



Zomerstook voor CO₂-dosering

Simulaties voor 6 gewassen

Marcel Raaphorst en Frank Kempkes

Rapport WPR-887

Referaat

Voor zes gewassen is gesimuleerd hoeveel aardgas er in de zomer wordt verstoekt om CO₂ te doseren, zonder dat de hierbij vrijkomende warmte nuttig wordt gebruikt. Afhankelijk van de gehanteerde klimaatinstellingen, de CO₂-bron en de CO₂-streefwaarde blijkt deze zomerstook te variëren van 4-11,9 m³/m².jaar.

Abstract

For six crops simulations have been made on how much natural gas is combusted, only to be able to dose CO₂ during the summertime, thus without a useful purpose of the released heat. Depending on the climate settings, the CO₂-source and CO₂-concentration target, this 'summertime stoke' appears to vary from 4-11,9 m³/m². year.

Rapportgegevens

Rapport WPR-887

Projectnummer: 3742264800

DOI nummer: 10.18174/477807

Thema: Energie en Klimaat

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van Kas als Energiebron

Disclaimer

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.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, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Probleemstelling en doelstelling	7
1.1.1	Probleemstelling	7
1.1.2	Doelstelling	7
1.2	Aanpak	7
1.2.1	Definitie zomerstook	7
1.2.2	Gesimuleerde varianten	8
1.2.3	Uitgangspunten klimaat	8
1.2.4	Uitgangspunten CO ₂ bronnen	9
1.2.5	Verwerking van de resultaten	9
2	Resultaten	11
2.1	Voorbeeld tomaat	11
2.2	Meest waarschijnlijke opties	12
2.3	Invloed van Het Nieuwe Telen	13
3	Discussie en conclusies	15
3.1	Discussie	15
3.2	Conclusies	15
	Bijlage 1 Instellingen roos belicht	17
	Bijlage 2 Resultaten per gewas	19

Samenvatting

Om inzicht te verkrijgen in de hoeveelheid aardgas die door telers wordt verbrand om CO₂ te doseren, zonder dat de hierbij vrijkomende warmte nodig is voor de verwarming van de kas (zomerstook), zijn 72 simulaties gemaakt (Kaspro). De belangrijkste input voor deze simulaties betreft het gewenste kasklimaat van zes gewassen, de maximaal gewenste CO₂-concentratie (700 of 1000 ppm), de gewenste doseercapaciteit (100, 200 of 300 kg/ha.uur) en de CO₂-bron (ketel, WKK of inkoop). Bij alle simulaties is ervan uitgegaan dat de gehele warmtevraag wordt voorzien vanuit een ketel en/of een WKK en niet vanuit externe warmtebronnen zoals restwarmte of geothermie.

De zes doorgerekende gewassen zijn tomaat, komkommer, paprika, roos, chrysant en gerbera. Deze gewassen omvatten ongeveer 50% van het Nederlandse glasareaal. De parameters voor het gewenste kasklimaat betreffen voornamelijk de kasconfiguratie (m.n. de hoeveelheid en gebruik van de schermen en belichting), de gewenste minimum kastemperatuur en de maximaal gewenste RV.

Bij alle simulaties is ook berekend hoeveel CO₂ door het gewas is opgenomen, en daarmee ook hoeveel productie er kan zijn gegenereerd. Door voor ieder gewas en iedere CO₂-bron een inschatting te maken tussen de opbrengsten van meer productie tegenover de kosten van extra CO₂, kon voor ieder gewas en CO₂-bron de economisch optimale streefconcentratie en doseercapaciteit worden geselecteerd. Omdat praktijkbedrijven streven naar een economisch optimum, zijn deze opties het meest waarschijnlijk om in de praktijk aan te treffen. Van iedere combinatie is de zomerstook berekend zoals in Tabel a.

Tabel a

Berekende zomerstook voor de meest waarschijnlijke opties.

	ketel/WKK	Streefwaarde	Doseer-capaciteit	Dosering	Zomerstook
		ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²
Tomaat	ketel	700	100	45	6.8
Tomaat	WKK	1000	200	90	8.9
Roos	ketel	700	100	57	7.3
Roos	WKK	1000	200	113	6.7
Chrysant	ketel	700	100	33	6.9
Chrysant	WKK	700	200	46	9.1
Paprika	ketel	700	100	25	4.6
Paprika	WKK	1000	200	50	7.1
Gerbera	ketel	700	100	40	9.5
Gerbera	WKK	1000	200	81	11.9
Komkommer	ketel	700	100	24	4.0
Komkommer	WKK	1000	200	47	7.1

Uit de Tabel blijkt dat bij gewassen met een WKK meestal een maximale doseercapaciteit van 200 kg/ha.uur en een streefwaarde van 1000 ppm als optimale combinatie is gesimuleerd. Indien de verwarmingsketel de enige CO₂-bron is, dan is het economisch meestal interessanter om een doseercapaciteit 100 kg/ha.uur en een streefwaarde van 700 ppm aan te houden.

Bij een ketel als enige CO₂-bron ligt de hoeveelheid zomerstook tussen 4 en 9,5 m³/m².jaar. Bij een WKK als CO₂-bron is dat meestal hoger, namelijk 6,7 tot 11,9 m³/m². Hierbij is nog rekening gehouden met de elektriciteit die tijdens de zomerstook door de WKK wordt opgewekt.

Verdere invoering van Het Nieuwe Telen, waarbij zowel de warmtevraag als de CO₂ vraag wordt verlaagd, levert dit volgens de simulaties per saldo een stijging van de zomerstook.

1 Inleiding

Voor de meeste teelten in de glastuinbouw is CO₂ een belangrijke productiefactor en deze wordt daarom gedoseerd in de vorm van rookgassen na de verbranding van aardgas in een ketel of een WKK, of in de vorm van ingekochte CO₂. In de zomerperiode gaat bij het doseren van CO₂ een groot deel daarvan verloren via de luchtramen en is juist weinig aardgas nodig om aan de kleine warmtevraag te voldoen. Hierdoor ontstaat een lage CO₂-concentratie in de kas. In veel gevallen wordt dat opgevangen door extra aardgas te verstoken, zonder dat de vrijkomende warmte nodig is voor de verwarming van de kas. Het verbranden van dit aardgas wordt zomerstook genoemd.

1.1 Probleemstelling en doelstelling

1.1.1 Probleemstelling

Als de glastuinbouw meer externe CO₂ geleverd krijgt, kan aardgas (zomerstook) bespaard worden. Hoeveel dit is, is ruim 10 jaar geleden bepaald met modelberekeningen (Pregas¹). Deze berekeningen zijn inmiddels verouderd en zouden moeten worden herzien, met name om rekening te houden met de nieuwe inzichten rond HNT.

1.1.2 Doelstelling

Het onderzoek heeft als doel om inzicht te verkrijgen in het besparingspotentieel voor het geval dat bedrijven in de zomer overgaan van CO₂ doseren met rookgassen uit de ketel of de WKK, naar de inkoop van externe CO₂.

1.2 Aanpak

Voor verschillende gewassen en energieconfiguraties is met het simulatiemodel Kaspro² op uurbasis berekend hoeveel warmte nodig is en hoeveel CO₂ er wordt gedoseerd. Uit de resultaten hiervan is berekend hoeveel aardgas alleen wordt verstoekt voor CO₂-dosering (en, in geval van een WKK, hoeveel elektriciteit hierbij zou worden geleverd).

1.2.1 Definitie zomerstook

Zomerstook is in dit rapport gedefinieerd als de hoeveelheid aardgas die een bedrijf met CO₂-dosering extra verbrandt in een verwarmingsketel of een WKK, ten opzichte van een bedrijf dat alle benodigde CO₂ inkoop, als met een bepaalde doseercapaciteit een bepaalde CO₂-concentratie in de kas wordt nagestreefd.

Bij dosering met een WKK wordt de energetische waarde van de geproduceerde elektriciteit tijdens de zomerstookuren afgetrokken van de energetische waarde van de voor zomerstook verbrand aardgas. Dat betekent dat de zomerstook door een WKK met een elektrisch rendement van 42% slechts voor 58% meetelt.

¹ Raaphorst, M.G.M. (1999): *Documentatie van het PBG rekenmodel gasverbruik*. Rapport / Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente;229. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Naaldwijk.

² de Zwart, H.F. (1996): *Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model*, Wageningen University, Wageningen.

1.2.2 Gesimuleerde varianten

De varianten die zijn doorgerekend zijn:

1. Gewassen: belichte tomaat; paprika; komkommer; belichte roos; belichte chrysanth; belichte gerbera.
2. Maximum doseercapaciteit: 100, 200 en 300 kg/ha.uur. Indien er licht in de kas is (afkomstig van lamp of zon), dan wordt met deze capaciteit CO₂ gedoseerd totdat de maximum concentratie is bereikt.
3. Maximum CO₂-concentratie: 700 en 1000 ppm. Indien deze CO₂-concentratie in de kas wordt bereikt, stopt de CO₂-dosering.
4. CO₂-bron: inkoop, vanuit WKK of vanuit ketel:
 - a. Inkoop van CO₂. Alle verwarming van de kas komt uit een ketel.
 - b. Dosering van de rookgassen uit de verwarmingsketel.
 - c. Dosering van de rookgassen uit een WKK. Indien de WKK onvoldoende verwarming biedt, wordt ook een verwarmingsketel ingeschakeld.

Er zijn alleen varianten doorgerekend waarbij de geleverde warmte uitsluitend afkomstig is van een ketel of een WKK. Varianten met een gedeeltelijke externe warmtelevering (restwarmte of geothermie) zijn niet doorgerekend.

Het betreft hier dus 6 gewassen, 3 doseercapaciteiten, 2 maximum concentraties en 3 doseerbronnen, ofwel tezamen 72 simulaties.

1.2.3 Uitgangspunten klimaat

Voor de zes gewassen zijn klimaatinstellingen vastgesteld zoals die in de praktijk ook worden gebruikt. Dit betreft de instellingen over de na te streven temperatuur, luchtvochtigheid en eventueel hoeveelheid belichting. De basisuitgangspunten zijn vermeld in Tabel 1. Voor de belichte gewassen is het elektrische vermogen weergegeven, waarbij is uitgegaan van SON-T lampen. Een uitgebreide beschrijving voor roos is weergegeven in Bijlage 1.

Tabel 1

Basisuitgangspunten klimaat voor zes gewassen.

	Belichting (W/m ²)	Stooktemp (°C)	RV (%)	Schermen
Tomaat	100	16-20	87	1 (donker)
Paprika	0	17-21	88	2 (energie)
Komkommer	0	18-20	87-89	2 (energie)
Roos	135	19	80	2 (donker + zon)
Chrysanth	74	18-18.5	88	1 (donker)
Gerbera	60	16-18	85-90	2 (donker + energie)

Voor het buitenklimaat is een Seljaar gecreëerd. Dit betreft klimaatjaar opgebouwd uit een selectie van representatieve perioden uit het buitenklimaat van Bleiswijk tussen 2010 en 2017. De buitenconcentratie van CO₂ is constant 400 ppm verondersteld.

Indien de WKK of de ketel meer warmte produceert dan nodig, dan wordt deze warmte eerst opgeslagen in een buffer van 120 (onbelichte bedrijven) tot 200 (belichte bedrijven) m³/ha. Bij een volle warmtebuffer wordt de warmte in de kas gebracht en afgelucht. Dit kan dus voor extra CO₂-verlies zorgen.

1.2.4 Uitgangspunten CO₂ bronnen

De verwarmingsketel produceert uit 1 m³ aardgas 1,8 kg CO₂ en ongeveer 31 MJ warmte.

De WKK produceert uit 1 m³ aardgas 1,8 kg CO₂, ongeveer 15,5 MJ warmte en 3,6 kWh elektriciteit.

De capaciteit van de WKK is afgestemd op de benodigde doseercapaciteit, dus bij een doseercapaciteit van 100 kg/ha.uur is de elektrische capaciteit van de WKK 20 W_e/m² en bij een doseercapaciteit van 300 kg/ha.uur is de elektrische capaciteit van de WKK 58 W_e/m². De WKK draait als er vraag is naar warmte, naar elektriciteit voor belichting of naar CO₂. Aangezien de meeste WKK's in de praktijk tussen 35 en 50 W_e/m² hebben, zijn de gehanteerde capaciteiten in de modelberekeningen dus vooral hypothetisch. Als echter zou zijn uitgegaan van een vaste capaciteit van bijvoorbeeld 40 W_e/m², dan zou bij de cases met een 300 kg/ha.uur doseercapaciteit de ketel geregeld moeten bijspringen, waardoor geen zuiver onderscheid zou kunnen worden gemaakt tussen zomerstook door WKK en zomerstook door ketel. Bij een 100 kg/ha.uur doseercapaciteit zou een grotere WKK tijdens de belichte uren meer CO₂ doseren, waardoor de zomerstook lager zou worden.

Bij de helft van de simulaties met ingekochte CO₂ (bij een streefwaarde van 1000 ppm) is uitgegaan van verwarming met een ketel. Bij de andere helft (bij een streefwaarde van 700 ppm) is uitgegaan van een WKK als primaire warmtebron. Deze simulaties met ingekochte CO₂ dienen als referenties voor de simulaties zonder ingekochte CO₂ met verwarmingsketel of met drie WKK-capaciteiten.

1.2.5 Verwerking van de resultaten

Van de resultaten, die uitgebreid zijn weergegeven in Bijlage 2, is voor elk gewas en iedere CO₂-bron de meest waarschijnlijke optie geselecteerd voor wat betreft de streefwaarde en de doseercapaciteit. Bij deze selectie is aangenomen dat de telers streven naar winstoptimalisatie en niet meer CO₂ willen doseren dan economisch rendabel. De selectie heeft plaatsgevonden door de kosten en opbrengsten bij de verschillende opties met elkaar te vergelijken. De meest bepalende factoren van kosten en opbrengsten zijn het gasverbruik, de elektriciteitsinkoop of verkoop en de productie. De productie is berekend op basis van de hoeveelheid CO₂ die door het gewas wordt opgenomen. Voor de waarde van de meerproductie door CO₂ is een schatting gemaakt van de omzet die in de zomerperiode wordt gerealiseerd, en de meerkosten (arbeid en afzetkosten) die gepaard gaan met een hogere productie.

Hierbij zijn de prijzen gehanteerd zoals genoemd in Tabel 2.

Tabel 2

Uitgangspunten voor de bepaling van de meest waarschijnlijke optie.

Factor	Prijs	Eenheid
Aardgas	0,20	€/m ²
Elektriciteit	0.04	€/kWh
Omzet min kosten tomaat	25	€/m ² .jaar
Omzet min kosten roos	50	€/m ² .jaar
Omzet min kosten chrysant	30	€/m ² .jaar
Omzet min kosten paprika	25	€/m ² .jaar
Omzet min kosten Gerbera	25	€/m ² .jaar
Omzet min kosten komkommer	25	€/m ² .jaar

2 Resultaten

2.1 Voorbeeld tomaat

Voor tomaat zijn de resultaten uit de simulaties weergegeven in Tabel 3. Voor de overige gewassen staan deze op dezelfde wijze in Bijlage 2. Hieruit vallen de volgende punten op:

1. Bij dosering met de ketel of met de WKK wordt een lagere CO₂-concentratie bereikt en meer CO₂ gedoseerd dan met ingekochte CO₂. Dit wordt veroorzaakt door het afluchten van de overbodige warmte. Indien de warmte op een andere manier zou kunnen worden afgevoerd (vernietigd) dan zou dit gemiddeld overdag een 10 ppm hogere CO₂ concentratie geven bij 2 kg/m².jaar minder CO₂-dosering.
2. Bij gelijke streefwaarden en doseercapaciteiten is de zomerstook bij een WKK kleiner dan bij een ketel. Dat wordt mede veroorzaakt doordat de WKK meer CO₂ produceert bij ieder MJ warmteproductie. Bovendien hoeft er tijdens dagen met zomerstook minder warmte te worden afgelucht waardoor de streefwaarde eerder wordt bereikt dan met een ketel. Bovendien is het gasverbruik voor zomerstook slechts voor 58% meegenomen, omdat het energieverbruik voor elektriciteitslevering door de WKK niet wordt geteld als zomerstook (zie definitie in paragraaf 1.2.1). Doordat het bij een WKK eerder rendabel is om een hogere streefwaarde en doseercapaciteit aan te houden, zullen bedrijven met een WKK wel geneigd zijn om meer zomerstook te genereren.
3. Bij 300 kg/ha.uur doseercapaciteit kan de zomerstook bij belichte tomaat oplopen tot 38,1 m³/m².jaar bij een ketel en tot 29,3 m³/m².jaar bij een WKK.
4. De hoeveelheid opgenomen CO₂ (CO₂ opn. in kg/m²) is bij hoge doseringen slechts een klein deel van de hoeveelheid gedoseerde CO₂.

Als meest waarschijnlijke opties is berekend (niet in Tabel opgenomen) dat met een ketel 700 ppm en 100 kg/ha.uur moet worden nagestreefd, en met een WKK 1000 ppm en 200 kg/ha.uur. Deze opties zijn geel gearceerd. Hierbij dient te worden aangetekend dat de nagestreefde CO₂-concentraties van 700 of 1000 ppm jaarrond hetzelfde blijven. Indien in de winterperiode bij de simulaties met een streefconcentratie van 700 naar 1000 ppm wordt opgevoerd, dan zou dat tot een hogere productie kunnen leiden zonder dat de zomerstook daardoor wordt verhoogd. Met dat uitgangspunt zouden de simulaties met streefwaarde 700 ppm vaker positief uit kunnen vallen.

Tabel 3

Simulaties voor belichte tomaat.

Bron	Streef- waarde ppm	Doseer- cap. kg/ha.uur	CO ₂ dosering kg/m ²	ketelgas m ³ /m ²	WKKgas m ³ /m ²	Elektra inkoop kWh/m ²	CO ₂ opn. kg/m ²	CO ₂ conc. ppm	Zomer- stook m ³ /m ²	Verschil elektra kWh/m ²
Tomaat										
inkoop	1000	100	55.9	24.9		331	11.9	763		
inkoop	1000	200	84.2	24.9		331	12.6	889		
inkoop	1000	300	98.6	24.9		331	12.8	929		
inkoop	700	100	44.4	8.3	33.1	205	11.7	637		
inkoop	700	200	57.7	0.9	51.2	136	12.2	670		
inkoop	700	300	63.9	0.1	63.6	89	12.3	680		
ketel	1000	100	56.8	34.6		332	11.8	743	9.7	
ketel	1000	200	88.6	50.8		332	12.4	853	25.9	
ketel	1000	300	110.4	63.0		333	12.6	888	38.1	
ketel	700	100	45.3	31.7		332	11.7	631	6.8	
ketel	700	200	61.5	39.9		332	12.0	665	15.0	
ketel	700	300	72.9	46.0		333	12.2	683	21.1	
WKK	1000	100	57.0	8.2	37.5	190	11.9	746	2.5	-15
WKK	1000	200	90.2	3.8	63.7	92	12.5	868	8.9	-44
WKK	1000	300	108.7	7.2	85.8	9	12.7	903	17.0	-80
WKK	700	100	45.6	7.9	37.5	190	11.7	634	2.3	-15
WKK	700	200	61.2	3.0	61.1	101	12.1	666	7.0	-35
WKK	700	300	71.1	6.4	77.9	38	12.2	678	12.0	-51

2.2 Meest waarschijnlijke opties

De meest waarschijnlijke opties voor alle gewassen zijn weergegeven in Tabel 4. Hieruit blijkt dat bij de ketel als CO₂ bron het optimum telkens ligt bij een streefwaarde van 700 ppm en een doseercapaciteit van 100 kg/ha.uur. Bij de WKK als CO₂ bron ligt het optimum veelal bij een streefwaarde van 1000 ppm en een doseercapaciteit van 200 kg/ha.uur, met uitzondering van chrysant (700 ppm en 200 kg/ha.uur). Een doseercapaciteit van 300 kg/ha.uur geeft met de gehanteerde uitgangspunten bij geen enkel gewas een optimaal bedrijfsresultaat. Dat zou wel het geval zijn als de elektriciteitsprijs hoger of een gasprijs lager zou zijn gesteld.

De zomerstook met ketel varieert van 4 m³/m² bij komkommer tot 9.5 m³/m² bij Gerbera. De relatief lage zomerstook bij komkommer kan worden verklaard door de teeltwisselingen tijdens de zomer, waarbij tijdelijk minder CO₂ nodig is, en door de ingestelde hoge dode zone van 4°C, waardoor bij oplopende temperatuur minder snel wordt gelucht. De relatief hoge zomerstook bij Gerbera kan worden verklaard door het lage temperatuur die wordt nagestreefd. Hierdoor wordt minder gestookt voor verwarming en sneller gelucht.

In Tabel 4 zijn ook twee kolommen opgenomen met daarin de hoeveelheid door het gewas opgenomen CO₂ en het percentage van de gedoseerde hoeveelheid CO₂ dat door het gewas is opgenomen. Duidelijk is te zien dat bij de zwaar belichte gewassen tomaat en roos veel meer CO₂ wordt vastgelegd dan bij de onbelichte gewassen paprika en komkommer. Verder blijkt het percentage opgenomen dosering vooral afhankelijk te zijn van de streefwaarde en de doseercapaciteit. Bij een doseercapaciteit van 100 kg/ha.uur en een streefwaarde van 700 ppm blijkt het gedeelte gedoseerde CO₂ dat door het gewas wordt opgenomen, 21% tot 27% te zijn. Bij een doseercapaciteit van 200 kg/ha.uur en een streefwaarde van 1000 ppm is dat percentage al een stuk lager, namelijk 11% tot 14%.

Tabel 4

Berekende zomerstook, elektriciteitsinkoop en percentage opgenomen CO₂ voor de meest waarschijnlijke opties.

	CO ₂ -bron	Streef-	Doseer-	Gasverbruik	Inkoop	Doserings	Opgenomen		Zomerstook
		waarde	capaciteit				doserings	%	
		ppm	kg/ha.uur	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	%	m ³ /m ²
Tomaat	ketel	700	100	31.7	332	45	12	26%	6.8
Tomaat	WKK	1000	200	67.5	92	90	12	14%	8.9
Roos	ketel	700	100	35.6	633	57	14	25%	7.3
Roos	WKK	1000	200	75.8	369	113	15	14%	6.7
Chrysant	ketel	700	100	34.7	121	33	9	27%	6.9
Chrysant	WKK	700	200	65.9	-102	46	9	20%	9.1
Paprika	ketel	700	100	32.5	5	25	6	23%	4.6
Paprika	WKK	1000	200	61.9	-206	50	7	13%	7.1
Gerbera	ketel	700	100	35.5	142	40	8	21%	9.5
Gerbera	WKK	1000	200	69.5	-94	81	9	11%	11.9
Komkommer	ketel	700	100	32.0	5	24	6	25%	4.0
Komkommer	WKK	1000	200	62.0	-175	47	7	14%	7.1

2.3 Invloed van Het Nieuwe Telen

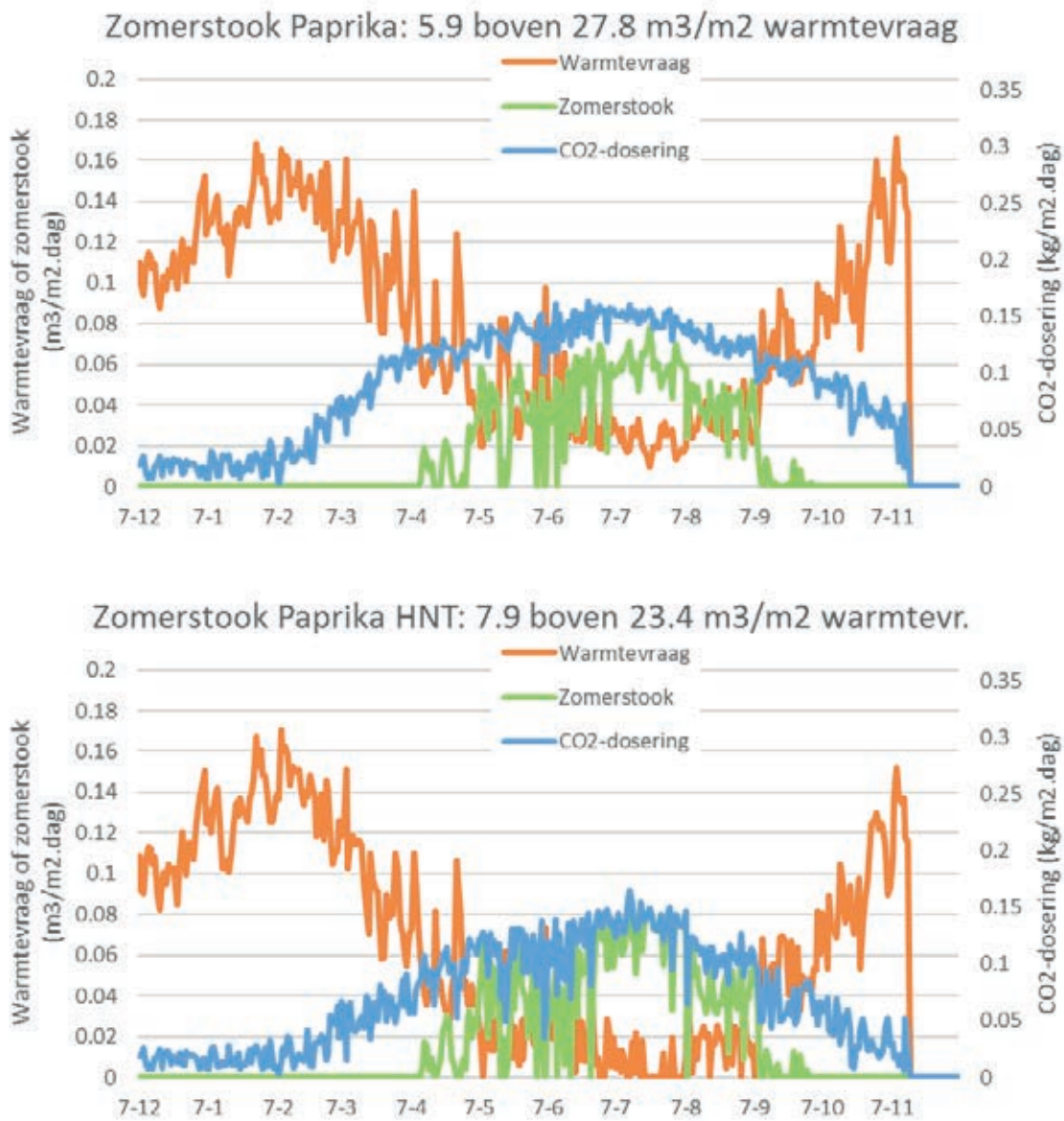
Voor het gewas Paprika is een extra serie simulaties gemaakt, waarbij het klimaatregime meer is toegespitst op Het Nieuwe Telen. De belangrijkste elementen daarin zijn:

Vochtrekening op basis van het inblazen van maximaal 5 m³/m² buitenlucht. Deze buitenlucht wordt via een warmtewisselaar met een rendement van 80% opgewarmd door de afgezogen kaslucht.

Doordat het met het inblazen van buitenlucht mogelijk is om de luchtvochtigheid beter te beheersen is het setpoint RV verhoogd van 88% naar 90% en wordt er geen minimum buistemperatuur, maar wel een schermkier op vocht aangehouden.

De bandbreedte voor temperatuurintegratie is verhoogd van 2°C naar 3°C.

Uit deze simulaties is gebleken dat bij Paprika met dosering vanuit de ketel (1000 ppm streefwaarde en 100 kg/ha.uur) de warmtevraag door HNT wordt verlaagd van 27,8 naar 23,4 m³/m².jaar aardgasequivalenten. Doordat met HNT minder CO₂ wordt afgelucht, daalt de CO₂-doserings van 31,7 naar 24,3 kg/ha.uur. Ondanks de verlaging van de CO₂ vraag zorgt de sterkere verlaging van de warmtevraag voor een hogere zomerstook van 5,9 naar 7,9 m³/m² (zie Figuur 1).



Figuur 1 Gasverbruik (bij ketelgas, 100 kg/ha.uur dosering, 1000 ppm streefwaarde) en CO₂-dosering bij Paprika regulier (boven) en Paprika met HNT (onder), en de hieruit voortvloeiende zomerstook (m³/m² aardgas).

3 Discussie en conclusies

3.1 Discussie

Het bepalen van de hoeveelheid zomerstook hangt sterk af van de gehanteerde uitgangspunten. Met name de hoeveelheid warmte die werkelijk nodig is voor het gewas is niet objectief vast te stellen. In proeven zijn chrysanten, paprika's, tomaten en komkommers geteeld met minder dan $15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aardgas terwijl die waarden in de praktijk veel hoger liggen. In deze studie is zo dicht mogelijk bij de praktijkverbruiken gebleven, al is niet altijd duidelijk of de hierbij geproduceerde hoeveelheid warmte echt nodig is voor de productiviteit of de kwaliteit van het gewas, een verzekeringspremie is tegen ziekten, of een bijkomstigheid is bij het verstoken van aardgas voor de CO_2 -dosering.

De simulaties zijn uitgevoerd voor de situaties met alleen een ketel of alleen een WKK of alleen ingekochte CO_2 als CO_2 -bron. In de praktijk komen vooral combinaties van verschillende bronnen voor. Voor bedrijven die naast het doseren vanuit een WKK of ketel ook externe CO_2 inkopen, zal de zomerstook lager zijn dan in deze studie berekend.

In deze studie is bij dosering vanuit een WKK ervan uitgegaan dat de WKK precies groot genoeg is om in de gehele CO_2 -behoefte te voorzien. Dat betekent dat bij die simulaties de warmtevoorziening en elektriciteitsproductie sterk worden beïnvloed door de maximale CO_2 -doseercapaciteit. Hiermee dient bij de interpretatie van de resultaten rekening te worden gehouden. Aangezien in de praktijk de WKK-capaciteit veelal rond $40\text{-}50 \text{ W}_e/\text{m}^2$ ligt, zal bij situaties waarin de WKK de enige CO_2 -bron is, en bij een elektrisch rendement van 39% tot 42%, de doseercapaciteit tussen 190 en 260 $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{uur}$ liggen. De meest waarschijnlijke optie voor alle in dit rapport berekende gewassen met WKK (200 $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{uur}$), ligt in dit gebied.

3.2 Conclusies

Simulaties voor zes gewassen die tezamen 50% van het Nederlandse areaal omvatten, laten zien dat de zomerstook tussen 4 en $9,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$ ligt, als de ketel de enige CO_2 bron is. Bij een WKK als enige CO_2 -bron ligt de zomerstook tussen 6,7 en $11,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{jaar}$. Bij de berekeningen voor bedrijven met een WKK is de energie-inhoud van de elektriciteit die tijdens zomerstook wordt opgewekt, niet bij de zomerstook meegerekend.

Doordat CO_2 uit een WKK met de gestelde uitgangspunten voordeliger is dan uit een ketel, ligt de optimale doseercapaciteit ook hoger. Met deze uitgangspunten is het niet rendabel om tot 300 $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{uur}$ te doseren.

Bij de simulaties is ervan uitgegaan dat de warmte die wordt gegeneerd door zomerstook, wordt afgelucht via de luchtramen. Hierdoor is bij een doseercapaciteit van 100 tot 200 $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{uur}$ 2 $\text{kg}/\text{ha}\cdot\text{jaar}$ extra dosering nodig en ontstaat alsnog een ± 10 ppm lagere CO_2 -concentratie dan als de warmte uit zomerstook wordt 'vernietigd' door bijvoorbeeld een koeltoren.

Met Het Nieuwe Telen, worden zowel de warmtevraag als de CO_2 vraag verlaagd. Per saldo levert dit een stijging van de zomerstook op.

Bijlage 1 Instellingen roos belicht

CO₂Out: 400
Pketel: 150
Ketelverlies: 0
TrookgasKetel: 140
WKKoperationMode: openbaarNet
Buffervolume: 200
AlsBufVol: afluchten
StookTemp: 19#19
StookTempTijdstip: 18#07
DodeZone: 0.5

Vocht

SpVocht: 85#78
SpVochtTijdstip: 18#23
PBandVocht: (0,#20);(10,#10)
Vochtmetbuis: (80,18);(85,25);(88,35)
VochtmetbuisOp: low

Temperatuurintegratie

Bandbreedte: 1
IntegratiePeriode: 24
maxGraaduren: 20

Buizen

MinBuisLow: 30
MinBuisUpp: 0
MinBuisBeg: 0
MinBuisEnd: 300
T2ndAcc: 37
Fogging: 0
Lampvermogen: 135
MaxIGlob: {01-10}#400#300#{15-03}#300#50#{15-09}#300#200
MaxLichtsom: 1500
UitPerEtmaal: {15-09}#4#{15-03}#6
BlokUitBegin: {01-11}#18#{01-12}#17#{01-02}#18#{01-03}#19#{15-03}#20

Scherm1

ScreenInUse1: 1
Screensystem¹: Energie-en-Schaduwscherm
Screentype1: XLSObscura
MaxToutScreen1: 12
ScrCloseBelow1: (-20#150);(0#40);(12#1)#
ChinkOnTempExc1: (2#5);#(5#10)##
ChinkOnHumExc1: (0,1);(2,2);(5,5)

Scherm2

ScreenInUse2: 1
Screensystem²: Schaduwscherm
Screentype2: COLS30Harmony
ScrCloseAbove2: (600,90)
Krijtfactor: {01-01}#0#{01-04}#0.3#{01-09}#0
Koeling: none

Bijlage 2 Resultaten per gewas

In onderstaande Tabel zijn de resultaten van 72 simulaties weergegeven. Voor ieder gewas is bij verschillende streefwaarden en doseercapaciteiten berekend hoeveel zomerstook nodig is ten opzichte van de situaties met inkoop van CO₂ (inkoop). Bij ingekochte CO₂ en een streefwaarde van 1000 ppm is uitgegaan van een warmtevoorziening met een ketel. Het hierbij gesimuleerde gasverbruik dient als referentie voor de situaties waarbij de ketel de CO₂-bron is. Bij ingekochte CO₂ en een streefwaarde van 700 ppm is uitgegaan van een warmtevoorziening met een WKK en een ketel. Het hierbij gesimuleerde gasverbruik dient als referentie voor de situaties waarbij de WKK de CO₂-bron is.

Naast het gasverbruik en de zomerstook zijn ook de gerealiseerde CO₂-dosering en CO₂-concentratie, de hoeveelheid ingekochte elektriciteit en het verschil in elektriciteitsinkoop ten opzichte van de referentie weergegeven.

Bron	Streef- waarde ppm	Doseer- cap. kg/ha.uur	CO ₂ dosering kg/m ²	ketelgas m ³ /m ²	WKKgas m ³ /m ²	Elektra inkoop kWh/m ²	CO ₂ opn. kg/m ²	CO ₂ conc. ppm	Zomer- stook m ³ /m ²	Vershil elektra kWh/m ²
Tomaat										
inkoop	1000	100	55.9	24.9	0.0	331	11.9	763		
inkoop	1000	200	84.2	24.9	0.0	331	12.6	889		
inkoop	1000	300	98.6	24.9	0.0	331	12.8	929		
inkoop	700	100	44.4	8.3	33.1	205	11.7	637		
inkoop	700	200	57.7	0.9	51.2	136	12.2	670		
inkoop	700	300	63.9	0.1	63.6	89	12.3	680		
ketel	1000	100	56.8	34.6	0.0	332	11.8	743	9.7	
ketel	1000	200	88.6	50.8	0.0	332	12.4	853	25.9	
ketel	1000	300	110.4	63.0	0.0	333	12.6	888	38.1	
ketel	700	100	45.3	31.7	0.0	332	11.7	631	6.8	
ketel	700	200	61.5	39.9	0.0	332	12.0	665	15.0	
ketel	700	300	72.9	46.0	0.0	333	12.2	683	21.1	
WKK	1000	100	57.0	8.2	37.5	190	11.9	746	2.5	-15
WKK	1000	200	90.2	3.8	63.7	92	12.5	868	8.9	-44
WKK	1000	300	108.7	7.2	85.8	9	12.7	903	17.0	-80
WKK	700	100	45.6	7.9	37.5	190	11.7	634	2.3	-15
WKK	700	200	61.2	3.0	61.1	101	12.1	666	7.0	-35
WKK	700	300	71.1	6.4	77.9	38	12.2	678	12.0	-51

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Vershil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Roos										
inkoop	1000	100	66.5	28.3	0.0	632	14.6	722		
inkoop	1000	200	106.1	28.3	0.0	632	15.4	886		
inkoop	1000	300	125.4	28.3	0.0	632	15.7	938		
inkoop	700	100	56.2	9.2	38.4	486	14.4	638		
inkoop	700	200	75.0	2.3	62.1	396	14.8	679		
inkoop	700	300	86.8	0.6	84.9	310	14.8	692		
ketel	1000	100	66.8	39.1	0.0	633	14.5	703	10.8	
ketel	1000	200	115.0	65.0	0.0	635	15.0	823	36.6	
ketel	1000	300	152.3	85.8	0.0	636	15.1	867	57.5	
ketel	700	100	56.8	35.6	0.0	633	14.3	630	7.3	
ketel	700	200	79.8	47.0	0.0	634	14.6	671	18.7	
ketel	700	300	95.8	55.5	0.0	634	14.7	693	27.3	
WKK	1000	100	66.9	8.4	42.1	474	14.6	705	1.7	-12
WKK	1000	200	113.0	5.6	70.3	369	15.3	859	6.7	-27
WKK	1000	300	146.5	7.6	102.1	250	15.4	902	14.0	-60
WKK	700	100	57.4	8.2	42.2	474	14.4	634	1.7	-13
WKK	700	200	78.8	4.1	69.1	373	14.7	675	5.1	-23
WKK	700	300	95.6	6.2	97.9	264	14.7	687	10.8	-46
Chrystant										
inkoop	1000	100	41.1	27.8	0.0	121	9.0	805		
inkoop	1000	200	62.4	27.8	0.0	121	9.7	920		
inkoop	1000	300	74.0	27.8	0.0	121	10.0	958		
inkoop	700	100	32.8	13.7	27.9	15	8.9	655		
inkoop	700	200	43.7	6.3	43.9	-46	9.3	687		
inkoop	700	300	48.7	3.2	52.3	-78	9.5	695		
ketel	1000	100	41.8	36.6	0.0	121	8.9	791	8.8	
ketel	1000	200	64.9	47.9	0.0	122	9.4	891	20.1	
ketel	1000	300	81.9	57.0	0.0	123	9.7	926	29.2	
ketel	700	100	33.1	34.7	0.0	121	8.8	650	6.9	
ketel	700	200	45.9	41.3	0.0	122	9.2	683	13.5	
ketel	700	300	54.0	45.7	0.0	122	9.3	699	17.8	
WKK	1000	100	42.1	13.1	35.5	-13	9.0	791	4.0	-27
WKK	1000	200	66.5	7.6	60.6	-107	9.5	900	10.5	-61
WKK	1000	300	82.9	8.3	74.5	-159	9.8	936	15.9	-81
WKK	700	100	33.6	12.9	35.5	-13	8.8	651	3.9	-27
WKK	700	200	46.4	6.7	59.2	-102	9.2	683	9.1	-56
WKK	700	300	54.4	8.0	67.9	-134	9.4	694	11.9	-57

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Vershil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Paprika										
inkoop	1000	100	31.5	27.8	0.0	5	6.2	829		
inkoop	1000	200	48.1	27.8	0.0	5	7.0	924		
inkoop	1000	300	57.3	27.8	0.0	5	7.4	955		
inkoop	700	100	25.1	13.3	28.7	-104	5.9	657		
inkoop	700	200	33.2	5.2	44.4	-164	6.4	682		
inkoop	700	300	36.3	0.9	52.9	-196	6.5	689		
ketel	1000	100	31.7	33.8	0.0	5	6.1	822	5.9	
ketel	1000	200	49.8	42.6	0.0	6	6.6	905	14.8	
ketel	1000	300	64.4	50.6	0.0	6	6.8	937	22.8	
ketel	700	100	25.3	32.5	0.0	5	5.8	655	4.6	
ketel	700	200	35.4	37.7	0.0	6	6.2	684	9.8	
ketel	700	300	42.1	41.2	0.0	6	6.2	700	13.4	
WKK	1000	100	32.1	11.3	36.0	-131	6.1	820	3.0	-26
WKK	1000	200	50.4	6.0	55.9	-206	6.8	910	7.1	-42
WKK	1000	300	62.3	6.8	65.1	-240	7.0	941	10.5	-44
WKK	700	100	25.5	11.2	35.7	-130	5.9	655	2.9	-26
WKK	700	200	35.0	6.4	52.5	-193	6.3	680	5.3	-29
WKK	700	300	41.0	6.2	59.8	-220	6.4	694	7.0	-24
Gerbera										
inkoop	1000	100	46.9	26.0	0.0	141	8.7	732		
inkoop	1000	200	77.6	26.0	0.0	141	9.2	864		
inkoop	1000	300	97.8	26.0	0.0	141	9.5	921		
inkoop	700	100	39.7	12.0	28.9	31	8.6	629		
inkoop	700	200	57.6	4.8	44.2	-27	9.0	673		
inkoop	700	300	67.0	2.2	51.7	-55	9.2	688		
ketel	1000	100	47.2	36.9	0.0	142	8.5	718	10.9	
ketel	1000	200	80.4	52.3	0.0	143	8.9	829	26.3	
ketel	1000	300	106.5	66.1	0.0	144	9.0	877	40.1	
ketel	700	100	40.3	35.5	0.0	142	8.4	622	9.5	
ketel	700	200	61.3	46.1	0.0	143	8.7	667	20.1	
ketel	700	300	75.8	53.9	0.0	143	8.8	690	27.9	
WKK	1000	100	47.6	11.5	36.1	6	8.6	722	3.9	-26
WKK	1000	200	80.7	6.9	62.6	-94	9.0	843	11.9	-67
WKK	1000	300	106.0	7.5	81.2	-164	9.2	889	20.2	-108
WKK	700	100	40.4	11.4	36.1	5	8.5	625	3.9	-26
WKK	700	200	60.8	6.8	61.0	-88	8.8	667	10.9	-61
WKK	700	300	75.0	8.3	75.8	-144	8.9	683	17.5	-88

Bron	Streef- waarde	Doseer- cap.	CO ₂ dosering	ketelgas	WKKgas	Elektra inkoop	CO ₂ opn.	CO ₂ conc.	Zomer- stook	Vershil elektra
	ppm	kg/ha.uur	kg/m ²	m ³ /m ²	m ³ /m ²	kWh/m ²	kg/m ²	ppm	m ³ /m ²	kWh/m ²
Komkommer										
inkoop	1000	100	29.5	27.9	0.0	4	6.2	814		
inkoop	1000	200	44.8	27.9	0.0	4	6.8	902		
inkoop	1000	300	52.1	27.9	0.0	4	7.0	930		
inkoop	700	100	23.3	12.7	29.3	-89	6.1	637		
inkoop	700	200	30.0	4.5	45.2	-139	6.4	661		
inkoop	700	300	32.0	1.6	50.7	-157	6.5	668		
ketel	1000	100	29.9	33.3	0.0	5	6.1	810	5.3	
ketel	1000	200	46.2	41.0	0.0	5	6.6	898	13.1	
ketel	1000	300	56.2	46.5	0.0	6	6.8	930	18.6	
ketel	700	100	23.6	32.0	0.0	5	6.0	638	4.0	
ketel	700	200	31.3	35.8	0.0	5	6.3	668	7.8	
ketel	700	300	35.3	37.8	0.0	5	6.4	685	9.8	
WKK	1000	100	30.2	9.6	38.8	-118	6.1	806	3.7	-29
WKK	1000	200	46.9	4.8	57.2	-175	6.7	895	7.1	-36
WKK	1000	300	56.3	6.1	65.6	-201	6.8	926	11.2	-45
WKK	700	100	23.9	9.8	38.7	-117	6.0	635	3.8	-29
WKK	700	200	31.4	6.3	52.2	-160	6.3	662	5.1	-21
WKK	700	300	35.5	6.4	58.1	-178	6.4	677	7.0	-22
PaprikaHNT										
inkoop	1000	100	23.0	23.4	0.0	5	6.2	869		
inkoop	1000	200	34.9	23.4	0.0	5	6.9	937		
inkoop	1000	300	42.1	23.4	0.0	5	7.2	960		
inkoop	700	100	18.6	11.2	24.2	-87	5.8	667		
inkoop	700	200	25.2	3.9	38.5	-141	6.2	686		
inkoop	700	300	28.1	0.6	44.9	-165	6.3	692		
ketel	1000	100	24.3	31.3	0.0	6	6.0	856	7.9	
ketel	1000	200	40.9	40.0	0.0	6	6.5	909	16.6	
ketel	1000	300	56.0	48.3	0.0	7	6.6	936	24.9	
ketel	700	100	19.4	29.4	0.0	6	5.7	662	6.0	
ketel	700	200	29.3	34.7	0.0	6	6.0	686	11.4	
ketel	700	300	37.2	39.0	0.0	6	6.1	701	15.6	
WKK	1000	100	23.9	9.2	34.7	-125	6.1	858	4.9	-39
WKK	1000	200	39.0	5.6	52.1	-191	6.6	917	8.8	-50
WKK	1000	300	53.3	6.3	61.4	-226	6.9	942	12.8	-60
WKK	700	100	19.2	9.1	34.4	-124	5.8	663	4.7	-38
WKK	700	200	28.6	5.5	48.7	-178	6.1	683	6.8	-37
WKK	700	300	34.9	5.2	55.9	-206	6.2	698	9.1	-40

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



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

Rapport WPR-887

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, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten 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.