

Rapportage

“Effect EM Velden op bomen”

November 2013.

Rapportage ten behoeve van de project-evaluatie bij het Productschap
Tuinbouw

Project: Effect elektromagnetische velden op bomen

PT-projectnummer: 14394

Projectcoördinator: Dr. AAM van Lammeren

Laboratorium voor Celbiologie, Wageningen University and Research
Centre (WUR)

Contents	
Samenvatting	3
Inleiding	6
Proefopzet algemeen	7
Belichting	9
Elektromagnetische bronnen	9
Chlorophyllbepaling	10
Bladanalyse met lichtmicroscopie en cryoscanning elektronemicroscopie	10
Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten	10
Statistische analyse	10
Proefopzet 2010	12
Klimaatcellen en EM-velden	12
Plantmateriaal	12
Proefopzet 2011	13
Klimaatcellen en EM-velden	13
Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten	13
Proefopzet 2012	14
Klimaatcellen en EM-velden	14
Meting chlorophyllgehalte	14
Bladanalyse	14
Parameters	14
Resultaten 2010	16
Metingen van het heersende elektromagnetische veld aan het begin van de proef	16
Plantontwikkeling algemeen	16
Metingen aan <i>Fraxinus excelsior</i>	16
Bladaantasting <i>Fraxinus</i>	17
Resultaten 2011	18
Vaststelling elektromagnetische veldsterktes in de klimaatcellen	18
Plantontwikkeling algemeen	18
Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten	21
Resultaten 2012	22
Plantontwikkeling algemeen	22
Lengtegroei van <i>Fraxinus</i> en <i>Salix</i> onder belaste en onbelaste groeiomstandigheden	22
Stamontrek	22
Bladeigenschappen	23
Taklengte	25
Bladaantasting <i>Fraxinus excelsior</i>	26
Discussie	27
Aanleiding	27
Effecten van EM-velden op lengtegroei en bladeigenschappen <i>Fraxinus excelsior</i>	27
Epidermisnecrose	28
Bladversgewichtvariatie	29
Bladkrulling	30
Relatie met internationaal onderzoek	31
Literatuur	33
Tabel 26 Beplantingsschema 2010	34
Tabel 27 Beplantingsschema 2011	35
Tabel 28 Beplantingsschema 2012	36
Bijlage I - Canrinus Consultancy - EMV-metingen in bomen in klimaatkamers Wageningen Universiteit	37
Bijlage II - Analyse chlorophyllmetingen van augustus en november 2012 in A1 (-EM) en A4 (+EM)	44
Bijlage III Statistische analyse	47

Samenvatting

Inleiding

Naar aanleiding van toenemende aantallen aantastingen op bomen in stedelijke omgeving is de vraag gesteld of elektromagnetische (EM-)velden zoals die zich voordoen in stedelijk milieu een effect hebben op de gezondheid van planten. Om die reden is een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van elektromagnetische velden op bomen. De proeven zijn uitgevoerd in de periode juni-oktober 2010, juli-november 2011 en april-november 2012.

Daarbij zijn in totaal 170 essen (*Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie'), 83 paardenkastanjes (*Aesculus hippocastanum*) en 7 wilgenboompjes (*Salix alba*) in klimaatcellen gevolgd. De wilgen zijn alleen in 2012 in de proeven opgenomen. De klimaatcellen zijn al of niet (controle groep) voorzien van elektromagnetische velden.

Elektromagnetische velden zijn opgewekt door 6 WiFi-zenders (standaard routers) per klimaatcel met een vermogen van 100mW per zender in het frequentiegebied 2,4 GHz. Daarnaast is in 2011 een DVB-T zender gebruikt met een vermogen van maximaal 1 Watt op 716 MHz en in 2011 en 2012 is ook een UMTS modem gebruikt met een vermogen van maximaal 2 Watt op 1935 MHz als aanvulling op de WiFi bron. Controle bestond uit klimaatcellen zonder WiFi, UMTS en DVB-T apparatuur. In één controle-opzet (alleen in 2011) is gekozen voor het aanbrengen van 6 WiFi-zenders met dummy loads i.p.v. antennes om veronderstelde warmte-effecten en magnetische velden van de apparatuur uit te sluiten (sham-experiment). Een dummy load is een vermogensweerstand die dezelfde impedantie heeft als de antenne zodat de zender op dezelfde manier wordt belast. De gebruikte dummy load is zodanig geconstrueerd dat hij geen EM-velden "uitzendt".

Onderzochte parameters waren stamlengetoename, toename stamomtrek, chlorophyll-gehalte van bladeren, bladaantal, bladvers- en bladdrooggewicht en bladaantasting. Omdat er per jaar door beperkte financiële middelen maar in een beperkt aantal klimaatcellen gewerkt kon worden en er slechts een relatief klein aantal planten per cel kon worden gevolgd, zijn experimenten in opeenvolgende jaren met aanpassingen herhaald. Gedurende het onderzoek werd een 16/8h dag-nacht belichtingsregime ingesteld. Het dag/nacht-temperatuurregime varieerde in de verschillende jaren van 23/18°C tot 23/13°C. De belichting varieerde van 150-250 $\mu\text{M}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$ tussen de klimaatcellen.

Over het algemeen zijn ieder onderzoekjaar nieuwe bomen voor het onderzoek gebruikt. Resultaten uit de opeenvolgende onderzoeksperioden kunnen niet zomaar met elkaar in verband worden gebracht omdat meerdere omstandigheden niet constant zijn geweest. Per jaar kunnen altijd twee klimaatruimten goed met elkaar worden vergeleken omdat daarin omstandigheden zoveel mogelijk identiek zijn gemaakt op de aanwezigheid van EM-velden na. Er is per jaar nagegaan of in klimaatcellen mét EM-velden ander plantgedrag kon worden waargenomen dan in controleruimtes.

Gegeven de beperktheid van de proefomvang en de beperktheid van het aantal herhalingen kunnen de resultaten slechts als indicatief worden geïnterpreteerd en kunnen geen stellige conclusies worden getrokken. De resultaten leiden met bovengenoemde beperking tot de volgende indicaties voor de aspecten aantastingen, lengtegroei, stamomtrektoename, chlorophyllgehalte en bladaantallen:

- Er zijn in de experimenten binnen de onderzoeksperiode van 5-8 maanden geen aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose op essen aangetroffen in de klimaatcellen al of niet voorzien van EM-velden.
- Er is bij vergelijking van lengtegroei van *Fraxinus excelsior* bij een zelfde inrichting van de klimaatcellen geen statistisch significant effect gevonden van EM-velden. Metingen zijn in 2010 en 2012 uitgevoerd. In 2010 was de lengtetoeename 21.2 ± 1.8 (standard error) cm in klimaatcel zonder EM-velden ($n=25$ boompjes) en 19.5 ± 2.6 cm in de klimaatcel mét EM-velden ($n=25$). In 2012 was dat respectievelijk 18.7 ± 2.1 cm zonder EM ($n=34$) en 17.7 ± 1.9 cm met EM ($n=35$).
- Er is bij vergelijking van lengtegroei van *Salix alba* bij een zelfde inrichting van de klimaatcellen geen verschil gevonden tussen de klimaatcel mét en zonder EM-velden. Lengtetoeename bleek

190±9 cm zonder EM (n=5) en 199±11 cm met EM (n=5). Deze meting is alleen in 2012 uitgevoerd.

- Bij vergelijking van toename van stamomtrek van *Fraxinus*, *Aesculus* en *Salix* is per boomsoort geen significant effect gevonden tussen klimaatcellen mét en zonder EM-velden bij een verder zelfde inrichting van de klimaatcellen. De meting is alleen in 2012 uitgevoerd.
- Er is bij vergelijking van chlorophyllgehalte (SPAD-meting) in *Fraxinus*, *Aesculus* en *Salix* per boomsoort, per jaar, per meetmoment, bij een zelfde inrichting van de klimaatcellen, geen significant effect gevonden in relatie tot de invloed van EM-velden met uitzondering van een van de twee sample metingen bij *Fraxinus* in november 2012.
- Er is bij vergelijking van bladaantallen bij *Fraxinus* geen significant effect gevonden van EM-velden in verder vergelijkbare klimaatcellen. Metingen zijn in 2011 en 2012 uitgevoerd. Het bladaantal per boom in 2011 bedroeg 125,6±9,1 zonder EM (n=10) en 120±7,1 met EM (n=10). In 2012 was het aantal bladeren per boom 47,7±3,2 zonder EM (n=34) en 41,0±3,4 met EM (n=32). Het verschil tussen de opeenvolgende jaren is een gevolg van de verschillen in gemiddelde groottes van de essen die zijn gebruikt.
Ook bij vergelijking van bladaantallen bij *Salix* is geen significant effect gevonden van EM-velden in verder vergelijkbare klimaatcellen. Bij *Salix* was het aantal 572±52 zonder EM (n=5) en 487±88 met EM (n=5). De metingen aan *Salix* zijn alleen uitgevoerd in 2012.
- De groei van *Aesculus* bleek erg wisselvallig in kasomstandigheden. Er was relatief veel uitval van boompjes in controleklimaatcellen en in belaste klimaatcellen zodat zij alleen voor de chlorophyll-vergelijkingen zijn opgenomen.

Bladafwijkingen

In de klimaatcellen mét en zonder EM-velden zijn met regelmaat bladafwijkingen bij *Fraxinus* geconstateerd die voor een deel verklaard zijn door het tijdelijk optreden van belagers zoals spint, witte vlieg, galmijt, rouwmug en thrips. Daarnaast zijn verschijnselen zoals bladkrulling, witte vlekken, vorming van exudaat, metaalglans en necrose van de bladepidermis waargenomen.

- Bladkrulling kwam in alle jaren voor in klimaatcellen mét en zonder EM-velden. In 2010 en 2011 trad het intensiever op in de klimaatcellen mét EM maar dat was niet het geval in 2012. Vaak trad het op in de in eindstandige bladeren dicht bij de verlichting-units. Er is dan mogelijk sprake van een reactie op sterke belichting, gepaard gaande met sterke ontwikkeling van het palissadechlorenchym. Het ontstaan van bladkrulling op andere plaatsen aan essensbomen is niet verklaard en vraagt om verder onderzoek. Bladkrulling hoeft niet gepaard te gaan met epidermisenecrose of het voorkomen van metaalglans maar het kan wel samengaan.
- Witte vlekken kwamen in alle jaren voor in klimaatcellen mét en zonder EM-velden. Deze aantasting is daardoor niet specifiek voor klimaatcellen mét EM-velden. Witte vlekken op bladeren zijn microscopisch onderzocht. De plekken lichten op omdat op die plaatsen de epidermiscellen afgestorven zijn. Ze zijn mogelijk veroorzaakt door plaaginsekten.
- In 2011 en 2012 is opgemerkt dat in de loop van de proefperiode de *Fraxinus*-bladeren en hun bladstelen een kleverig exudaat gingen vormen zowel in klimaatcellen met als zonder EM velden. Dit gebeurde in 2011 meer in cellen mét EM-velden maar dat was niet het geval in 2012. Het exudaat blijkt suiker die zich in de bladeren ophoopt en uittreedt. Er is niet onderzocht waardoor er suikeroophoping en uitscheiding plaatsvond.

Metaalglans is in 2010 opgetreden aan een gering aantal bladeren bij 7 van de 25 boompjes en wel in de klimaatcel mét EM-velden. In 2011 is het verschijnsel incidenteel gezien in de klimaatcel met EM-velden en in 2012 in het geheel niet. Metaalglans is met microscopische methoden onderzocht. De metaalglans ontstaat doordat de epidermis is afgestorven (epidermisenecrose) en dat leidt tot extra lichtreflectie. Deze bladeren hadden significant hogere chlorophyllwaarden dan gewone bladeren hetgeen wijst op sterke ontwikkeling van het palissadechlorenchym.

Epidermisenecrose zónder metaalglans kwam in 2011 en 2012 incidenteel voor in klimaatcellen mét EM-

velden en niet in klimaatcellen zonder EM-velden, vaak in combinatie van sterke uitgroei van het palissadechlorenchym in sterk belichte bladeren. Hoewel in een grillig patroon van voorkomen door het sterk wisselend aantal aangetaste planten per klimaatcel en de wisselende frequentie van voorkomen door de jaren heen, is de aantasting epidermisnecrose (met en zonder metaalglans) significant voor klimaatcellen mét EM-velden met een overschrijdingskans van 0.4%.

Om de significantie van observaties te bevestigen is een herhaling noodzakelijk waarbij opnieuw de verdeling van EM-bronnen over de klimaatcellen wordt veranderd. Alleen dan kan een effect van andere factoren dan EM velden (zoals bijvoorbeeld lichtintensiteit) verder worden uit gesloten.

Voorzichtigheid bij de interpretatie van deze resultaten is gewenst omdat aan essen in het buitenmilieu het zelfde type metaalglans niet is waargenomen.

Samenvattend concluderen wij dat er onder de gegeven proefomstandigheden geen effect van EM-velden op getoetste bomen is vastgesteld op het niveau van lengtegroei, stamdiktegroei, het aantal bladeren, bladmorfologie en het bladchlorophyllgehalte (uitgezonderd een afwijkende waarde in nov 2012). De aspecten bladkrulling, metaalglans, exudaatvorming en epidermisnecrose vragen om verdere aandacht vanwege het beperkt aantal herhalingen. De constatering dat er verschillen zijn gevonden is indicatief om vervolgonderzoek te doen.

Er is in dit onderzoek geen oorzakelijk verband gevonden tussen EM-straling en aantastingen zoals die worden geobserveerd in de stedelijke omgeving zoals bastknobbels, bastscheuren, bastnecrose en bastbloeding.

Gezien het belang van het onderzoek is het goed hier op te merken dat de bovengenoemde verschijnselen metaalglans, epidermisnecrose en exudaatvorming niet zijn opgemerkt bij essen buiten de klimaatcellen.

Inleiding

Bomen in stedelijke omgeving vertonen de laatste jaren een toenemend aantal aantastingen zoals scheuren, knobbels, verkleuringen en diverse vormen van afsterving van weefsel. In een poging de oorzaak te achterhalen van deze aantastingen, is nagegaan of biotische factoren een rol spelen. Dat is tot nu toe ondanks veel onderzoek niet aangetoond.

Onbekende boomaantastingen

Gemeente Alphen aan den Rijn heeft zich vanaf 2007 ingezet de oorzaak en effecten van onbekende boomaantastingen onder de aandacht te brengen van gemeenten, de groenbranche en de overheid. Zij gaf in de periode 2007 – 2010 Wageningen Universiteit en Research Centre (WUR) en de Plantenziektekundige Dienst opdrachten onderzoek te doen naar het verschijnsel. Nadat geen oorzaak kon worden gevonden gaf zij in 2010 opdracht aan WUR onderzoek te doen naar de effecten van hoogfrequente elektromagnetische velden. Ook ontstond er vanuit de groenbranche behoefte te weten waardoor de schade veroorzaakt wordt.

Omdat in de stedelijke omgeving in toenemende mate sprake is van elektromagnetische (EM-) velden en in stedelijke omgeving boomaantastingen met toenemende frequentie voorkomen, zou het kunnen zijn dat de aantastingen veroorzaakt worden door de EM-velden. Er is op dit moment geen sterk wetenschappelijk bewijs van grootschalige experimenten voor een effect van EM-straling, zoals gebruikt voor telecommunicatie, op levende organismen. Het onderzoeksresultaat uit 2010 gaf evenwel aanleiding meer onderzoek te doen naar de effecten van hoogfrequente elektromagnetische velden op bomen. Er is daarom bij het Productschap Tuinbouw (PT) een projectaanvraag ingediend met als doel in een periode van 2 jaar te achterhalen of en zo ja, in welke mate EM-velden effect hebben op essen. Deze rapportage omvat een omschrijving van de experimentele opzet en de resultaten van de periode 2010-2012. Dit project is in 2010 gefinancierd door de opdrachtgever Gemeente Alphen aan den Rijn en in de periode 2011-2012 deels gefinancierd door de Gemeente Alphen aan den Rijn en deels door het Productschap Tuinbouw.

Proefopzet

Bij de proefopzet (2010-2012) is nagegaan of hoogfrequente elektromagnetische straling van invloed is op bomen. Het gaat daarbij om frequenties in het gebied van 2,4 GHz (gebruikt door o.a. WiFi, draadloze internetverbindingen), in het gebied van 2.1 GHz (gebruikt door UMTS, draadloze telefoonverbindingen) en in het gebied van 500-800 MHz (gebruikt door DVB-T, digitale TV-uitzendingen). Er is vooral gebruik gemaakt van essen (*Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie') en in mindere mate van paardenkastanje (*Aesculus hippocastanum*). In 2012 is op beperkte schaal wilg (*Salix alba*) toegevoegd aan deze verkenning. Er is voor gekozen om bomen in klimaatcellen bloot te stellen aan EM-velden opgewekt door WiFi (in 2010), door een combinatie van WiFi, UMTS en DVB-T apparatuur (in 2011), en door WiFi en UMTS apparatuur (in 2012). Ter controle zijn bomen in vergelijkbare klimaatcellen opgesteld in afwezigheid van apparaten die EM-velden produceren.

Het onderzoek is in eerste instantie bedoeld om vast te kunnen stellen of gepulste hoogfrequente elektromagnetische straling invloed heeft op het functioneren van bomen. Een voorwaarde bij het onderzoek is dat het vermogen van de hoogfrequente elektromagnetische straling representatief is voor vermogens die te vinden zijn in het openbaar gebied. Daarom zijn in het eerste jaar EM-veld-metingen uitgevoerd in en buiten de klimaatcellen.

Monitoring gedragingen van bomen

Gedurende het experiment zijn de gedragingen van de bomen vastgelegd en beoordeeld. Daarbij is conform het onderzoeksvoorstel gelet op de mate van lengtegroei, de bladontwikkeling, omtrektoename van de stam en eventuele afwijkingen aan de planten. Daarbij zijn de bladeren met extra aandacht gevolgd. Onderstaand zal eerst de algemene proefopzet worden beschreven, daarna de proefopzet per jaar en vervolgens zullen resultaten van de drie jaren worden vermeld en bediscussieerd.

Vraagstelling

Hebben EM-velden een effect op bomen en hebben EM-velden effect op het functioneren van bomen op een wijze dat het vastgesteld kan worden aan facetten als bladontwikkeling, bladvorm, bladhoeveelheid, bladkwaliteit en de groei van stam en takken in lengte en dikte?

Proefopzet algemeen

De te testen planten zijn in klimaatcellen gehouden. Onderstaande schema's tonen hoe in de afgelopen drie jaar experimenten zijn uitgevoerd en in welke klimaatcellen EM-velden zijn toegepast. Resultaten van het jaar 2010 waren verkennend van aard en zijn slechts gedeeltelijk in dit verslag opgenomen. Tabel 1 geeft een overzicht in welke klimaatcellen welke typen EM-velden zijn toegepast in de verschillende onderzoeksperioden. Tabel 2 geeft een overzicht van de toegepaste dag/nacht-temperatuurregimes. Tabel 3 geeft de lichtintensiteiten in de verschillende klimaatcellen per jaar, de spectrale samenstelling van het licht en de dag-nacht-cyclus voor temperatuur en belichting. Tabel 4 toont in welke maanden van de drie opeenvolgende jaren de experimenten zijn uitgevoerd. Tabel 5 tenslotte, geeft een overzicht van de boomsoorten en de aantallen boompjes per soort die in de verschillende klimaatcellen zijn gebruikt voor de experimenten. De *Fraxinus*- en *Aesculus*- en *Salix*bomen waren allemaal geënt. Acht essen uit het experiment van 2010 zijn ook gevolgd in het experiment van 2011.

Klimaatcel Afmetingen Jaar	A1 4,00x2,45x2,47 m (lhb)	A2 afmetingen als A1	A4 afmetingen als A1	C8 3,40x2,45x2,47 m (lhb)
2010	Controleruimte zonder WiFi-apparatuur (-EM)		+EM-velden zijnde 6 WiFi-zenders mét antennes (+EM)	
2011	Controle mét 6 WiFi-zenders echter zónder antennes maar wel met een dummy load (sham)	Controle zonder EM-belasting (-EM)		+EM-velden zijnde 6 WiFi-zenders met antennes 1 DVB-T antenne 1 UMTS antenne
2012	Controle (-EM)		+EM-velden 6 WiFi-zenders met antennes 1 UMTS-antenne	+EM-velden 6 WiFi-zenders met antennes 1 UMTS-antenne

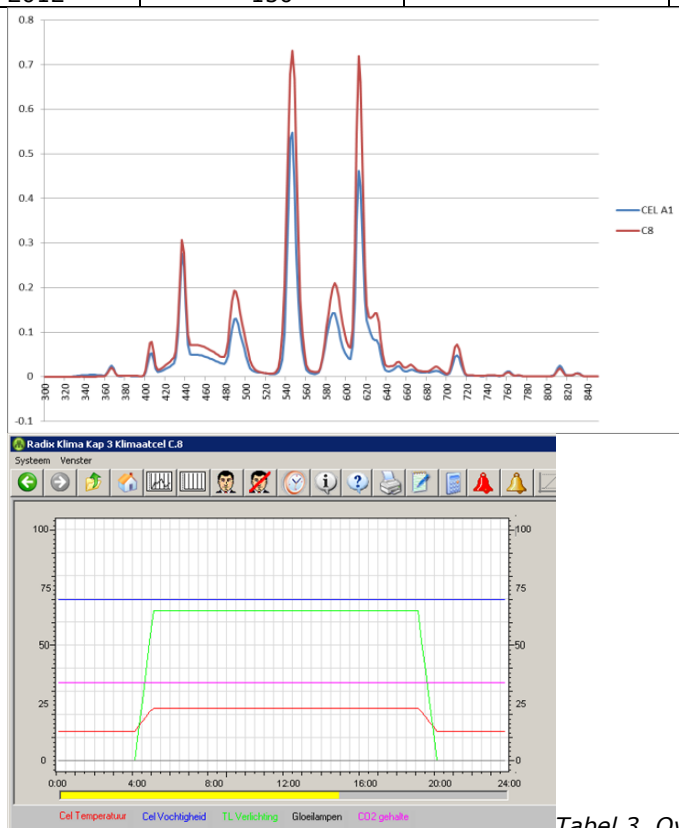
Tabel 1. Overzicht van aangebrachte EM-velden in de klimaatcellen in de jaren 2010-2012.

Rood is klimaatcel mét EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel met zenders, zonder antennes maar met dummy loads. Afmetingen van de klimaatcellen zijn aangegeven (lhb-lengte, breedte, hoogte in m).

Klimaatcel	A1	A2	A4	C8
Jaar	Temp. D/N °C	Temp. D/N °C	Temp. D/N °C	Temp. D/N °C
2010	23/15		23/15	
2011	23/13	23/18		23/13
2012	23/18		23/18	23/18

Tabel 2. Overzicht van de temperatuurregimes (°C) in de klimaatcellen in de periode 2010-2012.

Klimaatcel	A1	A2	A4	C8
Jaar	Licht $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$	Licht $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$	Licht $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$	Licht $\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{s}$
2010	250		250	
2011	185	233		190
2012	150		150	150



Tabel 3. Overzicht van de ingestelde lichtintensiteit in

$\mu\text{Mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ (boven), de spectrale samenstelling van het licht (linksonder), het dagelijkse intensiteitsverloop van het licht (groene lijn, rechtsonder) en het dagelijkse temperatuurverloop (rode lijn rechtsonder) in de klimaatcellen in de periode 2010-2012.

	maart	april	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov
2010				x	x	x	x	x	
2011					x	x	x	x	x
2012		x	x	x	x	x	x	x	x

Tabel 4. Overzicht van periode waarin planten gevolgd zijn in de jaren 2010-2012. Knoppen buiten, lopen medio april uit. Bladeren vallen buiten af in november.

klimaatcel jaar	A1	A2	A4	C8
2010	25 Fraxinus 150-180cm 17 Aesculus 130-150cm		25 Fraxinus 150-180cm 18 Aesculus 130-150cm	
2011	10 Fraxinus 150-180cm 12 Aesculus 130-150 cm	7 Fraxinus 10 Aesculus		10 Fraxinus 14 Aesculus
2012	10 Fraxinus 150-180cm 25 Fraxinus 60-80cm 5 Aesculus 130-150cm 5 Salix 80-85cm		10 Fraxinus 150-180cm 26 Fraxinus 60-80cm 5 Aesculus 130-150cm 5 Salix 80-85cm	8 Fraxinus 150-180cm 14 Fraxinus 60-80cm 2 Aesculus 130-150cm 1 Salix 80-85cm

Tabel 5. Overzicht van het aantal planten en hun aanvangslengtes in de diverse klimaatcellen in de periode 2010-2012.

Belichting

Er is in alle jaren een lichtregime toegepast van 16h licht en 8h donker met een één uur durende overgang van licht naar donker in het laatste uur licht en een één uur durende overgang van donker naar licht in het eerste uur licht (Tabel 3). De lichtintensiteit is tussen de jaren gevarieerd maar binnen een jaar in minstens twee klimaatcellen zoveel mogelijk gelijk gehouden. De lichtintensiteit is vastgesteld met een LI-1400 datalogger (Li-cor). Tabel 3 geeft de lichtintensiteitswaarden in $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$, de spectrale samenstelling van het licht, en de dagelijkse temperatuur- en belichtingsintensiteit-wisselingen.

Elektromagnetische bronnen

Er is tijdens het onderzoek gebruik gemaakt van WiFi, DVB-T en UMTS bronnen.

WiFi routers, type Cisco AIR-AP1242G-E-K9 zijn geleverd door Vosco Networking BV en voorzien van antennes (Cisco AIR-ANT24020V-R) met een zendfrequentie verdeeld over de beschikbare kanalen.

De UMTS zender (zendfrequentie rondom de 2,1 GHz) is geleverd door Machine Talk en gebruikt in 2011 en 2012. In 2011 is de door de leverancier meegeleverde "magneet antenne" gebruikt. In 2012 is (op aanraden van de heer P Zwamborn, TNO) een "ground plane antenna" toegepast omdat de magneet antenne een metalen plaat nodig heeft om goed "af te stralen" (zie Fig. 12A en 20B).

De DVB-T apparatuur is geleverd door Broadcast Partners.

In de klimaatcel mét EM-velden zijn 6 EM-bronnen (WiFi-accesspoints) gebruikt om een gemoduleerd elektromagnetisch veld op te wekken. Deze apparaten maken gebruik van de vergunningsvrije frequentie van 2400 MHz. De routers werken met frequentie-kanalen verdeeld in het frequentiegebied van 2412 tot 2472 MHz en een maximaal vermogen van 100 mW EIRP (equivalent isotropically radiated power). Dit is het werkelijk uitgezonden vermogen inclusief de versterkingsfactor van de antenne.

Met de inzet van deze apparatuur maken we gebruik van een zelfde soort digitaal gemoduleerde techniek zoals die wordt gebruikt bij 900 MHz, 1800 MHz of 2100 MHz (mobiele telefoon). Alleen de frequentie van de draaggolf is anders. Signalen opwekken op de mobiele telefonie-frequenties is niet zomaar toegestaan. Daarom is gekozen voor apparatuur die vrij in de handel verkrijgbaar is en die geen inbreuk maakt op het frequentiespectrum maar wel gebruik maakt van dezelfde radio-technieken. Of planten of bomen reageren op de gepulste elektromagnetische straling kon zo toch worden onderzocht. Zie onderstaand overzicht met frequenties en de kanaalverdeling (Fig. 1). De kanalen 1, 3, 5, 7, 9 en 13 zijn gebruikt. Kanaal 14 is niet gebruikt.

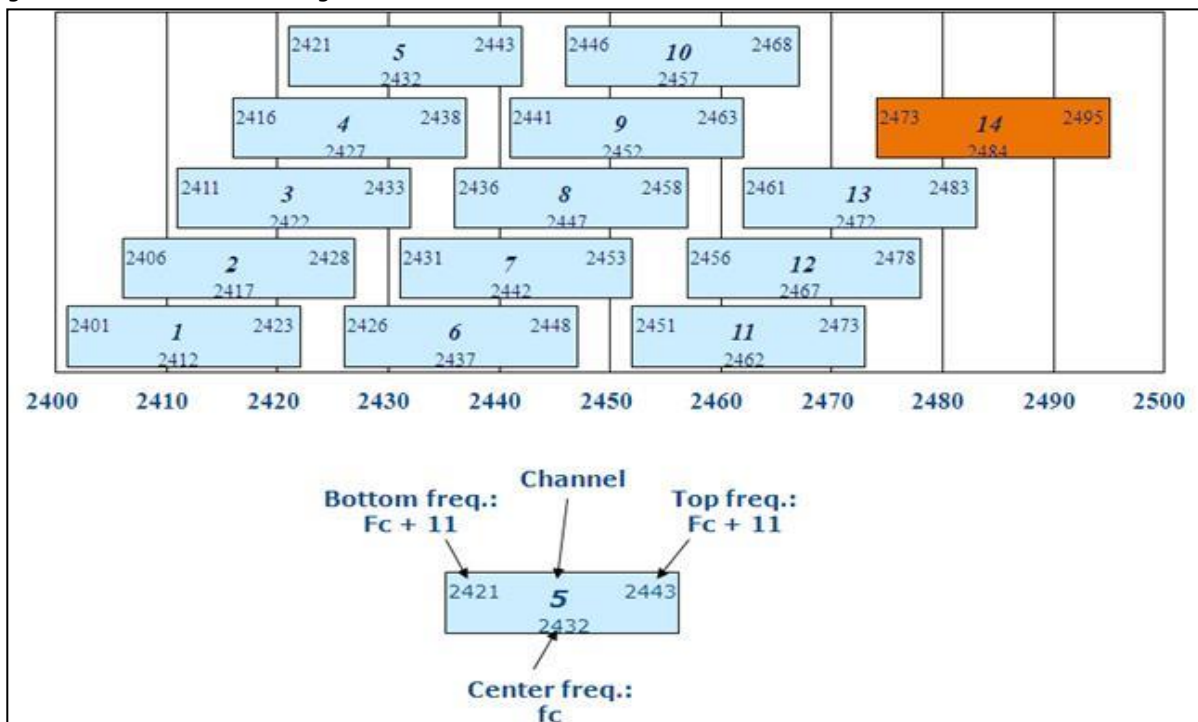


Fig. 1. Overzicht met kanaalverdeling over de 2,4 GHz-band. De kanalen 1,3,5,7,9 13 zijn in 2010, 2011 en 2012 gebruikt.

Chlorophyllbepaling

Gedurende de periode 2010-2012 is aan de bomen op meerdere momenten het chlorophyllgehalte van een aantal bladeren gemeten. Dat is gedaan met een SPAD-502 meter (Minolta, Fig. 13A). Van elk blad is op 5 plaatsen een meting gedaan en de verkregen waarden zijn gemiddeld.

In 2012 is de fotosynthesecapaciteit van bladeren bepaald met een miniPAM (Pulse Amplified Modulation-fluorometer, Walz, Germany, Fig. 13B-D). Per boompje zijn 5 bladeren gekozen en per blad is één meting verricht. De meting is in het donker uitgevoerd.

Bladanalyse met lichtmicroscopie en cryoscanning elektronmicroscopie

Bladeren zijn gemonsterd en met de lichtmicroscopie onderzocht op afwijkingen. Daarvoor zijn dwarse coupes gemaakt, met de lichtmicroscopie geanalyseerd en een gefotografeerd.

Voor de scanningmicroscopie zijn stukjes blad uitgesneden en met koolstoflijm vastgehecht in een houder. Het monster is daarna snel bevroren in vloeibare stikstof en overgebracht in een cryo-preparatie-systeem (MED 020/VCT 100, Leica, Vienna, Austria) bij -95°C . Met een sputter coater is 4 nm wolfraam opgebracht en het preparaat is daarna in een veld emissie scanning microscoop (Magellan 400, FEI, Eindhoven, the Netherlands) gebracht en geanalyseerd.

Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten

In 2011 is in samenwerking met de leerstoelgroep Celbiologie en Immunologie (CBI; dr Lidy van Kemenade en prof.dr. Huub Savelkoul) gebruik gemaakt van hun expertise in onderzoek naar de biologische effecten van laag frequente EMF. Hun apparatuur is gebruikt voor een zaadkiemexperiment. Van dat pilot-experiment wordt hier verslag gedaan in het resultaatdeel van 2011.

Statistische analyse

Per klimaatcel zijn ieder jaar gemiddelde waarden van de verschillende parameters bepaald. Daarbij zijn aantallen planten genoteerd en is de standaarddeviatie en standaard fout bepaald. Voor het vergelijken van klimaatcellen mét en zonder elektromagnetische velden zijn de gemiddelde waarden en plantaantallen en hoeveelheid metingen gebruikt. Het aantal planten met bladaantasting (Tabel 22-24), is statistisch geanalyseerd met behulp van een gegeneraliseerd lineair model met de logit linkfunctie, een binomiale verdeling en onbekende dispersieparameter. Als vaste termen bevatte het model de factoren jaar en EM-bron.

Voor de statistische analyse van de parameters lengtetoeename, aantal bladeren en chlorophyll-hoeveelheid (Tabel 19-21) is hetzelfde model maar dan met identieke linkfunctie en normale verdeling gebruikt. In de analyse is verondersteld dat de EM-bronnen random over de klimaatcellen verloot zijn.

Per jaar zijn altijd twee cellen zoveel mogelijk identiek opgezet wat betreft fysische condities en de inrichting met planten. In 2011 en 2012 is daarnaast een extra klimaatcel ingericht, zij het dat daarin het aantal planten was verminderd en dat de planten daarin alleen aan één zijde van de klimaatcel waren opgesteld. Ook was in de afwijkende klimaatcellen een iets ander klimaatregime toegepast. In de resultaatbespreking wordt daarom voornamelijk een vergelijking gemaakt tussen de klimaatcellen die op de aanwezigheid van EM-velden na identiek zijn ingericht. De meetwaarden van de analyses in de twee meest-vergelijkbare klimaatcellen zijn in de tabellen in zwart weergegeven, de resultaten van de afwijkende klimaatcel in grijs.

Bij vergelijking van resultaten verkregen in een klimaatcel mét en in een klimaatcel zonder EM-velden zijn per klimaatcel gemiddelde waarden berekend van onder meer stamlengtetoeename, stamomtrek-toename, aantal bladeren, bladgewicht en chlorophyllgehalte. Bij de gemiddelden is in de tabellen ook de standard error ($SE = \text{stdev} / \sqrt{N}$) vermeld omdat de hele populatie gemeten is. Om te bepalen of er verschillen zijn tussen de gemiddelden tussen klimaatcellen, wordt het gemiddelde in de ene klimaatcel $\pm 2SE$ vergeleken met het gemiddelde van de andere klimaatcel $\pm 2SE$. Daarnaast is met behulp van IBM SPSS Statistics version 21 gebruik gemaakt van een Independent Sample Test (T-test) om te achterhalen of de variabiliteit in de twee condities verschillend was en of er wel of geen statistisch (significant) verschil in de gemiddelden was. Deze toets is uitgevoerd voor de klimaatcellen met identieke beplanting met alleen het verschil zonder of met EM-velden. In Bijlage III is de statistische analyse toegevoegd.

Is er een verschil dan is dat nog geen reden het aan de omstandigheid "wel of geen EM-velden" toe te schrijven aangezien het aantal cellen (herhalingsfactor) in een dergelijk geval slechts 1 bedraagt. De uitspraak kan wel zijn:

"Gegeven de SE is er wel of niet een verschil" maar mocht er een verschil worden geconstateerd, dan kan er nog niet gesproken worden over een significante toename veroorzaakt door de aan- of afwezigheid van EM-velden. Hiervoor is herhaling van het experiment in meerdere klimaatcellen noodzakelijk. De constatering dat er een verschil is, is dan wel indicatief om vervolgonderzoek te doen.

Proefopzet 2010

Klimaatcellen en EM-velden

In 2010 zijn twee klimaatcellen ingericht. Eén ruimte (klimaatcel A4 +EM) met 6 WiFi-zenders en antennes die ruimtelijk verdeeld waren volgens het schema in Tabel 26 en in Bijlage I. WiFi-zenders en antennes waren in de opstelling van 2010 niet ruimtelijk gescheiden maar vlak naast elkaar aangebracht zoals te zien is in Fig. 3 (rechts boven).

Ter controle is een ruimte identiek ingericht maar zonder WiFi-zenders (klimaatcel A1 -EM).

Temperatuurregime, lichtintensiteit, de proefperiode en aantallen planten zijn gegeven in de tabellen 2, 3, 4 en 5.

Plantmateriaal

In iedere klimaatcel zijn 25 *Fraxinus excelsior* 'Westhof's Glorie' boompjes geplaatst en gevolgd. Voor de opstelling van de planten in de klimaatcellen zie Beplantingsschema 2010 (Tabel 26) en fotobijlage Fig. 3. Aan het begin van de proef waren de planten al aan het uitlopen (Fig. 3).

De volgende parameters zijn onderzocht

- eventuele aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose,
- lengtetoeename van de scheut,
- hoeveelheid chlorophyll in de bladeren. Daarbij zijn de chlorophyllwaarden bepaald met een SPAD-502 (Minolta) waarbij het gemiddelde bij de meting is verkregen uit de waarden van 5 verschillende bomen (n=5) en waarbij de waarde per boom is verkregen door 10 metingen per boom uit te voeren.
- afwijkingen in bladmorfologie

Bladeren van *Fraxinus excelsior* die afwijkingen vertoonden, zijn anatomisch onderzocht. Daartoe zijn handcoupes van bladeren gemaakt en met de lichtmicroscop geanalyseerd. Ook zijn bladeren met een cryo-scanning- elektronenmicroscop onderzocht. Daarvoor zijn bladmonsters snel bevroren in vloeibare stikstof, gebroken, en het breukvlak is na coating met wolfram in bevroren toestand geanalyseerd en gefotografeerd.

Proefopzet 2011

Klimaatcellen en EM-velden

In 2011 zijn experimenten in 3 klimaatcellen opgezet. Eén klimaatcel (C8) was voorzien van EM-velden in de vorm van 6 WiFi-zenders met hun bijbehorende antennes die dit jaar op enige afstand gemonteerd werden van de zenders (C8 +EM). De zenders waren op dezelfde plaats opgesteld als in 2010. Zie hiervoor Tabel 27 en Bijlage I. Bovendien waren in deze ruimte een UMTS-antenne en een DBV-T antenne (Digitenne-signaal) opgesteld zoals aangegeven op de plattegrond in Bijlage I "EMV metingen in bomen in klimaatkamers bij Wageningen Universiteit". Figuur 12A toont de UMTS-antenne, Fig. 12B toont de DVBT-antenne en Fig. 12C toont de WiFi-antenne. De UMTS- en DVB-T-zenders bevonden zich buiten de klimaatcel.

Eén klimaatcel (A1) was uitgerust met WiFi-zenders maar dan zonder antennes om te bepalen of alleen de hoogfrequente signalen vanuit de apparatuur inclusief de kabels van invloed kunnen zijn op de plantontwikkeling. In plaats van antennes zijn dummy loads aangebracht (sham-experiment, Fig. 12D). Deze klimaatcel is A1-sham genoemd. Planten zijn daarin op identieke wijze opgesteld als in C8. Daarnaast was als controle een klimaatcel ingericht zonder zenders en antennes (klimaatcel A2 -EM). Deze klimaatcel was voor de helft beschikbaar. Planten stonden hier slechts aan één zijde. Temperatuurregime, lichtintensiteit, de proefperiode en aantallen planten zijn gegeven in de tabellen 2, 3, 4 en 5.

Plantmateriaal

Fraxinus excelsior- en *Aesculus hippocastanum*boompjes zijn in de klimaatcellen geplaatst en vergeleken qua algehele plantontwikkeling, stamdikte en bladhoeveelheid en chlorophyllhoeveelheid. Aan het einde van de proefperiode zijn vers- en drooggewichten van de bladeren bepaald en is een bladoppervlakte-gewichts-ratio-analyse uitgevoerd. Daarnaast is gedurende de onderzoeksperiode gelet op mogelijke afwijkingen aan bladeren en de stam. Voor de opstelling van de planten in de klimaatcellen zie Bepantingschema 2011 (Tabel 27) en Fig. 8 t/m 11. Aan het begin van de proef waren de knoppen al uitgelopen (Fig. 8+9). Omdat de cellen A1 en C8 qua ligging, afmeting en opstelling van de planten het meest op elkaar lijken, is vergelijking van resultaten tussen deze twee ruimten het meest zinvol. Dat zal ook gedurende de bespreking steeds gedaan worden. De meetwaarden van de analyses in de twee meest-vergelijkbare klimaatcellen zijn in de tabellen in zwart weergegeven, de resultaten van de afwijkend ingerichte klimaatcel (A2) in grijs.

Parameters

Gedurende het onderzoek is gelet op de volgende parameters:

- eventuele aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose,
- hoeveelheid blad uitgedrukt in aantal, nat- en drooggewicht per plant onder de verschillende groeiomstandigheden,
- bladmorphologie,
- chlorofyllgehalte gemeten met een SPAD-502 meter (Minolta, Fig. 13A).

Kwantificering bladgegevens

Het aantal bladeren is eind oktober in de drie klimaatcellen per plant geteld (niet destructief). Daarna zijn in november in de klimaatcel A1 en A2 de vers- en drooggewicht van de *Fraxinus*-bladeren per plant bepaald (destructief). Drooggewicht-bepalingen zijn gedaan na 24h drogen bij 70°C.

Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten

Naast het experiment met WiFi-zenders is verkennend gekeken naar het effect van laag frequente EM-velden op de kieming van zaden van rijst en *Arabidopsis*. Daarvoor is gebruik gemaakt van een laboratorium-opstelling met twee cilinders waarbij bij één cilinder een veld van 40 μ Tesla is opgewekt met een extreem laag frequentie signaal door gebruik te maken van block-golven met gelijke relatieve amplitude en fase 0 op $t=0$, met frequenties 320, 730, 880 en 2600 Hz (Bouwens et al. 2012). De belastings-uur-cyclus was daarbij: 10 minuten per uur belasting en 50 minuten per uur zonder EM-veld met continu-instelling. De cilinders stonden in het laboratorium bij kamertemperatuur in de periode 2-11-2011 t/m 29-11-2011. Voor de opstelling zie Fig. 18A+B.

Proefopzet 2012

Klimaatcellen en EM-velden

In 2012 zijn drie klimaatcellen ingericht te weten A1, A4 en C8. Elektromagnetische velden zijn opgewekt in de cellen A4 en C8 door per cel 6 WiFi-zenders met bijbehorende antennes te installeren volgens de zelfde verdeling zoals toegepast in 2010 en 2011. Klimaatcel A4 is volledig met planten ingericht, C8 slechts voor de helft. In beide cellen is een ground plane UMTS-antenne geplaatst zoals aangegeven in Bijlage I en op de plattegrond in Tabel 28. Figuur 20B toont de antenne in detail. De UMTS-zender bevond zich buiten de klimaatcel. Eén klimaatcel diende als controle zonder EM-bronnen (Klimaatcel A1 – EM). De WiFi-zenders zijn reeds in 2011 gebruikt.

Plantmateriaal

In twee klimaatcellen A1 (-EM) en A4 (+EM) zijn *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*, en *Aesculus hippocastanum* boompjes geplaatst in gelijke opstelling. Klimaatcel C8 (+EM) was voor de helft beschikbaar. Daarin zijn eveneens *F. excelsior*, *S. alba* en *A. hippocastanum* geplaatst. De planten stonden hierin aan één zijde. Omdat de cellen A1 en A4 qua ligging, afmeting en opstelling van de planten het meest op elkaar lijken, is vergelijking van resultaten tussen deze twee ruimten het meest zinvol. Dat zal ook gedurende de bespreking steeds gedaan worden. De meetwaarden van de analyses in de twee meest-vergelijkbare klimaatcellen zijn in de tabellen in zwart weergegeven, de resultaten van de afwijkende klimaatcel (C8) in grijs.

Voor plantaantallen zie Tabel 4, voor de opstelling van de planten in de klimaatcellen A1, A4 en C8 zie Bepantingschema 2012 (Tabel 28) en Fig. 19.

De boomlengte en de stamomtrek op 1m boven grondniveau is vastgesteld aan het begin van de proef en gedurende de proef enige keren opgemeten. Bij de start van het experiment stonden de bomen nog in knop (Fig. 19).

Groeiomstandigheden

De proefperiode en aantallen planten zijn gegeven in de tabellen 3 en 4. Van 1 april tot 19 april 2012 hebben alle klimaatcellen een dag/nacht temperatuur gehad van 23/13°C. Daarna is voor de verdere proefperiode een ritme van 23/18°C gehanteerd bij een constante luchtvochtigheid van 72%. Planten zijn met regelmaat met kraanwater gegoten en pas in de tweede helft van de proefperiode bemest. Gedurende het verloop van het experiment bleek dat op meerdere momenten schade aan de planten ontstond door pathogenen zoals meeldauw, galmijt, spint, rouwmug en thrips. Gewasbescherming in A1 en A4 is steeds op dezelfde wijze uitgevoerd. Rouwmug kwam alleen in C8 voor en is daar bestreden.

Meting chlorophyllgehalte

Het chlorofyllgehalte is van dezelfde bladeren op meerdere momenten gemeten met een SPAD-502 meter (Minolta, Fig. 13A). In iedere klimaatcel zijn 5 essen, 2 paardenkastanjes en 1-5 wilgen geselecteerd. Van iedere boom zijn bladeren gelabeld en op ieder blad zijn op meerdere momenten 5 metingen verricht waarvan de gemiddelde waarde is genoteerd.

De fotosynthesecapaciteit van bladeren is bepaald met een miniPAM (Pulse Amplified Modulation-fluorometer, Walz, Germany, Fig. 13B-D). Daarvoor zijn per klimaatcel 5 essen, 1-2 paardenkastanjes en 1-5 wilgen geselecteerd. Per boompje zijn 5 bladeren gekozen en per blad is één meting verricht. De meting is op 26-6-2012 in het donker uitgevoerd.

Bladanalyse

Aan het einde van de proef zijn bladeren van *Fraxinus* geanalyseerd op hun aantal per plant, het bladgewicht per plant, hun vorm, conditie en eventuele afwijkingen. Daarnaast zijn nat- en drooggewichten van bladeren per plant bepaald (Fig. 15) en er zijn microscopische preparaten gemaakt. Deels voor analyse met de lichtmicroscopie en deels voor cryo scanning elektronenmicroscopie.

Parameters

Gedurende het onderzoek is gelet op de volgende parameters:

- eventuele aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose,
- lengtegroei van de stam van planten,
- diktegroei van de stam,
- hoeveelheid blad die per plant ontstond onder de verschillende groeiomstandigheden

- hoeveelheid blad uitgedrukt in nat en drooggewicht
- bladmorfologie
- chlorofyllgehalte gemeten met een SPAD-502 meter en fotosynthese capaciteit gemeten met een miniPAM
- mate van bladkrulling uitgedrukt op een schaal van 1 (vlak) tot 5 (sterk gekruld)

Resultaten 2010

Metingen van het heersende elektromagnetische veld aan het begin van de proef

De intensiteit van het elektromagnetische veld van de 6 WiFi-routers is aan het begin van de proef met metingen vastgesteld (Fig. 2). Bij ingeschakelde zenders is gemeten in klimaatcel A4 (+EM) en in klimaatcel A1 (-EM). Het verschil met de meting in cel A4 toont de mate van demping die optreedt. De hoeveelheid energie in cel A1 is laag te noemen. Ter referentie: Een gemiddelde WiFi-cliënt heeft een ontvangstgevoeligheid tot ongeveer -85 / -90 dBm waarbij nog net data kan worden gedecodeerd.

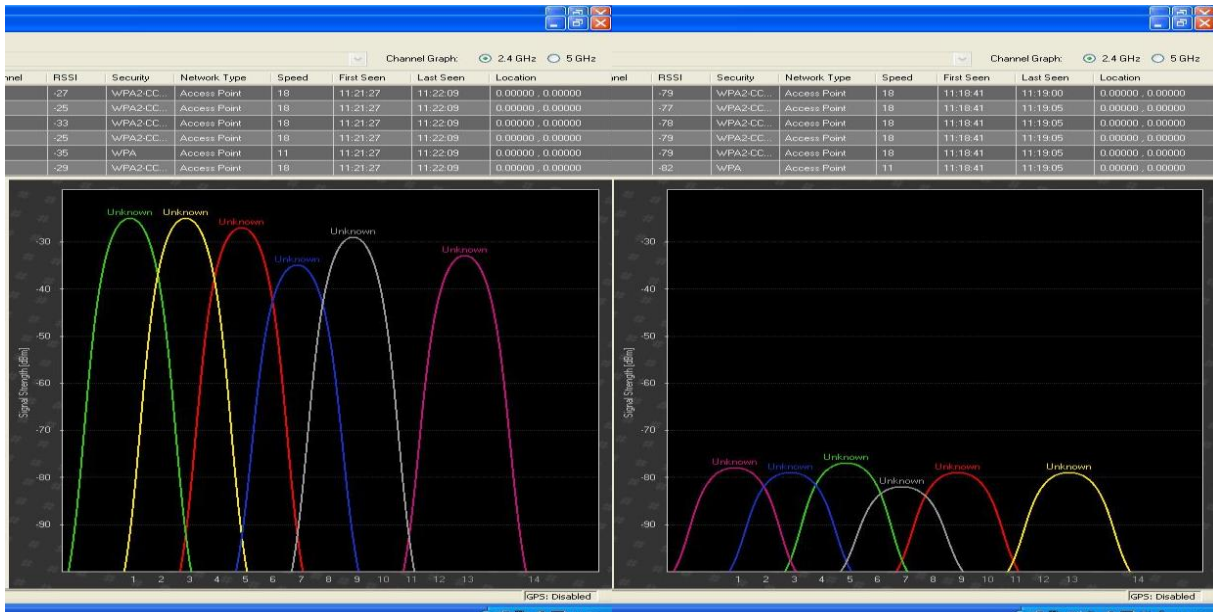


Fig. 2. Meting van signaalsterkte in de klimaatcellen A4 (links, +EM) en A1 (rechts -EM). Fig. 2A: AP-channel 1_5_7_9_13-inside_cell_A4: Alle access points ingeschakeld en gemeten in cel A4. Het volle vermogen kan hier gezien worden (Fig. 2A). Fig. 2B: Alle access points ingeschakeld in klimaatcel A4 en er is gemeten in klimaatcel A1. De hoeveelheid energie in cel A1 is laag te noemen.

Plantontwikkeling algemeen

Bij de start van het experiment op 31-5-2010 stonden de planten al in blad en was de stengelontwikkeling deels voltrokken. Zie Fig. 3 voor klimaatcel A4 met EM-velden (+EM). In deze klimaatcel zijn WiFi-zender en antenne als een set bij elkaar aan een draad tussen de planten gehangen. Voor de algehele plantontwikkeling op 31-8-2010 zie Fig. 4 voor klimaatcel A4 (+EM), en voor details zie Fig. 5 voor A1 (-EM) en A4 (+EM).

Er zijn aan essen na een onderzoeksperiode van 5 maanden geen aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose aangetroffen in de klimaatcellen al of niet voorzien van EM-velden (N=50).

Metingen aan Fraxinus excelsior

In het experiment van 2010 is gelet op de lengtetoeename van *Fraxinus* in een klimaatcel zonder EM-velden en in een klimaatcel mét EM-velden. Zoals opgemerkt had *Fraxinus* bij de inzet van het experiment al enige lengtegroei gehad. Vanaf het moment van inzet is het vervolg van de lengtegroei gevolgd. Tabel 6 geeft het resultaat van de metingen van de lengtetoeename van essen onder groeiomstandigheden zonder en mét EM-velden. Het blijkt dat *Fraxinus* in de meetperiode in beide klimaatcellen een beperkte groei toonde. Gegeven de SE is geen verschil geconstateerd tussen de lengtetoeename in de cel mét en de cel zonder EM-velden. Bij de berekening is gebruik gemaakt van de standard error ($SE = \text{stdev}/\sqrt{N}$) omdat de hele populatie ($n=25$) gemeten is.

Lengtetoename *Fraxinus*

Fraxinus	aantal	lengtetoename (cm)	st. error
Klimaatcel A1 (-EM)	n=25	21.2	1.8
Klimaatcel A4 (+EM)	n=25	19.5	2.6

Tabel 6. Overzicht van stamlengtetoename bij *F. excelsior* over een periode van 7 weken van 7-6-2010 tot 28-7-2010

Tevens is gelet op de hoeveelheid chlorofyll in de *Fraxinus*-bladeren onder de twee groeicondities. Tabel 7A geeft het resultaat van de meting. Gegeven de SE is er geen verschil geconstateerd tussen de chlorofyll-hoeveelheid in de klimaatcel mét en de klimaatcel zonder EM-velden. Sommige bladeren in de klimaatcel mét EM-velden bleken een metaalglans te gaan vertonen. Ook van deze bladeren is de chlorofyllwaarde bepaald. Er bleek een significant hogere chlorofyllwaarde in deze bladeren ten opzichte van bladeren zonder metaalglans (Tabel 7B).

Chlorofyllmeting *Fraxinus*

Tabel 7A <i>Fraxinus</i>	Aantal bladeren	Chlorofyll-waarde	st. error	Tabel 7B <i>Fraxinus</i> in A4 (+EM)	Aantal bladeren	Chlorofyll-waarde	st. error
Klimaatcel A1 (-EM)	n=6	44.6	1.98	Blad met metaalglans	n=5	57.9	0.6
Klimaatcel A4 (+EM)	n=6	45.2	1.74	Blad zonder metaalglans (hoog)	n=5	49.1	1.3

Tabel 7A Chlorofyllbepaling met SPAD-meting bij *F. excelsior*bladeren in de klimaatcellen A1 (-EM) en A4 (+EM) dd 25-8-2010.

Tabel 7B. Chlorofyllbepaling met SPAD-meting bij bladeren mét metaalglans en controlebladeren zonder glans dd 2-9-2010.

Bladaantasting *Fraxinus*

Bladkrulling, witte vlekken en metaalglans

Bladeren kunnen krulling te vertonen, onafhankelijk of de planten in een klimaatcel mét of zonder EM-velden staan (Fig. 5+6). Krulling kwam meer voor in de klimaatcel mét EM-belasting maar dat is in 2010 niet gekwantificeerd. Krullende bladeren kwamen het vaakst maar niet uitsluitend voor in de hogere zone van de klimaatcel. Krullende blaadjes bleken in het algemeen sterker uitgegroeid palissadechlorenchym te hebben dan vlakke blaadjes.

Sommige bladeren in de klimaatcel mét EM-velden bleken een afwijking te vertonen die niet waargenomen is in de controle-ruimte. Het gaat daarbij om het ontstaan van een metaalglans op de blaadjes van het samengesteld blad al of niet in combinatie met bladkrulling (Fig. 6A). Blaadjes met metaalglans bleken een hogere chlorofyllwaarde te hebben dan andere blaadjes van de zelfde hoogte (Tabel 7B). In een later stadium verbruinde een dergelijk blaadje, te beginnen aan de randen.

Blaadjes met metaalglans en controleblaadjes die geen EM-velden hebben gehad, zijn anatomisch onderzocht. Er zijn dwarse doorsnedes gemaakt voor lichtmicroscopisch onderzoek en enige blaadjes zijn bevroren, gebroken en met cryo-scanning elektronenmicroscopie onderzocht. Blaadjes met een metaalglans hadden ter plaatse van de metaalglans geen intacte boven-epidermis meer (Fig. 30A-B). Dat verschijnsel is alleen waargenomen in de cel mét EM-velden (Klimaatcel A4) en wel bij 7 van de 25 essenboompjes, te weten F2, 3, 10, 17, 19, 21, 25. Door reflectie van licht in de lege epidermiscellen ontstaat de 'metaalglans'. Dit verschijnsel is aanleiding geweest om herhalend onderzoek uit te voeren. In 2010 is het niet opgevallen dat bladeren een klevig exudaat vormden. Witte vlekken op bladeren zijn incidenteel opgemerkt zowel klimaatcel mét als zonder EM velden (Fig. 7C). Het verschijnsel is niet gekwantificeerd.

Resultaten 2011

Vaststelling elektromagnetische veldsterktes in de klimaatcellen

Aan het begin van het experiment van 2011 zijn de veldsterktes in de 3 gebruikte klimaatcellen gemeten. Klimaatcel A1 was uitgerust met 6 WiFi-routers en dummy loads, klimaatcel A2 was de controle-cel zonder EM-velden en klimaatcel C8 had EM-velden opgewekt door WiFi, UMTS en DVB-T. De diverse antennes voor UMTS, DVB-T en WiFi alsook de dummy loads zijn getoond in Fig. 12. Voor een uitgebreide verslaglegging van de veldsterktemetingen zie Bijlage I "Canrinus Consultancy - EMV-metingen in bomen in klimaatkamers Wageningen Universiteit" in dit verslag. Een samenvatting van de veldsterktemetingen uit genoemde verslaglegging is gegeven in Tabel 8. Hieruit blijkt dat de DVB-T, UMTS en WiFi-signalen in C8 mét EM aanzienlijk hoger zijn dan in de controleruimte A2 waarin noch zenders, noch antennes waren aangebracht. In klimaatcel A1 zijn slechts WiFi-zenders met dummy loads geplaatst i.p.v antennes. De metingen tonen dat klimaatcellen A1 en A2 vergelijkbaar lage veldsterktes hebben. Zij kunnen daarom beiden als controleruimtes worden beschouwd zonder EM. Ter vergelijking zijn ook metingen buiten de klimaatcellen gedaan. Daar blijken beduidend hogere DVB-T, GSM 900, GSM 1800, UMTS en WiFi signalen voor te komen dan in de controleruimtes A1 en A2.

Signaaltype	DVB-T	GSM 900	GSM 1800	UMTS	WiFi
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m
klimaatcel		926 MHz			2452 MHz
A1 (sham)	0.0002	0.0006	0.0005	0.0006	0.0013
A2 (-EM)	0.0002	0.0009	0.0005	0.0006	0.0011
C8 (+EM)	0.0770	0.0007	0.0004	0.1370	0.1368
Buiten klimaatcel	0.0350	0.0200	0.0320	0.0320	0.0030

Tabel 8. Samenvatting signaalsterktemeting in de klimaatcellen A1 (-EM: met WiFi-zenders en dummyloads), A2 (zonder zenders) en C8 (+EM: met 6 WiFizenders en bijbehorende antennes en 1 UMTS antenne en 1 DVB-T antenne). De metingen tonen dat klimaatcellen A1 en A2 vergelijkbaar lage veldsterktes hebben. Zij kunnen daarom beiden als controleruimtes worden beschouwd (-EM).

Plantontwikkeling algemeen

Bij de start van het experiment op 4-7-2011 hadden de *Fraxinus*-bomen al bijna volledige scheuten gevormd. Scheutlengte-meting ontbreekt dan ook in 2011. Figuur 8 toont A1 (sham ofwel zonder EM), Figuur 9 toont C8 met EM en Fig. 10+11 tonen A2 zonder EM. De situatie in de klimaatcellen A1, C8 en A2 na 4 maanden is getoond in Fig. 16. De indruk ontstond dat bladontwikkeling in C8 met EM achterbleef. Daarom is besloten de bladeren per plant te tellen, en het vers- en drooggewicht van de bladeren te bepalen. Voor 2012 is besloten ook de toename van de stamomtrek vast te stellen. Onderstaand worden de aspecten chlorophyllgehalte, aantal bladeren per plant, bladgewicht per plant en bladaantastingen behandeld.

Er zijn aan essen na een onderzoeksperiode van 5 maanden geen aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose aangetroffen in de klimaatcellen al of niet voorzien van EM-velden (N=29).

Metingen aan *Fraxinus excelsior*

Chlorophyllgehalte

Van al de individuele bomen zijn metingen op bladeren uitgevoerd om het gemiddelde chlorophyllgehalte te bepalen. Zie Tabel 9. Er is geen significant verschil gevonden in gemiddeld chlorophyllgehalte tussen de drie klimaatcellen.

Ook is nagegaan of er verschillen bestonden tussen chlorophyllwaarden in bladeren laag, midden en hoog aan de plant. Dat bleek niet het geval. In alle zones kwamen bladeren met hogere en lagere waarden voor. Jonge bladeren hebben in het algemeen lagere waarden dan oudere bladeren.

klimaatcel	aantal planten	Totaal aantal gemeten bladeren	gemiddeld chlorofyllgehalte	STDEV
A1 (sham)	n=10	17	41.8	3.6
A2 (-EM)	n=9	16	44.6	2.7
C8 (+EM)	n=10	28	40.6	5.6

Tabel 9. Chlorofyllbepaling in de bladeren van *Fraxinus excelsior* in de klimaatcellen A1 (-EM), A2 (-EM) en C8 (+EM) gemeten op 18-10-2011. In de klimaatcellen zijn resp. 17, 16 en 28 bladeren gemeten op een hoogte variërend van 0 tot 250 cm vanaf de grond. Iedere bladmeting is het gemiddelde van 5 metingen.

Overzicht gemiddeld bladaantal en vers/droog gewicht (g) per *Fraxinus*-boom

Als gekeken wordt naar het gemiddeld aantal bladeren per plant, het gemiddeld versgewicht en gemiddeld drooggewicht van de bladeren per plant en het percentage droge stof (droge stof-gehalte van bladeren) dan zijn de gegevens van de hele populatie *Fraxinus*boompjes in Tabel 10 opgenomen. Het beek dat het gemiddeld aantal bladeren per plant tussen de klimaatcellen onderling niet significant verschilde. Dat geldt ook voor het gemiddelde versgewicht en drooggewicht van de bladeren per plant.

Wel was het percentage droge stof in C8 mét EM aanmerkelijk hoger (40,3%) dan in de andere klimaatcellen (32.1 en 31.5%). De waarde is het quotiënt van gemiddeld drooggewicht en gemiddeld versgewicht van de bladeren per plant. Dit kan veroorzaakt zijn door de sterkere suikeroophoping in de bladeren. De suikeroophoping leidde in de klimaatcellen al tot druppelvorming op en kleverig worden van bladeren en hun bladstelen (Fig. 14B). Gegeven de SE is er een significant verschil in % droge stof tussen de klimaatcellen, maar bij gebrek aan herhaling kan niet direct worden geconcludeerd dat dat door de aanwezigheid van EM-velden is veroorzaakt

Van de bladeren is de oppervlakte per gram versgewicht bepaald. De ratio blijkt 40 cm² per gram natgewicht te zijn en 120 cm² per gram drooggewicht.

<i>Fraxinus</i>	aantal planten (pl)	Aantal bladeren/plant	st error	Versgewicht/pl (g)	st. error	Drooggewicht/pl (g)	st. error	% droge stof	st. error
A1 (sham)	10	125.6	9.1	419.6	51.4	135.1	17.4	32.1	1.1
A2 (-EM)	7	135.6	12.1	389.2	53.5	123.5	18.4	31.5	0.6
C8 (+EM)	10	120.9	7.1	364.7	37.6	147.6	16.1	40.3	1.5

Tabel 10. Overzicht van gemiddeld bladaantal, bladgewicht (vers en droog) en percentage droge stof van *F. excelsior* aan het eind van de proefperiode onder de verschillende groeiomstandigheden in klimaatcellen A1 (-EM), A4 (-EM) en C (+EM) dd 28-10-2011.

In het experiment van 2011 zijn *Fraxinus*boompjes van verschillende groottes gebruikt. Een aantal kwam van het experiment van 2010 (oudere, grotere bomen) en een aantal was nieuw aangeschaft (jongere, kleinere bomen). Om het verschil van grootte niet van invloed te laten zijn op de meetgemiddelden zijn de twee populaties ook afzonderlijk geanalyseerd. Hieronder geeft Tabel 11 het overzicht van het aantal *Fraxinus*planten, en het gemiddelde aantal bladeren, het blad-natgewicht, het blad-drooggewicht en het percentage droge stof per plant gescheiden naar grootte.

Als gekeken wordt naar de populatie jongere bomen tussen A1 (sham) en C8 met EM is er geen significant verschil in het gemiddeld aantal bladeren per plant. Als gekeken wordt naar populatie oudere bomen tussen A1 en C8 is er eveneens geen significant verschil in het gemiddeld aantal bladeren per plant. Oudere bomen hadden echter vergeleken met jongere bomen gemiddeld wel een significant groter aantal bladeren per plant zowel in A1 (sham) als in C8 mét EM.

<i>Fraxinus</i>	Klimaatcel	aantal planten	aantal bl/plant	st error	aantal planten	Versgewicht/pl	st error	Drooggewicht/pl	st error	%droge stof	St. error
jongere bomen	A1 (sham)	n=5	110	8	n=2	302	14	93	2	30.7	0.7
	A2 (-EM)	n=5	131	16	n=3	306	28	95	11	31.0	0.9
	C8 (+EM)	n=5	107	6	n=5	268	9	103	8	38.4	1.3
oudere bomen	A1 (sham)	n=5	141	14	N=3	498	32	163	4	32.7	1.7
	A2 (-EM)	n=2	147	15	N=2	515	8	166	6	32.2	0.6
	C8 (+EM)	n=5	135	9	N=5	461	39	192	11	41.6	2.5

Tabel 11. Overzicht van het aantal bladeren, het bladversgewicht, bladdrooggewicht en het % droge stof per plant van *Fraxinus*-boompjes onderscheiden op grootte (jongere boompjes versus oudere). Deze tabel geeft een uitsplitsing van de data opgenomen in Tabel 10.

Als gekeken wordt naar het gemiddeld % droge stof per plant hadden jonge bomen in C8 met EM-velden (vergeleken met jonge bomen in A1 zonder EM-velden) een significant hoger % droge stof per plant (38.4 ± 1.3 versus 30.7 ± 0.7). De waarde is het quotiënt van gemiddeld drooggewicht en gemiddeld versgewicht van de bladeren per plant.

Hetzelfde geldt bij vergelijking van de oudere bomen in A1 en C8 (Tabel 11). Hier zijn de waarden 41.6 ± 2.5 versus 32.7 ± 1.7 . Er is dus significant meer droge stof accumulatie in de klimaatcel mét EM-velden zowel bij jongere bomen als bij oudere bomen.

Bladkarakteristieken *Fraxinus*

Aan het einde van de proefperiode 2011 zijn bladeren morfologisch beoordeeld. Bladeren aan de top van de planten waren donkerder en dikker en glanzender dan lager-geplaatste bladeren. Figuur 17A geeft een voorbeeld van bladeren uit klimaatcel A2 (controle -EM) en Fig. 17B geeft een voorbeeld van bladeren uit klimaatcel C8 (belaste cel +EM). Bladeren in de klimaatcel mét EM-velden waren gemiddeld doffer van uiterlijk dan bladeren in controlecellen. Dikke, donkere bladeren en lichte, dunne bladeren zijn anatomisch geanalyseerd. Het verschil in dikte blijkt veroorzaakt door verschil in uitgroei van de palissadechlorenchymcellen. Zie als voorbeeld Fig. 31A voor bladeren uit klimaatcel A2. Dat verschijnsel van het uitgroeien van palissadechlorenchym is karakteristiek voor een zonneblad ten opzicht van een schaduwblad. Zonnebladeren en schaduwbladeren kwamen in alle klimaatcellen voor. Bladeren kunnen een glanzend en een dof oppervlak hebben. Glanzende bladeren hebben als anatomisch kenmerk dat zij sterker uitgegroeid palissadechlorenchym hebben. Dat leidt tot een enigszins opbollende boven-epidermis tussen de kleine nerven en dat heeft de glans tot gevolg. Dit verschijnsel deed zich in controle én belaste klimaatcellen voor en in de regel bij bladeren die sterk belicht waren. Zie als voorbeeld Fig. 17.

Bladeren vertoonden daarnaast bladkrulling, in meerdere mate in de belaste cel (Fig. 14A), in mindere mate in de controle-cellen. Bladkrulling is een afwijking van de normale situatie en kan ontstaan door bovenmatige uitgroei van palissadechlorenchym waardoor het blad onder mechanische spanning komt te staan. Ook ophoping van assimilaten (suiker) kan leiden tot bladkrulling.

In 2011 is bij één van de 10 boompjes in de belaste cel C8 een combinatie van bladkrulling en zwakke metaalglans waargenomen en wel op enkele van de bovenste bladeren. De metaalglans bleek ook hier veroorzaakt door epidermisnecrose (Fig. 31).

Bladeren vertoonden gaande de proefperiode een toenemende suikeruitscheiding. Dat was het meest uitgesproken in de klimaatcel mét EM-velden en in mindere mate in de controlecellen. Suikeruitscheiding is niet gekwantificeerd maar werd vooral gezien op de onderzijde van de bladschijf en op de bladsteel; vaak in de vorm van druppels (Fig. 14B). Figuur 31A toont een scanning-elektronenmicroscopische opname van dergelijke suikerdruppel aan de onderzijde van het zonneblad uit de controleruimte.

Ten slotte zijn witte vlekken op bladeren waargenomen zowel in de klimaatcel C8 mét EM-velden alsook in de controle klimaatcel A2 (Fig. 15C,D). De mate van voorkomen is niet gekwantificeerd.

Effect laag-frequent EM-velden op kiemplanten

Bij vergelijking van zaadkieming bij rijst en *Arabidopsis* in een omstandigheid waarin laagfrequent EM wordt aangeboden ten opzichte van een controle, bleek er geen verschil in kiemingspercentage tussen de twee groeiomstandigheden. Kieming was in beide situatie hoog. *Arabidopsis* had tot 98% kieming onder belaste omstandigheden (n=50). Rijst had 100% kieming in beide omstandigheden (n=10). Wel was een sterkere groei van de kiemplanten te zien in de cultuur mét EM-velden. Vooral de rijstkiemplanten groeiden harder onder belaste omstandigheden. Opvallend was dat de petrischalen met zaden van *Arabidopsis* en rijst al vóór de kieming condensdruppels vertoonden in de cilinder mét EM-velden. Vergelijking van de temperatuur in de twee cilinders gaf aan dat in de belaste omstandigheid de temperatuur hoger bleef gedurende het experiment dan in de controle. De waarden bedroegen respectievelijk 24 en 21.5°C (Fig. 18). De trial is twee maal herhaald met als zelfde resultaat dat groei in de belaste omstandigheid sneller verliep. Hierbij is de groeitoename naar verwachting veroorzaakt door de hogere temperatuur. Vanwege genoemde thermische effect is van verdere analyse afgezien.

Resultaten 2012

Plantontwikkeling algemeen

Bij de start van het experiment op 3-4-2012 waren de meeste boompjes nog in knopstadium zodat de hele knop-uitgroei onder de aangeboden condities kon verlopen (Fig. 19). Ontwikkeling van de proefplanten in de controle- en belaste klimaatcel op 30-8-2012 is getoond in Fig. 23A-B. Fig. 23C-D toont de situatie in een deel van de klimaatcel op 6-11-2012.

Er zijn aan essen na een onderzoeksperiode van 8 maanden geen aantastingen zoals bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose aangetroffen in de klimaatcellen al of niet voorzien van EM-velden (N=91). In onderstaande tekst zijn tabellen opgenomen van metingen die gedurende de proefperiode zijn gedaan. Het betreft lengtegroei, stamomtrektoename en bladeigenschappen zoals chlorophyllgehalte, bladaantal en bladgewicht per plant, en bladaantastingen.

Lengtegroei van *Fraxinus* en *Salix* onder belaste en onbelaste groeiomstandigheden

Lengtetoeename van de stam is vastgesteld om een beeld te krijgen of lengtetoeename in belaste en controlecellen van elkaar afwijken. Daarbij is naar een boomsoort met bepaalde groei (*Fraxinus*) en een boomsoort met onbepaalde groei (*Salix*) gekeken (Fig. 21A). Tabel 12 geeft de resultaten weer over een periode van 5 maanden.

Het blijkt dat de hoofdas (stam) van *Fraxinus* in alle klimaatcellen groei vertoonde. Er is rekening houdend met de standaard error geen significant verschil in lengtegroei tussen de klimaatcellen A1 zonder EM en A4 mét EM die verder identiek zijn ingericht. Wel was er sterkere lengtegroei van *Fraxinus*-stammen in C8 mét EM. Klimaatcel C8 was halfzijdig ingericht.

Bij *Salix* is de gemiddelde lengte van de langste takken vergeleken tussen klimaatcel A1 zonder EM en A4 mét EM (n=5 planten per klimaatcel).

Uit Tabel 12 blijkt dat de lengtetoeename bij *Salix*, zoals verwacht, veel groter is dan bij *Fraxinus* maar er is geen significant verschil in lengtegroei tussen de klimaatcellen A1 zonder EM en A4 mét EM.

Cel C8 heeft een iets sterkere lengtegroei van *Salix* maar omdat hier slechts één plant is gemeten, kan geen standaard error worden vastgesteld.

<i>Fraxinus</i>	Aantal bomen	lengtetoeename (cm)	st. error	<i>Salix</i>	Aantal bomen	lengtetoeename (cm)	st. error
Klimaatcel A1 (-EM)	n=34	18.7	2.1	Klimaatcel A1 (-EM)	n=5	190	9
Klimaatcel A4 (+EM)	n=35	17.7	1.9	Klimaatcel A4 (+EM)	n=5	199	11
Klimaatcel C8 (+EM)	n=22	33.7	2.6	Klimaatcel C8 (+EM)	n=1	210	-

Tabel 12. Overzicht van de gemiddelde stamlengtetoeename in cm met standaard error bij *F. excelsior* en *S. alba* over de periode 1-4 tot 25-8-2012. n is het aantal gemeten bomen.

Stamomtrek

Van *F. excelsior* en *S. alba* zijn aan het begin en einde van de proefperiode de stamomtrekken gemeten. De gemiddelde oorspronkelijke omtrek, de gemiddelde toename in mm en de gemiddelde procentuele toename inclusief standaard errors zijn in Tabel 13 weergegeven.

<i>Fraxinus</i>	Oorspronkelijke omtrek (mm)	st error	Toename (mm)	st error	% toename	st error
A1 (-EM) n=34	38.1	1.7	4.6	0.6	12.5	1.8
A4 (+EM) n=35	38.1	1.6	3.7	0.6	10.0	1.8
C8 (+EM) n=22	41.9	2.1	4.8	0.7	11.8	1.8

<i>Salix</i>	Oorspronkelijke omtrek (mm)	st error	Toename (mm)	st error	% toename	st error
A1 (-EM) n=5	24.4	1.5	27.3	4.6	112	19
A4 (+EM) n=5	24.7	1.5	24.7	1.5	98	12
C8 (+EM) n=1	26.0	-	34.0	-	131	-

Tabel 13. Overzicht van stamomtrek bij *F. excelsior* en *S. alba* in drie klimaatcellen over de periode 1-4 tot 7-11-2012.

Het blijkt dat in alle gevallen de essen en wilgen significant dikker werden in een periode van 7 maanden. Er is daarnaast een significant verschil tussen de gemiddelde stamomtrektoename tussen *Fraxinus* en *Salix*. *Salix* had de grootste procentuele toename (112% en 98% in resp. A1 en A4). Er is echter geen significant verschil in omtrektoename tussen *Salix* onderling in klimaatcellen zonder en mét EM-velden die verder identiek zijn ingericht (vergelijk A1-EM met A4+EM) en *Fraxinus* onderling in de klimaatcel zonder en mét EM-velden (vergelijk A1-EM met A4+EM en C8+EM). Wel is er een significantie in de diktetoe name bij de *Salix* in C8 mét EM maar het betreft hier slechts één plant

Bladeigenschappen

Bladaantallen

Van de *Fraxinus*- en *Salix*-bomen zijn diverse bladeigenschappen gemeten zoals bladhoeveelheid, bladgewicht, chlorophyllgehalte, fotosynthese capaciteit en bladaantasting. De bladhoeveelheid is bepaald voor alle bomen in A1, A4 en C8. Zie Tabel 14 voor het gemiddelde aantal bladeren per plant, het gemiddelde bladnatgewicht en het gemiddelde bladdrooggewicht per plant.

<i>Fraxinus</i>	aantal planten	Aantal bladeren per plant	st error	Natgewicht (g) bladeren per plant	st. error	Drooggewicht (g) bladeren per plant	st. error	% droge stof
A1 (-EM)	n=34	47.7	3.2	76	7.7	31.4	2.4	41.3
A4 (+EM)	n=32	41.0	3.4	63.9	6.5	27.9	2.1	43.7
C8 (+EM)	n=22	63.8	3.6	94.4*	7.5**	42.2*	3.0**	44.7

<i>Salix</i>	aantal planten	Aantal bladeren per plant	st error	Natgewicht scheut (g)/pl***	st. error	Drooggewicht scheut (g)/pl***	st. error
A1 (-EM)	n=5	572	52	987	60	834	65
A4 (+EM)	n=5	487	88	852	80	705	80
C8 (+EM)	n=1	1115	-	385	-	178	-

Tabel 14. Overzicht van gemiddeld bladaantal, bladgewicht (vers en droog) per plant van *F. excelsior* en *S. alba* en % droge stof voor *F. excelsior* aan het eind van de proefperiode onder de verschillende groeiomstandigheden in klimaatcellen A1 zonder, A4 mét EM en C8 mét EM. Bladeren zijn geteld op 7-11-2012. A1 en A4 zijn identiek ingericht op het EM-veld na, C8 is halfzijdig ingericht.

* De waarde van het natgewicht en drooggewicht is bepaald op 23-1-2013 op basis van het gewicht van de getelde bladeren per plant inclusief de afgevallen bladeren.

** De standard error is bepaald op basis van de aan planten aanwezige bladeren dd 23-1-2013.

*** De waarde van het nat- en drooggewicht is de som van bladgewicht en de bijbehorende takken (hele scheut!).

Gegeven de SE blijkt dat er tussen de cellen A1 zonder EM en A4 mét EM geen significante verschillen in bladaantallen, bladnatgewichten en bladdrooggewichten binnen één soort zijn te vinden. Dat geldt voor *Fraxinus* (n=34) en *Salix* (n=5).

Tussen de cellen A4 en C8 zijn wel significante verschillen voor *Fraxinus* te zien. Beide klimaatcellen hebben EM-velden maar aantal en opstelling van de boompjes is verschillend want C8 is slechts voor de helft identiek ingericht.

Chlorophyllmeting met SPAD-meter

De hoeveelheid chlorophyll in bladeren is op meerdere momenten in de proefperiode aan dezelfde bladeren gemeten. Voor *Fraxinus* zijn daarbij twee verschillende metingen gedaan *Fraxinus*-a en *Fraxinus*-b. Van elke plant is 1 blad gelabeld. Op elk blad zijn 5 metingen uitgevoerd en elk blad is in de meetperiode op twee (*Fraxinus*-a) of 3 verschillende (*Fraxinus*-b) momenten gemeten. Tabel 15 geeft de resultaten voor *Fraxinus*, *Aesculus* en *Salix*.

Fraxinus-a	aantal planten	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error
		op 30-8-2012	op 30-8-2012	op 21/26-11-2012	op 21/26-11-2012
A1 (-EM)	n=35	45.6	0.3	49.9	0.5
A4 (+EM)	n=36	45.4	0.5	47.7	0.9
C8 (+EM)	n=22	42.9	0.5	45.2	0.7

Fraxinus-b	aantal planten	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error
		op 30-5-2012	30-5-2012	op 13-6-2012	13-6-2012	op 7/26-11-2012	7/26-11-2012
A1 (-EM)	n=5	38.5	0.7	40.3	0.5	46.5	0.8
A4 (+EM)	n=5	38.7	0.4	40.6	0.6	47.1	0.8
C8 (+EM)	n=5	39.7	1.1	40.5	0.5	45.2	0.7

Aesculus	aantal planten	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error
		op 30-5-2012	30-5-2012	op 13-6-2012	13-6-2012	op 7/26-11-2012	7/26-11-2012
A1 (-EM)	n=2	45.3	4.6	48.1	5.8	51.5	3.5
A4 (+EM)	n=2	41.8	2.6	44.8	4.0	44.4	3.8
C8 (+EM)	n=2	33.0	0.9	35.6	0.3	40.4	7.1

Salix	aantal planten	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error	chlorofyllwaarde	st. error
		op 30-5-2012	30-5-2012	op 13-6-2012	13-6-2012	op 7/26-11-2012	7/26-11-2012
A1 (-EM)	n=5	47.1	1.7	48.4	1.6	44.2	2.5
A4 (+EM)	n=5	42.1	1.7	42.9	2.6	40.1	3.4

Tabel 15. Overzicht van chlorophyllgehalte in bladeren van *Fraxinus*, *Aesculus* en *Salix* gemeten met een SPAD-meter op enige momenten gedurende de proefperiode. Per plant zijn 5 bladeren gelabeld en per blad zijn per meetmoment 5 metingen uitgevoerd en gemiddeld.

- Voor *Fraxinus*-a zijn twee metingen aan vooraf gelabelde bladeren uitgevoerd op 30-8-2012 en 21/26-11-2012.

- Voor *Fraxinus*-b zijn andere bladeren gelabeld en vervolgens drie keer tijdens de proef gemeten op 30-5-2012, 13-6-2012 en 7/26-11-2012. Voor *Salix* is geen meting in C8 opgenomen aangezien het slechts één plant betrof.

Klimaatcel A1 en A4 zijn identiek ingerichte ruimtes op het EM-veld na. C8 is halfzijdig ingericht.

Bij *Fraxinus*-a (in Tabel 15 met een testpopulatie van 71 essen in A1 en A4) blijkt op 30-8-2012 geen, maar op 21/26-11-2012 wel een significant verschil in de chlorofyllwaarden tussen A1 zonder EM en A4 mét EM. Ook is er een significant verschil tussen de opeenvolgende metingen van 30-8-2012 en 21/26-11-2012 voor A1 (respectievelijk 45.6 (SE 0.3) en 49.9 (SE 0.5)). Ook is er een significant verschil tussen de waarden in A4 mét EM en C8 mét EM op 30-8-2012 en A1 en C8 op 21/26-11-2012 maar merk daarbij op dat C8 halfzijdig is ingericht. Voor een toelichting op de significantie-bepaling zie Bijlage II.

Bij *Fraxinus*-b (Tabel 15 met een testpopulatie van 10 essen) zijn bij vergelijking van chlorofyllwaarden tussen de klimaatruimten A1 zonder EM, en A4 mét EM op een en hetzelfde moment, gegeven de SE, geen significante verschillen waargenomen. Wel was er in de periode van 30 mei tot 7 en 26 november

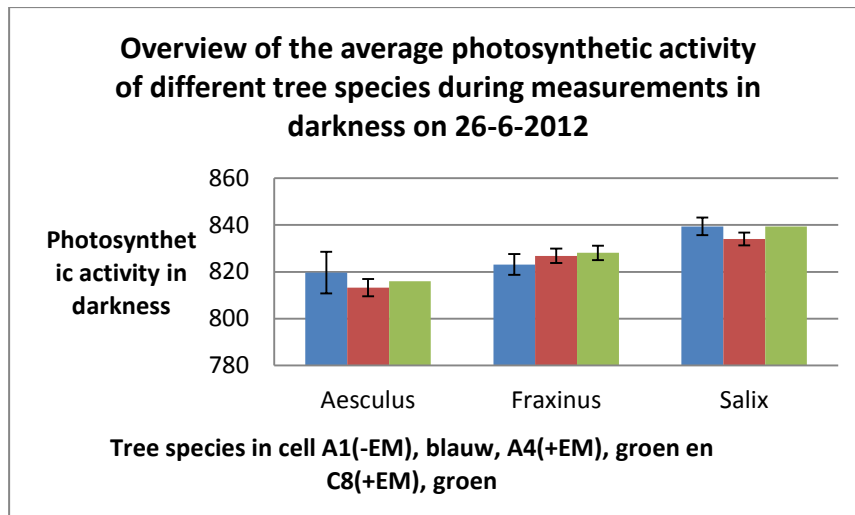
een significante toename van chlorophyllwaarden in de klimaatcellen. Dat geldt ook als C8 mét EM bij de vergelijking wordt betrokken.

Bij *A. hippocastanum* is zowel tussen de ruimtes A1 (-EM) en A4 (+EM) als in de tijd geen opvallende verandering in de waarden gevonden. De waarde van de gegevens is echter beperkt aangezien het hier een meting aan slechts twee planten per klimaatcel betreft.

Bij *S. alba* zijn tussen de klimaatcellen A1 (-EM) en A4 (+EM) geen significant verschillende chlorophyllwaarden waargenomen en ook niet binnen de cellen in de periode van 30 mei tot 7/26 november 2012. Het experiment is slechts eenmalig uitgevoerd aan 5 planten per klimaatcel.

Chlorophyllmeting met MiniPAM

Om een beeld te krijgen van de fotosynthesecapaciteit zijn bladeren van *Aesculus*, *Fraxinus* en *Salix* met de miniPam gemeten. Daarvoor was het belangrijk om in het donker te werken omdat anders snel een verzadiging optrad. In Tabel 16 zijn de resultaten weergegeven. Het blijkt dat er per boomsoort geen significant verschil bestond tussen de waarden gemeten in de verschillende klimaatcellen. Bij vergelijking tussen de verschillende boomsoorten scoorde *Salix* in A1 en C8 significant hoger dan de andere boomsoorten.



	<i>Aesculus</i> Aantal boompjes	Gemiddelde waarde	STD	<i>Fraxinus</i> aantal boompjes	Gemiddelde waarde	STD	<i>Salix</i>	Gemiddelde waarde	STD
A1(-EM)	n=2	819.7	8.9	n=5	823.1	4.5	n=5	839.4	3.8
A4(+EM)	n=2	813.2	3.7	n=5	826.8	3.0	n=3	834.1	2.7
C8(+EM)	n=1	816		n=5	828.1	3.1	n=1	839.4	

Tabel 16. Fotosynthesecapaciteit in het donker gemeten met miniPAM op 26-6-2012, uitgevoerd op bladeren van *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus excelsior* en *Salix alba* in klimaatcellen A1 zonder EM, blauw), A4 met EM, rood) en C8 met EM, groen). De gemiddelden en STDEV zijn het resultaat van 5 metingen per boompje in combinatie met het aantal boompjes (n).

Taklengte

Van *S. alba* is nagegaan hoeveel taklengte is gevormd in de proefperiode. Dit omdat hier niet alleen een hoofdas ontstond zoals bij *Fraxinus* en *Aesculus* is per plant de lengte van alle nieuwgevormde takken gesommeerd. Gemiddelden per plant zijn in Tabel 17 weergegeven. Het blijkt dat de gemiddelde lengtetoeename niet significant verschilde tussen A1 zonder EM en A2 mét EM. Het experiment is eenmalig uitgevoerd.

<i>Salix alba</i>	Aantal planten	Som taklengte per plant	st. error
Klimaatcel A1 (-EM)	n=5	1272	75
Klimaatcel A4 (+EM)	n=5	1115	227

Tabel 17. Gemiddelde totale taklengte gevormd door een *Salix alba* plant gemeten aan het eind van de proefperiode onder de verschillende groeiomstandigheden in klimaatcellen A1 zonder EM (-EM) en A4 mét EM.

Bladaantasting *Fraxinus excelsior*

Ook in 2012 is met aandacht gelet op de bladmorphologie en bladaantasting in de verschillende groeiomstandigheden. Daarbij is gekeken naar bladkrulling, exudaatvorming, het eventueel ontstaan van metaalglans en andere afwijkingen bij *Fraxinus*.

Bladkrulling is opgemerkt op alle bomen in alle klimaatcellen, mét en zonder EM-velden. Tabel 18 geeft een overzicht van waarnemingen. De mate van krulling is arbitrair vastgesteld op een schaal van 1-5. In alle klimaatcellen bleek in ongeveer een zelfde percentage bomen bladkrulling te vertonen (88%, 90% en 86% in respectievelijk in A1 zonder EM; in A4 mét EM; en in C8 mét EM. Krulling tussen A1 zonder EM en mét EM A4 zijn niet significant verschillend. Wel bleek dat er opvallend minder bladkrulling was in C8 (+EM). In deze klimaatcel zijn de bomen halfzijdig geordend.

Exudaat is in klimaatcellen mét en zonder EM-velden aangetroffen. Aan de onderzijde van de blaadjes en ook op de bladsteel is exudaat in druppelvorm te vinden (Fig. 14B en 25 en 31A). Op de bladbovenzijde is het exudaat vaak uitgevloeid (Fig. 25B). De mate van exudaatvorming is niet gekwantificeerd maar er is geen opvallend verschil in exudaatvorming in de verschillende klimaatcellen opgemerkt. Er blijken daarnaast slechts kleine verschillen in % droge stof in de bladeren, zijnde 41.3%, 43.7% en 44.7% voor respectievelijk A1 zonder EM, A4 mét EM en C8 mét EM (zie Tabel 14).

Metaalglans zoals waargenomen in vorige twee jaren is niet opgetreden. Wel zijn in A4 mét EM bij twee van de 34 bomen enkele bladeren aangetroffen met necrose in de epidermis.

Witte vlekken zijn wel aangetroffen. In klimaatcel C8 mét EM-velden ontstonden ze op alle essen op bijna alle bladeren (Tabel 18 en Fig. 27) terwijl ze niet voorkwamen in klimaatcel A4 (mét EM) en soms in A1 (zonder EM). De incidentie per klimaatcel is in Tabel 18 weergegeven. Anatomisch onderzoek liet zien dat ter plaatse van een witte vlek de epidermiscellen dood en leeg waren (Fig. 32). In andere gevallen waren de epidermiscellen verdrukt door een sterk geprolifereerd palissadechlorenchym (Fig. 29H). Doordat de epidermiscellen leeg waren, weerkaatste het licht en dat leidt tot de witte vlekken.

Het voorkomen van het vlekkenpatroon trad al in augustus op en leidde uiteindelijk tot plaatselijke necrose van de bladeren zoals getoond in Fig. 27A-C.

<i>Fraxinus</i> Klimaatcel	Aantal bomen totaal	Numeriek en % aantal bomen met gekruld blad	Mate van krulling (arbitrair) ± STDEV	Aantal bomen met witte vlekken op blad
A1 (-EM)	N=34	30 (88%)	2.4 ± 0.9	1
A4 (+EM)	N=32	29 (90%)	2.6 ± 0.9	0
C8 (+EM)	N=22	19 (86%)	1.9 ± 0.6	22

Tabel 18. Overzicht van voorkomen van bladkrulling en witte vlekken op bladeren van *Fraxinus excelsior* in de klimaatcellen A1 (-EM), A4 (+EM) en C* (+EM). Bladkrulling is uitgedrukt op de schaal van 1 (geheel vlak) tot 5 (sterk gekruld). De witte vlekken blijken veroorzaakt door plaatselijk afsterven van de epidermis met als gevolg toegenomen reflectie van opvallend licht. Percentage in kolom 3 geeft het aantal bomen met bladkrulling t.o.v. totaal aantal bomen.

Ps. In 2013 is nog een controle-experiment ingezet met 10 essen in klimaatcel C8 maar dan zonder EM-velden en wederom bleken het zelfde type witte vlekken al in juli op de bladeren te ontstaan. In deze klimaatcel zijn rouwmuggen en thripsen aangetroffen. De oorzaak van de vlekvorming is niet vastgesteld. Mogelijk heeft de thrips (orde Thysanoptera) de vlekken veroorzaakt omdat zij i.t.t. rouwmuggen blad kunnen aantasten met hun stilet.

Discussie

Aanleiding

Naar aanleiding van toenemende aantallen aantastingen op bomen in stedelijke omgeving zoals scheuren, knobbels, verkleuringen en diverse vormen van afsterven van weefsel is in 2010 een voorstudie gestart waarin de vraag is gesteld of EM-velden van invloed zijn op de ontwikkeling van bomen. Daartoe is een experiment opgezet waarbij jonge bomen in klimaatcellen zijn geplaatst met al of niet extra toegevoegde EM-velden. De EM-velden bestonden in alle gevallen uit WiFi-signalen al of niet aangevuld met extra EM-bronnen afkomstig van UMTS-zenders en een DVB-T zender. In de drie opeenvolgende jaren is gekeken naar de groei van de bomen, de bladontwikkeling en eventuele afwijkingen aan de bladeren met als doel na te gaan of de EM-velden effect hebben op bomen in de vorm van beïnvloeding van lengtegroei en/of bladontwikkeling. Er zijn meerdere boomsoorten onderzocht. De meeste nadruk heeft gelegen op een vergelijkend onderzoek naar het effect van EM-velden op *Fraxinus excelsior*. Daarnaast zijn verkenningen uitgevoerd op ontwikkelingen in *Aesculus hippocastanum* en *Salix alba*.

De verschijnselen bastknobbels, bastscheuren en bastnecrose zoals gezien in stedelijke omgeving zijn niet waargenomen in de klimaatcellen al of niet voorzien van EM velden. Het kan zijn dat de vorming ervan in het geheel niet is aangezet onder de aangebrachte condities maar ook dat het lange termijn-effecten zijn die niet zichtbaar worden in de toegepaste periode van onderzoek.

Effecten van EM-velden op lengtegroei en bladeigenschappen *Fraxinus excelsior*

In de drie opeenvolgende jaren is gedurende respectievelijk 5, 5 en 8 maanden gelet op het ontstaan van aantastingen en de aspecten lengtegroei van *Fraxinus excelsior*, de bladontwikkeling voor wat betreft hoeveelheid blad (aantal bladeren per plant en bladgewicht per plant) en de chlorophyllhoeveelheid gemeten met een SPAD-meter.

In vergelijking is vastgesteld dat lengtetoeename (Tabel 19), aantallen bladeren (Tabel 20), en chlorophyllhoeveelheden (Tabel 21) niet significant afweken in klimaatcellen mét EM-velden ten opzichte van identiek ingerichte klimaatcellen zónder EM-velden als alleen de klimaatcellen worden vergeleken die qua inrichting met elkaar overeenkomen en alleen verschillen in de aan of afwezigheid van EM-velden. De data zijn statistisch geanalyseerd met behulp van een gegeneraliseerd lineair model met de logit linkfunctie en normale verdeling. Bij de vergelijking zijn de waarden van de identiek ingerichte klimaatcellen mét en zonder EM-velden per jaar vergeleken.

Als klimaatcellen met verschillende inrichting worden vergeleken, zijn de verschillen in een aantal gevallen wel significant, bijvoorbeeld bij chlorophyllmetingen in 2012 (Tabel 15). De opstelling (halfzijdig of geheel ingericht) is blijkbaar soms van grotere invloed dan het aan- of afwezig zijn van EM-velden. Dat bleek ook het geval bij het vaststellen van stamlengtetoeename bij de es in 2012. Hier bleek een halfzijdig ingerichte klimaat cel een significant sterkere lengtetoeename bij de es (Tabel 12) . Dit verschijnsel kan mogelijk veroorzaakt zijn door een gunstiger belichting van de planten.

Afwijkende waarden zijn gevonden in klimaatcel C8 met EM in 2012. Daarin is sterkere lengtetoeename, een groter gemiddeld aantal bladeren en een lager chlorophyllgehalte en een groter bladgewicht gevonden in de essen. Dat kan veroorzaakt zijn door de andere inrichting van deze klimaatcel. Hier was slechts een halve klimaatcel identiek ingericht waardoor bijvoorbeeld de belichting verschilt. Vervolgonderzoek kan hierin inzicht bieden.

Klimaatcel\jaar	2010	2011	2012
A1	21.5 (n=25)		18.7 (n=34)
A2			
A4	19.5 (n=25)		17.7 (n=35)
C8			33.7 (n=22)

Tabel 19. Gemiddelde lengtetoeename essenstam in cm (n=aantal boompjes) per klimaatcel in 2010 en 2012. Rood is klimaatcel met EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

Klimaatcel\jaar	2010	2011	2012
A1		125.6 (n=10)	47.7 (n=34)
A2		135.6 (n=7)	
A4			41.0 (n=32)
C8		120.9 (n=10)	63.8 (n=22)

Tabel 20. Gemiddeld aantal bladeren per es (n=aantal boompjes) per klimaatcel in 2011 en 2012. Rood is klimaatcel mét EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

Klimaatcel\jaar	2010	2011	2012
A1	44.6 (n=6)	41.8 (n=10)	45.6 (n=35)
A2		44.6 (n=9)	
A4	45.2 (n=6)		45.4 (n=36)
C8		40.6 (n=10)	42.9 (n=22)

Tabel 21 Gemiddelde hoeveelheid chlorophyll in essenbladeren (n= aantal gemeten blaadjes (2010) of planten (2011 en 2012)). Rood is klimaatcel mét EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

In klimaatcel (C8 (+EM)) is vastgesteld dat er niet alleen meer lengtegroei is opgetreden bij de essen maar ook een groter bladgewicht per plant is ontstaan dan in de ander klimaatcel met EM (A4). De twee klimaatcellen hebben beide EM velden maar zijn verschillend ingericht. In de halfzijdige klimaatcel kan een factor als belichting gunstiger zijn geweest voor de groei.

Om een indruk te krijgen of bomen met doorgaande groei zich anders gedragen onder omstandigheden mét en zonder EM-velden, zijn in 2012 wilgen (*Salix alba*) in de proef opgenomen. Deze boomsoort is gekarakteriseerd door continue groei zolang de groeicondities dat toelaten. Hierbij blijkt het apicale meristeem van de scheut continue bladprimordia en scheutinternodia vormen. Er is daarbij sprake van voortdurende celdeling en celgroei gedurende de proefperiode. Bij boomsoorten als *Fraxinus* en *Aesculus* is er sprake van een beperkte groei waarbij het aantal te vormen bladeren en internodia al in de knop ligt besloten. Na uitgroei is er slechts celdeling en celgroei voor de vorming van secundaire weefsels (secundaire diktegroei). Het blijkt dat de gemiddelde taklengtetoeename niet significant verschilde tussen A1 zonder EM en A2 mét EM. Het experiment is eenmalig uitgevoerd met in totaal 10 bomen.

Epidermisnecrose

In 2010 is vastgesteld dat in de klimaatcel mét EM-velden een aantal essen een aantasting aan de bladeren ontwikkelde die als kenmerk had dat de bladepidermis dood ging waardoor het blad een metaalachtige glans kreeg. In de jaren 2011 en 2012 is gevolgd of, en in welke mate epidermisnecrose zich herhaalde. In 2011 herhaalde het fenomeen epidermisnecrose zich in één van 10 planten. De metaalglans was minder duidelijk. In 2012 is bij 2 van 44 planten wel epidermisnecrose gevonden maar de metaalglans trad niet op. De Figuren 6A, 16E en 26A geven het beeld van de bladeren waarin epidermisnecrose is gevonden in de jaren 2010, 2011 en 2012.

Tabel 22 toont de frequentie van voorkomen van het fenomeen van epidermisnecrose in de verschillende klimaatcellen. De EM-veldcondities zijn met groen zonder EM en rood met EM weergegeven.

Hoewel het aantal experimentele units (klimaatcellen) zeer klein is, 8, is de statistische toets of de bladaantasting in de klimaatcellen mét EM-velden dezelfde is als in die zonder EM-velden significant met een overschrijdingskans 0.4%. Gemiddeld over alle jaren is geanalyseerd met behulp van een gegeneraliseerd lineair model met de logit linkfunctie, een binomiale verdeling en onbekende

dispersieparameter. Als vaste termen bevatte het model de factoren jaar en EM-veld. Het percentage planten met bladaantasting was in cellen zonder EM-veld 0% en in cellen met EM-bron 11%. Zoals is te zien, is dit verschijnsel vastgesteld in de drie onderzoekjaren bij 3 van de 4 cellen met elektromagnetisch veld. Om vast te stellen of er klimaatcel-afhankelijkheid bestaat voor wat betreft frequentie van voorkomen van dit type epidermisschade is herhaling en randomisering van klimaatcellen gewenst. Alhoewel niet in het onderzoek opgenomen, dient vermeld te worden dat bij essenbladen in het buitenmilieu het voorkomen van metaalglans niet is opgevallen.

Klimaatcel\jaar	2010	2011	2012
A1	0/25	0/10	0/36
A2		0/7	
A4	7/25*		2/44 (F4.20+F4.29)***
C8		1/10 (F8.8)**	0/22

Tabel 22. Overzicht van incidentie van epidermisnecrose in bladeren van *Fraxinus excelsior* in de verschillende klimaatcellen onder wisselende groeiomstandigheden.

* epidermisnecrose is gevonden in 7 van de 25 planten, samengaand met metaalglans, vaak in krullende bladeren, op wisselende hoogte in de klimaatcel

** epidermisnecrose in 2011 is alleen gevonden in enkele krullende bladen van 1 plant in een populatie van 10;

*** epidermisnecrose is alleen gevonden in 2 planten in enkele van de krullende donkere bladeren zonder duidelijke metaalglans. Tussen haakjes staan de plantnummers van de aangetaste planten. Verschijnsel is niet opgemerkt in C8, eveneens voorzien van EM velden.

Rood is klimaatcel met EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

WITTE VLEKKEN

In 2012 viel het ontstaan van witte vlekken op *Fraxinus*-bladeren sterk op. Het fenomeen bleek een gevolg van het lokaal afsterven van de epidermiscellen waardoor reflectie toeneemt. In klimaatcel C8 met EM hadden alle planten in meerdere of mindere mate witte vlekken en op bijna alle bladeren. In A1 kwamen ze incidenteel voor en in A4 niet. De mate waarin witte vlekken voorkwamen op de essenbladeren in 2010 en 2011 is niet gekwantificeerd maar zij bleken eveneens voor te komen, ook in klimaatcellen zonder EM-velden. In 2013 is nog een controle-experiment ingezet met 10 essen in klimaatcel C8 maar dan zonder EM en wederom bleken witte vlekken te ontstaan. In Tabel 23 zijn de waarnemingen betreffende het voorkomen van de witte vlekken kwalitatief opgenomen. Dit type bladaantasting bleek statistisch niet significant ($P=0.44$) voor klimaatcellen met EM-velden. Er kan op basis van deze verdeling geen verband met aan- of afwezigheid van EM-velden en het optreden van witte vlekken worden gelegd. Mogelijk zijn ze veroorzaakt door thripsen (orde Thysanoptera).

Klimaatcel\jaar	2010	2011	2012	2013
A1	+	+	+	
A2		+		
A4	+		-	
C8		+	+	+

Tabel 23. Overzicht van kwalitatief voorkomen van witte vlekken op *Fraxinus*-bladeren duidend op epidermisnecrose in 2010-2013 in cellen mét en zonder EM-velden. Rood is klimaatcel met EM-velden, groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

Bladversgewichtvariatie

Op basis van de waarneming dat in er 2011 er een 'op het oog' lichtere bladontwikkeling bij *Fraxinus* optrad in de klimaatcel C8 mét EM-velden, is de bladhoeveelheid per klimaatcel aan het einde van het seizoen vastgesteld. Inderdaad bleek A1 zonder EM een hoger gemiddeld bladversgewicht te hebben dan C8 met EM; respectievelijk 419,6g versus 364,7g per boom in Tabel 10 en Tabel 24. De standard error geeft echter aan dat er een grote spreiding is in het aantal bladeren per boom.

In 2012 is aan dit facet weer aandacht gegeven. Bomen in dat jaar waren gemiddeld kleiner dus is vergelijken tussen jaren weinig zinvol. In 2012 was het bladversgewicht in de controle-klimaatcel A1 en

klimaatcel A4 mét EM-velden opnieuw niet significant verschillend (Tabel 24). Wel was er een hogere bladopbrengst in C8 met EM ten opzicht van A4 zonder EM, mogelijk door de verschillende inrichting van de twee klimaatcellen. C8 was slechts voor de helft identiek ingericht.

Op basis van deze resultaten kan niet geconcludeerd worden dat de bladhoeveelheid beïnvloed wordt door EM-velden hoewel ook hier geldt dat slechts een beperkt aantal klimaatcellen is gebruikt.

Jaar\Klimaatcel	A1	A2	A4	C8
2011	419.6 (± 51.4)	389.2 (± 53.5)		364.7 (± 37.6)
2012	76 (± 7.7)		63.9 (± 5.6)	94.4 (± 7.5)

Tabel 24. Gemiddeld bladversgewicht (g) per Fraxinus-boom met standard error in de verschillende compartimenten.

Rood is klimaatcel met EM-velden, Groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads). Standard error is gegeven tussen haakjes.

Bladdrooggewichtvariatie

Terwijl in 2011 een significant hoger % drogestofgehalte in bladeren was vastgesteld in C8 met EM t.o.v. A1 zonder EM (40.1% versus 32%), bleek dat niet het geval te zijn in 2012 bij vergelijking van A4 met EM en A1 zonder EM (43.7% versus 41.3%, Tabel 25). Toename van drogestofgehalte lijkt veroorzaakt door ophoping van suiker in en op het blad want hoe kleveriger de bladeren hoe hoger het drogestofgehalte. Het is niet bekend of exudaatvorming een gevolg is van bovenmatige suikerproductie of gebrekkige suiker afvoer. Het is een verschijnsel dat nader onderzoek vereist om verklaard te kunnen worden.

Jaar\Klimaatcel	A1	A2	A4	C8
2011	135 \pm 17.4 (32%)	123 \pm 18.4 (31.6%)		147.6 \pm 16.1 (40.1%)
2012	31.4 \pm 2.4 (41.3%)		27.9 \pm 2.1 (43.7%)	42.2 \pm 3.0 (44.7%)

Tabel 25. Gemiddeld bladdrooggewicht (g) per plant met standard error en tussen haakjes het percentage drogestof per Fraxinusboom in de verschillende klimaatcellen. Afgeleid van Tabel 10 en 14.

Rood is klimaatcel met EM-velden, Groen is cel zonder EM-velden, grijs is cel mét zenders, zonder EM-velden (geen antennes maar dummy loads).

Bladkrulling

Bladkrulling is regelmatig gezien in bij essen in de klimaatcellen mét en zónder EM-velden. In de jaren 2010 en 2011 trad duidelijk meer bladkrulling op in de klimaatcellen met EM maar dat is toen niet gekwantificeerd. In 2012 is de mate van krulling arbitrair vastgesteld. In dat jaar kon dit verschil niet worden vastgesteld (zie Tabel 18).

Bladkrulling komt voor over de gehele plant voor met voorkeur voor eindstandige bladeren en bladeren in de buurt van de lichtbronnen.

Krullende bladeren hebben vaak een bovenmatige groei van het palissadenchlorenchym. Door de groei van de palissadecellen expanderen de bladen aan de bovenzijde en dat leidt tot een hobbelig oppervlak en uiteindelijk bladkrulling. Bladkrulling kan in het geval dat deze optreedt in de directe nabijheid van lichtbronnen waarschijnlijk worden gerelateerd aan belichtingsintensiteit. Een verklaring voor de krulling van bladeren op andere plaatsen van de essenboom is niet gevonden. Dit moet verdiepend worden onderzocht.

Exudaatvorming

Exudaatvorming is over meerdere jaren aangetroffen zowel in klimaatcellen mét als zonder EM-velden, maar is niet gekwantificeerd. Exudaatvorming lijkt het gevolg van bovenmatige suikerproductie en/of stagnerende afvoer van suiker door het floëem. Druppels vormen zich het meest aan de bladonderzijde en op de bladsteel maar suiker is ook op de bladbovenzijde aangetroffen. Het uittreden van suiker zou via de huidmondjes kunnen verlopen hetgeen verklaart dat veel exudaat aan de blad-onderzijde is gezien. In 2011 was er meer exudaatvorming in klimaatcellen mét EM-velden maar in 2012 is geen opvallend verschil opgemerkt.

Suikerophoping in en op de bladeren lijkt de oorzaak van de verschillen in % droge stof in bladeren te zijn. Bladeren met veel exudaat zijn in 2011 gevonden in C8 met EM. Zij hadden een relatief hoog drogestofgehalte vergeleken met bladeren uit A1 zonder EM (zie Tabel 25: 40% drogestofgehalte in C8

versus 32% in A1). Een dergelijk groot verschil is niet gevonden in 2012 (43.7 versus 41.3 %). Zoals boven opgemerkt kon in 2012 ook geen verschil in de mate van exudaatvorming worden vastgesteld tussen de klimaatcellen. Echter, in 2012 was het bladversgewicht in de controle-klimaatcel A1 iets (maar niet significant) hoger dan in de klimaatcel A4 mét EM-velden {76g in A1 (-EM) versus 63.9g in A4 (+EM) in Tabel 14 en 24}, maar bleek tegelijkertijd het % bladdrooggewicht iets lager (41,3% versus 43.7% in Tabel 14 en 25). Dit is mogelijk toch een gevolg van sterkere suikerophoping in de bladeren in de klimaatcel mét EM-belasting.

Resume

Meerdere facetten van boomontwikkeling zijn vergeleken voor wat betreft de invloed van EM velden op bomen. In parameters stamlengtetoeename, toename stamomtrek, van bladeren, bladaantal, bladversen bladdrooggewicht zijn geen verschillen gevonden. In het aspect chlorophyllmeting en bladaantasting zijn wel verschillen gevonden die echter nog onvoldoende konden worden geïnterpreteerd. De proefomvang en het aantal herhalingen maken dat de uitkomsten van het onderzoek naar effecten van elektromagnetische velden als indicatief moeten worden geïnterpreteerd. Herhaling en opschaling van onderzoek zal het inzicht doen toenemen en significanties verder kunnen onderbouwen.

Relatie met internationaal onderzoek

In de literatuur wordt geen melding gemaakt van vergelijkbare experimenten waarbij bomen in hun ontwikkeling worden gevolgd onder omstandigheden waarin wel of geen EM-velden worden aangebracht mbv WiFi, UMTS en DVB-T. Wel is gerapporteerd over het gebruik van Faraday-kooien om omgevingsvelden af te weren (Haggerty, 2010). Daarbij is gekeken naar bladveroudering gedurende het seizoen. De auteur geeft daarbij aan dat de EM-velden in de omgeving een sterk negatief effect kunnen hebben op de groei van populierzaailingen en de productie van anthocyaan in de bladeren in de herfst (Haggerty 2010). Schmutz et al. (1996) rapporteren over een experiment in de buitenlucht waarbij spar (spruce) en beuk (beech) blootgesteld worden aan 2450 MHz EM-velden opgewekt door een 600W magnetronbron. De blootstelling duurde 3,5 jaar. Warmte-effecten werden daarbij in ogenschouw genomen. De blootstelling leidde gedurende de periode niet tot visueel waarneembare schade-symptomen, noch in kruindichtheid of lengtegroei. Ook was geen verschil in fotosynthese gevonden op basis van chlorophyll-fluorescentie metingen. Dit veld is niet gemoduleerd met snelle digitale signalen zoals dit wel met WiFi- en UMTS-signalen gebeurt. Dit zou een mogelijk verschil kunnen zijn.

Op laboratoriumschaal is onderzoek gedaan naar het effect van zwakke EM-velden op Ca^{2+} -concentraties in *Arabidopsis thaliana* waarbij bleek dat Ca^{2+} -concentraties in de cytosol kortstondig toenamen door EM-velden aan en uit te schakelen (Pazur en Rassadina 2009). De ion cyclotron resonance (ICR) zou een mechanisme kunnen zijn dat een biologisch effect bij bepaalde frequenties en intensiteit van het EM-veld zou kunnen teweegbrengen door de beschikbaarheid van ionen te beïnvloeden. Bij tomaat is vastgesteld dat een blootstelling aan 900 MHz bij 5 V/m gedurende 10 minuten leidde tot accumulatie van de stress-gerelateerde eiwitten calmoduline, calcium-dependent proteïne kinase en proteïnase inhibitor (Roux et al. 2008). Na 30 minuten bleek er een tijdelijke afname van ATP. Bij tomaat is ook vastgesteld dat na een 10 minuten durende blootstelling aan een veld van 900 MHz van 5 V/m er een accumulatie van mRNA van de stress-gerelateerde *bZip* transcriptiefactor optrad, vergelijkbaar als kan optreden na een mechanische prikkel (Vian et al. 2006).

Er is gekeken naar het effect van EM-velden op zaadkieming en wortelontwikkeling bij de ui en daarbij is gevonden dat blootstelling gedurende 4 h aan EM-velden van 41 en 120 V/m bij een frequentie van 900 MHz leidde tot een toenemend aantal mitotische abnormaliteiten zoals verstoorde anafasen (Tkalec et al. 2009). In een studie naar het effect van hoogfrequent EM-velden (in de range van 41,682 tot 41,710 GHz) op de celdeling van gist *Saccharomyces cerevisiae*, is echter vastgesteld dat bij vermogens variërend van 0,5 – 50 $\mu W/cm^2$ er geen verschil was tussen belaste en onbelaste gistcellen (Gos et al. 1997).

Jinapang et al. (2010) rapporteren over groeikarakteristieken van zaden bij blootstelling aan EM-velden van 425MHz bij een veldsterkte van 1 mW, 100 mW en 10W gedurende 1, 2 en 4h. Zij vinden dat *Vigna radiata* (mung bean) en *Ipomoea aquatica* Forssk. (water convolvulus) verhoogde kieming gaven bij respectievelijk 1h blootstelling aan EM-velden bij 100mW en 2h blootstelling aan EM-velden bij 1mW. Bij hoger vermogen (10W) zouden temperatuur-effecten van invloed zijn geweest op de hoeveelheid water in zaden en daarmee op de kieming. Warmte-ontwikkeling is in het huidige experiment wel gevonden bij initiële experimenten met laag-frequent EM-velden op kiemplanten maar niet in de proefopzet in klimaatcellen. Sharma et al. rapporteren dat indien zaden van *V. radiata* gedurende 4h worden blootgesteld aan 900 MHz, met een vermogen van 8,55 $\mu W cm^{-2}$, er remming optrad van kieming en van

de groei van de kiemwortel en scheut. Er bleek een toename van activiteit van enzymen zoals superoxide dismutase, ascorbaat peroxidase, guaiacol peroxidase, catalasen en glutathion reductase in de wortels van *V. radiata* (Sharma et al. 2009).

In een onderzoek naar het effect van elektromagnetische velden van 400, 900 en 1900 MHz op de groei van eendenkroos (*Lemna minor*), bleek dat effecten afhankelijk waren van duur van de blootstelling, de intensiteit van het veld en de frequentie (Tkalec et al. 2005). Een combinatie van 2h, 23V/m en frequentie 900 MHz verminderde de groei significant. Bij een veldsterkte van 390V/m trad een sterke groeiremming op bij zowel 400 als 900 MHz. Bij 10 V/m was er wel een groeiremming bij 400 en 1900 MHz maar niet bij 900 MHz. De peroxidase hoeveelheid bleek te variëren met de karakteristieken van het EM-veld.

Deze literatuur geeft aan dat verschillende benaderingen zijn uitgevoerd maar niet degene die in het huidige onderzoek is toegepast. Er worden met regelmaat veranderingen op cellulair niveau gerapporteerd maar slechts in enkele gevallen ook op morfologisch niveau. De huidige literatuur legt dus geen oorzakelijk verband tussen aantastingen zoals die voorkomen bij bomen in de stedelijke omgeving en EM straling.

Literatuur

Bouwens M, Kleijn S de, Ferwerda G, Cuppen J, Savelkoul HFJ, Verburg-van Kemenade L: Low-frequency electromagnetic fields do not alter responses of inflammatory genes and proteins in human monocytes and immune cell lines. *Bioelectromagnetics* (2012) 33:226-237

Gos, P., Eicher B, Kohli J., Heyer W-D: Extremely High Frequency Electromagnetic fields at low power density do not affect the division of exponential phase *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Bioelectromagnetics* (1997) 18:142-155.

Haggerty K: Adverse influence of radio frequency background on trembling aspen seedlings: preliminary observations. *International Journal of Forestry Research* 1010:7 pages doi:10.1155/2010/836278

Jinapang P., Prakob P., Wongwattananard P., Islam N.E., Kirawanich P.: Growth characteristics of mung beans and water convolvulus exposed to 425-MHz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* (2010) 31:519-527.

Pazur A en Rassadina V: Transient effect of weak electromagnetic fields on calcium ion concentration in *Arabidopsis thaliana*. *BMC Plant Biology* (2009) 9:47.

Roux D., Vian A., Girard S., Bonnet P., Paladian F., Davies, Ledoigt G.: High frequency (900MHz) low amplitude (5 V m^{-1}) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato. *Planta* (2008) 227: 883-891

Schmutz P., Siegenthaler J., Stager C., Tarjan D., Bucher J.B.: Long-term exposure of young spruce and beech trees to 2450-MHz microwave radiation. *The Science of the Total Environment* (1996) 180: nr 1 pp. 43-48.

Sharma V.P., Singh H.P., Kohli R.K., Batish D.r.: Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress. *Science of the total environment* (2009) 407: 5543-5547

Tkalec M., Malaric K., Pevalek-Kozlina B.: Influence of 400, 900, and 1900 MHz Electromagnetic Fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics* (2005) 26: 185-193

Tkalec, M., Malaric K, Paclica M, Pevalek-Kozlina B.: Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Mutation Research* (2009) 672:76-81.

Vian A., Roux D., Girard S., Bonnet P., Paladian F., Davies E., Ledoigt G.: Microwave irradiation affects gene expression in plants. *Plant Signalling and behaviour* (2006) 1:2, 67-69

Table 28 Beplantingsschema 2012

Beplantingsschema klimaatcellen A1, A4 en C8 in 2012.

Positie van WiFi-zenders is met blauwe pijlen aangegeven.

Beplanting Cel A1 -EM				400x245x247 (bh)				Beplanting Cel A4 +EM				400x245x247 (bh)				Beplanting Cel C8 +EM				helft van 340x245x247 (bh)							
F1.42	F1.41	F1.40	F1.39	F1.38	F1.37	F1.36	F1.35	F4.42	F4.41	F4.40	F4.39	F4.38	F4.37	F4.36	F4.35	F8.31	F8.30	F8.29	F8.28	F8.27	F8.26	F8.25	F8.24	F8.23	F8.22	F8.21	F8.20
F1.34	F1.33	F1.32	F1.31	F1.30	F1.29	F1.28		F4.34	F4.33	F4.32	F4.31	F4.30	F4.29	F4.28				↘5 hoog								↘5 hoog	
F1.27	F1.26	F1.25	F1.24	F1.23	F1.22	FG1.2	F1.20	F4.27	F4.26	F4.25	F4.24	F4.23	F4.22	F4.21	F4.20												
F1.43						F1.6	A1.5	F4.43					F4.44						F8.8								
F1.5	S1.3					A1.4	F1.7	F4.5					F4.6						F8.6 ¹	F8.32							
A1.2	F1.4					F1.8	S1.4	A4.2					F4.7 ¹						A8.2 ²								
F1.3	S1.2					S1.5	F1.9												S8.1 ³								
S1.1	F1.26					F1.10	A1.5	S4.2					F4.8	S4.4													
F1.1	A1.1							F4.3					S4.5 ³						F8.4								
								F4.2					Plantcam	F4.9 ⁴													
								S4.1					Plantcam 13x laag	F4.10					A8.1								
								F4.1						A4.5													
														F4.45													
																					</						



Foto 4: Wifi opstelling A1 in de rode cirkel is de dummy load te vinden.

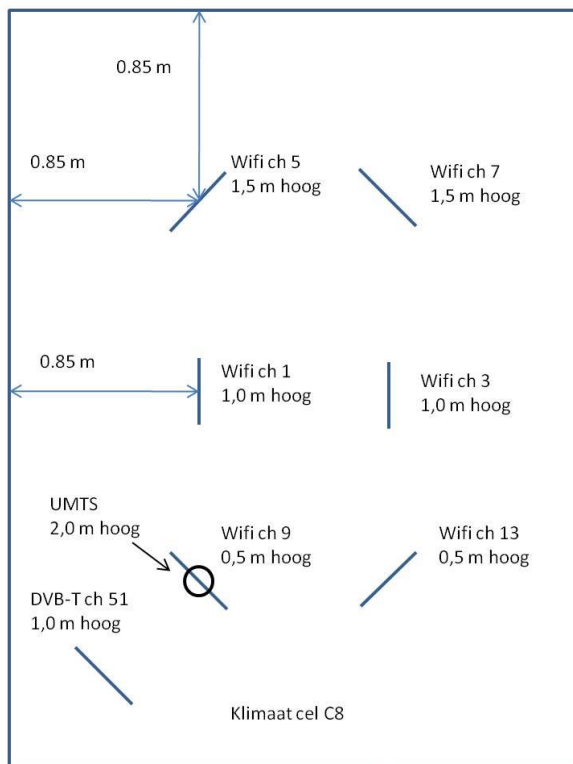


Foto 5: Detail van de dummy load.

Klimaatkamer A2 bij WUR

In klimaatkamer A2 (2^e controle groep) zijn geen apparaten geplaatst die een elektromagnetisch veld kunnen genereren. Om die reden wordt deze klimaatkamer in dit verslag niet beschreven.

Opstelling apparaten klimaatkamer C8 bij WUR



routers zijn tevens in de klimaatkamer geplaatst.

De klimaatkamer C8 is voorzien van 6 Wifi routers met antennes, een UMTS antenne en een DVB-T antenne. De UMTS en DVB-T (digitenne) zenders zijn buiten deze klimaatkamer opgesteld. In onderstaande afbeelding is de antenne opstelling weergegeven in klimaatkamer C8.

Zoals de afbeelding laat zien, zijn de zes Wifi routers verdeeld in de klimaatkamer en zijn de antennes nabij de hoeken, naar de hoek gericht om zoveel mogelijk reflectie te krijgen in deze ruimte. De metalen wanden van de klimaatkamer zijn voor radio golven een soort spiegel en zorgen voor reflectie.

De antennes van de Wifi routers zijn op 3 verschillende hoogtes geplaatst op een niet metalen statief.

De hoogtes zijn 1,5 m , 1 m en 0,5 m. Voor deze opstelling is gekozen om de EM velden zoveel mogelijk te verspreiden in de ruimte.

De Wifi-routers (zenders) zijn in de klimaatkamer geplaatst in verband met de standaard kabellengte van de Wifi-antenne. De Wifi-router is gemonteerd op het statief. De voedingsadapters van de Wifi

De UMTS en de DVB-T zender zijn d.m.v. coaxkabels verbonden met antennes in de klimaatkamer. De antenne van het UMTS modem is een rondstralende antenne en is op 2 meter hoogte geplaatst boven op het statief van Wifi antenne (1^e links). Op de tekening is de antenne als een zwart rondje weergegeven.

De DVB-T antenne is op 1 meter hoogte in de linker hoek geplaatst en schuin gericht om ook hier zoveel mogelijk reflectie te creëren.

In onderstaande tabel zijn enkele foto's weergegeven die een indruk geven van de antenne-opstelling in de klimaatkamer C8.



Foto 1: Wifi antennes in de rode cirkels



Foto 2: DVB-T antenne



Foto 3: UMTS antenne

Overzicht gebruikte zendapparatuur

De Wifi routers zijn van de fabrikant Cisco en zijn van de AIR-AP 1200 series. De frequenties (kanalen) zijn allemaal verschillend ingesteld (zie klimaatkamer afbeeldingen). In overleg met de leverancier zijn de routers dusdanig ingesteld dat er continue signalen worden uitgezonden al is dit enkel uit de rechter antenne aansluiting.

De gebruikte Wifi antennes zijn van het type Air-ANT24020V-R. Dit is een omni bidirectionele antenne met 2 dBi antenne versterking.

Het uitgezonden vermogen van de Wifi antennes is maximaal 100mW. Wettelijk mag er ook niet met meer vermogen worden uitgezonden. Via de instellingen van de router is met de versterkingsfactor van de antenne rekening gehouden en is het uitgangsvermogen aangepast om niet meer dan de wettelijk toegestane vermogen uit te zenden.

De dummy loads en de coax connectors zijn speciaal geselecteerd om minimaal te voldoen aan een frequentie van 2,4 GHz. De fabrikant van de onderdelen is Huber & Suhner. Dit is een leverancier voor professionele hoogwaardige hoogfrequentie onderdelen. Het type nummer van de connector is 21-BNC-50-3-12/133-N en geschikt tot 4 GHz. Het type nummer van de dummy load is 65-BNC-50-0-6/133-N en geschikt tot 6 GHz en kan maximaal 1 Watt aan vermogen dissiperen.

Het UMTS modem is van het fabricaat Siemens, typenummer is HC25. Het modem wordt geleverd met externe voeding en externe antenne. Dit modem heeft een speciale software toepassing. Hierbij worden enkele radiogegevens in een bestand opgeslagen. In deze radiogegevens worden o.a. de ontvangstgegevens en de frequentieband weergegeven. Deze gegevens worden op de PC bewaard en kunnen worden gebruikt voor analyse wat betreft de frequentie en het uitgezonden vermogen. De PC is via dit modem altijd met het internet verbonden en zal dus een continue radio verbinding hebben met de dichtsbijzijnde UMTS mast.

De DVB-T zender is gehuurd bij Broadcast Partners. Zij hebben de mobiele zender zodanig geprogrammeerd op een vrij kanaal dat de digitale signalen in de buurt van Wageningen niet worden verstoord. In overleg met Agentschap Telecom is er een experimentele zendvergunning uitgegeven met als voorwaarde dat het vermogen zo laag mogelijk moet zijn, en indien er klachten ontstaan dient de zender direct uitgeschakeld te worden.

De zender bevindt zich in een flightcase en het uitgezonden vermogen is laag. Het uitgangsvermogen is onbekend. De antenne is speciaal voor dit experiment ontworpen. Volgens de verhuurder is het niet

noodzakelijk om een videosignaal aan te bieden bij de zender om digitale modulatie uit te zenden. Ook zonder videosignaal wordt er met digitale modulatie uitgezonden.

EMV meetresultaten in de klimaatkamers

In de hieronder weergegeven tabellen zijn de veldsterktes weergegeven die gemeten zijn in de klimaatruimtes met alle zenders aan. De veldsterkte is omgerekend naar V/m. Hierbij is gebruik gemaakt van een berekende antennefactor die is opgegeven door de antenne fabrikant. Dit zijn geen officiële kalibratie gegevens. Bij de berekeningen is er ook rekening gehouden met verliezen van de coaxkabel.

Het doel van deze meting is dan ook niet om de absolute waarde te bepalen maar de relatieve waarde, dit om het verschil van de veldsterkte tussen de klimaatkamer vast te leggen. Er is gemeten met diverse antennes. De afmetingen van een standaard log. per. antenne van 30 MHz tot 3000 MHz was te groot in de klimaatkamer en is er gekozen om te meten met een veel kleinere antenne met een frequentie bereik van 800 tot 3000 MHz.

Deze metingen zijn uitgevoerd om de verschillen in veldsterkte tussen de drie klimaatkamers vast te leggen. Herhalen van deze metingen heeft geen toegevoegde waarde omdat er zoveel reflecties optreden in metalen klimaatkamers zodat het niet eenvoudig is om de veldsterktes te reproduceren. Tijdens de gehele proef is er wel met behulp van controle-apparatuur gekeken of de zenders nog operationeel zijn. Dit is o.a. uitgevoerd met een applicatie (Wifi analyser) op een Android telefoon en een internet verbinding van de PC om het UMTS modem te controleren. De DVB-T zender is met behulp van een draagbare spectrum analyser enkele keren gecontroleerd.

Hieronder volgen de veldsterkte tabellen van de verschillende klimaatkamers. De onderliggende plots zijn niet in dit rapport weergegeven. Deze zijn bij behoefte beschikbaar.

Plot	Locatie	DVB-T V/m	GSM 900 V/m	GSM 1800 V/m	UMTS V/m	WiFi V/m	Opmerkingen
28	Deur	0.0002	--	--	--	--	Ruis
29	Midden	0.0002	--	--	--	--	Ruis
30	Achter	0.0002	--	--	--	--	Ruis
31	Deur	--	0.0005	--	--	--	926 MHz
32	Midden	--	0.0008	--	--	--	926 MHz
33	Achter	--	0.0005	--	--	--	928 MHz
34	Deur	--	--	0.0005	--	--	Ruis
35	Midden	--	--	0.0005	--	--	Ruis
36	Achter	--	--	0.0006	--	--	Ruis
37	Deur	--	--	--	0.0007	--	Ruis
38	Midden	--	--	--	0.0006	--	Ruis
39	Achter	--	--	--	0.0006	--	Ruis
40	Deur	--	--	--	--	0.0013	2452 MHz
41	Midden	--	--	--	--	0.0016	2453 MHz
42	Achter	--	--	--	--	0.0010	2473 MHz

Tabel 1: Veldsterktes in klimaat ruimte A1 (met zenders en dummyloads)

Plot	Locatie	DVB-T V/m	GSM 900 V/m	GSM 1800 V/m	UMTS V/m	WiFi V/m	Opmerkingen
------	---------	--------------	----------------	-----------------	-------------	-------------	-------------

43	Deur	0.0002	--	--	--	--	Ruis
44	Midden	0.0002	--	--	--	--	Ruis
45	Achter	0.0002	--	--	--	--	Ruis
46	Deur	--	0.0006	--	--	--	930 MHz
47	Midden	--	0.0013	--	--	--	926 MHz
48	Achter	--	0.0007	--	--	--	925 MHz
49	Deur	--	--	0.0005	--	--	Ruis
50	Midden	--	--	0.0005	--	--	Ruis
51	Achter	--	--	0.0005	--	--	Ruis
52	Deur	--	--	--	0.0005	--	Ruis
53	Midden	--	--	--	0.0008	--	1970 MHz
54	Achter	--	--	--	0.0006	--	Ruis
55	Deur	--	--	--	--	0.0012	2454 MHz
56	Midden	--	--	--	--	0.0013	2454MHz
57	Achter	--	--	--	--	0.0007	2472MHz

Tabel 2: veldsterktes in klimaat ruimte A2 (zonder zenders)

Plot	Locatie	DVB-T V/m	GSM 900 V/m	GSM 1800 V/m	UMTS V/m	WiFi V/m	Opmerkingen
13	Deur	0.1318	--	--	--	--	716 MHz
14	Midden	0.0468	--	--	--	--	714 MHz
15	Achter	0.0525	--	--	--	--	714 MHz
16	Deur	--	0.0007	--	--	--	958 MHz
17	Midden	--	0.0010	--	--	--	927 MHz
18	Achter	--	0.0005	--	--	--	950 MHz
19	Deur	--	--	0.0004	--	--	Ruis
20	Midden	--	--	0.0005	--	--	Ruis
21	Achter	--	--	0.0004	--	--	Ruis
22	Deur	--	--	--	0.0933	--	1935 MHz
23	Midden	--	--	--	0.2344	--	1934 MHz
24	Achter	--	--	--	0.0832	--	1935 MHz
25	Deur	--	--	--	--	0.1303	2440 MHz
26	Midden	--	--	--	--	0.1161	2473 MHz
27	Achter	--	--	--	--	0.1641	2423 MHz

Tabel 3: Veldsterktes in klimaatruimte C8 (met WiFi zenders, antennes en UMTS en DVBT-antennes)

Plot	Locatie	DVB-T V/m	GSM 900 V/m	GSM 1800 V/m	UMTS V/m	WiFi V/m	Opmerkingen
7225	Tuin	0.035	--	--	--	--	826 MHz
7226	Tuin	--	0.02	--	--	--	959.4 MHz
7227	Tuin	--	--	0.032	--	--	1844 MHz
7228	Tuin	--	--	--	0.032	--	1841 MHz
7229	Tuin	--	--	--	--	0.003	2413 MHz

Tabel 4: Veldsterktes op een willekeurige locatie in de natuur

De waarden in tabel 4 zijn een momentopname en zijn gemeten om een indruk te krijgen van de radiosignalen in een natuurlijke omgeving. Vooral de GSM en UMTS veldsterktes zijn sterk afhankelijk van het gebruik van dat moment.

Voor een overzicht van gemeten veldsterktes in verschillende steden zie onderstaande toevoeging.

Toevoeging: Veldsterktes gemeten in opdracht van het Antennebureau zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Veldsterktemetingen in opdracht van het Antennebureau

Om te kijken of in de loop van de tijd de elektromagnetische veldsterkte verandert, voert Agentschap Telecom op verzoek van het Antennebureau herhalingsmetingen uit. Hier volgt een overzicht van de herhalingsmetingen die tot nu toe zijn gedaan.

Plaats	Straatnaam	Maximale veldsterkte	Toename/afname
Almere	Louis Davidsstraat	2007: 0,51 V/m 2010: 0,20 V/m	- 0,29 V/m
Breda	Diaconessenweg	2007: 0,55 V/m 2010: 0,72 V/m	+ 0,17 V/m
Delft	Derde Werelddreef	2005: 1,10 V/m 2005: 0,73 V/m	- 0,37 V/m
Den Helder	Bernhardplein	2005: 1,21 V/m 2008: 1,12 V/m	- 0,09 V/m
Goes	Kuyperlaan (Erasmusflat)	2005: 0,95 V/m 2008: 1,07 V/m	+ 0,12 V/m
Groningen	Hofstede de Grootkade	2005: 0,57 V/m 2009: 0,50 V/m	- 0,07 V/m
Helmond	Deltaweg	2005: 1,16 V/m 2008: 0,94 V/m	- 0,22 V/m
Maarssen	Diependaalsedijk	2005: 2,43 V/m 2008: 3,81 V/m	+1,38 V/m
Neede	Bleekeneschweg	2005: 0,91 V/m 2008: 0,89 V/m	- 0,2 V/m
Nunspeet	Mr. Meijerplein	2007: 0,34 V/m 2010: 0,21 V/m	- 0,13 V/m
Ouddorp	Vliedberglaan	2005: 0,78 V/m 2008: 0,57 V/m	- 0,21 V/m
Sittard	Rijksweg	2005: 0,91 V/m 2008: 0,71 V/m	- 0,20 V/m
Tilburg	Sibeliusstraat	2005: 0,87 V/m 2008: 0,67 V/m	- 0,20 V/m
Westzaan	Westzanerdijk	2005: 1,12 V.m 2009: 0,84 V/m	- 0,28 V/m
Wijchen	De Flier	2007: 2,38 V/m 2010: 2,49 V/m	- 0,11 V/m
Winschoten	Blijhamsterstraat	2005: 1,58 V/m 2008: 1,47 V/m	- 0,11 V/m

Bron www.antenneregister.nl

Bijlage II Analyse chlorophyllmetingen van augustus en november 2012 in A1 (-EM) en A4 (+EM)

Om vast te stellen of er verschillen zijn in de gemiddelde chlorophyllwaarden in de klimaatcellen is een t-toets gebruikt. Gemiddelde chlorophyllwaarden zijn vergeleken in één cel op twee verschillende tijdstippen, of tussen de cellen op een tijdstip.

De data zijn geanalyseerd met SPSS.

Op basis van het gemiddelde waarden en de standaardfout kan een t-waarde worden berekend (zie onderstaande formule) en tweezijdig worden getoetst met een kans van 5% overschrijding.

$$t = \frac{|\text{gem}_a - \text{gem}_b|}{\sqrt{\frac{(\text{sd}_a)^2}{N_a} + \frac{(\text{sd}_b)^2}{N_b}}}$$

st.error = $\frac{\text{sd}}{\sqrt{N}}$

(st.error)² = $\frac{\text{sd}^2}{N}$

T = $\frac{\text{gem}_1 - \text{gem}_2}{\sqrt{(\text{st.error}_1^2 + \text{st.error}_2^2)}}$

Voorbeeld A1-A4 november	
T =	$\frac{(49,9 - 47,7)}{\sqrt{(0,5^2 + 0,9^2)}}$
T =	$\frac{2,2}{\sqrt{1,06}} = 2,137$
vrijheidsgraden =	$(N_1 + N_2 - 2) = 71 - 2 = 69$
p =	T.VERD.2T(T, vrijheidsgraden)
p =	0,0316, significant (<5%)

Voor de chlorophyllwaarden zoals gegeven in tabel 15 leidt dat tot de volgende waarden (zie tabel)

30 augustus 2012					21/26 november 2012				
Cel (EM)	n	gem.	st.error	st.afw.	Cel (EM)	n	gem.	st.error	st.afw.
A1 (-)	35	45,6	0,3	1,77	A1 (-)	35	49,9	0,5	2,96
A4 (+)	36	45,4	0,5	3,00	A4 (+)	36	47,7	0,9	5,40
C8 (+)	22	42,9	0,5	2,35	C8 (+)	22	45,2	0,7	3,28
Vergelijk cellen op het zelfde moment									
aug					nov				
Vergelijk cellen	A1-A4	A1-C8	A1- A4/C8	A4- C8	Vergelijk cellen	A1-A4	A1-C8	A1- A4/C8	A4- C8
Gegeven	gem1	45,6	45,6	45,4	Gegeven	gem1	49,9	49,9	47,7
	st.error1	0,3	0,3	0,5		st.error1	0,5	0,5	0,9
	N1	35	35	36		N1	35	35	36
	gem2	45,4	42,9	42,9		gem2	47,7	45,2	45,2
	st.error2	0,5	0,5	0,5		st.error2	0,9	0,7	0,7
	N2	36	22	22		N2	36	22	22
berekend	t-waarde	0,343	4,630	3,536	berekend	t-waarde	2,137	5,464	2,193
	vrijheidsgraden	69	55	56		vrijheidsgraden	69	55	56
	α	0,05	0,05	0,05		α	0,05	0,05	0,05
	p tweezijdig	0,732643	2,27E-05	0,000825		p tweezijdig	0,03616	1,16E-06	0,032504
		niet sig.	wel sig.	wel sig.			wel sig.	wel sig.	wel sig.

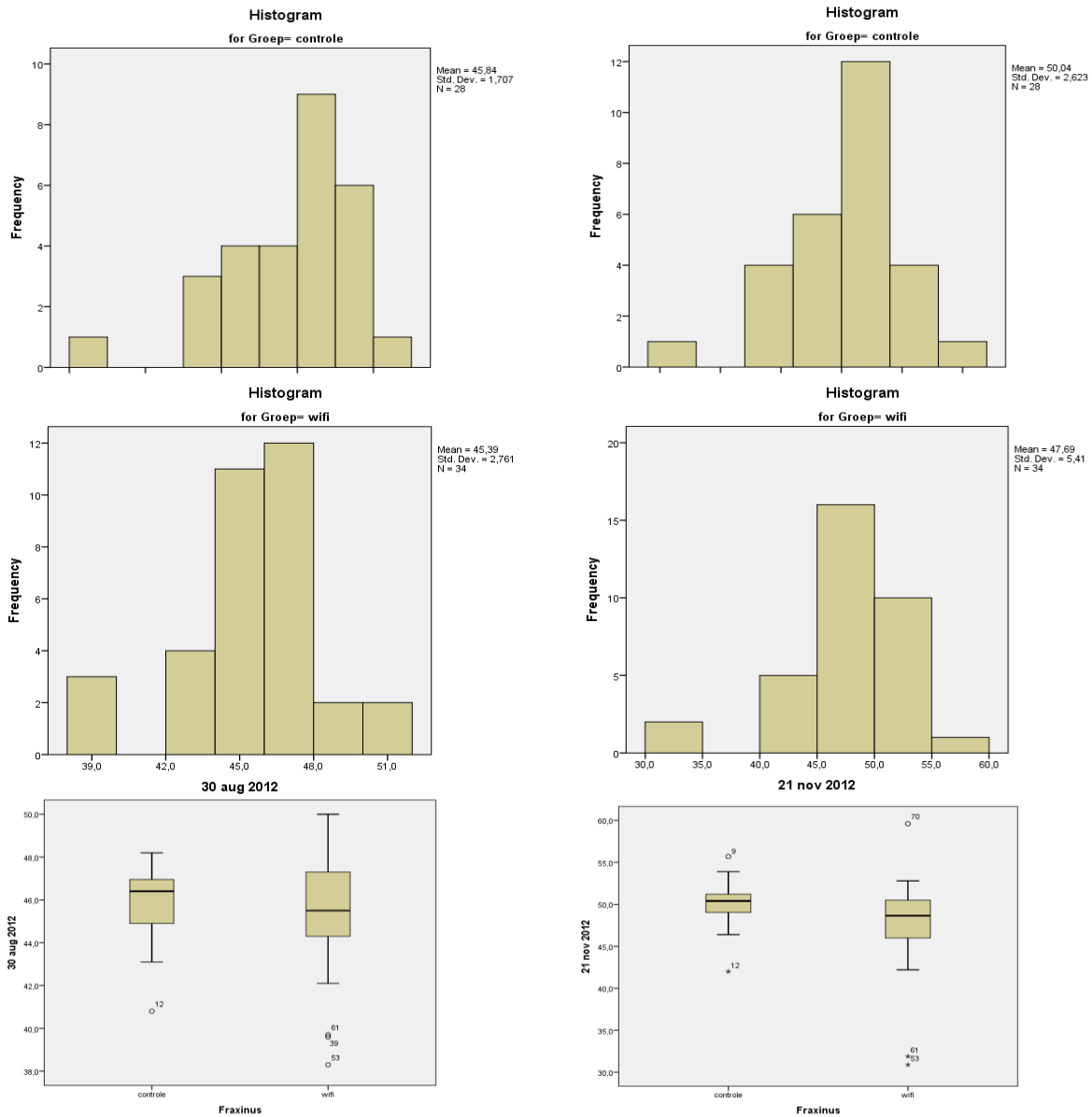
In de bovenstaande tabel is te lezen dat in geval van vergelijking van klimaatcel A1(zonder EM) en A4 (met EM) in augustus, de p-tweezijdig groter is dan 0.5, hetgeen betekent dat er geen significant verschil is in de gemiddelde chlorophyllwaarde in de twee klimaatcellen. Bij vergelijking van de zelfde klimaatcellen in november blijkt dat wel het geval. Hierin is dus geen eenduidige trend.

Vergelijking van de klimaatcellen A1 en C8 en A4 en C8 geeft zowel in augustus als in november significant verschillende gemiddelde chlorophyllwaarden. C8 is de klimaatcel waarin de essen in een andere (halfzijdige) opstelling hebben gestaan. Vergelijking is daardoor lastig.

Detailuitwerking meetgegevens in klimaatcel A1 en A4 in augustus en november

Voor één conditie is de analyse nog iets nauwkeuriger gedaan waarbij rekening is gehouden met missende metingen (wegvallende bladeren). Data zijn geanalyseerd met IBM SPSS Statistics version 20.

Onderstaande tabel toont histogrammen met de spreiding van de data in A1 zonder EM en A4 mét EM in augustus (links) en november (rechts) en onderaan de bijbehorende boxplots (zie kader voor uitleg).



Tabel: Histogram en Box-plots van de gemeten chlorophyllwaarden in klimaatcel A1 zonder EM, en A4 mét EM-velden op 30 augustus (links) en 21 november 2012 (rechts).

Een **box-plot** is een diagram waardoor heel snel veel informatie te zien is over de set met gegevens waarvan de boxplot is gemaakt. Een van de punten die je snel kan aflezen is de ligging van de mediaan. Ook kan je meteen zien wat de ligging is van de middelste 50% van alle gemeten getallen. Verder kan je ook nog zien waar de uitschieters liggen, wat kan duiden op een verkeerde waarneming. Alle uitschieters worden op de grafiek getekend als rondjes.

Mediaan

De mediaan is het middelste waarnemingsgetal van een verzameling gesorteerde waarnemingsgetallen. Wanneer de verzameling een even aantal elementen bevat, dan is de mediaan het gemiddelde van de twee middelste waarnemingsgetallen.

Op basis van de data (N=aantal waarnemingen) zijn de waarden mean (gemiddelde), standaard deviatie en gemiddelde standaardfout met een Independent Sample test geanalyseerd om te achterhalen of de variabiliteit in de twee condities verschillend was en of er wel of geen statistisch (significant) verschil in de gemiddelden was. De onderstaande tabellen geven daarvan verslag.

Group Statistics

		Fraxinus	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
30 aug 2012	controle		28	45,843	1,7074	,3227
	wifi		34	45,394	2,7610	,4735
21 nov 2012	controle		28	50,043	2,6233	,4958
	wifi		34	47,685	5,4103	,9279

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means	
		F	Sig.	t	df
30 aug 2012	Equal variances assumed	3,882	,053	,749	60
	Equal variances not assumed			,783	56,004
21 nov 2012	Equal variances assumed	4,917	,030	2,109	60
	Equal variances not assumed			2,241	49,592

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
30 aug 2012	Equal variances assumed	,456	,4487	,5987
	Equal variances not assumed	,437	,4487	,5730
21 nov 2012	Equal variances assumed	,039	2,3576	1,1181
	Equal variances not assumed	,030	2,3576	1,0520

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means	
		95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper
30 aug 2012	Equal variances assumed	-,7489	1,6464
	Equal variances not assumed	-,6991	1,5966
21 nov 2012	Equal variances assumed	,1210	4,5941
	Equal variances not assumed	,2441	4,4710

Uit de Levene's Test for Equality of Variances blijkt op 30 augustus een grotere waarde dan 0.05 hetgeen betekent dat de variabiliteit niet significant verschillend is in de twee omstandigheden. In november is Sig kleiner dan 0.05 hetgeen betekent dat de variabiliteit niet hetzelfde is maar significant verschillend. Bij de t-test for Equality of Means blijkt in augustus een Sig. (2-tailed) groter dan 0.05 hetgeen inhoudt dat er geen statistisch verschil is tussen de gemiddelden. In november is er echter een Sig. (2-tailed) kleiner dan 0.05 hetgeen betekent dat er nu wel een significant verschil is tussen de gemiddelden.

Bijlage III Statistische analyse

**Sample analyse meetgegevens in klimaatcellen met vergelijkbare
plantinrichting zonder en met EM velden 2010-2012**

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab.6 lengtetoename	zonder EM-velden	25	21.1600	9.76678	1.95336
Fraxinus 30-6-2010	met EM-velden	25	19.5200	12.84562	2.56912
Tab.7A Chlorophyllmeting	zonder EM-velden	6	44.5667	4.85867	1.98354
Fraxinus 25-8-2010	met EM-velden	6	45.1500	4.25288	1.73623
Tab. 7B Chlorophyllmeting	zonder EM-velden	5	49.0800	2.83496	1.26783
Fraxinusbladeren zonder of met metaalglans uit klimaatcel met EM	met EM-velden	5	57.9200	1.39176	.62241

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab.6 lengtetoename Fraxinus 30-6-2010	Equal variances assumed	3.558	.065	.508	48	.614	1.64000	3.22738	-4.84909	8.12909
	Equal variances not assumed			.508	44.798	.614	1.64000	3.22738	-4.86109	8.14109
Tab.7A Chlorophyllmeting Fraxinus 25-8-2010	Equal variances assumed	.672	.431	-.221	10	.829	-.58333	2.63609	-6.45690	5.29023
	Equal variances not assumed			-.221	9.828	.829	-.58333	2.63609	-6.47088	5.30421
Tab. 7B Chlorophyllmeting Fraxinusbladeren zonder of met metaalglans uit klimaatcel met EM	Equal variances assumed	2.027	.192	-6.259	8	.000	-8.84000	1.41237	-12.09694	-5.58306
	Equal variances not assumed			-6.259	5.822	.001	-8.84000	1.41237	-12.32169	-5.35831

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab. 9 Chlorophyllwaarde op 18-10-2011	zonder EM-velden	6	42.7000	2.50998	1.02470
	met EM-velden	7	41.7143	4.85916	1.83659
Tab. 10 Aantal bladeren per plant op 28-10-2011	zonder EM-velden	10	125.6000	28.66744	9.06544
	met EM-velden	7	135.5714	31.99926	12.09458
Tab. 10 Natgewicht Fraxinus op 28-10-2011	zonder EM-velden	5	419.6440	114.88621	51.37867
	met EM-velden	10	364.7360	118.95597	37.61718
Tab. 10 Drooggewicht Fraxinus 28-10-2011	zonder EM-velden	5	135.0900	38.98611	17.43512
	met EM-velden	10	147.5270	51.03811	16.13967
Tab. 11 Bladaantal oudere Fraxinus planten 2011	zonder EM-velden	5	141.2000	30.24401	13.52553
	met EM-velden	5	135.0000	20.77258	9.28978

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 9	Equal variances assumed	3.820	.077	.447	11	.664	.98571	2.20742	-3.87279	5.84422
Chlorophyllwaarde op 18-10-2011	Equal variances not assumed			.469	9.242	.650	.98571	2.10311	-3.75291	5.72434
Tab. 10 Aantal bladeren per plant op 28-10-2011	Equal variances assumed	.355	.560	-.673	15	.511	-9.97143	14.80611	-41.52991	21.58705
	Equal variances not assumed			-.660	12.091	.522	-9.97143	15.11493	-42.87647	22.93361
Tab. 10 Natgewicht Fraxinus op 28-10-2011	Equal variances assumed	.011	.918	.852	13	.410	54.90800	64.47720	-84.38652	194.20252
	Equal variances not assumed			.862	8.369	.413	54.90800	63.67747	-90.81316	200.62916
Tab. 10 Drooggewicht Fraxinus 28-10-2011	Equal variances assumed	1.229	.288	-.476	13	.642	-12.43700	26.10202	-68.82698	43.95298
	Equal variances not assumed			-.523	10.399	.612	-12.43700	23.75862	-65.10060	40.22660
Tab. 11 Bladaantal oudere Fraxinus planten 2011	Equal variances assumed	.464	.515	.378	8	.715	6.20000	16.40853	-31.63815	44.03815
	Equal variances not assumed			.378	7.087	.717	6.20000	16.40853	-32.50372	44.90372

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 12	Equal variances assumed	.003	.958	.364	69	.717	1.03333	2.83607	-4.62448	6.69115
Stam lengtetoename Fraxinus op 25-8-2012	Equal variances not assumed			.364	68.382	.717	1.03333	2.83877	-4.63078	6.69744
Tab. 12	Equal variances assumed	1.099	.325	-.632	8	.545	-9.20000	14.55129	-42.75533	24.35533
Stam lengtetoename Salix op 25-8-2012	Equal variances not assumed			-.632	7.650	.546	-9.20000	14.55129	-43.02408	24.62408
Tab. 13	Equal variances assumed	.127	.723	1.141	68	.258	.09203	.08068	-.06896	.25301
Stamomtrektoename Fraxinus 7-11-12	Equal variances not assumed			1.141	67.747	.258	.09203	.08068	-.06898	.25304
Tab. 13	Equal variances assumed	1.037	.348	.823	6	.442	.35333	.42944	-.69746	1.40412
Stamomtrektoename Salix op 7-11-2012	Equal variances not assumed			.701	2.756	.538	.35333	.50383	-1.33349	2.04015

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab. 14 Bladaantallen Fraxinus 7-11-2012	zonder EM-velden	35	47.7429	18.73239	3.16635
	met EM-velden	36	40.9722	20.49458	3.41576
Tab. 14 Bladnatgewicht Fraxinus 7-11-2012	zonder EM-velden	32	75.9500	43.57326	7.70274
	met EM-velden	32	63.8634	36.87907	6.51936
Tab. 14 Bladdrooggewicht Fraxinus 7-11-2012	zonder EM-velden	32	31.4031	13.37126	2.36373
	met EM-velden	32	27.8937	11.91686	2.10662
Tab. 14 Bladaantallen Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	572.0000	116.72832	52.20249
	met EM-velden	5	487.2000	197.09059	88.14159
Tab. 14 Bladnatgewicht Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	987.4200	133.84897	59.85908
	met EM-velden	5	852.4400	178.34989	79.76050
Tab. 14 Bladdrooggewicht Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	833.6400	144.94176	64.81992
	met EM-velden	5	705.3200	179.15788	80.12184
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Fraxinus sample A op 30-8-2012	zonder EM-velden	34	45.64706	1.717510	.294550
	met EM-velden	34	45.39412	2.760977	.473504
Tab. 15 ChlorophyllwaardeFraxinus sample A op 21-11-2012	zonder EM-velden	29	49.8966	2.69384	.50023
	met EM-velden	34	47.6853	5.41027	.92785
Tab. 15 ChlorophyllwaardeFraxinus sample B op 21-11-2012	zonder EM-velden	5	46.4840	1.82983	.81833
	met EM-velden	5	47.0600	1.74155	.77885
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Aesculus 21-11-2012	zonder EM-velden	2	51.4950	5.01339	3.54500
	met EM-velden	2	44.4400	5.31744	3.76000
Tab. 15 Chlorophyllwaarden Salix 21-11-2012	zonder EM-velden	4	44.2050	5.07999	2.54000
	met EM-velden	4	40.1350	6.73614	3.36807

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 14 Bladaantallen Fraxinus 7-11-2012	Equal variances assumed	.125	.725	1.452	69	.151	6.77063	4.66357	-2.53293	16.07420
	Equal variances not assumed			1.454	68.743	.151	6.77063	4.65760	-2.52164	16.06291
Tab. 14 Bladnatgewicht Fraxinus 7-11-2012	Equal variances assumed	1.592	.212	1.198	62	.236	12.08656	10.09129	-8.08565	32.25877
	Equal variances not assumed			1.198	60.352	.236	12.08656	10.09129	-8.09661	32.26974
Tab. 14 Bladdrooggewicht Fraxinus 7-11-2012	Equal variances assumed	.848	.361	1.108	62	.272	3.50938	3.16624	-2.81985	9.83860
	Equal variances not assumed			1.108	61.196	.272	3.50938	3.16624	-2.82150	9.84025
Tab. 14 Bladaantallen Salix 7-11-2012	Equal variances assumed	1.246	.297	.828	8	.432	84.80000	102.44042	-151.42804	321.02804
	Equal variances not assumed			.828	6.499	.437	84.80000	102.44042	-161.27288	330.87288
Tab. 14 Bladnatgewicht Salix 7-11-2012	Equal variances assumed	2.201	.176	1.354	8	.213	134.98000	99.72385	-94.98361	364.94361
	Equal variances not assumed			1.354	7.421	.216	134.98000	99.72385	-98.14627	368.10627

Tab. 14	Equal variances										
Bladdrooggewicht Salix	assumed	1.153	.314	1.245	8	.248	128.32000	103.05888	-109.33420	365.97420	
7-11-2012	Equal variances not			1.245	7.666	.250	128.32000	103.05888	-111.15014	367.79014	
	assumed										
Tab. 15	Equal variances										
Chlorophyllwaarde	assumed	3.644	.061	.454	66	.652	.252941	.557643	-.860429	1.366311	
Fraxinus sample A op	Equal variances not			.454	55.213	.652	.252941	.557643	-.864503	1.370386	
30-8-2012	assumed										
Tab. 15	Equal variances										
ChlorophyllwaardeFraxin	assumed	4.499	.038	1.998	61	.050	2.21126	1.10662	-.00157	4.42408	
us sample A op 21-11-	Equal variances not			2.098	49.994	.041	2.21126	1.05411	.09401	4.32850	
2012	assumed										
Tab. 15	Equal variances										
ChlorophyllwaardeFraxin	assumed	.001	.979	-.510	8	.624	-.57600	1.12972	-3.18113	2.02913	
us sample B op 21-11-	Equal variances not			-.510	7.981	.624	-.57600	1.12972	-3.18223	2.03023	
2012	assumed										
Tab. 15	Equal variances										
Chlorophyllwaarde	assumed	.	.	1.365	2	.305	7.05500	5.16765	-15.17961	29.28961	
Aesculus 21-11-2012	Equal variances not			1.365	1.993	.306	7.05500	5.16765	-15.25347	29.36347	
	assumed										
Tab. 15	Equal variances										
Chlorophyllwaarden	assumed	.176	.690	.965	6	.372	4.07000	4.21847	-6.25222	14.39222	
Salix 21-11-2012	Equal variances not			.965	5.578	.375	4.07000	4.21847	-6.44431	14.58431	
	assumed										

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab. 9 Chlorophyllwaarde op 18-10-2011	zonder EM-velden	6	42.7000	2.50998	1.02470
	met EM-velden	7	41.7143	4.85916	1.83659
Tab. 10 Aantal bladeren per plant op 28-10-2011	zonder EM-velden	10	125.6000	28.66744	9.06544
	met EM-velden	7	135.5714	31.99926	12.09458
Tab. 10 Natgewicht Fraxinus op 28-10-2011	zonder EM-velden	5	419.6440	114.88621	51.37867
	met EM-velden	10	364.7360	118.95597	37.61718
Tab. 10 Drooggewicht Fraxinus 28-10-2011	zonder EM-velden	5	135.0900	38.98611	17.43512
	met EM-velden	10	147.5270	51.03811	16.13967
Tab. 11 Bladaantal oudere Fraxinus planten 2011	zonder EM-velden	5	141.2000	30.24401	13.52553
	met EM-velden	5	135.0000	20.77258	9.28978

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 9	Equal variances assumed	3.820	.077	.447	11	.664	.98571	2.20742	-3.87279	5.84422
Chlorophyllwaarde op 18-10-2011	Equal variances not assumed			.469	9.242	.650	.98571	2.10311	-3.75291	5.72434
Tab. 10 Aantal bladeren per plant op 28-10-2011	Equal variances assumed	.355	.560	-.673	15	.511	-9.97143	14.80611	-41.52991	21.58705
	Equal variances not assumed			-.660	12.091	.522	-9.97143	15.11493	-42.87647	22.93361
Tab. 10 Natgewicht Fraxinus op 28-10-2011	Equal variances assumed	.011	.918	.852	13	.410	54.90800	64.47720	-84.38652	194.20252
	Equal variances not assumed			.862	8.369	.413	54.90800	63.67747	-90.81316	200.62916
Tab. 10 Drooggewicht Fraxinus 28-10-2011	Equal variances assumed	1.229	.288	-.476	13	.642	-12.43700	26.10202	-68.82698	43.95298
	Equal variances not assumed			-.523	10.399	.612	-12.43700	23.75862	-65.10060	40.22660
Tab. 11 Bladaantal oudere Fraxinus planten 2011	Equal variances assumed	.464	.515	.378	8	.715	6.20000	16.40853	-31.63815	44.03815
	Equal variances not assumed			.378	7.087	.717	6.20000	16.40853	-32.50372	44.90372

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab. 12 Stam lengtetoename	zonder EM-velden	35	18.7000	12.34444	2.08659
Fraxinus op 25-8-2012	met EM-velden	36	17.6667	11.54865	1.92478
Tab. 12 Stam lengtetoename	zonder EM-velden	5	189.8000	20.40098	9.12360
Salix op 25-8-2012	met EM-velden	5	199.0000	25.34758	11.33578
Tab. 13 Stamomtrektoename	zonder EM-velden	34	.4615	.33788	.05795
Fraxinus 7-11-12	met EM-velden	36	.3694	.33685	.05614
Tab. 13 Stamomtrektoename	zonder EM-velden	3	2.7333	.80208	.46308
Salix op 7-11-2012	met EM-velden	5	2.3800	.44385	.19849

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 12 Stamlengetoename Fraxinus op 25-8-2012	Equal variances assumed	.003	.958	.364	69	.717	1.03333	2.83607	-4.62448	6.69115
	Equal variances not assumed			.364	68.382	.717	1.03333	2.83877	-4.63078	6.69744
Tab. 12 Stamlengetoename Salix op 25-8-2012	Equal variances assumed	1.099	.325	-.632	8	.545	-9.20000	14.55129	-42.75533	24.35533
	Equal variances not assumed			-.632	7.650	.546	-9.20000	14.55129	-43.02408	24.62408
Tab. 13 Stamontrektoename Fraxinus 7-11-12	Equal variances assumed	.127	.723	1.141	68	.258	.09203	.08068	-.06896	.25301
	Equal variances not assumed			1.141	67.747	.258	.09203	.08068	-.06898	.25304
Tab. 13 Stamontrektoename Salix op 7-11-2012	Equal variances assumed	1.037	.348	.823	6	.442	.35333	.42944	-.69746	1.40412
	Equal variances not assumed			.701	2.756	.538	.35333	.50383	-1.33349	2.04015

Group Statistics

	Zonder_of_met_EMvelden	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tab. 14 Bladaantallen	zonder EM-velden	35	47.7429	18.73239	3.16635
Fraxinus 7-11-2012	met EM-velden	36	40.9722	20.49458	3.41576
Tab. 14 Bladnatgewicht	zonder EM-velden	32	75.9500	43.57326	7.70274
Fraxinus 7-11-2012	met EM-velden	32	63.8634	36.87907	6.51936
Tab. 14 Bladdrooggewicht	zonder EM-velden	32	31.4031	13.37126	2.36373
Fraxinus 7-11-2012	met EM-velden	32	27.8937	11.91686	2.10662
Tab. 14 Bladaantallen Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	572.0000	116.72832	52.20249
	met EM-velden	5	487.2000	197.09059	88.14159
Tab. 14 Bladnatgewicht Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	987.4200	133.84897	59.85908
	met EM-velden	5	852.4400	178.34989	79.76050
Tab. 14 Bladdrooggewicht Salix 7-11-2012	zonder EM-velden	5	833.6400	144.94176	64.81992
	met EM-velden	5	705.3200	179.15788	80.12184
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Fraxinus sample A op 30-8-2012	zonder EM-velden	34	45.64706	1.717510	.294550
	met EM-velden	34	45.39412	2.760977	.473504
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Fraxinus sample A op 21-11-2012	zonder EM-velden	29	49.8966	2.69384	.50023
	met EM-velden	34	47.6853	5.41027	.92785
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Fraxinus sample B op 21-11-2012	zonder EM-velden	5	46.4840	1.82983	.81833
	met EM-velden	5	47.0600	1.74155	.77885
Tab. 15 Chlorophyllwaarde Aesculus 21-11-2012	zonder EM-velden	2	51.4950	5.01339	3.54500
	met EM-velden	2	44.4400	5.31744	3.76000
Tab. 15 Chlorophyllwaarden Salix 21-11-2012	zonder EM-velden	4	44.2050	5.07999	2.54000
	met EM-velden	4	40.1350	6.73614	3.36807

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Tab. 16	Equal variances assumed	.	.	.954	2	.441	6.50000	6.81542	-22.82440	35.82440
Fotosynthesecapaciteit Aesculus	Equal variances not assumed			.954	1.331	.481	6.50000	6.81542	-42.65211	55.65211
Tab. 16	Equal variances assumed	.437	.527	-1.540	8	.162	-3.72000	2.41495	-9.28889	1.84889
Fotosynthesecapaciteit Fraxinus	Equal variances not assumed			-1.540	7.044	.167	-3.72000	2.41495	-9.42327	1.98327
Tab. 16	Equal variances assumed	.500	.506	2.105	6	.080	5.33333	2.53310	-.86494	11.53160
Fotosynthesecapaciteit Salix	Equal variances not assumed			2.306	5.569	.064	5.33333	2.31267	-.43351	11.10018
Tab. 17 Som taklengte	Equal variances assumed	1.552	.248	.657	8	.529	157.20000	239.19385	-394.38202	708.78202
Salix	Equal variances not assumed			.657	4.874	.541	157.20000	239.19385	-462.46324	776.86324
Tab. 18 Fraxinus	Equal variances assumed	.511	.477	-.295	63	.769	-.07495	.25442	-.58336	.43346
bladkrulling	Equal variances not assumed			-.292	58.421	.771	-.07495	.25667	-.58865	.43875



Fig. 3. Overzicht interieur klimaatcel A4 (+EM) met 6 WiFizenders en bijbehorende antennes waarvan 4 links- rechtsboven zichtbaar) bij begin experiment op 31-5-2010. IMG 6233



Fig. 4. Klimaatcel A4 (+EM) op 25-8-2010. IMG 8532, 8531



Fig. 5. A-B: Overzicht *Fraxinus* in klimaatcel A1 (-EM) en C-D: A4 (+EM) op 27-8-2010. In beide klimaatcellen komen krullende en vlakke bladeren voor. IMG 8613, 8612, 8618, 8617



Fig. 6. A: *Fraxinus*bladeren in klimaatcel A4 (+EM) en B: klimaatcel A1 (-EM). In beide cellen komen krullende bladeren voor maar metaalglans alleen in cel A4 (links). Situatie op 25 en 27-8-2010. IMG 8555, 8612



A



B



C

Fig. 7. Overzicht *Fraxinus* in klimaatcel A1 (-EM). A: Detail van Fig. 5B met vlakke bladeren. B: Detail van blad met verkleuring langs de hoofdnerf van de blaadjes, C; Patroon van witte vlekken op bladeren. Situatie 31-8-2010. IMG 8467, 8479, 8480



Fig. 8. Overzicht start opstelling in klimaatcel A1 met zenders, zonder antennes maar met dummy load (SHAM-experiment) dd 4-7-2011. (P7040049-7040050)



Fig. 9. Overzicht start opstelling in klimaatcel C8 (+EM) dd 4-7-2011. (P7040079-7040082)



Fig. 10. Overzicht start opstelling in klimaatcel A2 (-EM) rechterzijde boven dd 4-7-2011. (P7040083)



Fig. 11. Overzicht start opstelling in klimaatcel A2 (-EM) rechterzijde onder dd 4-7-2011. (7040084)



Fig. 12. A-C: Overzicht UMTS antenne, DVBT antenne, WiFi antenne (allen in klimaatcel C8) en D: Sham-opstelling voor WiFi in klimaatcel A1. (P8170007, P7040071, P7040063, P7040050)



Fig. 13. Instrumentarium voor chlorophyllmetingen. A: SPAD-meter, B-D: Mini-PAM. Situaties op 2-6-2011. (IMG 0266, 3159, 3161, 3162)



Fig. 14. *Fraxinus excelsior* (F8.6) in C8 (+EM). A: Top van plant met gekruld blad met necrotische aantasting. Situaties 14-12-2011. B: Detail F8.6: Suiker-exudaat op algemene bladsteel en bladonderzijde. (IMG 0421, 0502)



Fig. 15. A-B Bepaling drogestofgehalte. A: Drooginstallatie en B: bepaling vers-gewicht bladeren per plant. Situatie 28-10-2011. (IMG 0156, 0157)
C-D Voorkomen van witte vlekken op bladeren in klimaatcel A2 (-EM, links) en klimaatcel C8 (+EM, rechts) dd. 19-9 en 21-10-2011 (IMG 3407 en IMG 0055)



Fig. 16. Situatie in klimaatcellen eind oktober 2011. A: Overzicht A1 (sham), B: Detail antenne-kabel zonder antenne maar met dummy load (Sham-experiment) in A1, C: Overzicht C8 (+EM), D: Overzicht A2 (-EM). Situatie 22/24/28-10-2011. Visueel bestond de indruk dat de bladhoeveelheid C8 iets achterbleef t.o.v. A1. E: Detail van *Fraxinus* F8.8 dd 17-10-2011 met sterke bladkrulling. Deze plant bleek epidermisnecrose te hebben. (IMG 0067, 0607, 0080, 0158, 3574)

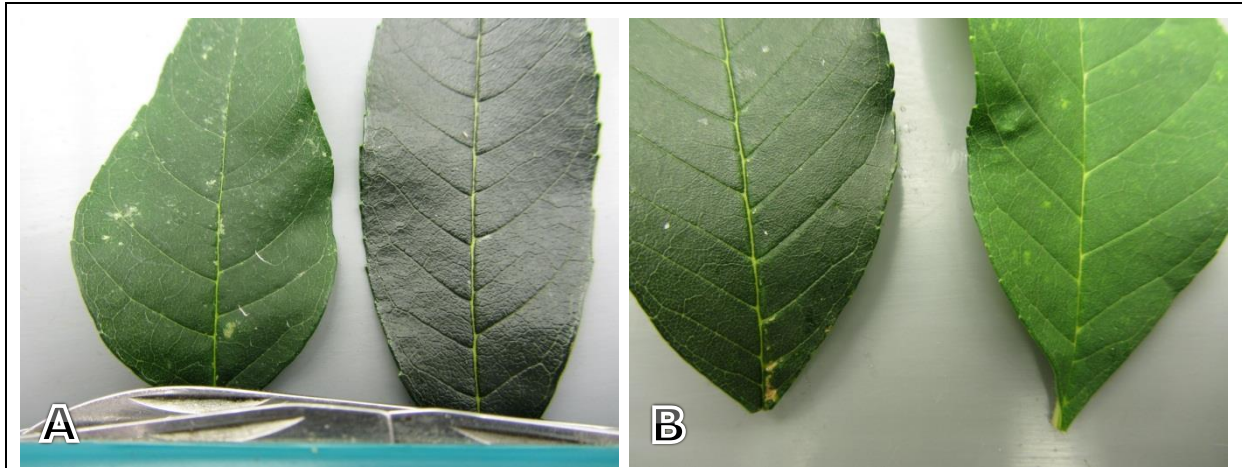


Fig. 17. A: Blaadjes uit A2 (-EM) en B: uit C8 (+EM) Situatie 25-10-2011. Mate van krulling en groenkleuring is vergelijkbaar. Dikke bladen zijn in de regel glanzend. (IMG 0086, 0099)

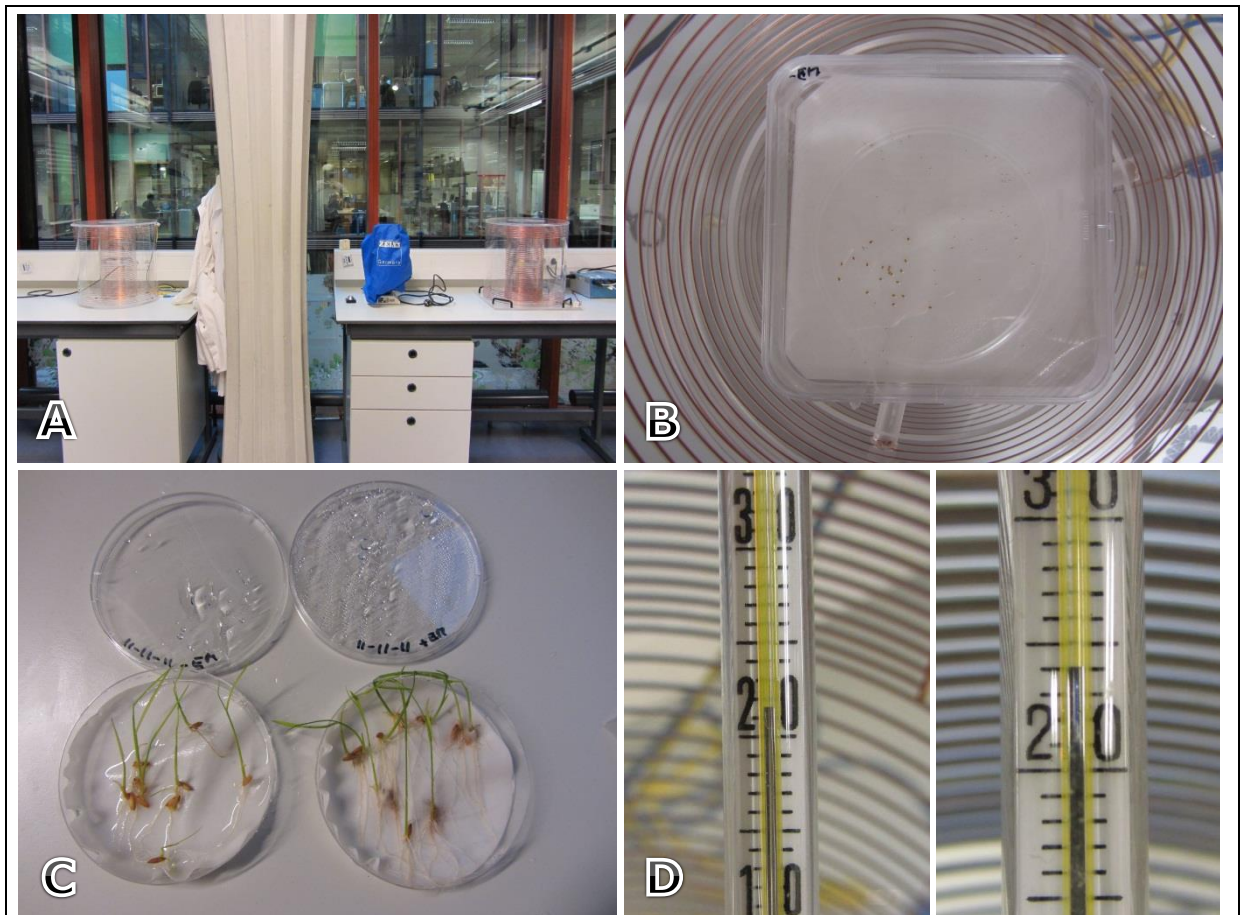


Fig. 18. Laboratoriumopstelling laag-frequentveldapplicatie met 10 minuten belasting (40 μ Tesla) en 50 minuten zonder belasting, met continu-instelling. A: Overzicht opstelling van twee cilinders; links zonder EM-belasting, rechts met EM-belasting, B: Interieur cilinder met kiemproef *Arabidopsis thaliana*-zaden, C; Kieming rijst. Resultaat na 14 dagen kieming. Links -EM, rechts +EM-belasting. Situatie 4-11-2011. D toont het temperatuurverschil in de twee cilinders. Links -EM-belasting, rechts +EM-belasting. (IMG 0258, 0248, 0358, 0360, 359)

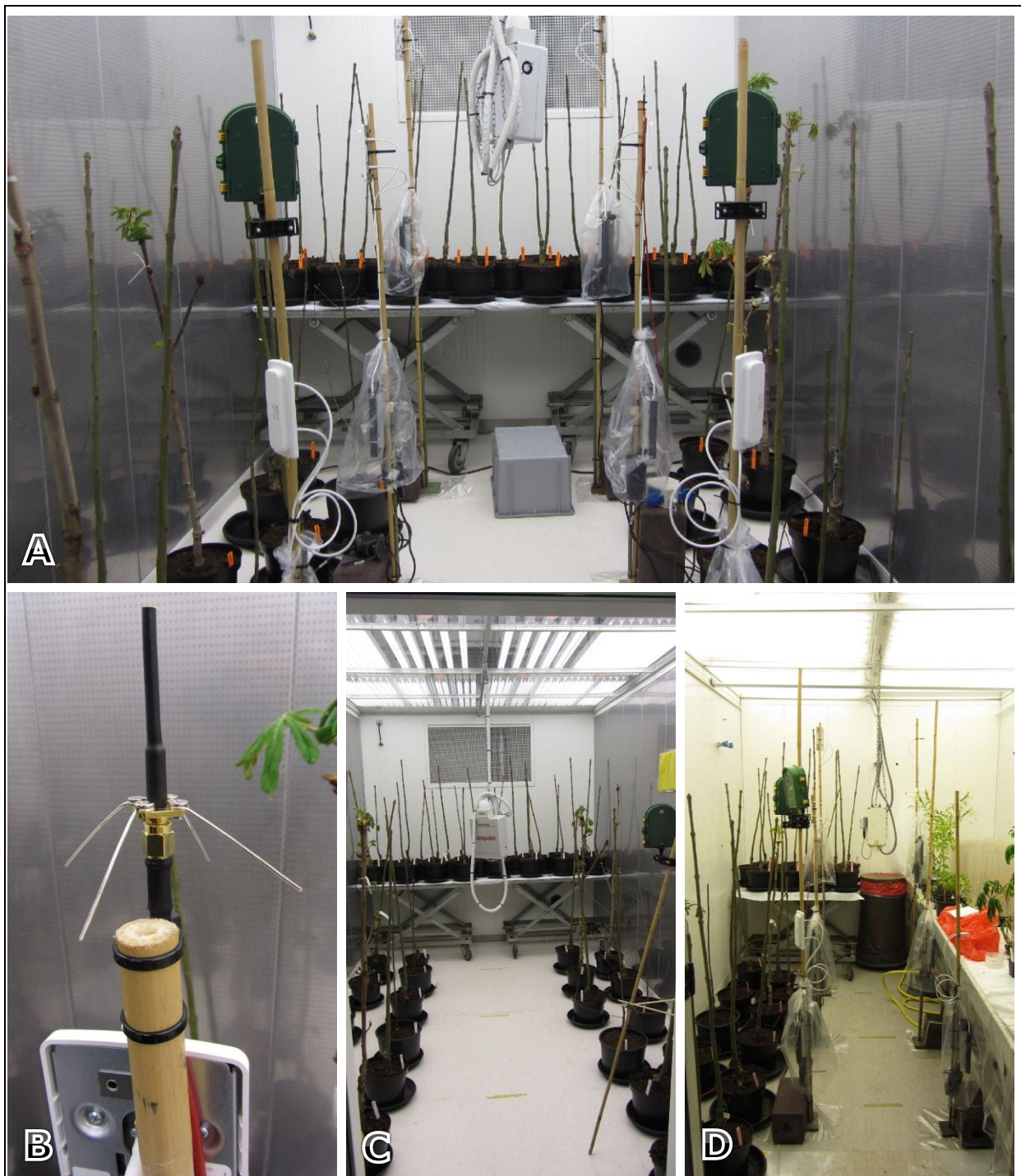


Fig. 19. A Overzicht interieur A4, A1 en C8 bij aanvang experiment op 3-4-2012. A: Interieur A4 (+EM), B: Detail ground plane UMTS-antenne, C: Overzicht interieur A1 (-EM), D: Overzicht interieur C8 (+EM). (IMG 1470, 1579, 1467, 1468)



Fig. 20. Details WiFi apparatuur. A: WiFi-antenne-vooraanzicht, B: WiFi-antenne-zijaanzicht met UMTS-antenne erboven gemonteerd, C: WiFi-zender in plastic zak. Situatie 7-11-2012. IMG 5932, 5921, 5933

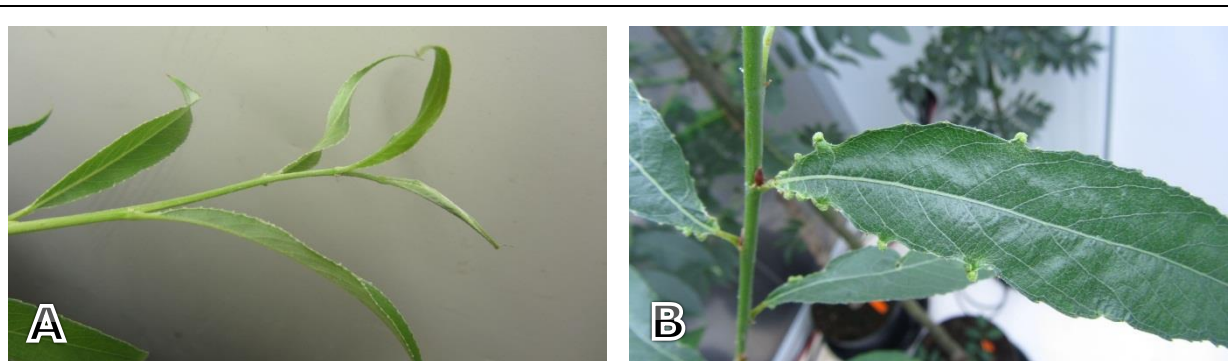


Fig. 21. A: *Salix alba* met groeiende top in C8 (+EM) dd 26-11-2012 en B: *S. alba* met galmijt-aantasting in A4 (+EM) op 10-7-2012. (IMG 6510, 3329)

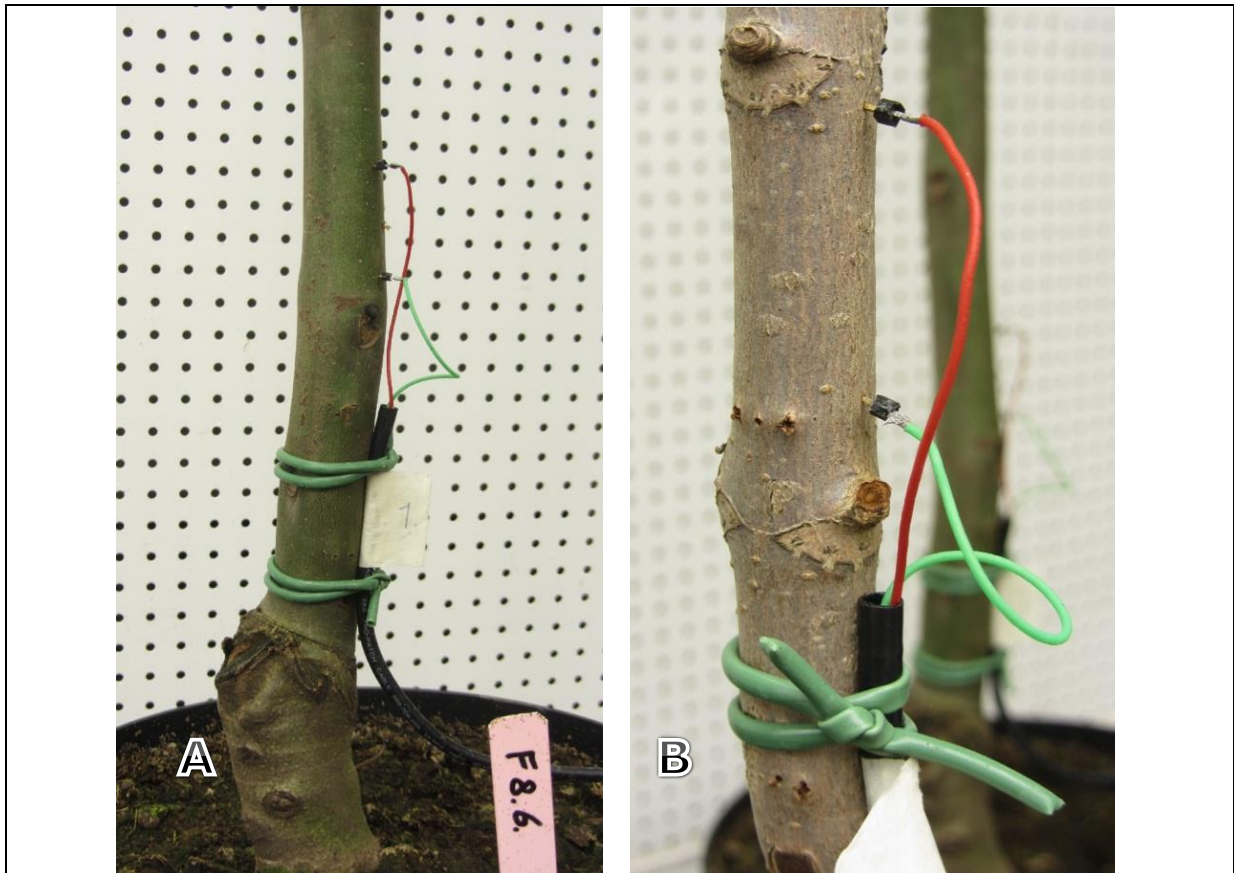


Fig. 22. Aansluiting elektroden in stam *Fraxinus excelsior* (A) en *Aesculus hippocastanum* (B) in C8 (+EM). Situatie 20-6-2012. (IMG 3166, 3168)



Fig. 23. A: Overzicht linkerzijde beplanting in A1 (-EM) B: Overzichtlinkerzijde beplanting A4 (+EM), beide op 30-8-2012. C en D: Detail beplanting achterzijde A1(-EM) en A4 (+EM) op 6-11-2012. (IMG 5293, 5307, 5828, 5909)



Fig. 24. Overzicht van bladaantastingen in diverse klimaatcellen optredend gedurende het experiment. A: Witte vlekken op blad in C8 (+EM) op 10-7-2012, B: Witte vlekken op blad in A1 (-EM) op 6-11-2012, C-E: Witte vlekken in C8 (+EM) op 30-8-2012 (C) en op 26-11-2012 (D, E) overgaand in necrose. (IMG 3348, 5777, 5320, 6533, 6562)



Fig. 25. A: Stengel- en bladontwikkeling bij *Fraxinus excelsior*. A: Vaak is het stengeluiteinde aan de top verdikt (A1 -EM, dd 9-11-2012). B: Exudaat op bladbovenzijde in A4 (+EM) op 10-7-2012, C: Druppelvormig exudaat op bladonderzijde in C8 (+EM) op 23-1-2013. (IMG 6021, 3343, 6931)



Fig. 26. Krulling van bladeren onder belaste (A,B, E) en onbelaste (C,D) omstandigheden gedurende de proefperiode. A-B: C8 (+EM), C-D: A1 (-EM), E: A4 (+EM). De plant in A is F4.29 die na anatomisch onderzoek epidermisnecrose vertoonde op de getoonde bladeren. Situatie A op 9-11-2012, B-C,E 30-8-2012, D 13-11-2012 (IMG 6054, 5331, 5337, 6257, 5339)

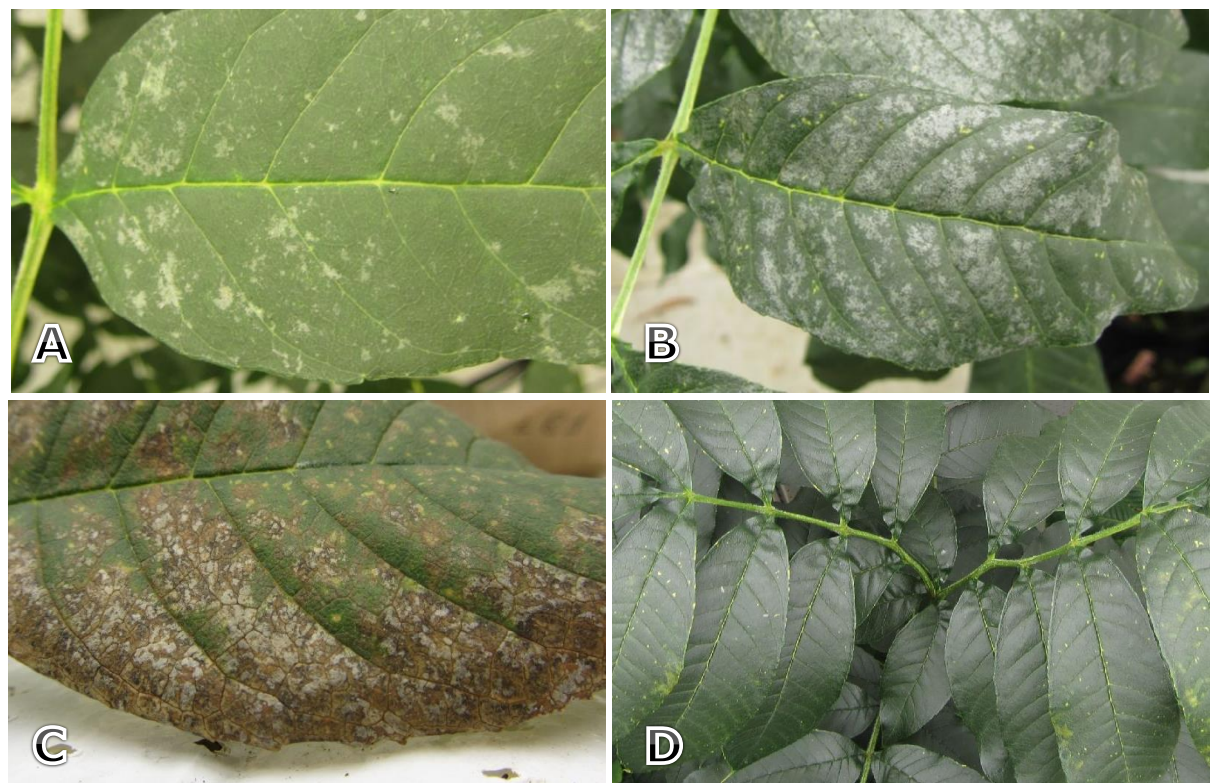


Fig. 27. Bladaantasting bij *Fraxinus*. A-C: In de tijd toenemende bladaantasting met witte vlekken gedurende de proefperiode in C8 (+EM). A: 30-8-2012, B: 26-11-2012, C: 23-1-2013. D: Opname van gele vlekken in A1 (-EM) dd. 6-11-2012 duidt op een ander type aantasting. (IMG 5321, 6533, 6966, 5779)

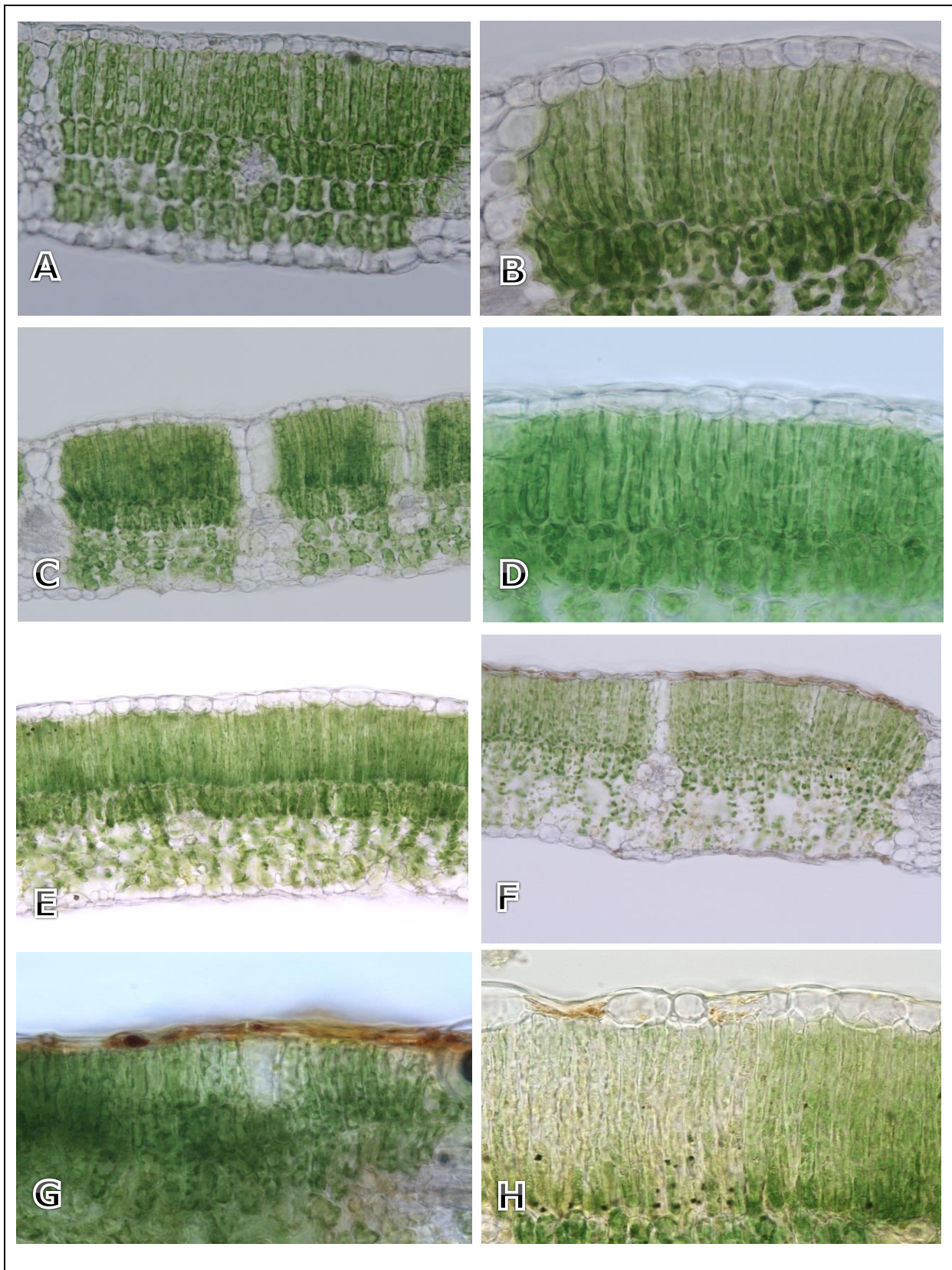


Fig. 28. Bladanatomie. A-B:A1 (-EM). A; vlak blad normaal, B: krullend blad met intacte epidermis. Let op het sterk ontwikkelde palissadechlorenchym waardoor de bovenepidermis opbolt. C-D: A4 (+EM), krullend blad met detail intacte bovenepidermis, E-H: C8 (+EM). Vlak blad zonder (E) en met (F-H) aantasting van de epidermis. Aantasting bestaat uit meer of minder uitgebreide necrose van de epidermis (F1-28-01, F1-29-01, F4-5, F4-44, F8-3-002, F8-8-001, F8-4-002, F8-31-001 nov-dec 2012)

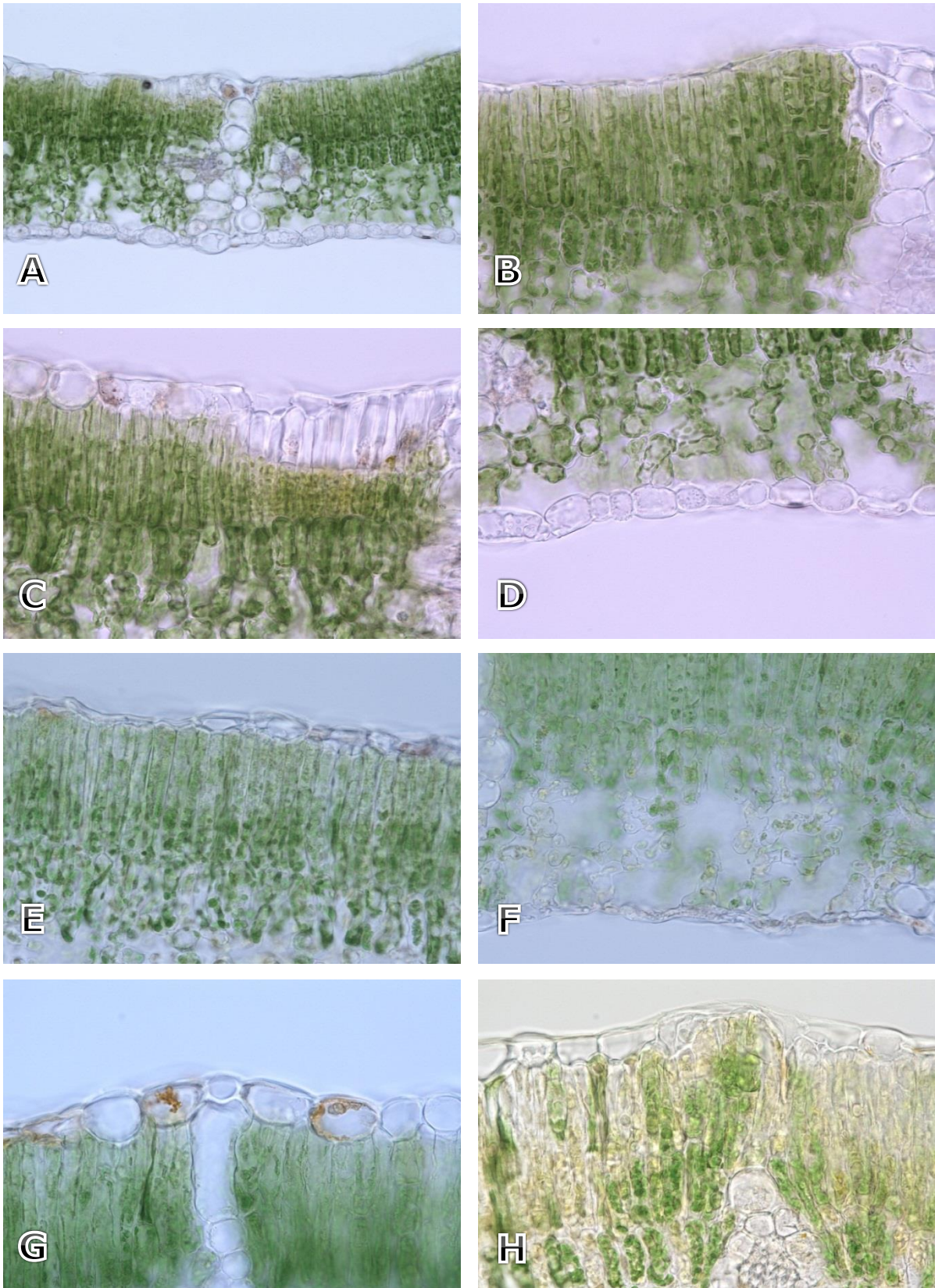
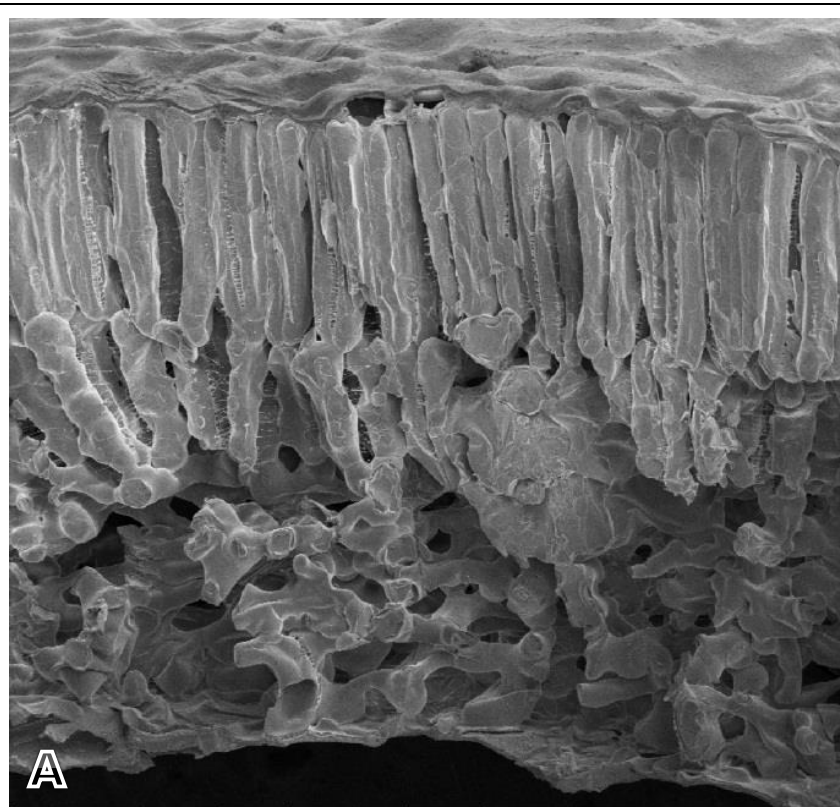
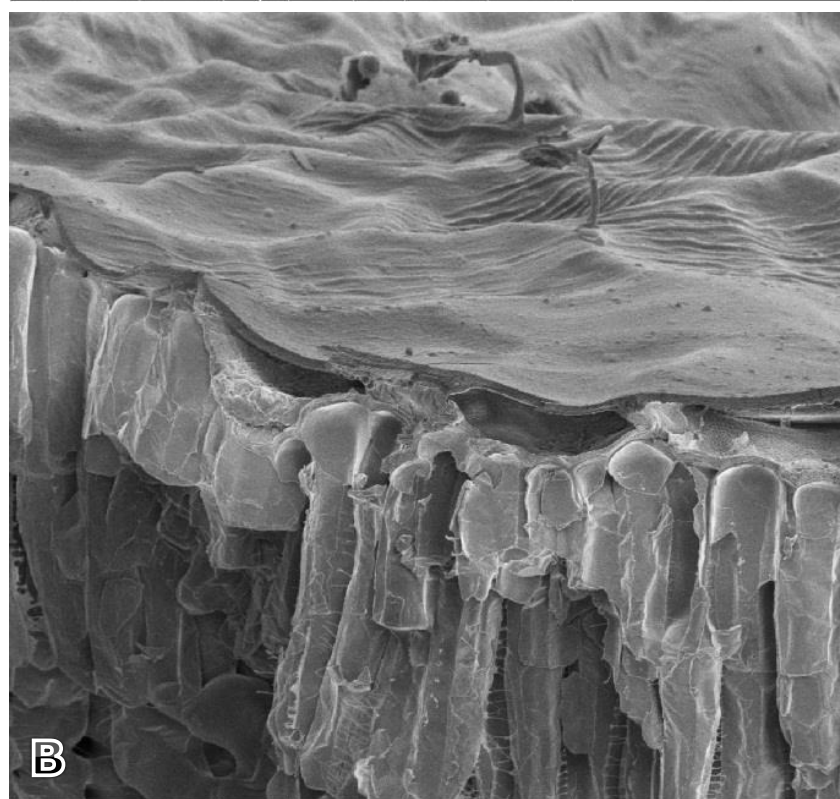


Fig. 29. Overzicht aantasting van epidermis en palissadechlorenchym in bladeren van *Fraxinus excelsior* in C8(+EM) als gevolg van de aantasting met witte vlekken dd 26-11-2012. In A en B is de bovenepidermis platgedrukt. In C is plaatselijk het palissadechlorenchym veranderd. D toont een normale en F een abnormale onderepidermis. E/G Afzonderlijke epidermiscellen met schade. H: De epidermis in het midden van de opname is lokaal verdukt, vermoedelijk door uitgroei van onderliggend chlorenchym. (F8-1-001, F8-1-004, F87-1-006, F8-1-007, F8-8-003, F8-8-004, F8-25-004, F8-31-004)



9/1/2010	HV	curr	mode	det	mag	WD	50 μ m
12:55:54 PM	2.00 kV	25 pA	SE	ETD	1 300 x	3.9 mm	



9/1/2010	HV	curr	mode	det	mag	WD	30 μ m
12:53:53 PM	2.00 kV	25 pA	SE	ETD	2 401 x	3.7 mm	

Fig. 30. Epidermis-aantasting geobserveerd dd 9-11-2010 in *Fraxinus*-bladeren uit A4 (+EM). De aantasting bestaat uit het inklinken van dode epidermiscellen.

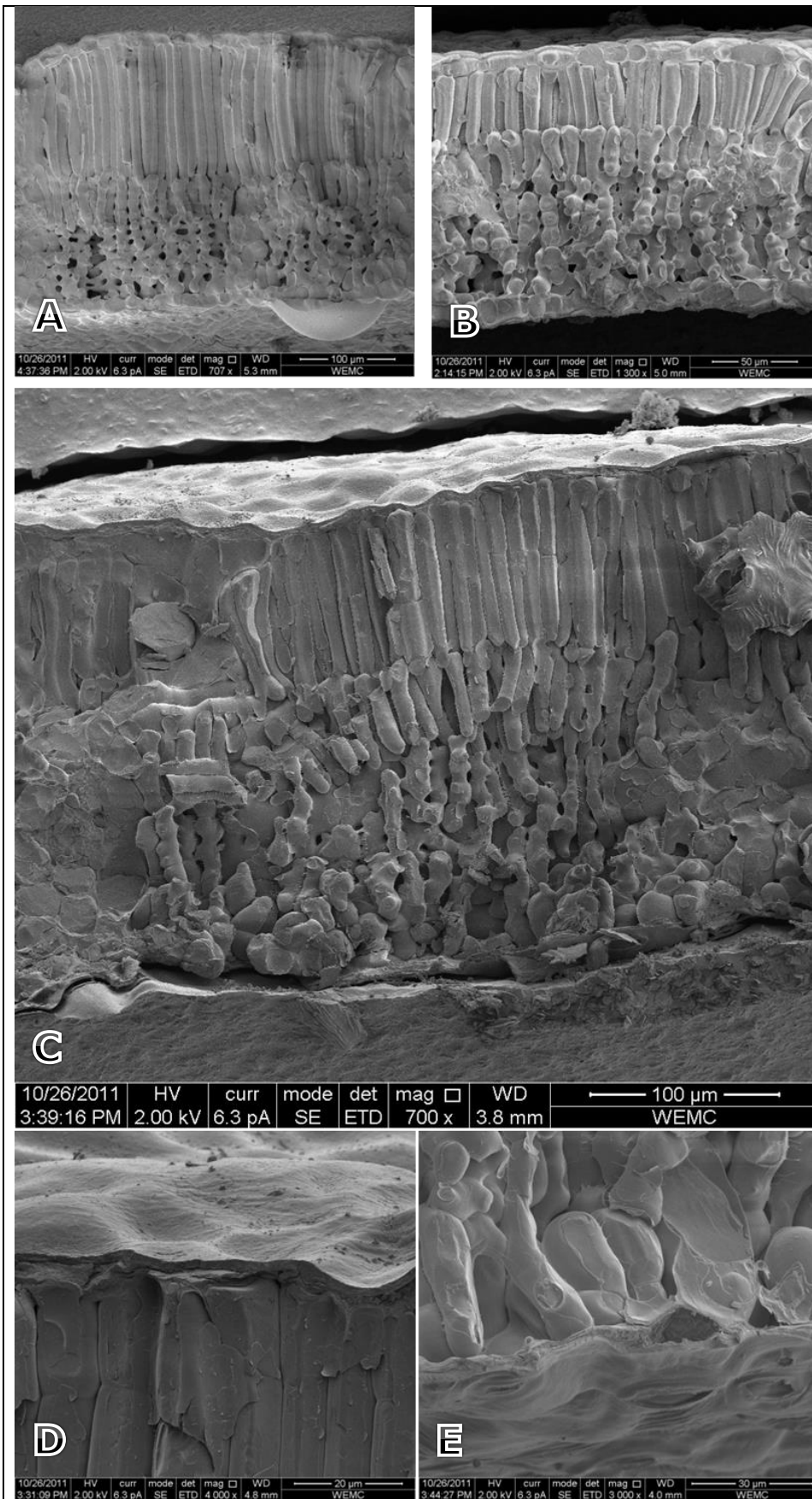


Fig. 31. Epidermis *Fraxinus excelsior* dd 26-10-2011. Normaal blad uit controleruimte (A,B) en aangetast (C-E) blad uit klimaatcel met EM-velden. Let er op dat de epidermis bij aangetaste bladeren is verdukt. E. is een voorbeeld van een verdukte onderepidermis. In A is aan de bladonderzijde rechts een druppel suiker-exudaat zichtbaar.

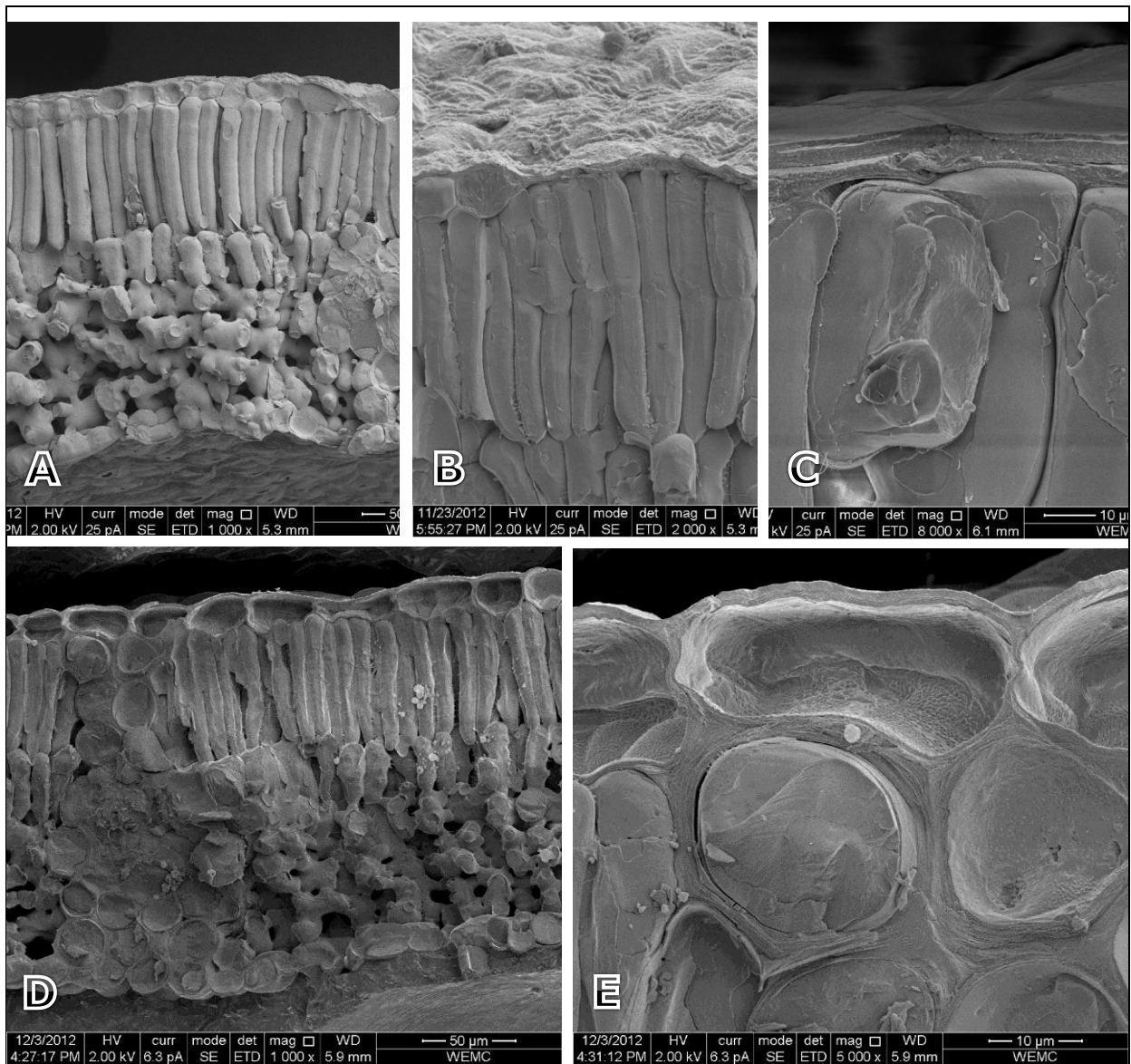


Fig. 32. Fraxinusblaadjes onderzocht met SEM. A-C Blaadjes geobserveerd in klimaatcel A4 (+EM) dd 23-11-2012 en D-E, blaadjes uit klimaatcel C8 (+EM) dd 3-12-2012). A. Controle-blaadje van vlak blad groen met intacte epidermis. B-C. Bladdetails van donkergroen krullend blad met ingeklapte epidermis. D-E. Blad met witte-vlek-aantasting in C8. Merk op dat de epidermiscellen leeg zijn. De aantasting bestaat morfologisch uit het optreden van witte vlekken doordat ter plaatse licht vermoedelijk reflecteert in de lege epidermiscellen. De witte vlekken zijn ook in klimaatcellen zonder EM-velden opgemerkt.