



Gezonder binnenklimaat door planten

Eindrapport TKI-PPS-project TU-2018-003

Pieter de Visser en Johan Steenhuizen

Rapport WPR-1073



Referaat

Het doel van dit onderzoek was de ontwikkeling van een luchtzuiverend plantensysteem, dat op maat gemaakt kon worden voor een specifieke ruimte. Het onderzoek richtte zich op formaldehyde in interactie met plant en kamerobjecten. Op basis van metingen en berekeningen bleek de zuivering door planten op schaal van kamers beperkt meetbaar. In de niet geventileerde kantoorkamer had de zuivering door 10 kleine planten per m² een aandeel van ca. 7-9% in de formaldehyde afname in de eerste 15 minuten. De metingen daarna werden verstoord door processen als tijdelijke adsorptie aan vloerbedekking, muren en plafond, en vooral lekverlies via kieren. Deze processen verstoorde de gebruikte indirecte bepaling van het luchtzuiverend effect van de planten, maar een directe meting is momenteel technisch niet mogelijk. Volgens de gebruikte meetmethode zuivert een ruime hoeveelheid planten binnen een kwartier de kamerlucht van formaldehyde met enkele procenten.

Abstract

The purpose of this research was to develop a plant system to purify the indoor air, and accommodate it to room conditions. The research focused on formaldehyde in interaction with plants and room objects. The plants that purified air from formaldehyde in the lab did purify the air in rooms to a small extent. In an enclosed room a set of 10 small plants per m² purified 7-9% of the applied formaldehyde within the first 15 minutes. After this period, the contribution of plants to formaldehyde was impossible to measure due to disturbances like adsorption to room surfaces and air leaking. These processes disturbed the used indirect method to determine the air purification in rooms, but a better method is not yet available. The current methodology shows that a high number of plants purifies a few percent of the air from formaldehyde within 15 minutes.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1073

Projectnummer: -3742267200

DOI: <https://doi.org/10.18174/550508>

Thema: Gezondheid/milieu

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdragen van de topsector Tuinbouw & Uitgangsmaterialen, Royal FloraHolland, VDE Plant, Priva, Stimuflori, Rabobank Westland en Stichting De Groene Stad.

Disclaimer

© 2021 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 Achtergrond	7
	1.2 Doelstelling	7
	1.3 Aanpak	8
	1.4 Projectorganisatie	8
2	Methoden	9
	2.1 Metingen formaldehyde en ethanol depletie	9
	2.1.1 Kamerobjecten in meetstolp	9
	2.1.2 Formaldehyde depletie in kamers	9
	2.2 Berekening van de formaldehyde stromen in kamers	11
3	Resultaten	13
	3.1 Lab test van kamer materialen	13
	3.1.1 Depletie formaldehyde in afhankelijkheid van luchtvochtigheid	13
	3.1.2 Depletie formaldehyde bij gebruik van aantal materialen in meetstolp	14
	3.2 Badkamer	16
	3.2.1 Proces van formaldehyde depletie zonder planten	16
	3.2.2 Ethanol depletie zonder planten	17
	3.2.3 Depletie formaldehyde in badkamer met en zonder planten	17
	3.3 Kantoorkamer	19
	3.3.1 Depletie formaldehyde zonder planten	19
	3.3.2 Effect planten in de kamer op afname formaldehyde	19
	3.3.3 Effect ventilatie en deur openen	21
	3.3.4 Ethanol afname in de kamer	22
	3.4 Berekening luchtzuivering in kamers	22
	3.4.1 Geschatte formaldehyde afname door alle kamerobjecten samen	22
4	Discussie en conclusie	25
	4.1 Geschatte formaldehyde-opname door planten en rol van kamerobjecten	25
	4.2 Luchtzuivering door planten in kamers	25
	4.3 Luchtzuivering in kantoor en huis in bredere context	25
	4.4 Conclusies	26
	Literatuur	27

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek was de ontwikkeling van een luchtzuiverend plantensysteem, dat op maat gemaakt kon worden voor een specifieke ruimte. Het onderzoek betrof allereerst de meting van de interactie van de vluchtige organische stof (VOS) formaldehyde met planten en met kamerobjecten in een representatieve kantoorkamer. Deze processen werden op labschaal onderzocht en vervolgens doorgerekend voor de situatie in de kantoorkamer. De concentratie van kunstmatig aangebrachte formaldehyde en ethanol in de kamer werd gemeten met en zonder planten, met de mechanische ventilatie uit en aan, en met gesloten of open deur. De resultaten werden vergeleken met de schattingen vanuit de labmetingen. De gebruikte planten in onze meetstolpen zuiverden de lucht in sterke mate, daarentegen was de zuivering op schaal van kamers klein en door verstoringen vaak moeilijk meetbaar. De metingen gaven aan dat in een niet geventileerde kantoorkamer de luchtzuivering door planten een aandeel van ca. 7-9% hadden in de formaldehyde afname in de eerste 15 minuten, en dat dit aandeel zakte naar ca. 3% in een half uur omdat andere processen een grotere rol gingen spelen in de formaldehyde afname. De zuivering door planten via extrapolatie vanuit de meetstolp metingen komt ook op ca. 3% in een half uur. Dit gold allemaal voor een grote plantbezetting van 10 kleine planten per m². Tijdelijke adsorptie aan vloerbedekking en plafond namen ongeveer 7% van de formaldehyde afname voor hun rekening in het eerste half uur. Bovenop deze 10% door vloerbedekking, plafond en planten samen was er een concentratie afname van 18% (samen 28%) met onbekende oorzaak, waarschijnlijk lekverlies via kieren in deur- en raamlijst, en adsorptie aan de muur. Deze processen waren met ons instrumentarium niet meetbaar. Zowel formaldehyde als ethanol laten een niet-lineaire, steeds minder snel afnemende concentratie zien in de gemeten kamers als ware het een typische verdunning. Indien de kamer geventileerd werd door een mechanisch systeem of door open raam of deur, was de luchtzuiverende werking van planten met gebruikte apparatuur niet tot nauwelijks meetbaar. De conclusie is dat in een geheel met planten gevulde kamer de planten per kwartier enkele procenten van de lucht zuiveren van formaldehyde indien er geen ventilatie plaats vindt. Ventilatie is de meest effectieve manier om vluchtige stoffen uit kamers te verwijderen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Al decennia is bekend dat planten schadelijke stoffen (vluchtige organische stoffen oftewel VOS) uit de lucht kunnen opnemen (Wolverton *et al.* 1984). Inmiddels weten we van tientallen plantensoorten hoe goed ze de lucht zuiveren in een klein compartiment, zoals een cuvet of plantkamer, onder meer door de PPS "Plantkampioen luchtzuivering binnenruimtes" (De Visser en Meinen, 2018). De vraag is hoe goed deze kennis is te extrapoleren naar kantoorruimtes, klaslokalen en huizen. Er zijn slechts een aantal studies die nauwkeurig op kamerniveau het luchtzuiverend effect van planten hebben proberen vast te stellen. Zo hebben Pegas *et al.* (2012) gemeten dat planten in klaslokalen de CO₂-concentratie kunnen verminderen. Daarnaast hebben Wood *et al.* (2006) en Kim *et al.* (2011) in flatgebouwen een licht verband gevonden tussen aanwezigheid van planten en verlaging van VOS-concentraties. Alle studies geven echter aan dat er nog weinig tot niets bekend is over de rol in luchtkwaliteit van kamerdimensies, luchtcirculatie, gasemissies en -adsorptie door kamerobjecten. Een dergelijke studie zou uitgebreide metingen aan luchtbeweging en -verversing moeten doen in een testkamer met daarin voorwerpen met bekende eigenschappen m.b.t. uitwisseling met luchtdeeltjes. Vervolgens zouden de gevonden relaties gevalideerd moeten worden in een 'real life' kamer in de praktijk. Alleen op deze wijze is de luchtzuivering door planten te onderscheiden van de heersende luchtdynamiek zoals ventilatie en de mogelijke VOS-emissie door objecten in die ruimte. Idealiter levert het onderzoek een voorbeeld plantensysteem op, dat de lucht in een kamer daadwerkelijk en meetbaar zuivert.

1.2 Doelstelling

Het probleem is dat de luchtzuiverende werking van planten op de schaal van woonkamers, kantoorruimtes en klaslokalen te weinig is onderbouwd om tot een krachtig advies te komen om planten hiervoor in te zetten (Brilli *et al.* 2018). Met een betere onderbouwing en een advies dat meer op maat is, kan de vergroening van onze woon- en werkomgeving nog beter ingezet worden voor goede luchtkwaliteit. De zorgen van slechte luchtkwaliteit voor de volksgezondheid heeft recentelijk weer volop aandacht gekregen in de maatschappij (WHO, 2018; Eigen Huis Magazine, 2018). Naast gezondheidsaspecten is ook het milieu gediend: indien de planten in een ruimte inderdaad de lucht goed zuiveren, is de noodzaak tot ventilatie minder hetgeen een lager energieverbruik tot gevolg heeft in de winter (warmteverlies door open ramen) en zomer (koeling en verhoogde luchtvochtigheid door planten i.p.v. door een airco).

De dynamiek van meestal betrekkelijk lage concentraties in kamers met een veelheid van objecten, i.c.m. de eventuele assimilatie of uitscheiding door planten is complex. Zo blijkt uit de eerder uitgevoerde PPS Plantkampioen dat de ene VOS wel wordt geassimileerd maar de andere slechts tijdelijk worden geadsorbeerd en zo weer vrij kan komen (De Visser en Meinen, 2018). Daarnaast is in kantoren ook sprake van VOS emissie uit vloeren, muren, kasten en apparatuur. Dergelijke emissies zijn nooit systematisch onderzocht en kunnen met gebruikmaking van nieuwe technieken nu goed worden gemeten.

Het startpunt in ons onderzoek is de reeks eerder uitgevoerde experimenten in klaslokalen (Pegas *et al.* 2012; van Duijn *et al.* 2011) en kantoorgebouwen (Wood *et al.* 2006; Kim *et al.* 2011). Deze studies zijn beschrijvend van aard en kunnen daarmee niet de werking van de plant 1-op-1 in luchtzuivering op kamer/lokaal niveau doorvertalen. Daarom stellen wij voor om een opstelling met luchtzuiverende planten te bouwen en te testen in een testkamer, te optimaliseren en vervolgens te toetsen in een 'real life' situatie in een kantoorpand. De luchtzuivering van de plantenopstelling wordt met behulp van meetapparatuur vastgesteld en bijgesteld/verbeterd. De resultaten worden verwerkt in vereenvoudigde rekenregels die gebruikt kunnen worden door plantleveranciers om de juiste dimensionering van een plantsysteem te bepalen aan de hand van de kamereigenschappen en zuiverend vermogen van de gebruikte plantensoort. Het project levert een plantensysteem op dat de lucht in een kamer daadwerkelijk en meetbaar zuivert.

1.3 Aanpak

Om de rol van planten in het binnenklimaat realistisch in te schatten is het gelijktijdig meten van luchtbewegingen, luchtsamenstelling en plantprocessen nodig. De kamers (kantoorruimten en/of woonruimten) zullen hiervoor eerst fysisch-chemisch in kaart gebracht worden, zodat luchtsnelheden, adsorptie/desorptie aan en emissie door objecten en wanden voorspeld kunnen worden. Als kamer- en plantkenmerken aldus bekend zijn, is een voorspelling of computersimulatie mogelijk van het gedrag van de VOS. Vervolgens is het mogelijk te voorspellen wat het effect van verdubbeling van het plantaantal, of van openen van een raam, is op de VOS-concentratie en op verhoging van de luchtvochtigheid. Indien de planten een effectieve luchtzuivering bieden, kan de stap naar een daadwerkelijk functionerend plantensysteem worden gezet binnen het PPS-consortium. Daarbij is een gezonde leefomgeving het ultieme doel.

De studie heeft plaatsgevonden in 2019 en 2020. Na de opschaling van de meetmethoden uit voormalig PPS-project "plantkampioen luchtzuivering" van meetcuvet naar kamer, worden de tests in kamers in een serie van steeds complexere situaties uitgevoerd. Vervolgens is het voornemen om de resultaten te evalueren i.s.m. PPS "Groene kantoren – is er een business case?".

1.4 Projectorganisatie

De coördinatie en de uitvoering van het onderzoek was in handen van Wageningen Plant Research business unit Glastuinbouw. Air so Pure en VDE Plant leverden plantmateriaal voor de proeven. De projectgroep bestond verder uit vertegenwoordigers van Royal FloraHolland, Priva, Stimuflori, Rabobank Westland en Stichting De Groene Stad. Het project maakte deel uit van het TKI-koepelprogramma 'De Groene Agenda'. Royal FloraHolland verzorgde de communicatie naar de media in afstemming met het programma De Groene Agenda.

2 Methoden

Er zijn met specifieke VOS sensoren concentratiemetingen van gedoseerde ethanol of formaldehyde uitgevoerd in meetstolpen en in kamers voorzien van diverse objecten en/of planten (§2.1). Vervolgens werden de diverse meetresultaten verwerkt om te komen tot een schatting van de stromen van VOS die in een gangbare kantoorruimte te verwachten zijn met of zonder planten (§2.2).

2.1 Metingen formaldehyde en ethanol depletie

Er zijn met specifieke VOS sensoren metingen van depletie (concentratieafname) van gedoseerde ethanol of formaldehyde uitgevoerd in meetstolpen en in kamers voorzien van specifieke objecten en/of planten (§2.1). Hierbij is de opname door planten en de adsorptie aan objecten dus indirect te schatten op basis van de concentratieafname. Een directe meting van opgenomen of geadsorbeerde formaldehyde is momenteel niet mogelijk doordat het bijzonder lage hoeveelheden betreft die onder de detectielimiet liggen van de meetapparatuur (dit betreft zowel de VOS sensoren als hightech gaschromatograaf). Vervolgens werden de diverse meetresultaten verwerkt om te komen tot een schatting van de stromen van VOS die in een gangbare kantoorruimte te verwachten zijn met of zonder planten (§2.2).

2.1.1 Kamerobjecten in meetstolp

De meetstolp was identiek aan de stolp die in de eerdere studies (De Visser & Meinen, 2018) is gebruikt. Zowel planten als onderdelen van de kamer, i.e. vloerbedekking, linoleum en plafondmateriaal, zijn in de stolp getest op adsorptie en emissie van formaldehyde. Daarnaast werden enkele niveaus van luchtvochtigheid aangebracht door middel van verdamping van water op het warmhoudplaatje dat ook voor formaldehyde wordt gebruikt. De sensoren registreerden temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, CO₂, algemene VOS (dus lipofiel en hydrofiel samen) en formaldehyde.

2.1.2 Formaldehyde depletie in kamers

In de kamer studies werd steeds de Air Quality Multimeter (AQMM) ingezet (ontwikkeld door WUR-Tupola), die de luchtkwaliteit logde in tijdstappen van 30 seconden, m.b.t. temperatuur, luchtvochtigheid, straling, CO₂, VOS (metaaloxide sensor) en formaldehyde (DART sensor).

Kamer met gladde wanden:

Er is een badkamer (Foto 1) met dimensies 3.0 x 2.9 x 1.4 (lengte x breedte x hoogte) gebruikt om depletie van formaldehyde met en zonder planten te meten. De geheel betegelde badkamer zal wellicht minder formaldehyde adsorberen aan de wanden, zodat de opname door planten beter te bepalen is. De formaldehyde werd toegediend op twee wijzen: (1) in de badkamer zelf, (2) in de douchecabine van 1 x 1 x 2 m. De tweede wijze werd gebruikt om de lek vast te stellen uit de douchecabine naar de omringende badkamer.

Er is getest met de varenplant *Nephrolepis*: in de badkamer met 36 kleine exemplaren (potmaat 12 cm) en met een groot exemplaar in de douchecabine.



Foto 1 Betegelde badkamer met Nephrolepis planten. In midden is het schaaltje te zien waarin formaldehyde door verdamping werd toegediend, links boven hangt de multimeter waarin sensoren.

Kantoorkamer:

Een gemiddelde kantoorkamer (Foto 2) zonder ramen en ventilatierooster is gebruikt voor depletie van VOS. De ventilatie met in- en afzuigpunt ca. 50 cm onder het plafond werd afgeplakt bij de niet-geventileerde situatie-meting. De gebruikte VOS was ethanol (100%, een lipofiele VOS) dan wel formaldehyde (hydrofiele VOS). De kamer was 3.4 x 2.5 x 3.3 m (lengte x breedte x hoogte), dus met een volume van 27 m³ en een oppervlak van 8.5 m².

Er werden 2 soorten kamerplanten getest: 2 grote Spathiphyllums en 72 middelgrote Clusia's (zie Foto 2). Dit betekende een plantdichtheid van 0.074 resp. 2.67 planten m⁻³ of 0.24 resp. 8.47 planten m⁻².

Testen bestonden uit formaldehyde depletie met en zonder planten, in combinatie met licht aan of uit, met ventilatie aan of uit, of met deur open of dicht. De meting werd gestopt als de formaldehyde concentratie niet verder af nam.



Foto 2 Kantoorkamer met *Clusia* planten. Aan de stellage hangen VOS- en CO₂-sensoren.

2.2 Berekening van de formaldehyde stromen in kamers

De in de meetstolp gevonden waarden voor adsorptie van formaldehyde werden vervolgens gebruikt om de adsorptie en verdwijning van formaldehyde in de kantoorkamer te schatten. De oppervlakken van vloerkleed, linoleumdeel en plafond zijn hiervoor opgemeten. Het oppervlak van de bladeren van de testplanten werd ook bepaald met een Licor-oppervlaktemeter.

Er zijn enkele aannamen gemaakt: (1) de verhouding tussen adsorptie door de diverse objecten is in meetstolp en in kamer hetzelfde per cm² object (dit is logisch), (2) die verhouding is in de eerste 15 minuten van formaldehyde depletie in de meetstolp bepaald en wordt geacht bij lagere concentraties ongewijzigd te blijven, (3) de fractie gezuiverde lucht is in de concentratierange 500-2000 ppb ongeveer hetzelfde, en kan dan van de meetstolp (vaak bij 2000 ppb voor kamermaterialen) ook voor de kamersituatie (vaak 500-700 ppb in de proef) gebruikt worden (4) *Clusia*'s zuiveren vooral in het donker omdat het CAM planten zijn, zodat de proef ook in donker moet plaats vinden.

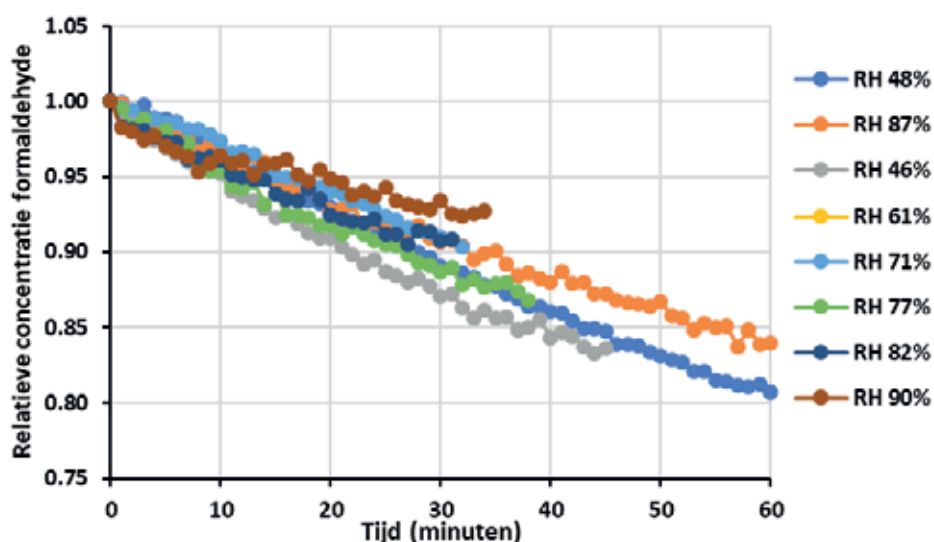
3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de testen in de meetstolp, testen in de badkamer en in de kantoorkamer gerapporteerd. Vervolgens wordt de luchtzuivering door planten in de kantoor situatie nagerekend, en wordt besproken of een plantopstelling ontworpen kan worden die gericht gebruikt wordt voor luchtzuivering.

3.1 Lab test van kamer materialen

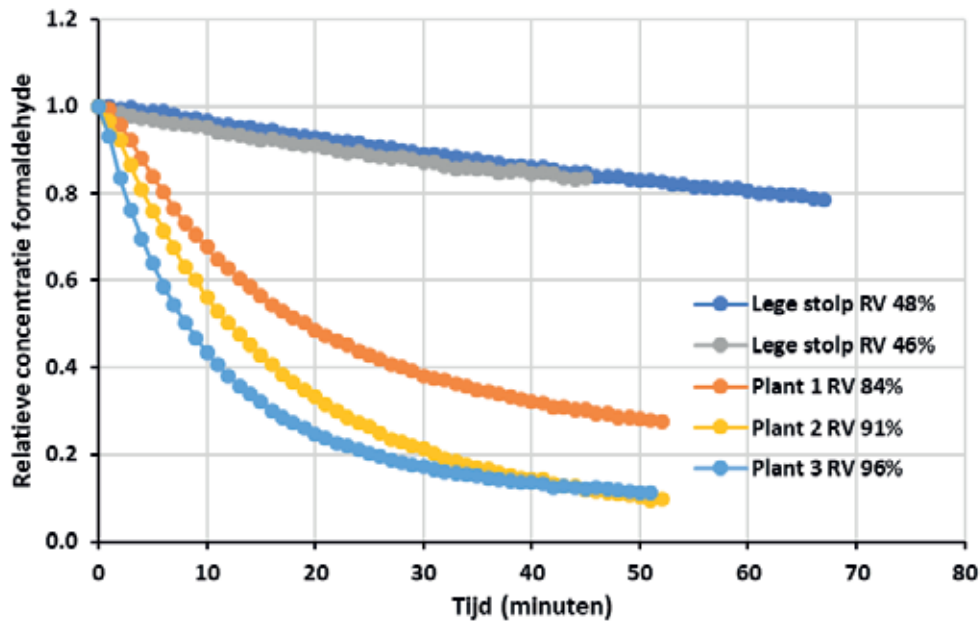
3.1.1 Depletie formaldehyde in afhankelijkheid van luchtvochtigheid

De depletie oftewel afname van de formaldehydeconcentratie in de meetstolp is zonder planten niet afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid (RV of RH) (Figuur 3.1) maar wel met een plant in de stolp (Figuur 3.2). Er is een substantieel verschil gevonden in het bereik van 46 tot 96% (Figuur 3.2). De luchtvochtigheid is daarom bij vervolgprouven ook altijd betrokken in de opname studies van formaldehyde. Bij een eerdere studie naar luchtzuivering door planten werd altijd een RV van 96% aangehouden (De Visser en Meinen, 2018). De aanvangsconcentratie bij de huidige metingen zonder plant was altijd vrij hoog: ca. 2000 ppb.



Figuur 3.1 Afname van formaldehyde concentratie bij diverse relatieve luchtvochtigheden (RH).

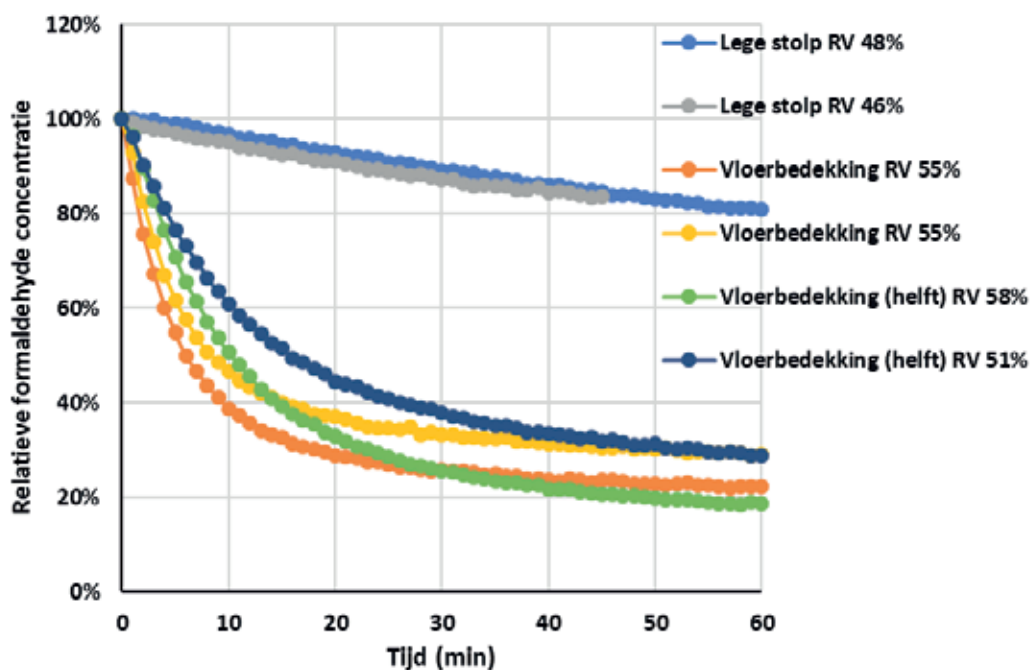
De drie planten laten in de eerste 15 minuten een daling tot 57, 43 en 32% van de aanvangsconcentratie zien voor de luchtvochtigheden 84, 91 en 96% respectievelijk (Figuur 3.2).



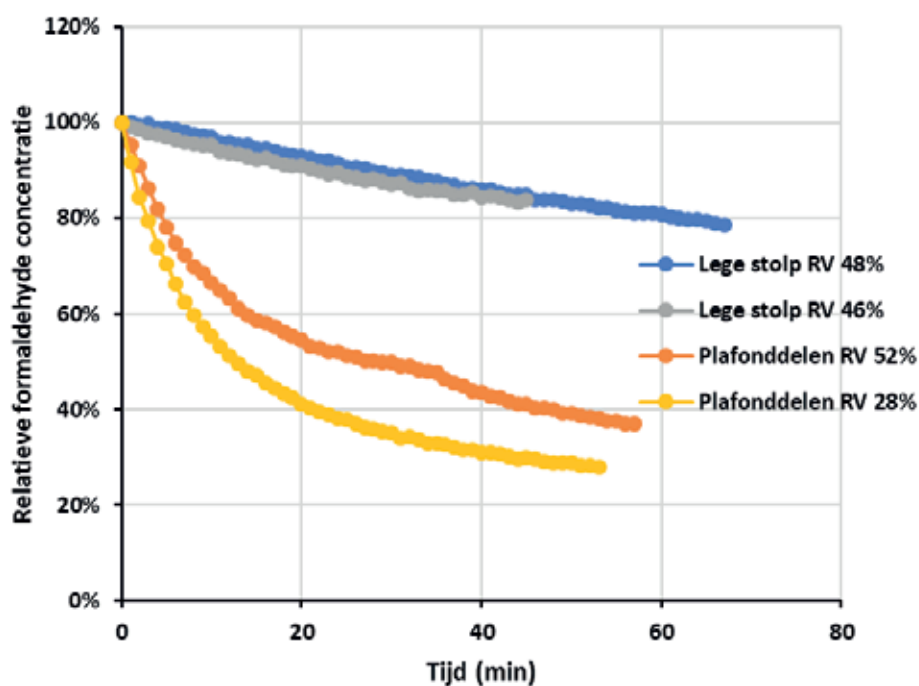
Figuur 3.2 Afname van de formaldehydeconcentratie met en zonder plant, bij diverse relatieve luchtvochtigheden (RV) in de meetstolp.

3.1.2 Depletie formaldehyde bij gebruik van aantal materialen in meetstolp

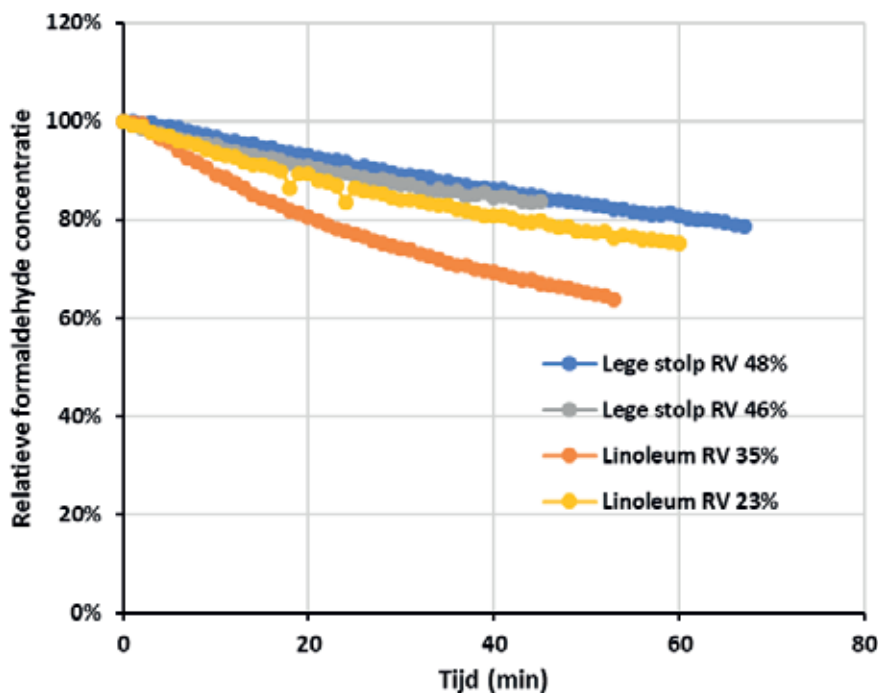
Voor een aantal materialen die in de later onderzochte kantoorkamer aanwezig waren is het effect op formaldehyde depletie onderzocht in de meetstolp. De RV werd beperkt gevarieerd maar bleek bij de opname geen duidelijke rol te spelen. De vloerbedekking (Figuur 3.3) nam ten opzichte van plafondplaat (Figuur 3.4) en linoleum (Figuur 3.5) de meeste formaldehyde op per cm² oppervlak. De afname in de eerste 15 minuten wordt later in dit rapport vergeleken met de prestaties van planten. De formaldehyde neemt af tot gemiddeld over de twee luchtvochtigheden 37.5% en 45% van de aanvangsconcentratie, bij resp. 1200 en 540 cm² vloerbedekking. De lege stolp komt op gemiddeld 93.5% van de aanvangswaarde (Figuur 3.3), en duidt op adsorptie aan glas en sensoren.



Figuur 3.3 Formaldehyde concentratie (relatief t.o.v. beginwaarde) bij stolp wel of niet gevuld met 1200 of 540 (helft) cm² vloerbedekking, bij verschillende luchtvochtigheden (RV).



Figuur 3.4 Formaldehyde concentratie (relatief t.o.v. beginwaarde) bij stolp wel of niet gevuld met 2400 cm² plafondplaat, bij verschillende luchtvochtigheden (RV).

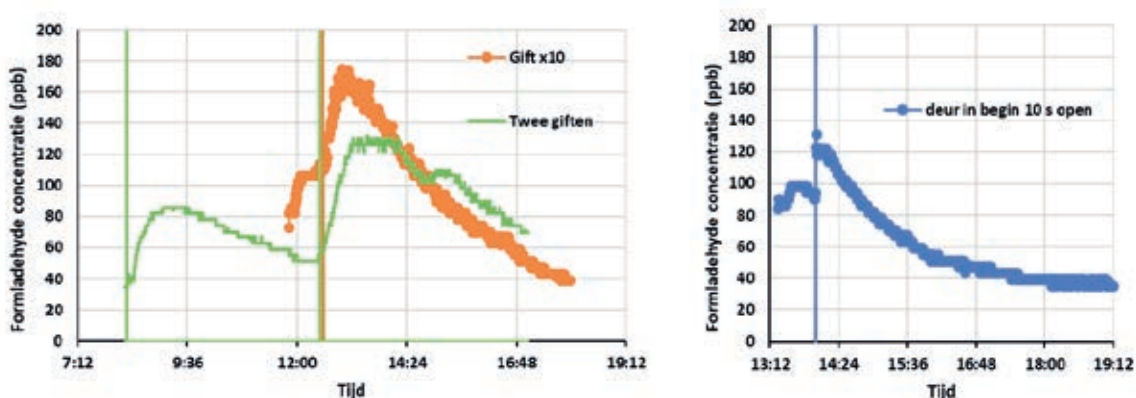


Figuur 3.5 Formaldehyde concentratie (relatief t.o.v. beginwaarde) bij stolp wel of niet gevuld met 1200 cm² linoleum, bij verschillende luchtvochtigheden (RV).

3.2 Badkamer

3.2.1 Proces van formaldehyde depletie zonder planten

Na de formaldehyde toediening in de met tape afgedichte douchecabine lekte de formaldehyde stapsgewijs naar buiten. Buiten de cabine werd vervolgens binnen 30-40 minuten de maximale concentratie van de meetreeks behaald (Figuur 3.6 links). Daarna werd de formaldehyde waarschijnlijk deels geabsorbeerd aan wand en vloeren, en deels via kieren verloren. Als de douchedeur slechts 10 seconden had opengestaan direct na de formaldehyde toediening was in de ruimte buiten de cabine de maximumconcentratie al direct bereikt (Figuur 3.6 rechts). Dit geeft aan dat diffusie van formaldehyde zeer snel plaats vindt. De figuren geven goed aan dat in een kamer met gladde wanden de formaldehyde ook verdwijnt.

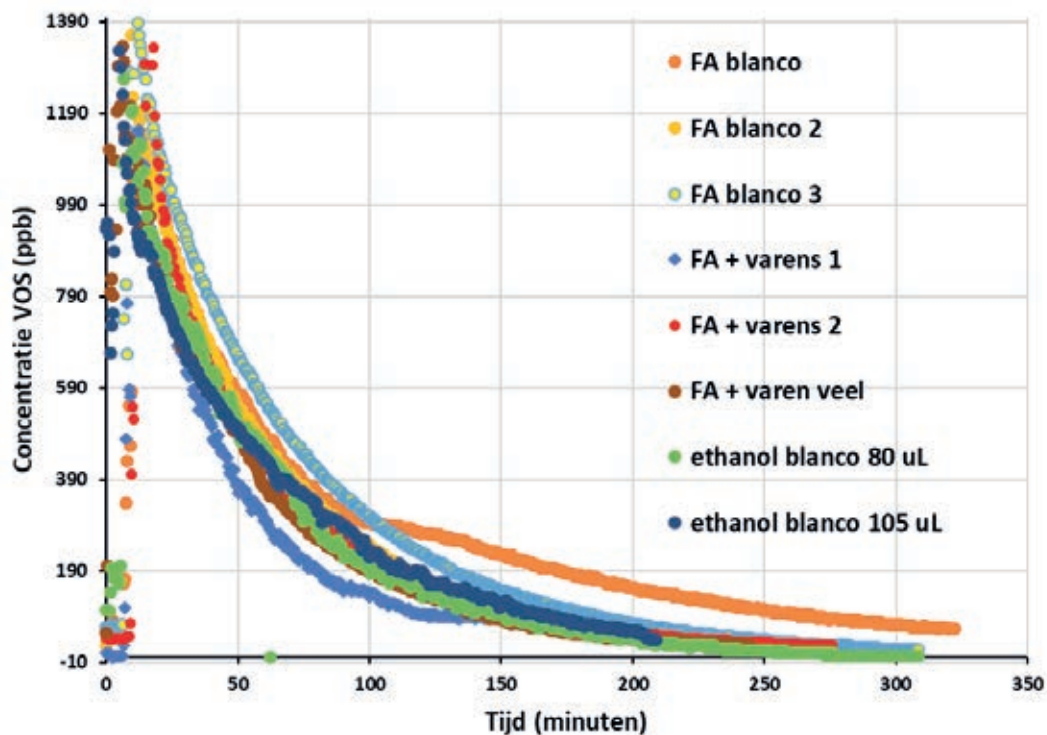


Figuur 3.6 Concentratie buiten cabine voor en na formaldehyde gift binnen cabine. Links: tweede gift 4 uur later (groen), of eenmalig een 10x hogere gift, rechts: na gift was deur nog 10 seconden open, waardoor -door de lekkende formaldehyde- de concentratie buiten de cabine onmiddellijk de maximale waarde bereikte.

3.2.2 Ethanol depletie zonder planten

In de badkamer is op twee dagen de concentratie afname van een toegediende ethanol/alcohol-gift van 80 resp. 102 μL doorgemeten met dezelfde DART-sensor als voor formaldehyde. De concentratieverloop blijkt vrijwel identiek aan die van formaldehyde zonder planten (=FA blanco, Figuur 3.7).

Figuur



Figuur 3.7 Depletie van formaldehyde (FA) dan wel ethanol in de badkamer met gladde wanden. Blanco: zonder planten.

3.2.3 Depletie formaldehyde in badkamer met en zonder planten

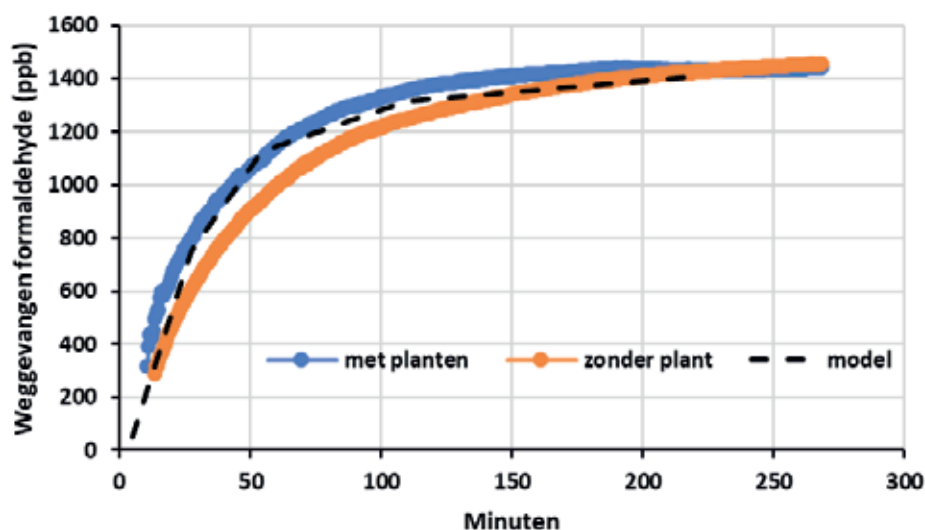
De data uit Figuur 3.7 ten aanzien van formaldehyde zijn vervolgens gemiddeld en uitgezet als mate van wegvang van de gegeven formaldehyde. Het bleek dat de planten zorgen voor een versnelde afname van formaldehyde door een snellere wegvang in de eerste 60 minuten (Tabel 3.1, Figuur 3.8). Na 4 uur is echter de weggevangen formaldehyde gelijk tussen de lucht in de wel en niet met planten bezette kamer. Verdere berekeningen kunnen mogelijk aangeven waar de formaldehyde is gebleven (§3.4).

Tabel 3.1

Procentuele afname van formaldehyde concentratie zonder en met veel kleine *Nephrolepis* planten (Foto 1) in de badkamer.

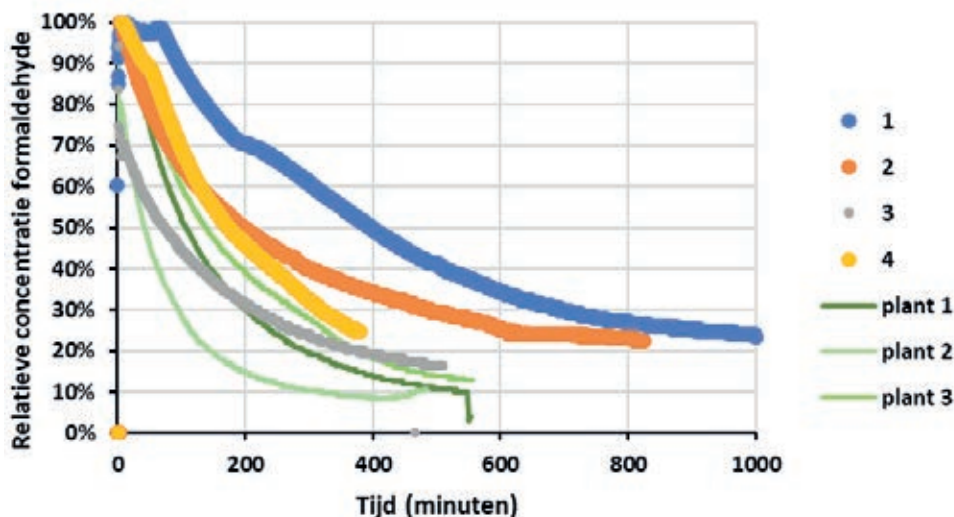
Planten:	geen	wel
Aantal/grootte:	0	36, potmaat 12 cm
In 15 minuten:		
Formaldehyde afname:	23%	36%
Plantwerking:	0	13%
Plantzuivering t.o.v. totale afname:		0.36 (=1-0.23/0.36)
In 30 minuten:		
Formaldehyde afname:	44%	58%
Plantwerking:	0	14%
Plantzuivering t.o.v. totale afname:		0.24 (=1-44/58)

Het aandeel van de planten in de formaldehyde afname is substantieel (0.24-0.36 in de eerste 15-30 minuten, zie Tabel 3.1). Het is wel opvallend dat zonder planten al zoveel formaldehyde verdwijnt (23-44%), terwijl de badkamer gladde wanden heeft met (mogelijk) weinig absorberend vermogen. De curve van de weggevangen formaldehyde laat zien dat er op vaste tijdblokken steeds een halvering van de concentratie optreedt: de model-curve voor de situatie met planten gaat uit van een halfwaardetijd van 27 minuten.



Figuur 3.8 Hoeveelheid weggevangen formaldehyde, met een beginconcentratie van 1500 ppb, voor een badkamer met gladde wanden, met of zonder *Nephrolepis* planten. Gemiddelde van 3 metingen per situatie. Model: niet-lineaire afname met de helft elke 27 minuten.

De verliezen uit de afgesloten en dichtgesealde douchecabine (Figuur 3.6) geven aan dat formaldehyde een zeer vluchtige stof is die makkelijk kan ontsnappen. Dit verklaart de afname van formaldehyde zonder plant zoals weergegeven in Figuur 3.9. Desalniettemin is de afname in de cabine groter als er een plant aanwezig is, althans in 2 van de 3 gevallen (Figuur 3.9), wat duidt op plantopname van formaldehyde.



Figuur 3.9 Relatieve formaldehyde concentratie (concentratie t.o.v. de beginwaarde) in de douchecabine, met of zonder een *Spathiphyllum* plant.

3.3 Kantoorkamer

3.3.1 Depletie formaldehyde zonder planten

In 15 minuten tijd na toediening is de formaldehyde concentratie 21% afgenomen in een kamersituatie zonder planten. De afname werd niet veroorzaakt door eventueel licht, want situaties met of zonder lampen aan gaf geen verschil in uitkomst. Het verlies aan formaldehyde werd waarschijnlijk veroorzaakt door absorptie aan vloer, plafond, e.d., en niet door lekverlies aangezien de kamer lekdicht was gemaakt met tape, en ook de ventilatieafvoer was dichtgeplakt.

3.3.2 Effect planten in de kamer op afname formaldehyde

Door plaatsing van 72 middelgrote *Clusia* planten (geen licht, is CAM-plant, en in donker stomata open) vindt er binnen 15 minuten een afname van 28% van de formaldehyde concentratie plaats (Figuur 3.10). Als er 1 zeer grote *Spathiphyllum* (met lamplicht) wordt geplaatst is de afname 30% (Figuur 3.11). Bij alle proeven met planten was de startconcentratie 700 ppb, gemeten net boven het bladpakket.

Qua concentratieverloop laat *Clusia* een snelle afname zien binnen 3 min en daarna veel minder, terwijl bij *Spathiphyllum* de concentratie vrij constant afneemt.

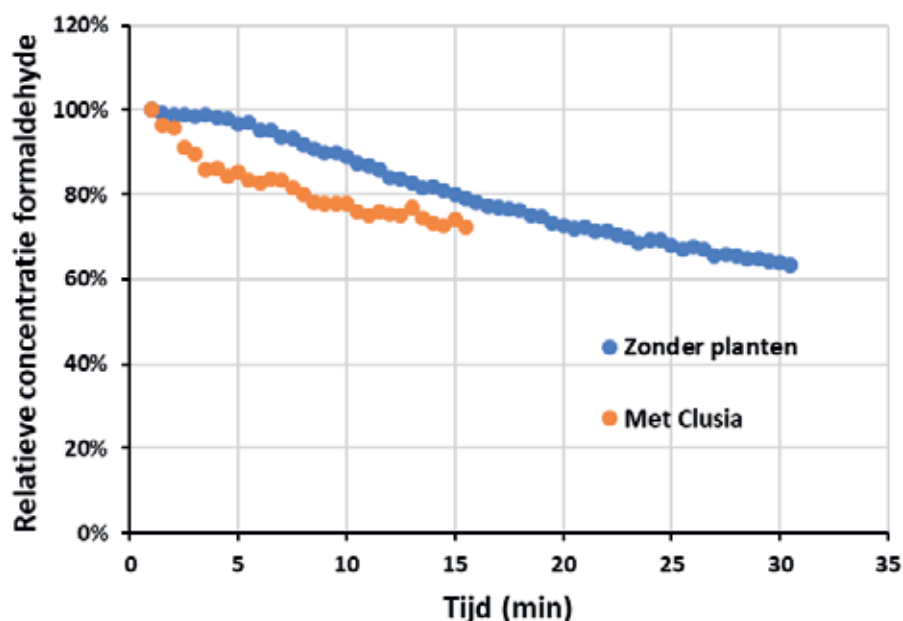
In Tabel 3.2 is samengevat wat de afname van formaldehyde is zonder planten, en met *Clusia*'s dan wel *Spathiphyllum*. Formaldehyde afname door planten is 7-9% in de eerste 15 minuten, terwijl het aandeel in de afname 0.25 tot 0.3 is. Dit aandeel is wat lager dan de waarde voor de badkamer (0.36), dit is logisch want daar is minder absorberend oppervlak dan in de kantoorkamer. De waarde stemt overeen met de schatting uit de meetstolp-metingen met dezelfde oppervlakken absorberend materiaal (0.22, zie §3.4).

Tabel 3.2

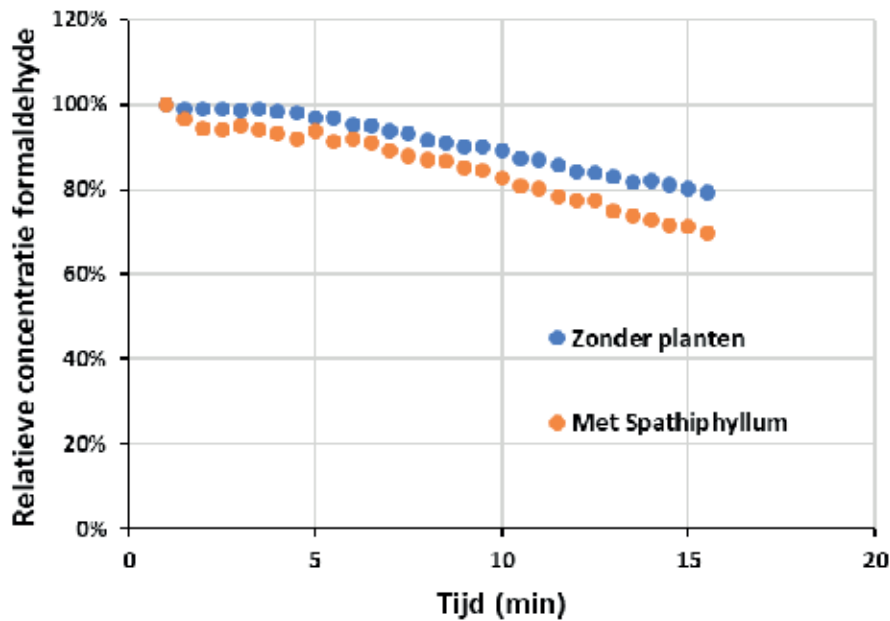
Procentuele afname van formaldehyde concentratie zonder en met planten in de kantoorruimte.

Planten:	geen	Clusia	Spathiphyllum
Aantal/grootte:	0	72, potmaat 12 cm	2, potmaat 30 cm
Formaldehyde afname binnen 15 minuten:	21%	28%	30%
Plantwerking:	0	7%	9%
Plantzuivering t.o.v. totale afname:		0.25	0.3

Na de afname van de dosering van 700 ppb formaldehyde van 28-30% in de eerste 15 minuten zal de fractie die door de planten wordt gezuiverd wel afnemen, gezien de steeds minder sterk dalende curve bij Clusia (Figuur 3.10). Mogelijk dat een half uur na toediening het percentage afname door plantzuivering afneemt van 7% naar ca. 3%. Die 3% is ook in de berekeningen per half uur in de kantoorruimte gevonden (zie §3.4). Een steeds kleiner aandeel door de planten lijkt logisch, ze raken mogelijk verzadigd met formaldehyde terwijl de lekverliezen doorgaan. Het tijdsverloop van die lekverliezen volgt een niet-lineair patroon. De niet-lineaire afname is ook gevonden in de badkamermetingen (halfwaardetijd 27 minuten, zie §3.2.3). Indien het ventilatiesysteem aan staat of de deur open is, wordt het aandeel van plantzuivering in de afname erg klein. Door de grillige natuur van luchtvervanging door ventilatie (zie §3.3.3) is niet exact te zeggen wat het plantaandeel dan precies is.



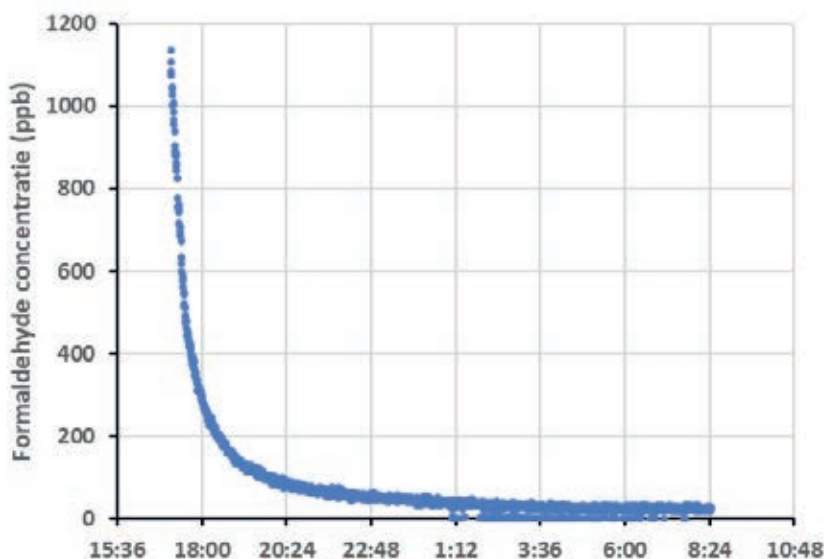
Figuur 3.10 Formaldehyde afname in de kantoorruimte zonder planten en met 72 Clusia-planten.



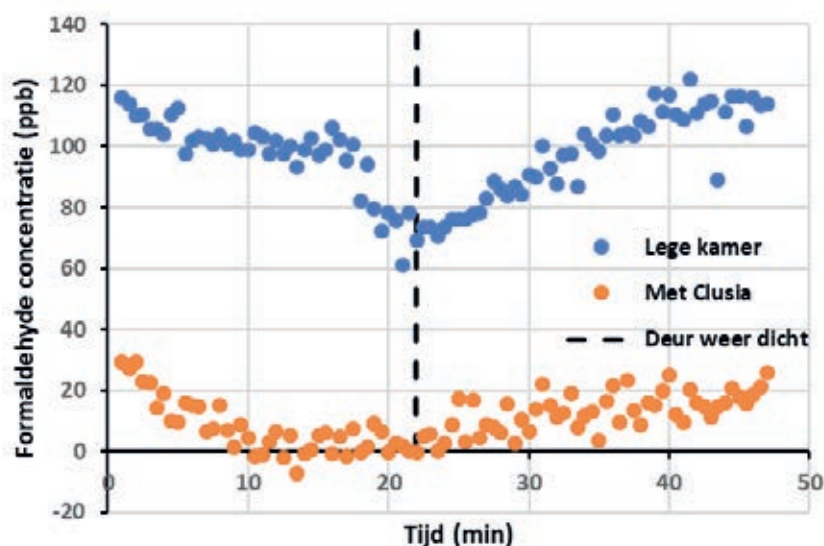
Figuur 3.11 Formaldehyde afname in de kantoorkamer zonder planten en met 2 grote *Spathiphyllum* planten.

3.3.3 Effect ventilatie en deur openen

Na de gift van formaldehyde is na verloop van tijd een evenwichtsconcentratie van 120 ppb zonder en 30 ppb met planten (Figuur 3.12, 3.13) ontstaan. Als daarna de deur 10 min wordt geopend zakt de concentratie snel naar 80 en 0 ppb zonder en met planten respectievelijk (Figuur 3.13). Bij sluiten van de deur stijgt de concentratie weer naar het oude evenwichtsniveau, en dit duidt erop dat er formaldehyde vrij komt (emissie) uit de kamerobjecten. De concentratie van ca. 0 bij open deur laat zien dat de afvoer via de deur groter is dan de emissie van formaldehyde indien er (veel) planten staan. Zonder planten gaat de emissie door en geeft dus ca. 80 ppb aan concentratie in de kamer. Blijkbaar is met planten er minder aan kamerobjecten gebonden dat kan emitteren bij open deur. Die gebonden formaldehyde komt echter wel langzaam vrij bij weer gesloten deur, maar is dus minder zoals blijkt uit de evenwichtsconcentratie van 30 ppb (Figuur 3.13).



Figuur 3.12 Na een vrij hoge dosis formaldehyde (700 uml) is de formaldehydeconcentratie in de kamer vrijwel onmiddellijk 1150 ppb, en daalt in 14 uur naar een stabiele waarde van ca. 30 ppb bij aanwezigheid van planten. N.B. op de X-as staat de tijd, en die bestrijkt 19 uur.



Figuur 3.13 Formaldehydeconcentratie (ppb) na openen en weer sluiten van de kamerdeur. Op tijdstip 0 is de deur wijd opengezet, en na 22 minuten (zwarte gestreepte lijn) weer gesloten. Figuur 3.12 geeft de voorgeschiedenis van Figuur 3.13 aan. In de kamer stonden 72 Clusia planten.

3.3.4 Ethanol afname in de kamer

De lipofiele VOS ethanol werd toegediend in de kantoorkamer en vervolgens werd de afname gemeten met de Air Quality Multi Meter (AQMM). De toegediende hoeveelheden ethanol (80 resp. 105 μL) waren na 5 uur geheel verdwenen (Figuur 3.7). De afname verliep vergelijkbaar aan die van formaldehyde en laat mogelijk eenzelfde proces van adsorptie aan kamermateriaal en lekverlies zien.

3.4 Berekening luchtzuivering in kamers

In de berekening richten we ons op de doorgemeten kantoorkamer, die representatief is voor kantoorruimten in het Radix-gebouw op de Wageningse campus. De bijdrage van luchtzuivering door planten in de afname van de formaldehydeconcentratie was beperkt, zoals gemeten in de eerste 15 minuten na toediening (7-9%, zie Tabel 3.2) terwijl de bijdrage in de badkamer met gladde wanden groter was (36%, zie Tabel 3.1). In de badkamer was er geen absorberende vloerbedekking, een ander plafondmateriaal en waarschijnlijk ook een ander lekverlies door kieren/spleten, en toont alleen aan dat 2/3 van de formaldehyde verdwijnt naar plafond en lek, als de rol van de gladde wanden wordt verwaarloosd.

3.4.1 Geschatte formaldehyde afname door alle kamerobjecten samen

De formaldehyde concentratieafname door absorptie aan vloerbedekking en plafondmateriaal, zoals gemeten in de meetstolp, is geëxtrapoleerd naar de gehele kantoorkamer. Het gemeten oppervlak aan vloerbedekking is 8.5 m^2 , net als voor het plafond. Het materiaal van de wanden is niet getest en wordt even verwaarloosd in de berekening. De Clusia planten hadden een gemiddeld bladoppervlak van 1000 cm^2 per plant, dus met 72 planten stond er voor 7.2 m^2 aan bladoppervlak. Waarschijnlijk zal de vloerbedekking een grotere rol in afvang van formaldehyde spelen dan de Clusia's: in de meetstolp bleek met ca. 900 cm^2 de vloerbedekking sneller te adsorberen (in 15 minuten tot 37.5 tot 45% van de aanvangsconcentratie, bij luchtvochtigheid van ca. 53%) dan de Clusia planten zuiverden (57% van de aanvangsconcentratie, bij 84% luchtvochtigheid en een bladoppervlak van 1000 cm^2).

Als we met een **relatieve** schatting deze meetwaarden doorrekenen naar het aanwezige vloer- en bladoppervlak, en tevens de adsorptie aan plafondmateriaal meenemen, krijgen we het volgende beeld voor de eerste 15 minuten:

Er is 24.2 m² aan absorberend/opnemend oppervlak in de kamer

Clusia planten nemen $(100 - 57\%) = 43\%$ op van een Y hoeveelheid formaldehyde met 1000 cm² blad, en dit voor 7.2 m² ($0.43 \times 7.2 / 0.10 \times Y = 0.206 \times Y$)

De vloerbedekking adsorbeert 59% op met 900 cm², voor 8.5 m² ($0.59 \times 8.5 / 0.09 \times Y = 0.557 \times Y$)

Het plafond adsorbeert 53% op met 2400 cm² voor 8.5 m² ($0.53 \times 8.5 / 0.24 \times Y = 0.188 \times Y$)

Hiermee is in ieder geval het aandeel van de planten in de totale wegvang naar gemeten objecten in te schatten: dit is, gewogen naar adsorptiesnelheid en aanwezig oppervlak, 22% ($=0.206/(0.206+0.557+0.188)$). Dit is specifiek voor deze kamer.

In de metingen in de kamer met dezelfde verhouding in oppervlakten is 0.25-0.3 (25-30%) plantaandeel gevonden (Tabel 3.1). Die lage waarde van 7% zou verklaard kunnen worden door de (aanzienlijke) bijdragen van onvoorziene verliezen, zoals lekverlies door (dichtgesealde!) kieren, of door adsorptie aan de muur en het aanwezige klank absorberende doek.

De **absolute** plantopname of adsorptie aan objecten is moeilijk in te schatten via de meetstolp data maar wellicht bruikbaar:

Een Clusia zuivert 40% van de lucht in de stolp (inhoud 0.026 m³) in het eerste half uur

Dus per m³ zuivert 1 plant 1.04% ($40 \times 0.026 \text{ m}^3$)

Er zijn 72 planten in de kamer van 28 m³, dus 2.57 planten per m³

Die 2.57 planten zuiveren $1.04 \times 2.57 =$ bijna 3% van de lucht in een half uur.

Een vloerdeel van ca. 900 cm² adsorbeert de lucht in de stolp met 70% in een half uur (Figuur 3.3)

Dus per m³ zuivert het stukje van 900 cm² 1.82% ($70 \times 0.026 \text{ m}^3$)

Er is 8.5 m² vloerbedekking, dit zuivert per m³ 171.89% ($1.82 \times 8.5/0.09$)

Maar dat oppervlak is nodig voor de hele kamer van 28 m³, dus 6.14% ($171.89 / 28$)

Een plafonddeel van ca. 2400 cm² adsorbeert de lucht in de stolp met 50% in een half uur (Figuur 3.4)

Dus per m³ adsorbeert dit stukje 1.3%

Het gehele plafond adsorbeert van 1 m³ 46.04%

Dat oppervlak adsorbeert voor de hele kamer dan 1.6%

De planten zuiveren dus $2.57 / (2.57 + 6.14 + 1.6) = 0.256$ of 25.6% van plant + vloer + plafond.

Dit is vergelijkbaar met de uitkomst van 22% uit de 'relatieve' schattingsmethode hierboven. Maar uiteindelijk vangen (volgens de stolp-berekeningen) de planten 'slechts' 3% van de formaldehyde uit de lucht in een half uur. N.B. de toegediende concentratie komt voor de planten overeen tussen meetstolp en kamer (700 ppb), terwijl er voor de kamerobjecten wel met een hogere stolp-concentratie is gebruikt, i.e. 2000 ppb).

Met zowel de eerste, **relatieve** rekenmethode met de verhouding tussen de objecten, als met de **absolute** opnameschattingen, blijkt dat de planten met luchtzuivering een beperkt deel van de afname of depletie realiseren (ca. 1/3 van plant, vloer en plafond samen). Dit is uiteraard specifiek voor deze kamer, met deze oppervlakten aan materialen en planten.

Samen zouden deze objecten 10% van de kamerlucht ontdoen van formaldehyde in het eerste half uur. Uit de metingen blijkt dit niet te kloppen: daar is een afname van ca. 38% gevonden (Figuur 3.11, 3.12). Net als bij de berekening met relatieve i.p.v. absolute cijfers is het verschil tussen meting en berekening een factor 3. De ontbrekende posten waar de formaldehyde naar verdwijnt zouden zowel lekverlies als adsorptie aan de overige kamerobjecten kunnen zijn. Dit is helaas niet meetbaar. De fractie van 2/3 tot 3/4 (gedurende resp. 15 dan wel 30 minuten) aan verlies naar onbekende posten als lek is ook gevonden bij de badkamerstudie, waarbij een deel mogelijk naar het plafond ging (wat in de kantoorkamer al een vrij kleine post van 1.6% per half uur was). De verliezen door lek zijn waarschijnlijk wel erg kamerspecifiek, want afhankelijk van aantal kieren, grootte van raam- en deurlijsten, etc.

Wanneer is de kantoorkamer vrij van de toegediende formaldehyde, en wat is de bijdrage van de vele planten daarin? De doorgemeten objecten verlagen de formaldehyde concentratie in de lucht met 10% in een half uur, en samen met het bovengenoemde onbekende verlies dus 38%. Hierin is het aandeel van de luchtzuiverende planten steeds 3%. Volgens de metingen duurt het ca. 6 uur voordat de concentratie onder de WHO-grens van schadelijke formaldehyde van 80 ppb komt (zie Figuur 3.10) (WHO, 2010). Met een niet-lineair, simpel modelletje is dit ook te berekenen (zie §3.2.3 en Figuur 3.8).

4 Discussie en conclusie

Er is in dit onderzoek gepoogd de luchtzuivering van planten zoals gemeten in een lab-opstelling met een meetstolp met behulp van metingen en berekeningen door te vertalen naar zuivering door een plantsysteem in kantoor kamers. Dit is deels gelukt en wordt hieronder bediscussieerd.

4.1 Geschatte formaldehyde-opname door planten en rol van kamerobjecten

Absorptie, en dus niet opname, en zoals bepaald aan kamerobjecten in de meetstolp, is in zelfde orde van grootte als opname en zuivering door een planten. Daarbij ruimen planten de formaldehyde echt op door opname en afbraak. De meeste kamerobjecten absorberen de formaldehyde en blijken volgens de metingen die weer af te staan als de lucht schoner is, via een evenwichtsreactie. De vloerbedekking nam ten opzichte van linoleum en plafondplaat de meeste formaldehyde op per cm² oppervlak. De aan kamerobjecten geabsorbeerde formaldehyde blijft waarschijnlijk niet lang intact en zal op de langere termijn afgebroken worden in onschuldige componenten onder invloed van licht en vocht.

Depletie van formaldehyde aan kamerobjecten is niet afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid volgens de stolpmetingen, maar wel bij depletie door een plant in de stolp. Het is waarschijnlijk dat de plant zijn huidmondjes verder open doet bij hogere luchtvochtigheid en dan meer formaldehyde verwerkt. Dit is ook door onderzoeksbureau Fytagoras gevonden (niet gepubliceerd).

4.2 Luchtzuivering door planten in kamers

Uit de metingen in de kantoorkamer blijkt formaldehyde met een concentratie van 700 ppb binnen een half uur 38% te zijn afgenomen. Volgens de metingen in de stolp in het laboratorium hadden we een 10% afname verwacht. De meer dan een factor 3 grotere afname wordt vermoedelijk veroorzaakt door weglekken van lucht en absorptie aan overige objecten zoals wanden, deur en tafel. Deze stromen zijn in de onderzochte kamer dan 2/3 van de concentratie afname, terwijl de zuivering door planten maar een bijdrage van 3% hebben, naast afname door vloerbedekking met 6% en plafond met 1.6% (§3.4).

Weglekken van de lucht door kieren en ventilatie, naast het luchtverversingssysteem dus ook het openen van een deur open of raam, heeft een veel sterker effect op de luchtconcentratie van formaldehyde (zie §3.3.3) en ethanol dan opname door planten en absorptie aan kamerobjecten. Op basis van dit onderzoek, maar ook dat van anderen (o.a. Schmitz *et al.* 2000), kunnen we stellen dat inzet van luchtzuiverende planten weinig bijdraagt aan de concentratie afname van formaldehyde in kamers.

4.3 Luchtzuivering in kantoor en huis in bredere context

Van de vele aanbieders van ventilatiesystemen wordt verwacht dat zij een goede luchtkwaliteit garanderen, terwijl de luchtregeling nog steeds bouwkundig zeer complexe materie is. Als naast deze mechanische ventilatiesystemen ook planten ingezet zouden kunnen worden zijn er meer zuiveringsmogelijkheden en ook meer vergroening. De vraag naar meer zuiveringsopties is zeer relevant gezien de trend om huizen en gebouwen beter te isoleren tegen warmteverlies en minder te ventileren. Door de corona pandemie wordt er weer meer nadruk op ventilatie gelegd. De langdurige trend is echter een betere isolatie doordat de energieprijzen stijgen en het gasgebruik sterk moet verminderen. Daarnaast is het gebruik van airco in de zomer sterk gestegen door het opwarmend klimaat en door de voorkeur om de luchtverversing meer door een centraal systeem te laten reguleren dan door raamventilatie. Deze nieuwe nadruk op ventilatie en airconditioning beperkt de kans dat planten hiervoor worden ingezet, mede gezien hun zeer beperkte bijdrage aan concentratieafname van een VOS als formaldehyde (§4.2). Deze conclusie is conform recente literatuur (Gibbens, 2019; Gibbins & Waring, 2019)

4.4 Conclusies

De intentie van dit onderzoek was de ontwikkeling van een daadwerkelijk luchtzuiverend plantsysteem, daarbij de eigenschappen van een specifieke ruimte in acht nemend. Ondanks het feit dat de gebruikte planten in onze meetstolpen de lucht daadwerkelijk zuiveren van formaldehyde, was de zuivering hiervan op schaal van kamers slechts beperkt. De metingen gaven aan dat in een niet geventileerde kantoorkamer ca. 7-9% extra zuivering in de eerste 15 minuten en ca. 3% in een half uur plaats vindt door een hoge plantbezetting van 10 plantjes per m². De zuivering door planten via extrapolatie vanuit de meetstolp metingen komt ook op ca. 3% in een half uur. De meting van de luchtzuiverende werking van de planten werd verstoord door adsorptie aan kamerobjecten en ventilatieverlies. Vloerbedekking en plafond nemen ongeveer 7% van de formaldehyde concentratieafname voor hun rekening. Dit totaal van 10% door vloerbedekking en plafond (7%) en planten (3%) is veel lager dan de 38% die aan afname van formaldehyde gemeten is gedurende een half uur. Dit verschil komt waarschijnlijk door niet te meten of te berekenen verliezen via kieren en adsorptie aan niet gemeten kamerobjecten (wand, meubilair). Zowel formaldehyde als ethanol laten een niet-lineaire, steeds minder snel afnemende concentratie zien in de gemeten kamers als ware het een typische verdunning. Indien de kamer geventileerd wordt door een mechanisch systeem of door open raam of deur, is de bijdrage van de luchtzuiverende planten aan de concentratieafname met onze apparatuur nauwelijks tot niet meetbaar. Op basis van deze bevindingen is het niet mogelijk getallen te leveren voor de ontwikkeling van een luchtzuiverend plantsysteem.

Literatuur

Brilli, Federico, Silvano Fares, Andrea Ghirardo, Pieter de Visser, Vicent Calatayud, Amalia Muñoz, Isabella Annesi-Maesano, Federico Sebastiani, Alessandro Alivernini, Vincenzo Varriale, Flavio Menghini, 2018.

Plants for sustainable improvement of indoor air quality. Trends in Plant Science, Volume 23, Issue 6, p507–512, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.03.004>

De Visser, P.H.B. en Meinen, E., 2018.

Luchtzuiverende planten voor binnenruimten. Eindrapport van project 'Plantkampioen luchtzuivering binnenruimtes', GTB rapport 812, Wageningen Plant Research.

Eigen Huis Magazine, april 2018.

Luchtkwaliteit in duizenden huizen slecht door fijnstof. p4.

Gibbens, Sarah, 2019.

Which houseplants should you buy to purify air? None of them. National Geographic, 14 November 2019.

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/houseplants-dont-purify-indoor-air>

Gibbins, B.E. and Waring, M.S., 2019.

Potted plants do not improve indoor air quality: a review and analysis of reported VOC removal efficiencies.

Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology 30:253–261. <https://doi.org/10.1038/s41370-019-0175-9>

Kim, H.H., Lee, J.Y., Yang, J.Y., Kim, K.J., Lee, Y.J., Shin, D.C., Lim, Y.W., 2011.

Evaluation of indoor air quality and health related parameters in office buildings with or without indoor plants. J Jpn Soc Hortic Sci 80:96–102

Pegas, P.N., Alves, C.A., Nunes, T., Bate-Epey, E.F., Evtyugina, M. & Pio, C.A., 2012.

Could Houseplants Improve Indoor air Quality in Schools? Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 75:22-23, 1371-1380.

Schmitz, H., Hilgers, U. and Weidner, M., 2000.

Assimilation and metabolism of formaldehyde by leaves appear unlikely to be of value for indoor air purification. New Phytologist 147:307–315

Van Duijn, B., Klein Hesselink, J., Kester, M., Janse, J. en Spitters, H., 2011.

Planten in de Klas, PT-rapport 13908.

WHO, 2010.

WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization rapport. ISBN 978 92 890 0213 4, 494 pp.

Wolverton, B. C., McDonald, R. C., and Watkins, E. A., Jr., 1984.

Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy efficient homes. Econ. Bot. 38: 224–229.

Wood, R. A., Burchett, M. D., Alquezar, R., Orwell, R. L., Tarran, J., and Torpy, F. 2006.

The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: I. Office field-study. Water Air Soil Pollut.175: 163–180.

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-1073

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.