinbouw en Kas2040 zal de mogelijkheid moeten hebben om te worden voorzien van kunstlicht. In 2040 is de verwachting dat het elektriciteitsnet groen(er) is. LED's zullen worden gebruikt en zullen HPS belichting volledig hebben vervangen. LED's zullen efficiënter worden in het omzetten van elektriciteit in licht dan nu het geval is (ongeveer 3,9-4,1 µmol/J), hoewel de efficiëntie langzamer zal toenemen omdat het al niet ver van het theoretische maximum ligt. Alle LED belichting zal dimbaar zijn, het spectrum zal kunnen worden gestuurd in minimaal 4 kleurkanalen en intelligente dynamische lichtsturing zal verder worden ontwikkeld en gebruikt. Om het energieverbruik met betrekking tot belichting te verminderen, wordt voornamelijk de meest energie-efficiënte lichtkleur (rood) gebruikt en alleen worden aangevuld door andere kleuren wanneer de buitenstraling onder een drempelwaarde daalt (Masterplan Licht). Onderzoek naar de effecten van verschillende spectra op gewassen heeft geresulteerd in de meest geschikte lichtspectra voor specifieke gewassen, die in Kas2040 zullen worden toegepast (Dieleman et al., 2022; Dieleman et al., 2024; Dieleman & van Steekelenburg, 2024). Bovendien zal het spectrum tijdens verschillende perioden van de dag of fasen van de gewascyclus worden aangepast om de gewasproductie en de productkwaliteit te verhogen. Ook kunnen de LED's watergekoeld zijn. De kosten voor energie kunnen worden verlaagd door de belichting te dimmen of uit te schakelen op momenten van de dag dat de elektriciteitsprijzen hoog zijn en de intensiteit later op de dag te verhogen om een vooraf ingestelde dagelijkse lichtsom te bereiken (Masterplan Licht). Wanneer minimale lichtniveaus worden aangehouden, kan dynamische belichting worden toegepast zonder nadelige effecten op de groei en opbrengst van het gewas (PPS Masterplan Licht, KaEb LED licht met de zon mee). De standaard positie van de belichting in de top van de kas kan worden vervangen of aangevuld met andere posities. Mogelijkheden zijn tussenbelichting, licht op gewasdraad of licht in hoogte verstelbaar op basis van de gewashoogte. In alle gevallen moet rekening worden gehouden met homogeniteit van de lichtverdeling. Qua installatie lijkt het gebruik van gelijkstroom (DC) in plaats van wisselstroom (AC) in de nabije toekomst logisch en dus ook in Kas2040, vooral omdat het een directere combinatie met opslag in batterijen mogelijk maakt.

Conclusies belichting

Het gebruik van kunstlicht zal deel kunnen uitmaken van Kas2040. De belichting zal plaatsvinden met volledig LED en de regeling van de belichting omvat dimmen, spectrum verandering en dynamisch belichten op basis van de behoefte van het gewas en de beschikbaarheid van elektriciteit en prijs.

3.3.7 Energiezuinige klimaatbeheersing

De Kas2030 is een goed startpunt omdat deze al voldoet aan de criteria van een fossielvrije kas. In deze kas worden de regels van Het Nieuwe Telen (HNT) (Geelen et al., 2015) gebruikt als uitgangspunt van de klimaatbeheersing. De inrichting van de kasfaciliteit met drie onafhankelijk regelbare schermen, full LED kunstlicht en een actief ontvochtigingssysteem helpt de warmtevraag aanzienlijk te verminderen. Hierdoor is de all-electric aanpak dichtbij (de Zwart et al., 2019) en getest voor verschillende gewassen. In deze benadering is een warmtepomp de bron van koude voor de ontvochtiging en warmte voor de kasverwarming. De drijvende kracht van het systeem is de verdamping van het gewas, voornamelijk aangedreven door de zon en wat kunstlicht[3]). Kas2030 moet echter nog een stap verder worden gebracht. Een warmtepomp met verwarming op lage temperatuur en een groter warmte uitwisselend oppervlak is nodig voor de Kas2040. De warmtepomp kan mogelijk ook worden gebruikt voor het koelen van bepaalde gewassen tijdens warme periodes van het jaar in een meer gesloten kas. Hiervoor is het noodzakelijk om een seizoensgebonden warmteopslag mee te nemen. Op dit moment lijken hiervoor watervoerende lagen het meest geschikt (Mishra et al., 2024), er zal verder moeten worden gezocht naar toekomstige alternatieven. In de teeltcycli van de Kas2030 hebben we gezien dat we de onbalans tussen warmtevraag en warmteproductie van de warmtepomp op jaarbasis kunnen terugbrengen tot 0, maar in de winter is er nog steeds een tekort aan warmte tot 180 MJ/m^2 (García Victoria et al., 2024), welke inmiddels in lopende experimenten terug is gebracht tot 40 MJ/m^2.

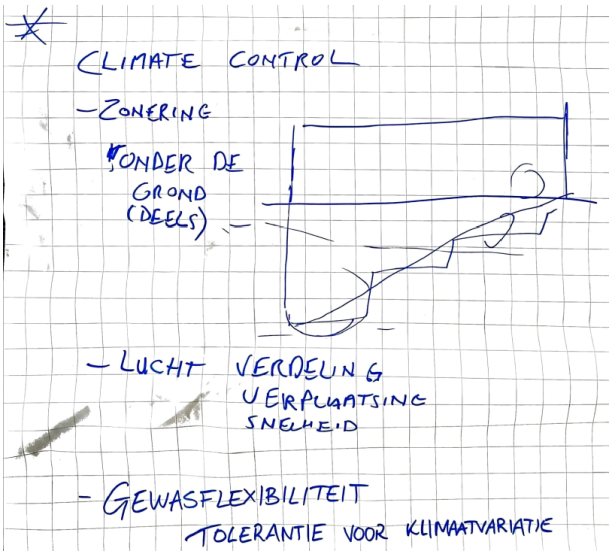
De Kas2040 dient te worden voorzien van een gecontroleerd ventilatie- en ontvochtigingssysteem, zodat deze als (semi) gesloten kas kan worden gebruikt. In gesloten kassen zijn koeling en ontvochtiging een uitdaging omdat ze het energieverbruik (elektriciteit)verbruik verhogen. Een gesloten kas past wel mooi bij de doelstellingen van nul emissie en minder/geen gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Technisch gezien is een gesloten kas goed mogelijk met bekende apparatuur. Het microklimaat rond het gewas heeft echter aandacht nodig, vooral verdamping, vocht en mogelijke gevolgen voor de kwaliteit. Bovendien zijn er nog vragen rond om de economische haalbaarheid van dit systeem. Mogelijke (gedeeltelijke) oplossingen voor de hoge energievraag zijn het accepteren van hogere temperaturen in de zomer (bijv. meer dan 30°C), aangezien de veel rassen een hoger bereik aankunnen, maar zelfs dan is de economische haalbaarheid van een gesloten kas niet gegarandeerd en blijft het een onderwerp dat verder moet worden onderzocht. Tijdens (koude) periodes van het jaar zal Kas2040 zeker als gesloten worden geëxploiteerd.

Een innovatief besproken idee was een ondergronds geklimatiseerd luchtdistributienetwerk welke verder zou kunnen worden onderzocht als energie-efficiënte oplossing. Er moet rekening worden gehouden dat het klimaat homogeen is. Door de introductie van meer energiebesparende klimaatbeheersing wordt een hogere luchtvochtigheid (lagere VD) geïntroduceerd. Om ervoor te zorgen dat het gewas niet het dauwpunt bereikt, zal de horizontale maar ook verticale temperatuurverdeling meer aandacht moeten krijgen. Reductie van de verdamping is ook een oplossing. Recente proeven tonen aan dat een luchtbeweging rond de bladeren de verdamping bevordert en kwaliteitsproblemen voorkomt, zelfs als de geblazen lucht relatief vochtig is (Masterplan Verdamping), een te hoge luchtbeweging verhoogt de verdamping en de luchtvochtigheid.

De eerdergenoemde scheiding van gewasfasen in verschillende compartimenten met onafhankelijke/verschillende klimaatbeheersing zal helpen om het kasoppervlak maximaal te benutten en te besparen op energiekosten. Opdelen van de teeltcyclus in fases die minder of geen belichting nodig hebben (bijv. het ontkiemen van zaden of de opkweek) kunnen ondergronds of in lagen worden geteeld met een hoge gewasdichtheid.

[3] More information can be found in the website of Kas Als EnergieBron about Fossielloze demo's 2021 Demokas2030 (https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/20171-fossielloze-demos-2021-demokas2030).

Conclusies klimaatbeheersing
De klimaatbeheersing in Kas2040 zal gebaseerd zijn op een volledig elektrische en gecompartimenteerde aanpak. De kas zal zoveel mogelijk als gesloten kas worden geëxploiteerd en zal daarom worden uitgerust met een gecontroleerd ventilatie-, ontvochtigings- en koelsysteem. De kern van de klimaatbeheersing wordt een warmtepomp.



Figuur 8 *Schets gemaakt tijdens workshops met het idee van klimaatbeheersing ondergronds.*

3.3.8 Energieopslag

Op het gebied van energieopslag is genoemd dat dat voorkeur uitgaat van een concept zonder seizoensopslag voor warmte. Echter in de huidige experimenten in Kas2030 kan dit met jaarrond teelten nog steeds niet worden gerealiseerd. Voor de opslag van energie op korte termijn zijn al meerdere opties beschikbaar of zullen binnenkort beschikbaar komen, zoals:

- Elektriciteit (waterstof, batterijen).
- Warmte: Buffertanks (dagelijks - wekelijks), waterstof, zout (Phase change materials), ijzer.
- Koude: Watervoerende lagen (seizonsopslag), Buffertanks (dagelijks - wekelijks), Regenwaterbassins (dagelijks).

Rekening houdend met het feit dat de Kas2040 volledig geëlektrificeerd en op het net zal worden aangesloten, wordt elektriciteitsopslag uiterst belangrijk en zullen batterijen deel uitmaken van het systeem. Fluctuaties in beschikbaarheid en prijs van elektriciteit in het net in combinatie met de eigenschappen en prijzen van de batterij bepalen of een batterij nodig is en economisch rendabel is voor een toevoeging aan de kas. Andere oplossingen voor lange-termijn warmteopslag zullen mogelijk nog nodig zijn en ontwikkeld moeten worden.

3.3.9 Water en nutriënten

Op het gebied van water en nutriënten zal nul emissie een vereiste zijn in Kas2040. Daarom zullen gesloten watersystemen worden gebruikt. Oplossingen zoals het No-Na-systeem om natrium uit het basiswater te verwijderen, voorkomen de opbouw van ongewenste zouten en voorkomen noodzakelijke afvoer. Om te voldoen aan de maximale natriumeisen voor gewasschade, moeten de natriumconcentratie in input, de natriumopname van het gewas en de natriumconcentraties in de drain in evenwicht zijn met het percentage hergebruik van de drain. Natriumverwijdering uit het water wordt alleen gebruikt als dat nodig is om deze drempel te handhaven. Het verhogen van de aanvaardbare limieten voor de gewassen tot niveaus waarvan in onderzoek is bewezen dat ze veilig zijn voor de gezondheid en groei van gewassen, zal bijdragen aan een teelt zonder lozing. Onlangs zijn er, na de *PPS Teelt met Natrium*, nieuwe (hogere) richtlijnen voor acceptabele Na (Natrium)concentraties uitgebracht. Het accepteren van een hoger Na in de recirculerende oplossing gaat ten koste van ofwel, (i) een hogere EC, (ii) lagere K, Ca of Mg (Voogt et al., 2023). Om de waterkringloop gesloten te maken, zullen in de grond geteelde gewassen verdwijnen of in ieder geval op volledig afgesloten grond worden geteeld. Dit is stof tot discussie terwijl de biologische teelt gedwongen wordt om in de grond te groeien. In onze discussies werd dit onderwerp “geparkeerd”.

In systemen met drainrecirculatie kan een verkeerde bemesting al snel leiden tot suboptimale omstandigheden (Blok et al., 2023). Gezien de economische impact van dergelijke suboptimale omstandigheden vermijden telers het risico van opbrengstverliezen door drainwater te lozen, maar dit leidt tot emissies (nutriënten en GBP) naar het oppervlaktewater. Online metingen van nutriënten zullen worden toegepast om een nauwkeurige dynamische fertigatie controle op een dagelijkse tijdschaal mogelijk te maken. Dit zal de bemonstering en laboratoriumtests niet volledig vervangen, maar het zal complementair zijn om een nauwkeurigere fertigatie te garanderen dankzij de frequente monitoring en dagelijkse aanpassingen in plaats van aanpassing op een wekelijkse tijdschaal. Deze technologieën zijn nu beschikbaar in onderzoek en zullen naar verwachting deel uitmaken van Kas2040. De verhoogde nauwkeurigheid van fertigatie zal in Kas2040 essentieel zijn om de nul-emissie doelstelling te bereiken.

Aan de andere kant zijn sommige voedingsstoffen mogelijk niet beschikbaar in de vorm waarin ze nu zijn, dus daar moet rekening mee worden gehouden bij de fertigatie controle. Nitraat is de huidige bron van stikstof en is een derivaat van fossiele brandstof. Het kan rechtstreeks door het gewas worden opgenomen, maar nitriet, dat vaak de primaire bron is van voedingsstoffen in organische mest is, heeft een actieve microbiële gemeenschap nodig voor de omzetting in nitraat. Om fossielvrije meststoffen te beheren, is ook een beheerstrategie nodig voor een gezond microbioom dat in staat is om de planten te ondersteunen met onder andere de beschikbaarheid van stikstof. Circulaire nutriënteninput zal in de toekomst ook van cruciaal belang worden voor kalium en fosfor. Er wordt onderzoek worden gedaan naar circulaire bronnen voor deze elementen en de uitdagingen die ze met zich meebrengen voor implementatie in bestaande tuinbouw fertigatie systemen. Toekomstige bronnen van duurzame voedingsstoffen zullen wellicht nog niet zo consistent zijn dan de huidige meststoffen in hun nutriëntenconcentraties, dus analyses on-site en in-line zullen een toegevoegde waarde hebben of zijn mogelijk vereist, om bij een variabele meststofsamenstelling een consistente toediening te behouden.

Conclusies water en fertigatie
Kas2040 zal een gesloten fertigatiekringloop hebben die emissies voorkomt. De fertigatie wordt op een dagelijkse tijdschaal aangepast met online metingen. Sommige nu nog gangbare meststoffen zijn mogelijk niet meer beschikbaar en zullen worden vervangen door circulaire meststoffen, wat van invloed kan zijn op de fertigatie apparatuur en -toediening.

3.3.10 Gewasbescherming

Het onderwerp gewasbescherming is een belangrijk onderwerp voor de Kas2040, omdat het naar verwachting veel zal verschillen van de commerciële praktijk op dit moment. In 2040 zijn de meeste of zelfs alle gewasbeschermingsmiddelen met mogelijk schadelijke ingrediënten of residuen niet meer beschikbaar/toegestaan in de Nederlandse tuinbouw. Daarom moet meer nadruk worden gelegd op andere manieren om ziekten en plagen te bestrijden. Preventie zal van groot belang zijn, aangezien de curatie nauwelijks mogelijk zal zijn zonder gewasbeschermingsmiddelen. Er moeten veel preventieve maatregelen worden genomen die elkaar versterken om de plant en het teeltsysteem weerbaar te maken.

- Om de invasie van plagen tot een minimum te beperken, moet Kas2040 worden gesloten of onder overdruk worden gezet met insectengaas in de ramen om plagen buiten de kas te houden. Zo'n oplossing werkt ook goed tegen sommige virussen die via insecten worden verspreid. Wellicht is het om andere redenen (bijv. economische haalbaarheid) niet altijd mogelijk om de kassen "gesloten" te houden, maar vanuit het oogpunt van gewasbescherming tegen plagen is de boodschap "hoe meer gesloten, hoe beter". Het belang van het voorkomen van de invasie van plagen in de kas zal de bepalende factor zijn voor meer delen van het kasontwerp. Als een gesloten kas nodig is, definieert dit ook de klimaatbeheersingsapparatuur die in de kas wordt gebruikt. In ieder geval zal het starten van de teelt vanuit zaden of opkweek (afhankelijk van het gewas, bijvoorbeeld chrysant) bijdragen aan een "schone start" in plaats van het risico te lopen op overdracht van ziekten en plagen van moederplant naar kwekerij naar productiekas.
- Plantresistentie tegen de meest voorkomende ziekten en plagen is nog steeds nodig, want zelfs in gesloten kassen, zolang kasmedewerkers de kas betreden, zal er een toestroom van plagen en ziekten optreden. Plantresistentie zal naar verwachting afkomstig zijn van nieuwe/andere rassen (en oude 'wilde' genetica).
- Natuurlijke vijanden van ongedierte moeten preventief worden geïntroduceerd en de vestiging van deze natuurlijke vijanden moet worden vergemakkelijkt door extra voedsel en schuilplaatsen toe te voegen. Veel niet-gewas planten (bankerplanten) zorgen hiervoor, maar er kunnen ook kunstmatige voeding en schuilplaatsen worden gemaakt. Hoe hoger de biodiversiteit van natuurlijke vijanden en bankerplanten, hoe veerkrachtiger het systeem. Deze ecosystemen zullen ruimte innemen in Kas2040 en hebben een apart irrigatiesysteem of de oprichting van een gemengd teeltsysteem nodig.
- Compost of (groepen) micro-organismen, en organische modificaties worden aan substraten toegevoegd om een weerbare microbiële gemeenschap in de wortelzone te creëren. Het beheer van een microbiële gemeenschap bevindt zich nog in de onderzoeksfase, verschillende substraten met vergelijkbare groeiresultaten blijken totaal verschillende microbiële gemeenschappen te hebben in zowel de populatie als de aanwezigheid van verschillende microbiële groepen. Er moet rekening worden gehouden met het bepalen van de juiste microbiële toevoegingen en de omstandigheden van substraat/water voor hun gezonde groei en deze moeten worden afgewogen tegen de behoeften van het gewas zelf.
- Vruchtwisseling zal hierbij ook een belangrijke rol spelen door de voor een gewas specifieke ziektedruk te verminderen wanneer er in de kas een ander gewas wordt geteeld.
- Klimaatinstellingen en bemesting/irrigatie stimuleren de verspreiding van ziektes niet, maar zijn ondersteunend voor natuurlijke vijanden en microbiële gemeenschap in de substraten.
- Zelfs aanpassingen van het teeltsysteem zelf kunnen leiden tot minder druk van ziekten en plagen (Evenhuis et al., 2024).

Conclusies gewasbescherming

Er zijn twee benaderingen, die beiden effectief kunnen zijn, maar ze kunnen niet zo goed samengaan. Benadering 1: begin met schoonmaken, blijf schoon, alles dichtbij, intensieve hygiëne, als een probleem zich voordoet, gebruik dan overkill van natuurlijke vijanden om het te genezen (wordt gebruikt als virus of ondergrondse ziekte het grootste probleem is). Zonder de beschikbaarheid van gewasbeschermingsmiddelen heeft deze aanpak een hoog risico op een lagere opbrengst en zelfs mislukte oogsten wanneer een plaag of ziekte zich vestigt.

Benadering 2: Laat de natuur voor zichzelf werken. Gebruik biodiversiteit als een voordeel. Veel verschillende natuurlijke vijanden worden preventief geïntroduceerd. Bankerplanten, extra voedsel, schuilplaatsen worden toegevoegd om natuurlijke vijanden in het gewas te vestigen. Compost of biostimulanten worden aan het substraat toegevoegd om een goed microbioom tot stand te brengen. In dit systeem moet een evenwicht worden bewaard en is er een risico op een lager rendement dan bij een steriel systeem. Maar de risico's van extreme opbrengstverliezen en mislukte oogsten worden verminderd omdat binnenkomende plagen moet concurreren met gevestigde microbiële kolonies en bestrijders.

De beslissing over de te volgen aanpak heeft betrekking op twee verschillende algemene kasconcepten (zie hoofdstuk 3.4 Kas concepten).

3.3.11 Alternatieve bronnen en materialen

Veel van de materialen waar de glastuinbouw op vertrouwt, zijn afkomstig uit zogenaamde 'lineaire' toeleveringsketens – wat leidt tot uitputting van hulpbronnen, afhankelijkheid van wereldwijde toeleveringsketens en impact op het milieu. Hierdoor is er een sterke roep naar duurzamere alternatieven.

Een voorbeeld hiervan is fossiele CO_2. Meer dan 90% van de CO_2 die in de kassen wordt ingebracht, wordt niet opgenomen door de plant en verlaat de kas door de ramen (Van Tuyll et al., 2022). Maar zelfs met 100% efficiëntie komt het overgrote deel nog steeds uit fossiele bronnen en leidt dit uiteindelijk tot een netto toename van de CO_2-concentratie in de atmosfeer. CO_2 uit WKK's en ketels zal niet langer beschikbaar zijn omdat broeikasgassen van aardgas afkomstig zijn. Het grootste deel van de CO_2 op het OCAP-netwerk is ook fossiel. Het netwerk stapt over op carbon capture and storage (CCS) als bestemming in plaats van glastuinbouw, om carbon credits te verdienen en de uitstoot te verminderen. Dit alles vermindert de beschikbaarheid van CO_2 voor de sector sterk.

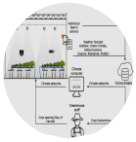
Betekent dit dat Kas2040 gewoon zonder CO_2 moet gaan, of zijn er alternatieven? CO_2-dosering verhoogt de gewasopbrengst (Nederhoff, 1994) en als de kas van de toekomst een gesloten kas is, zal CO_2-dosering essentieel zijn, om te voorkomen dat de concentraties in de kas door gewasfotosynthese onder de buitenwaarde dalen. Potentiële bronnen zijn Direct Air Capture (DAC)-technologieën en biogene bronnen (bijv. uit biogas, compostering, paddenstoelen teelt enz.). Duurzame bronnen in combinatie met een CO_2-doseringsstrategie die gekoppeld is aan een (semi-)gesloten kas en op momenten wanneer dit het meest efficiënt is zijn de toekomst.

Een ander materiaal welke naast veen mogelijk moet worden vervangen, is steenwol substraat. Hoewel de beschikbaarheid van basaltsteen waarop het is gebaseerd vrijwel onbeperkt is, kost het omzetten hiervan in steenwol veel energie en wordt er veel NOx uitgestoten. Bovendien kan steenwol aan het einde van de teeltcyclus niet worden afgebroken, kan het wel worden hergebruikt tot bakstenen of nieuwe steenwolmatten (Boedijn, 2022). Toekomstig hergebruik wordt een vereiste. Dit hergebruik wordt nu nog belemmerd vanwege de angst voor wortelziektes. Mogelijk zijn er duurzamere alternatieven: perliet, vulkanisch gesteente, kokos, houtvezel, biochar of, misschien wel het meest effectief, gewoon substraat helemaal verminderen of vervangen door alleen water. Elk van de bovengenoemde substraten heeft zijn eigen voor- en nadelen. Een interessant voordeel van organische substraten kan de versterking van bacteriën in de wortelzone zijn, waardoor wortels weerbaarder worden en minder geïnfecteerd worden door schimmels. Teelt op water kan een interessante benadering zijn, omdat het goed aansluit bij circulaire tuinbouw. Het maakt het systeem echter kwetsbaarder, omdat de buffercapaciteit van een substraatmateriaal volledig ontbreekt en de microbiële omgeving alleen bacteriën bevat die in water kunnen overleven. Agar-achtige materialen kunnen wellicht worden gebruikt als substraatvervanging en werden daarom ook besproken tijdens de workshops.

Bovendien moeten alle materialen die worden gebruikt tijdens de teelt, zoals gewasdraden en clips, moeten worden vermeden of worden gemaakt van biobased, biologisch afbreekbaar of composteerbaar plastic om afval te verminderen door gemengde afvalstromen te vermijden.

Conclusies alternatieve materialen
De beschikbaarheid van diverse materialen die tegenwoordig veel in kassen worden gebruikt, zal beperkt zijn en daarom zullen ze worden vervangen door andere circulaire duurzame alternatieven of zullen ze afkomstig zijn uit andere bronnen. De meest waarschijnlijke materialen die uit andere bronnen komen zijn CO_2 (afkomstig van biogene bronnen of uit de lucht als dan niet via DAC) en substraten die zullen worden vervangen door circulaire alternatieven.

3.3.12 Digitalisering



Gewasmonitoring wordt geautomatiseerd en veel uitgebreider dan nu het geval is. Concreet zullen processen zoals fotosynthese, metingen aan gewas fysiologische processen zelf en real-time metingen van de gewasontwikkeling worden geïmplementeerd. Deze zullen het mogelijk maken om de prestaties van het gewas continue, digitaal en uniform te meten in plaats van handmatige plantmetingen op wekelijkse basis en visuele kwantificering door een teler. Ook zal fertigatie met behulp van circulare meststoffen een dynamischere regeling vereisen om rekening te houden met de variatie in concentratie in de nieuwe meststofbronnen. Data zal een drijvende kracht zijn in de teelt van gewassen in toekomstige kassen. Sturen op data met behulp van modellen en AI helpt de teler om het maximale uit het gewas te halen. De regeling van Kas2040 zal misschien nog niet volledig autonoom zijn in Nederland, maar zeker een op sensoren en data gebaseerd beslissingsondersteunend systeem. Ervaren (Nederlandse) telers zullen wellicht nog niet toestaan dat een algoritme de volledige controle over de kas overneemt, maar ze zullen zeker gebruik maken van beslissingsondersteunende systemen, sensoren, data en de uitkomst van algoritmen in hun dagelijkse werk. De grote vooruitgang ten opzichte van de huidige systemen is de integratie van digitaal beschikbare teeltgegevens in het besluitvormingsproces. De voorbereiding hiervoor wordt al in tal van onderzoeksprojecten gedaan (zoals de WUR Autonomous greenhouse Challenge, PPS AGROS) en zal naar verwachting de komende jaren steeds meer in de praktijk worden toegepast. Momenteel leveren commerciële bedrijven (bijv. Blue Radix, SOURCE, Koidra, klimaatcomputer fabrikanten) al beslissingsondersteunende systemen voor verschillende onderdelen van de kasbesturing. Er moet echter meer onderzoek worden gedaan en kennis worden ontwikkeld over autonome sturing op een energie-efficiënte teelt op basis van echte feedback van gewas gerelateerde parameters (Heuvelink et al., 2025). Kas2040 zal een perfecte faciliteit zijn om een dergelijk systeem in te zetten. Er moet ook aandacht worden besteed aan cyberveiligheid, privacy en het delen van gegevens.

Conclusies digitalisering
In de toekomst zal een meer autonoom teeltsysteem op basis van sensoren, data en beslissingsondersteuningssystemen deel uitmaken van de kas in het jaar 2040. Hierdoor is het mogelijk om aan de ene kant een hoge productiviteit te realiseren met gelijktijdig een efficiënt gebruik van hulpbronnen.

3.4 Kas concepten

Na het bespreken van de eisen en mogelijkheden per kasonderdeel zijn er tijdens de workshops complete kasconcepten ontwikkeld en beschreven. In alle workshops kwamen twee denkrichtingen naar voren. Deze denkwijzen kunnen worden beschreven in de volgende ontwerpconcepten. Het concept is zo getekend dat het de ontwerpbenadering volgt. Wij geloven dat deze concepten elkaar in de toekomst niet zullen vervangen, maar naast elkaar zullen bestaan en verschillende consumenten zullen aanspreken. Het zou zelfs kunnen worden aangegeven op producten in de supermarkt, uit welk type productiesysteem ze komen en onder welke omstandigheden ze zijn geteeld met behulp van welke hoeveelheid hulpbronnen.

3.4.1 "In Nature we trust" – Het Nature Based Kas concept

Het eerste ontwerpconcept van Kas2040 beschrijft een kas die in harmonie is met de natuur en is ontworpen volgens een natuurlijke benadering. Deze aanpak hoeft niet per se alle kenmerken van de huidige biologische tuinbouw te hebben en kan nog steeds technologie onderbrengen in het ontwerp en de teeltsystemen die zijn opgenomen.

De kas en het gewas moeten zoveel mogelijk bestand zijn tegen klimaatverandering, het moet duurzaam zijn in alle dimensies (ecologisch, economisch, maatschappelijk), moet verbonden zijn met de directe omgeving (bijvoorbeeld door biodiversiteit rond om de kas en voor het binnenvliegen van nuttige insecten) en een robuuste maar meer seizoensgebonden productie geven. Het ontwerp is gebaseerd op gemengde landbouwconcepten en vruchtwisseling. Daarom moet de kas flexibel gebruikt kunnen worden en aangepast kunnen worden aan verschillende soorten gewassen en omstandigheden. Seizoensgebonden vruchtwisseling met verschillende gewassen of rassen die in diverse seizoenen het hele jaar door worden geteeld, zal het belangrijkste idee zijn. De exacte gewasreeks is (nog) niet gedefinieerd en kan per kas of in de loop van de tijd verschillen, maar de opties zijn heel kort besproken. Het productiesysteem moet een breed scala bedienen voor ons toekomstige plantaardige dieet met nadruk op hoogwaardige en gezonde groenten of fruit producten of hoogwaardige bloemen en planten voor het welbevinden van consumenten. Bij de selectie van de gewascombinaties is het handig om de gekozen gewassen om praktische redenen in hetzelfde teeltsysteem te telen. Diverse kassen met een ander teeltsysteem kunnen geschikt zijn voor andere gewascombinaties. Op basis van het teeltsysteem kunnen wij drie soorten mogelijke vruchtwisselingsschemas onderscheiden: gekweekt in een pot, gekweekt op een goot, gekweekt in de bodem of in een groot afgesloten substraat (incl. water). Meer gewassen die traditioneel buiten worden geteeld, kunnen in dit type kas worden geteelt om het seizoen te verlengen en een weerbaare, klimaatonafhankelijke gewasproductie mogelijk te maken.

Bonen zouden een logisch onderdeel kunnen zijn in de vruchtwisseling, zowel voor de verbetering van de bodem (indien van toepassing) als voor hun voedingswaarde (eiwitten). Andere mogelijk gewassen zijn bloemen, vruchtgroenten (Cucurbitaceae, Solanaceae), bladgroenten, prei/uien, kool, zacht fruit (bessen).

Bodem kan nog steeds als groeimedium worden gebruikt, op voorwaarde dat er geen lekkage naar de diepere grond is en er geen gebruik wordt gemaakt van chemische gewasbescherming. Om dat te bereiken wordt er een soort "big box"-aanpak gehanteerd waarbij er alleen een laagje grond is dat eronder waterdicht wordt afgesloten. Dit kan ook worden gebruikt als wortelmedium in potten. Bovendien moeten irrigatie en fertigatie nauwkeurig zijn afgestemd op de vraag van het gewas. Verplaatsbare kweeksystemen (pot, goot) kunnen worden gebruikt met een duurzaam natuurlijk substraat.

Wat de kasconstructie betreft, werd tijdens een workshop voorgesteld om de kas een groot rond dak te geven in de vorm van een koepel (Figuur 9). De vorm van de koepel zorgt voor een grotere klimaatbuffercapaciteit, omdat het volume groter zal zijn in vergelijking met een kas van het type Venlo. Bovendien maakt de grotere hoogte de installatie van apparatuur voor het verplaatsen/roteren van gewassen mogelijk. Een dergelijke kasstructuur is echter futuristischer dan de reikwijdte/tijdlijn van het huidige project en de economische haalbaarheid van het bouwen van een dergelijke structuur is niet onderzocht.
Het "In Nature we trust" concept kan ook in een meer traditionele Venlo-kas of het past ook in de eerder ontworpen BEST-kas. De kasconstructie is niet het meest kritisch voor dit teeltconcept.

Het kas- en teeltconcept zal alleen gebruik maken van duurzame circulaire hulpbronnen. Het zal goed geïsoleerd zijn en er zal minimaal verwarming worden gebruikt. Concreet wordt alleen gebruik gemaakt van verwarming om een vorstvrije kas te garanderen. Bovendien wordt energie gebruikt voor ontvochtiging wanneer er geen andere optie mogelijk is. De bron van deze warmte zou een vergister kunnen zijn of lokaal beschikbare duurzame warmtebronnen. Gewasrotatie stimuleert deze geminimaliseerde verwarmingsaanpak door gebruik te maken van gewassen met lagere optimale temperaturen tijdens de koude(re) maanden van het jaar. Omdat ondanks de zeer beperkte warmtevraag er nog altijd sprake zijn van een warmteonbalans, wanneer en hoeveel warmte nodig vs. wanneer en hoeveel warmte beschikbaar, kan er gebruik gemaakt worden van warmte- en koudeopslag en als de locatie geschikt is, vindt deze opslag plaats in een watervoerende laag. Alternatieve warmtebronnen zoals restwarmte uit de industrie of geothermische putten kunnen worden gebruikt als duurzame warmtebronnen. Deze warmtebronnen zijn echter niet overal in Nederland beschikbaar, dus de mogelijkheid om ze te gebruiken is regio-afhankelijk.

Het natuurlijke licht moet zoveel mogelijk worden gebruikt en kunstmatige belichting maakt geen deel uit van dit concept. In de winterperiode moeten daarom gewassen met een lagere lichtbehoefte in deze kas worden geteeld.

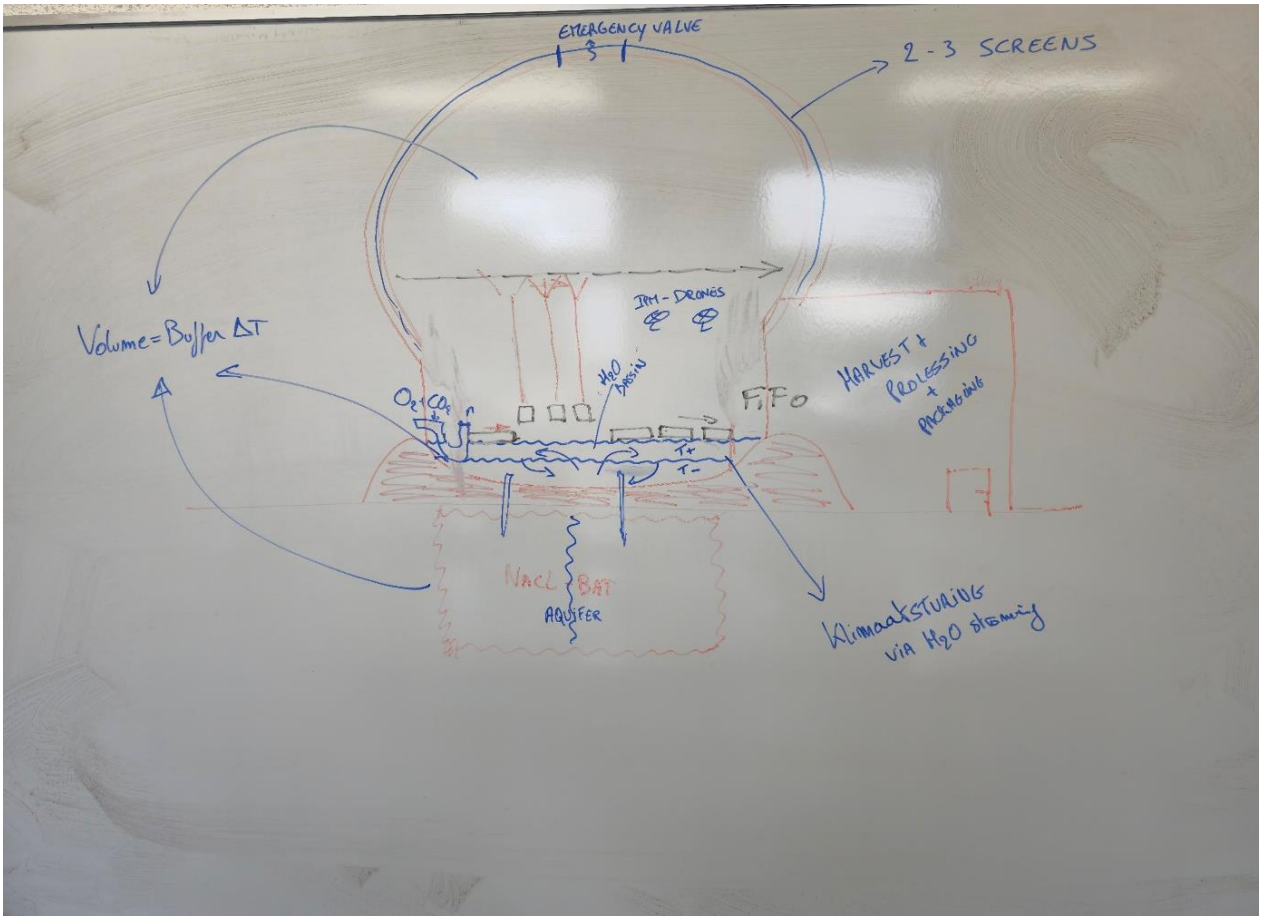
Om een veerkrachtig productiesysteem te garanderen, moeten de geteelde rassen worden geselecteerd op basis van een hoge weerbaarheid en stabiele productie in plaats van op maximale productiviteit. Rassenkeuze is in dit concept misschien nog wel belangrijker dan in andere concepten. Verder staat de kas open om nuttige insecten binnen te krijgen. CO_2 kan deels afkomstig zijn van uitwisseling met buitenlucht. CO_2-dosering kan worden gerealiseerd uit biogene bronnen (bijv. paddenstoelen, biogas). Sommige delen van de kas kunnen mogelijk speciaal worden gevormd om de nuttige insecten te huisvesten. Bijvoorbeeld gebieden met weinig licht. Ook kunnen bankerplanten worden geïntroduceerd om de nuttige biologie in het teeltsysteem te behouden.

Een belangrijk aspect van dit kasconcept is dat het een economisch haalbare operatie moet zijn, waarbij tegelijkertijd rekening moet worden gehouden met aspecten als:

- Focus op minimale input (versus de focus op maximale output in andere ontwerpen).
- Circulariteit
  - Geen afval en zoveel mogelijk hergebruik van materialen.
  - Gebruik van circulaire en duurzame substraten (bijv. biochars, compost, houtvezel, vezels uit miscanthus, lisdodde, hennep, water etc.).
  - Meststoffen uit circulaire bronnen (bijv. mest, digestaat, rioolwater etc.).
  - Gebruik van afvalbiomassa voor verwarming en CO_2-productie en nutriënten of opgewaardeerde producten.
- Focus op slim (her)gebruik van middelen in de bedrijfsvoering.
- Op dit moment is ongeveer de helft van de elektriciteit die in Nederland wordt geproduceerd afkomstig van hernieuwbare bronnen[4]. Ondanks de sterke toename van het aandeel elektriciteit uit hernieuwbare bronnen in de afgelopen jaren (het was minder dan 20% in 2019), wordt niet verwacht dat elektriciteit uit fossiele bronnen zal verdwijnen vóór 2050, wanneer de regering het doel heeft gesteld om volledig fossielvrije elektriciteit te hebben[5]. Totdat de elektriciteitsmix in Nederland 100% groen is, kunnen producten die uit een volledig elektrische kas komen nog niet ideaal zijn voor (een niche deel van) de consument. Daarom zou het beschreven "In Nature we trust" concept in 2040 zeker een marktaandeel kunnen verwerven.
- Als de locatie van de kas het toelaat, kunnen alternatieve warmtebronnen worden gebruikt.
- Maatschappelijke impact (link naar de samenleving). Het concept moet een hoge mate van acceptatie in en mogelijk zelfs interactie hebben met de samenleving.
- Geschikt voor lokale productie, dicht bij de markt en de consument.
- Er kunnen sociale initiatieven worden opgenomen (bijvoorbeeld mensen met een afstand tot de arbeidsmarkt).
- Hoge voedings- of belevingswaarde en kwaliteit van de producten.
- Brede diversiteit van gewassen.
- Grote biodiversiteit in en om de kas.

[4] Bron: EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren__custom_15721285/bookmark/line?lang=en&bookmarkId=adf0baad-1f26-4023-8b75-8465fbe5aefd).

[5] Bron: Rijksoverheid (https://www.government.nl/topics/renewable-energy/step-by-step-the-netherlands-is-transitioning-to-sustainable-energy).



Figuur 9 *Schets gemaakt tijdens workshops van een koepelvormige kas- en teeltconcept.*

3.4.2 "In Technology we trust" – Het Hightech gesloten kas concept

Het tweede ontwerpconcept van de Kas2040 beschrijft een gesloten kas die is uitgerust met de hoogst mogelijk beschikbare technologie. De aanpak van een gesloten kas sluit aan bij het verminderen van risico's van ziekten en plagen en in combinatie met het handhaven van een volledig hygiënische bedrijfsvoering is het streven naar nul gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen. Het verminderen van de interactie tussen mens en gewas door aanpassing van het teeltsysteem en een hogere mate van automatisering zal ook bijdragen aan het voorkomen van het voorkomen en de verspreiding van plagen en ziekten.

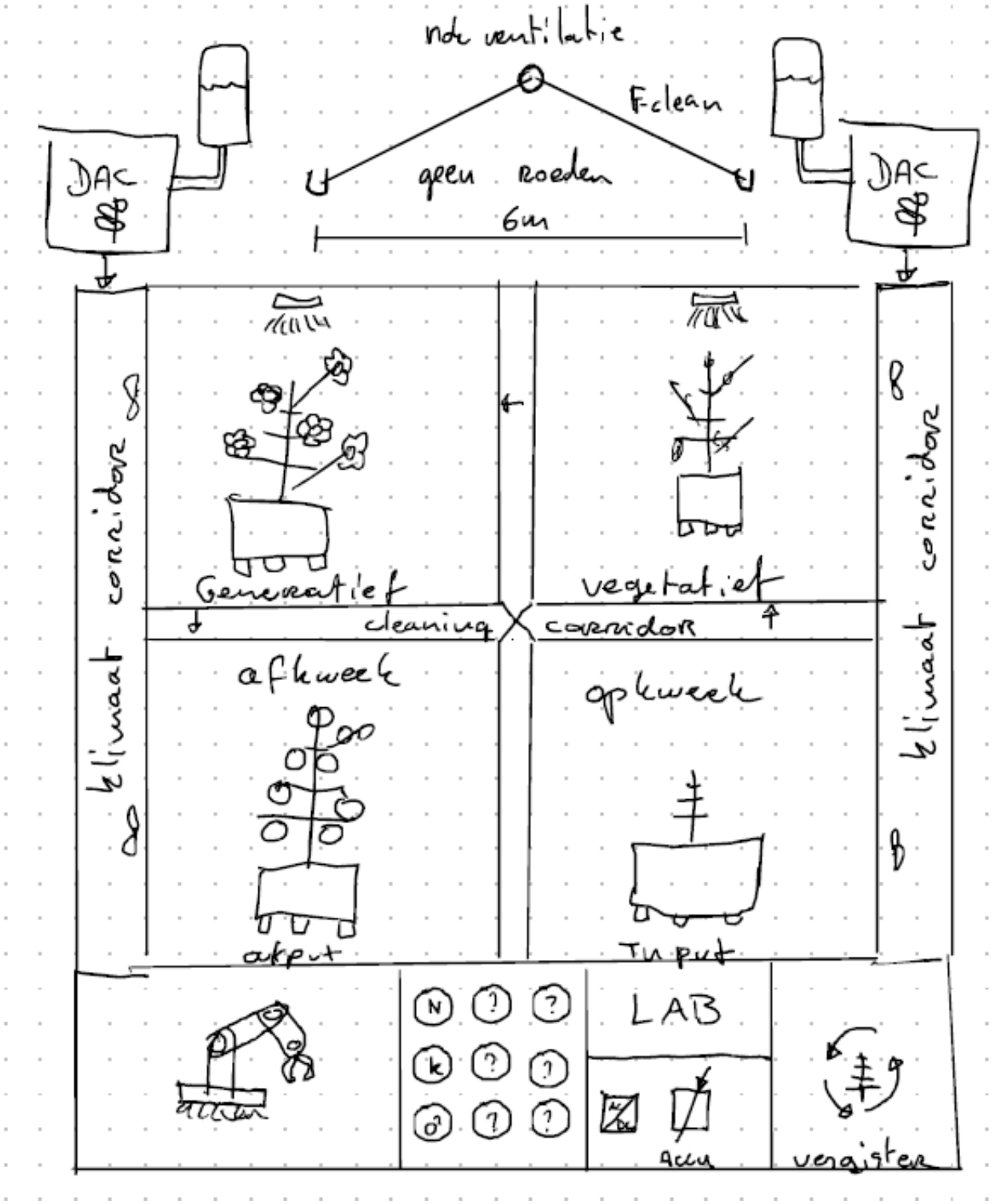
In deze kas zal een teeltsysteem van korte(re) gewascycli met gescheiden teeltfasen in verschillende kascompartimenten worden toegepast, zoals hierboven beschreven, waardoor handmatige arbeid aanzienlijk zal worden verminderd in vergelijking met de arbeid die nu nog nodig is in hogedraad gewassen in hun huidige vorm. Een hoge mate van automatisering maakt ook deel uit van dit concept. Dit kasconcept heeft als doel de winstgevendheid te maximaliseren door de geproduceerde opbrengst te maximaliseren. Dit laatste wordt bereikt door te zorgen voor optimale omstandigheden voor plantengroei en -productie, ongeacht hoe de weersomstandigheden buiten zijn. Het bereiken van optimale omstandigheden in de kas is alleen mogelijk als dit ten koste gaat van een substantiële hoeveelheid energie, zoals intensieve belichting en dus hoge(re) exploitatiekosten. Alle energie moet echter afkomstig zijn van niet-fossiele bronnen zonder CO_2-emissie. Dit type kassen moet een lange (verwachte) levensduur hebben, bijvoorbeeld meer dan 30 jaar, om hoge investeringen te compenseren. De lange levensduur impliceert dat de kas ook flexibel moet zijn en indien nodig aangepast moet kunnen worden aan mogelijke nieuwe ontwikkelingen (bijv. veranderingen in technologie, markt, energiesector). Een modulair systeem kan helpen om flexibiliteit aan het systeem toe te voegen.

Wat de kasconstructie elementen betreft, blijven staal en aluminium de belangrijkste materialen voor de kassenbouw. De kasomhulling zorgt voor een hoge mate van isolatie. Plasticfolie zoals ETFE is wellicht mogelijk, maar glas heeft de voorkeur, mogelijk in meerdere lagen of in gelaagde vorm. Klimaatverandering kan leiden tot frequentere extreme weersomstandigheden (bijv. hagelbuien, harde wind) en de kasconstructie en het kasdek moeten daar bestand tegen zijn. In ieder geval moet de lichtdoorlaatendheid en licht diffusiteit door het kasdek worden gemaximaliseerd, de emissiviteit moet worden geminimaliseerd. Indien beschikbaar zouden "slimme" materialen kunnen worden geïnstalleerd die het lichtspectrum gericht veranderen aangepast aan de gewasbehoefte. Gefilterde delen van het spectrum kunnen mogelijk ook worden gebruikt voor de productie van elektriciteit.

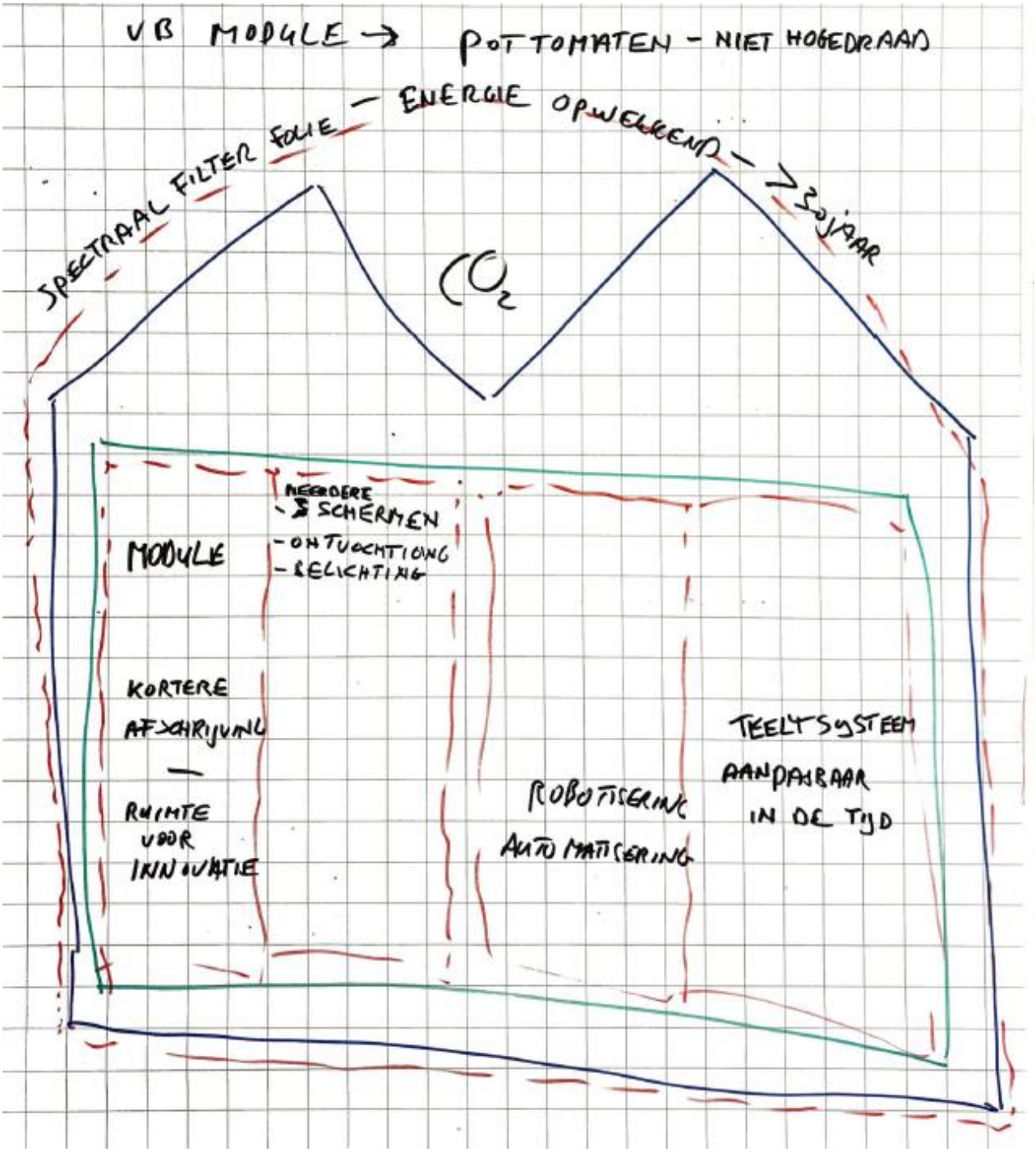
Qua energie worden de kassen volledig geëlektrificeerd en maken ze geen gebruik van aardgas. Elektriciteit zal worden gebruikt voor de gehele energiebehoefte voor verwarming, belichting, koeling, ontvochtiging. In een belichte gesloten kas zal de verwarmingsbehoefte zeer beperkt zijn en zal het grootste deel van de energie worden besteed aan het belichtings- en ontvochtigingssysteem[6]. Batterijen voor elektriciteitsopslag kunnen ook worden geïnstalleerd. CO_2 wordt verkregen uit een DAC-systeem.

De kas zal verschillende afzonderlijke en gescheiden compartimenten hebben voor verschillende fasen van de teelt. Het opkweken zaailingen en jonge planten wordt onderdeel van dit kasconcept en kan mogelijk ook daglichtloos in meerlagen worden gedaan. Het verder telen van het gewas zal in aparte compartimenten gebeuren. Elk compartiment zal anders zijn in afmetingen om plaats te bieden aan verschillende plantfasen (bijv. plantdichtheid) en in het klimaat, aangezien verschillende stadia verschillende vereisten kunnen hebben. Planten gaan per fase van het ene compartiment naar het andere nadat ze door een reinigings-/sterilisatiegang zijn gegaan om kruisbesmetting en verspreiding van ziekten en plagen te voorkomen. De teelt is vergaand geautomatiseerd.

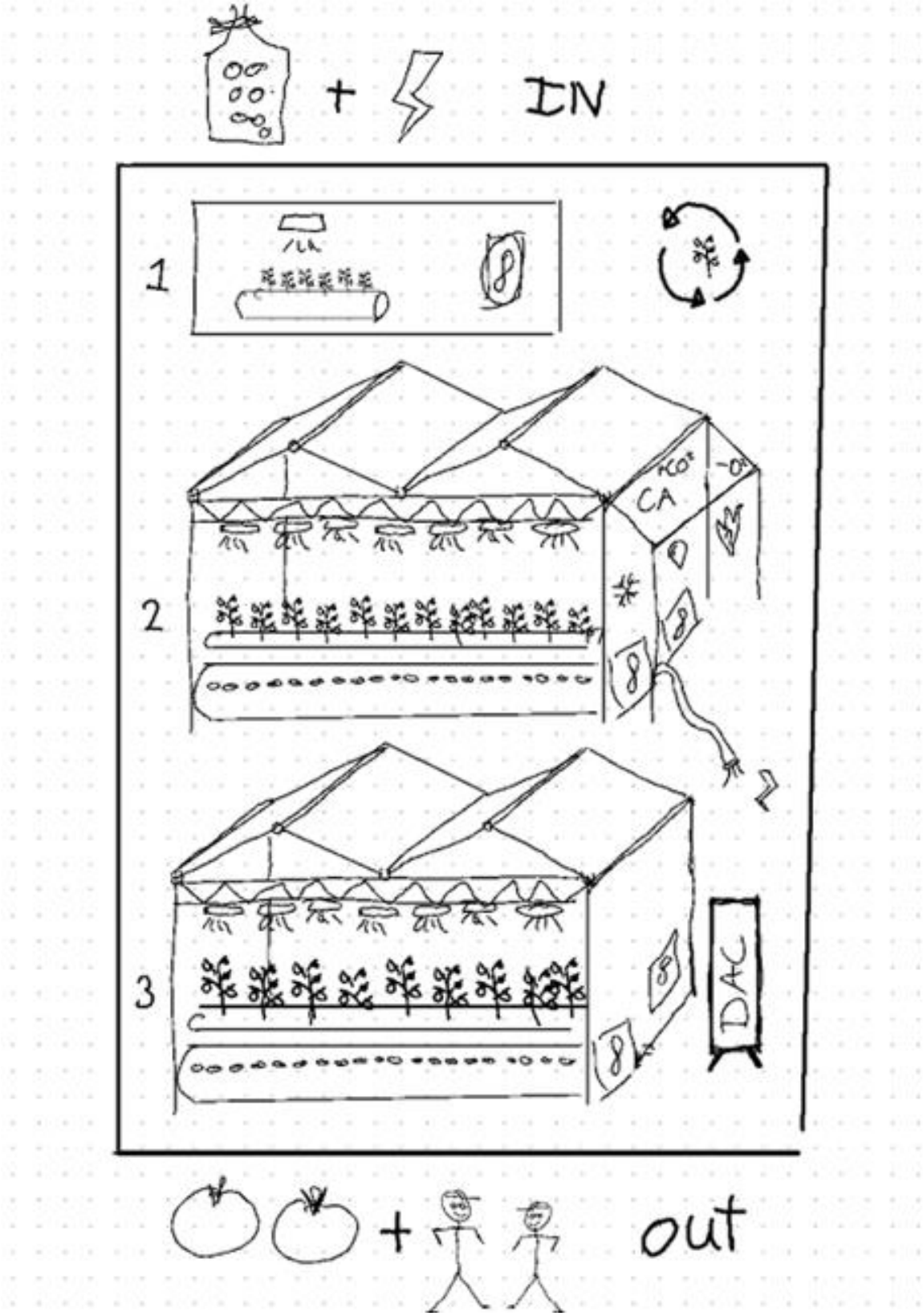
[6] H.F. de Zwart (2025), Energiezuinige ontvochtingingstechnieken, (in press).



Figuur 10 *Conceptontwerp van het "In Technology we trust" kassysteem. De compartimentering van het kassysteem is duidelijk zichtbaar. Als je goed kijkt naar de verschillende compartimenten, zie je dat de klimaatbeheersing per compartiment/gewasfase zal verschillen. Zo zijn bijvoorbeeld alleen de bovenste twee compartimenten voorzien van kunstmatige belichting. Alle compartimenten hebben toegang tot de klimaatcorridor en het DAC systeem en voordat ze van het ene compartiment naar het andere gaan, gaan de planten door een "reinigingscorridor" om overdracht van ziekten en plagen over de verschillende compartimenten te voorkomen.*



Figuur 11 *Alternatief conceptontwerp van het "In Technology we trust" kasconcept afkomstig van een andere groep deelnemers. Ook de compartimentering is duidelijk in dit ontwerp.*

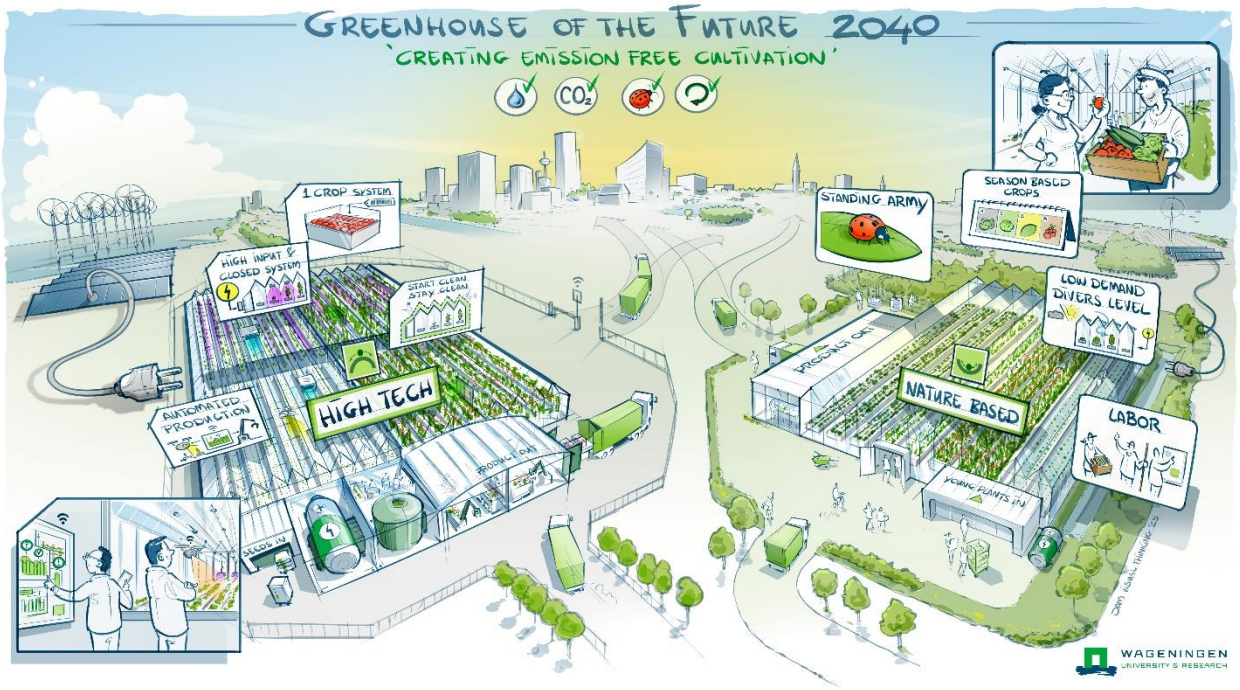


Figuur 12 *Alternatief conceptontwerp van het "In Technology we trust" kasconcept afkomstig van een andere groep deelnemers. Ook de compartimentering is duidelijk in dit ontwerp. De tekening toont een gesloten kas die zelfs nog een stap verder gaat (midden) met behulp van Controlled Atmosphere (CA) waarbij zuurstof (-O_2) uit de kasomgeving wordt verwijderd als alternatief voor CO_2-verrijking.*

3.4.3 Kasontwerpen conceptueel

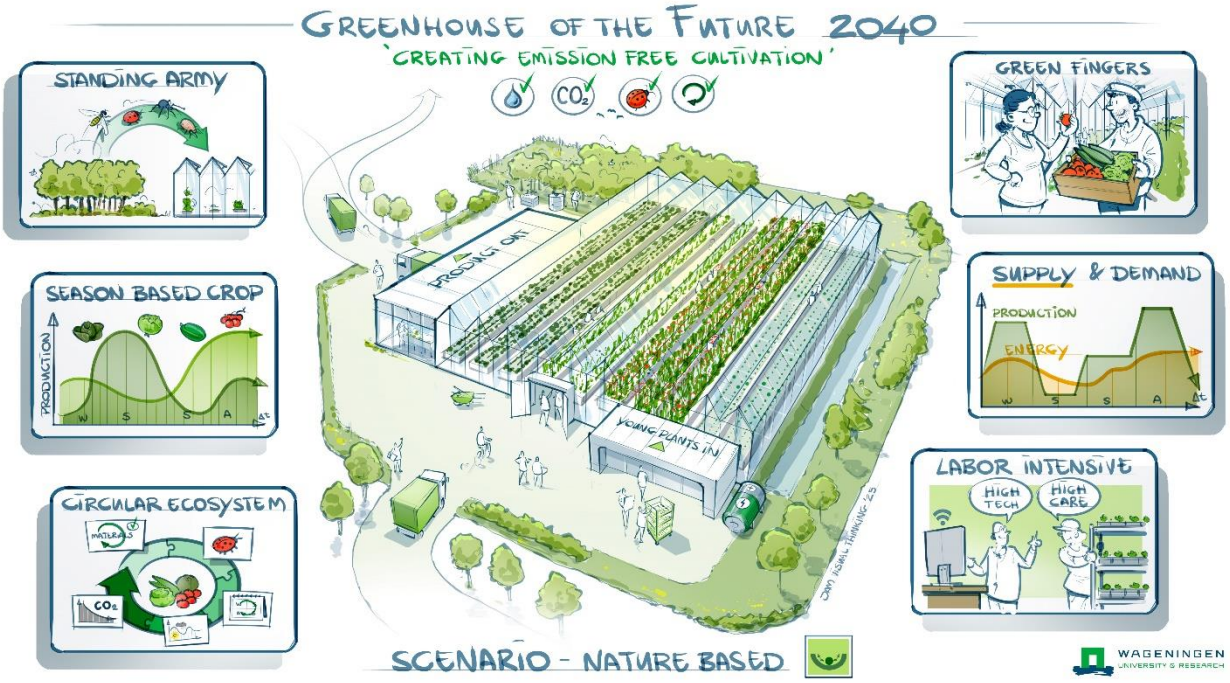
Als laatste stap van het project zijn tekeningen gemaakt die de twee concepten verduidelijken. In deze tekeningen zijn de hoofdresultaten van het project verwerkt en de aspecten die de deelnemers tijdens de workshops als kernaspecten van KAS 2040 voor ogen hadden opgenomen.

De eerste tekening (Figuur 13) toont beide concepten ("In Nature we trust" en "In Technology we trust") die naast elkaar bestaan in de wereld van 2040. De concepten zijn niet concurrerend, maar er wordt verwacht dat ze naast elkaar bestaan, aangezien ze verwijzen naar verschillende delen van de samenleving, waardoor zowel consumenten als telers/ondernemers een vrije keuze hebben. De markt zal automatisch in evenwicht komen en bepalen welk deel van de markt welk concept zal krijgen. Hoewel elk concept een andere aanpak volgt, dienen beide concepten hetzelfde hoofddoel en voldoen ze aan de vooraf gedefinieerde criteria, voornamelijk die met betrekking tot nul fossiele emissie (CO_2), nul gebruik van niet natuurlijke gewasbeschermingsmiddelen en gebruikmakend van circulariteitsconcepten met name voor meststoffen en susbstraten. Dit wordt in de tekening weergegeven door bij elk van de bovengenoemde doelen een symbool aan te vinken/behalen (√). Hoewel de kasconcepten in deze tekening op een abstracte manier worden weergegeven, zijn de belangrijkste kenmerken van elk concept duidelijk. Beide concepten maken een emissievrije teelt mogelijk en zorgen ervoor dat de consument verse en hoogwaardige producten kan ontvangen, geteeld volgens het concept van zijn voorkeur.



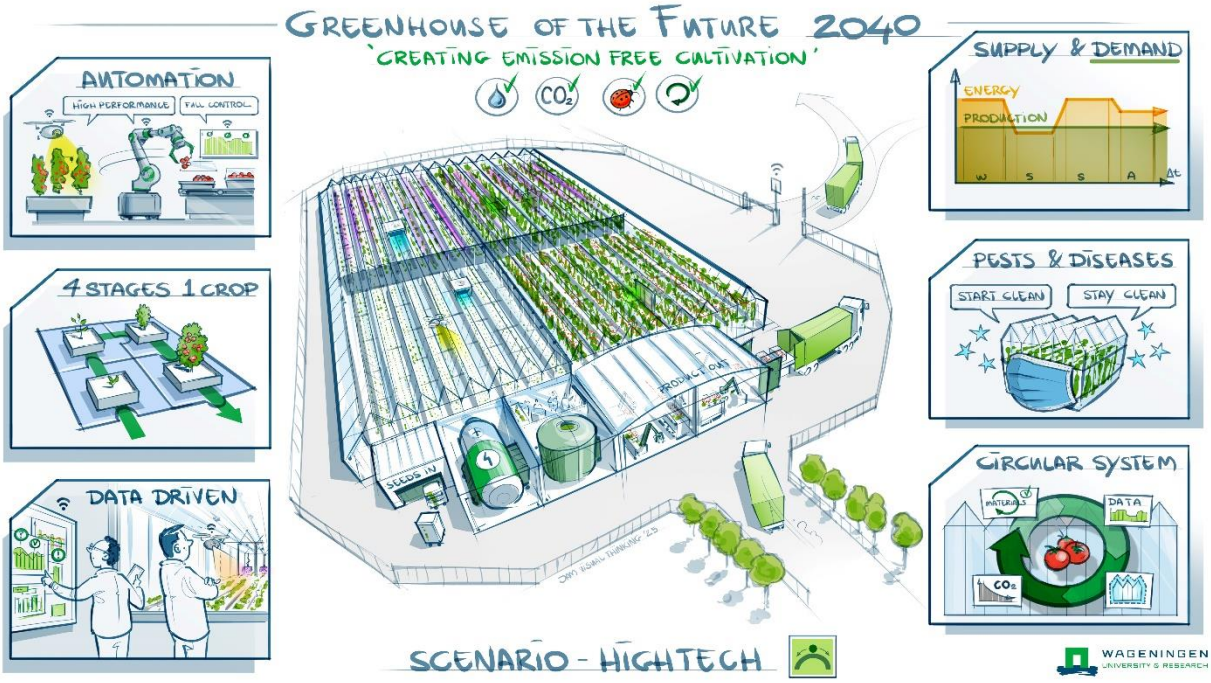
Figuur 13 *De twee concepten voor KAS 2040.*

Het **"In Nature we Trust"**-concept maakt deel uit van een groter ecosysteem dat verbonden is met de buitenomgeving, zowel voor klimaatbeheersing als voor het waarborgen van de aanwezigheid van een "standing army" van nuttige insecten, predatoren. Deze kas verbruikt minder energie in vergelijking met het andere concept. Het zeer lage energieverbruik wordt voornamelijk bereikt door een goede gewasselectie op basis van seizoensgebonden weersvariaties. Voor de werkzaamheden in de kas, wordt nog steeds deels op mankracht vertrouwd. In een meer gedetailleerde "close up" van dit concept (Figuur 14) wordt getoond dat de benadering van de seizoengebonden gewasselectie bepalend is voor de productie die het hele jaar door varieert, zowel in hoeveelheid als in soort product. Het is dus het aanbod/de productie die de vraag van de consument bepaalt. Met andere woorden, de consumenten zullen hun vraag moeten aanpassen aan het seizoensgebonden type en de hoeveelheden van de producten in plaats van aan een stabiele beschikbaarheid van elk product het hele jaar door. Dit wijkt af van de huidige situatie, maar de verwachting is dat er in 2040 een aantal consumenten bereid zal zijn om aan deze aanpak te voldoen. Het productiesysteem zal veerkrachtig zijn en deel uitmaken van een circulair ecosysteem, terwijl het ook altijd nog specialistische kennis van de telerskant vereist. Technologische ontwikkelingen zullen worden gebruikt als hulpmiddelen om arbeid en teeltkeuzes te ondersteunen.



Figuur 14 *Conceptueel ontwerp van het kasconcept "In Nature we Trust".*

Het concept **"In Technology we Trust"** wordt afgebeeld als een gesloten kassysteem dat het hele jaar door een stabiele en hoge hoeveelheid van één enkel product zal produceren ten koste van een forse energie-input die dan groen ingevuld moet gaan worden. De teelt in de kas wordt zoveel mogelijk geïsoleerd van de buitenwereld om de druk van ziekten en plagen te minimaliseren volgens de aanpak die wordt beschreven als "Start clean, Stay clean" zoals ook te zien is in het "close-up" conceptontwerp (Figuur 15) van dit kasconcept. Deze kas bevat een hoge mate van automatisering die menselijke tussenkomst minimaliseert, zowel voor wat betreft het niveau van gewasbehandeling als het niveau van controle en besluitvorming over het gewas, die voornamelijk zal worden aangestuurd door verzamelde data en algoritmen. Het gewas wordt continu geteeld met verschillende stadia van het gewas op elk moment in verschillende compartimenten onder verschillende, voor elke teeltfase geoptimaliseerde, teelrecepten. De kas zal werken "als één systeem" waar zaden binnenkomen en eindproducten eruit komen.



Figuur 15 *Conceptueel ontwerp van het kasconcept "In Technology we Trust".*

4 Conclusies

De volgende discussiepunten kwamen tijdens de meeste workshops naar voren en werden door de meerderheid van de deelnemers aanvaard. Deze kunnen daarom worden beschouwd als een soort dominante (zeer) mogelijke toekomstscenario's. Het gaat hierbij zowel om uitdagingen van de toekomst als om onderdelen van het toekomstige kasconcept.

Van de uitdagingen waarmee de glastuinbouw de komende jaren te maken zal krijgen, leken de meest waarschijnlijke en ernstige:
- Noodzaak voor energietransitie/fossielvrije kassen.
- Tekort aan arbeidskrachten.
- Licentie behouden om te bestaan/produceren.

Qua onderdelen van het toekomstige kas- en teeltconcept:
- Het teeltsysteem zal naar verwachting veranderen in de richting van een systeem dat minder arbeid vereist. Een enkele oogst of korter dan de huidige gewascycli kunnen de toekomst zijn van hogedraadgewassen. Dit wordt vooral gedreven door de nodige automatisering.
- De kas van de toekomst zal in het "In Technology we trust" concept volledig geëlektrificeerd zijn en zal geen fossiele brandstoffen gebruiken (inclusief inputs zoals kunstmest en groeimedia).
  In het "In Nature we trust" concept zal het energieverbruik aanzienlijk verminderd zijn en worden duurzame warmtebronnen ingezet.
- CO_2 wordt nog steeds gebruikt. Het zal worden verkregen uit een DAC-systeem of beschikbare biogene bronnen. In de meer gesloten systemen zal de CO_2-behoefte van de systemen worden verminderd. In het natuur gebaseerde systemen zal ook uitwisseling met de buitenlucht een onderdeel vormen.
- Kunstlicht zal een essentieel onderdeel blijven van de kasuitrusting in het "In Technology we trust"-ontwerp. Om de productie te maximaliseren en de R.O.I. te verhogen, is een jaarrond teelt noodzakelijk. Het maakt echter geen onderdeel uit van het "In Nature we trust" concept waar maximaal gebruik zal worden gemaakt van het beschikbare zonlicht.
- Er zullen geen chemische bestrijdingsmiddelen meer worden gebruikt en daarom zal er meer dan nu gebruik worden gemaakt van gunstige biologie in combinatie met ziektepreventie (bijv. zoveel mogelijk gesloten teeltsystemen, opkweek van jonge planten in dezelfde kas, weerbare gewassen).
- Een breed scala aan gewassen wordt op een duurzame manier worden geproduceerd.
- In beide kasconcepten zullen circulaire duurzame substraten, nutriënten en materialen worden gebruikt.

De volgende stappen in de ontwikkeling van een Kas 2040 zijn het technisch uitwerken van de geselecteerde schetsen en conceptuele ontwerpen en het kwantificeren van het effect van de detailontwerpen op energiebesparing en andere indicatoren. Er kan onderzoek nodig zijn naar verschillende aspecten van de concepten (in verschillende vervolgprojecten kunnen aanpassingen in kas Kas2030 dat doel dienen).
Een einddoel zou zijn om één of meerdere ontwerpen daadwerkelijk te realiseren op een geschikte onderzoekslocatie (eventueel vervolgproject). Dit kan op integraal niveau (doelgroep nieuwbouw indien nodig) of op deelniveau (doelgroep renovatie van bestaande kassen).

Literatuur

Blok, C., Voogt, W., & Barbagli, T. (2023). Reducing nutrient imbalance in recirculating drainage solution of stone wool grown tomato. *Agricultural Water Management*, *285*, 108360.

Boedijn, A. (2022). Stappen naar circulaire glastuinbouw: Transitiepaden en innovaties.

Bos, A., Koerkamp, P. G., Gosselink, J. M., & Bokma, S. (2009). Reflexive interactive design and its application in a project on sustainable dairy husbandry systems. *Outlook on AGRICULTURE*, *38*(2), 137-145.

de Zwart, F., Vanthoor, B., & Koreneef, S. (2019). *Tuinbouw zonder fossiele energie*.

Dieleman, A., Kees, W., Marjolein, K., Caterina, C., Emilie, F., Faline, P., & Kirsten, L. (2022). Duurzame teeltsystemen met LEDs.

Dieleman, A., Paul, J., & de Graaf, E. e. (2024). Dynamisch belichten van dwergtomaten: grenzen en mogelijkheden: Deelrapport V van project LED licht met de zon mee.

Dieleman, A., & van Steekelenburg, G. (2024). Dynamisch belichten in jonge tomatenplanten: grenzen en mogelijkheden.

Evenhuis, A., Bac-Molenaar, J. A., Pham, K., & Leiss, K. A. (2024). Sustainable Disease Control of Phytophthora cactorum in a Strawberry Nursery by Adapting the Growing System. *Agronomy*, *14*(12), 2809.

García Victoria, N., Kempkes, F., Leman, A., van Ruijven, J., Vletter, G., & Bac-Molenaar, J. (2024). Demokas 2030; emissiearm telen: Teeltresultaten 2019-2022; Potanthurium.

Geelen, P., Voogt, J., & van Weel, P. (2015). *De basisprincipes van het nieuwe telen*.

Graamans, L., Baeza, E., Van Den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, *160*, 31-43.

Hemming, S., de Zwart, F., Mohammadkhani, V., Raaphorst, M., van Breugel, B., & Baeza, E. (2021). *Wet Screens: Characterization of the physical properties of wet screens and quantification of their effect on energy use in greenhouses*.

Hemming, S., Katzin, D., Mohammadkhani, V., van Breugel, B., & Stanghellini, C. (2025). *Smart materials for greenhouses*.

Hemming, S., Mohammadkhani, V., Kempkes, F., Peters, A., Lieffrig, V., Harada, K., van Spronsen, M., van der Werff, T., & Louter, C. (2018). *Feasibility study thin glasses for greenhouse roof designs*.

Heuvelink, E., Hemming, S., & Marcelis, L. F. (2025). Some recent developments in controlled-environment agriculture: on plant physiology, sustainability, and autonomous control. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1-11.

Kempkes, F., & Janse, J. (2016). *Cultivation and energy 2SaveEnergy greenhouse*.

Kempkes, F., Janse, J., Raaphorst, M., Boedijn, A., & van Os, E. (2020). *Proof-of-principle Noppenfolie-kas voor de teelt van framboos: Ontwikkeling van kas-en teeltconcept voor energie-extensieve gewassen*.

Marcelis, L., Broekhuijsen, A., Meinen, E., Nijs, E., & Raaphorst, M. (2005). Quantification of the growth response to light quantity of greenhouse grown crops. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture 711.

Mishra, K., Stanghellini, C., & Hemming, S. (2023). Technology and materials for passive manipulation of the solar spectrum in greenhouses. *Advanced Sustainable Systems*, *7*(5), 2200503.

Mishra, K., van Breugel, B., & Kempkes, F. (2024). Een voorraadje voor de winter: Mogelijkheden voor seizoensopslag van thermische energie voor de Nederlandse glastuinbouw.

Nederhoff, E. M. (1994). *Effects of CO_2 concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops*. Nederhoff.

Stanghellini, C. (2013). Horticultural production in greenhouses: efficient use of water. International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034,

Swinkels, G.-J., Mishra, K., van Breugel, B., & Hemming, S. (2024). Nieuw glas op de kas.

van Breugel, B., Baeza, E., Raaphorst, M., Aninat, R., Shayesteh, M., de Zwart, F., Linden, H., & Lieffrig, V. (2021). *With low emission to high transmission: Integrating low thermal emissivity in antireflective coatings on glasses for energy saving in greenhouse horticulture*.

van Breugel, B., & Hemming, S. (2025). Grip op nog meer licht.

van Steekelenburg, G., Hemming, S., Kaiser, E., & Heuvelink, E. (2024). Quantifying the effects of hortiscatter in greenhouse cover materials on crop yield. X International Symposium on Light in Horticulture 1423.

Van Tuyll, A., Boedijn, A., Brunsting, M., Barbagli, T., Blok, C., & Stanghellini, C. (2022). Quantification of material flows: A first step towards integrating tomato greenhouse horticulture into a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *379*, 134665.

Voogt, W., Oud, N., & van Winkel, A. (2023). *Tomaat telen met verhoogd Natrium (proef 2019): Hoe om te gaan met oplopend Na in het wortelmilieu?*

Waaijenberg, D., & Hoffmann, S. (2001). *Constructievormen en omhullingsmaterialen voor tuinbouwkassen: inventarisatie en nieuwe mogelijkheden*. IMAG.

Bijlage 1 Deelnemers aan workshops met bedrijven

Workshop 4	**1-Oct-2024**
Name	**Company**
Ad de Koning	Ridder
Sven van Heijningen	Alcomij
Bram Vanthoor	Vanthoor consultancy
Bram Rongen	Botany
Maarten Vliex	Botany
Eric Poot	Delphy
Richard Steenvoorden	Delphy
Dominique van Gruisen	Innexo
Silke Hemming	WUR
Ilias Tsafaras	WUR
Alexander van Tuyll van Serooskerken	WUR
Frank Kempkes	WUR
Joseph Stoener	WUR
Birgit Teunissen	Botany

Workshop 5	**22-oct-2024**
Name	**Company**
Juliette Pijnakker	Biobest
Hans Belt	Royal Brinkman
Gert-Jan van Staalduinen	Logiqs
Allard van der Meer	BOM Group
Esther de Beer	Signify
Fred van Veldhoven	Skytree
Simon Meijer	CE-line
	Van der Valk Hortisystems
Liesanne Wieleman	Glastuinbouw Nederland
Jasper den Besten	Growers United
Ton van Dijk	Van Dijk Heating
Leo Oprel	
Bas Froon	SAIA
Kaz Vermeer	Voltiris
Theo Tekstra	Fluence
Birgit Teunissen	Botany
Frank Kempkes	WUR
Silke Hemming	WUR
Ilias Tsafaras	WUR
Eric Poot	Delphy
Bram Rongen	Botany

Workshop 6	**15-nov-25**
Name	**Company**
Ad de Koning	Ridder
Sven van Heijningen	Alcomij
Allard van der Meer	BOM Group
Leo Oprel	
Bas Froon	SAIA
Theo Tekstra	Fluence
Robert Solleveld	Glastuinbouw Nederland
Dennis Medema	Glastuinbouw Nederland
Fred van Veldhoven	Skytree
Nienke Veenendal	Priva
Evelien van Tongerlo	WUR
Thomas Peters	Grodan
Theodoros Matakiadis	Bayer
Jack Endhoven	Bayer
Frank Kempkes	WUR
Silke Hemming	WUR
Ilias Tsafaras	WUR
Eric Poot	Delphy
Bram Rongen	Botany
Maarten Vliex	Botany

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport GLAS WPR-1431

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.