

Zonbelichting op kapvlaktes in een bosopstand

P.A. Leffelaar & D.W.G. van Kraalingen

Samenvatting

Op verzoek van de Tweede Kamer (motie Beckerman en Smeulders) heeft minister Schouten van LNV eind 2020 onderzoek laten verrichten naar de ecologische effecten van vlaktekop op de kwaliteit van bosecosystemen, door een wetenschappelijk team onder leiding van prof. dr. ir. G.M.J. Mohren (WUR-rapport). Gezien de nevenfuncties van prof. Mohren had de Stichting NatuurAlert Nederland daarin onvoldoende vertrouwen en heeft zij opdracht gegeven tot een simultaan onderzoek, met dezelfde vraagstelling, aan een wetenschappelijk team onder leiding van prof. dr. ir. R. Rabbinge.

Beide teams hebben in december 2020 hun rapport uitgebracht. In haar brief van 5 februari 2021 (Kamerstuk 33576 nr. 221) geeft de minister haar oordeel over beide rapporten. In het WUR-rapport is pas boven 0.5 ha sprake van (grootschalige) kaalkap en de onderzoekers nemen die maat als grens waaronder (kleinschalige) kaalkap als niet schadelijk en zelfs als positief wordt beschouwd. De minister beschouwt dit rapport daarom als ondersteuning van haar beleidslijn om in het regulier beheer 0.5 ha als maximum te hanteren. Het rapport-Rabbinge beschouwt alle kaalkap, kleinschalig of grootschalig, boven de grens van 0.1 ha, als schadelijk voor biodiversiteit en klimaat. De minister wijst dit af. In het daaropvolgende schriftelijk overleg met de Vaste commissie LNV stelden diverse leden op dit punt kritische vragen; deze werden door de minister in dezelfde geest beantwoord (Kamerstuk 33576 nr. 224). Zij maakte niet duidelijk op welke feitelijke gronden dit toch grote verschil berust en heeft dat ook niet aan de commissies gevraagd. Tot op heden zijn de desbetreffende vragen niet overtuigend beantwoord. De besluitvorming in de Kamer inzake de Bossenstrategie stagneert sindsdien.

Ten aanzien van de vraag wat de oorzaak is van de schadelijkheid van kaalkap voor het bosecosysteem is een dominante factor de directe zoninstraling en de daardoor veroorzaakte verstoring van het bosecosysteem ⁽¹⁾. *Bijzonder is dat beide rapporten uitgaan van hetzelfde objectieve criterium, gebaseerd op de zonbelichting van het kapgat of de kapvlakte.* Gegeven dit gemeenschappelijke uitgangspunt had een belangrijke en voor de hand liggende vraag aan beide onderzoeksteams moeten zijn hoe dan het grote verschil in de uitkomst moet worden verklaard. Klaarblijkelijk was de wil daartoe bij de minister en haar ambtenaren niet aanwezig.

Wij hebben daarom het initiatief genomen om de gewenste analyse alsnog uit te voeren, resulterend in de voorliggende publicatie.

Er zijn daartoe nieuwe berekeningen uitgevoerd en in het bijzonder is de door Mohren c.s. geciteerde bron, Spittlehouse et al. 2004, getoetst.

Beide rapporten kozen als grens waarboven sprake zou zijn van wezenlijke verstoring van het bosklimaat en het bosecosysteem dat *50% of meer van het oppervlak van de kapvlakte gedurende de dag zonlicht ontvangt (criterium 1)*. Naderhand introduceerde prof. Mohren een strengere criterium waarbij *ook de hoeveelheid invallend zonlicht maatgevend is (criterium 2)*. onze analyses zijn beide criteria toegepast.

¹ Het schadelijke effect van zoninval neemt ook toe als gevolg van de heterere en drogere zomers.

We hebben daartoe gebruik gemaakt van twee modellen, een analytisch model en een numeriek model.

Het analytische model is gebruikt voor toetsing van criterium 1. Daarin wordt dus gekeken naar zoninstraling als functie van de tijd, rekening houdend met de boomhoogte van het bos dat het kapgat begrenst. Het blijkt dat, bij een boomhoogte van 20 m, tussen 1 juni en 11 juli, een kapvlakte van 0.1 ha al op meer dan 50% van het oppervlak gedurende 3½ uur vol zonlicht ontvangt.

Voor het strengere en meer verfijnde criterium 2 moest gebruik gemaakt worden van een numeriek model. Daartoe is een bestaand model voor het berekenen van grasmatbelichtingen in stadions aangepast voor kapgaten.

Dit aangepaste model verdeelt het kapgatooppervlak in een groot aantal gridcellen. Het berekent voor iedere cel de fractie van de dag waarop die cel direct zonlicht ontvangt, voor elke dag van het seizoen. Als de daglengte op een bepaalde datum bijvoorbeeld 12 uur bedraagt en de cel was gedurende 9 uren belicht, dan is de zonbelichte fractie voor die cel en voor die dag 0.75. Die 0.75, dan wel een andere fractie, bijvoorbeeld 0.9 of 0.5 kan men als grens kiezen, de belichtingsgrens. Aggregatie van alle cellen met waarden boven de gekozen belichtingsgrens geeft dan de zonbelichte fractie van het kapgat voor die dag. Dit kan men doen voor alle dagen hetgeen resulteert in het verloop van de zonbelichte fractie van het kapgat gedurende het seizoen. Zie Figuren 4 en 5.

Wij vergeleken de resultaten van het numerieke model voor kapvlakten van 0.1, 0.25 en 0.5 ha met de resultaten in Figuur 4 van Spittlehouse et al., dat de strenge belichtingsgrens van 0.9 hanteert. De overeenkomst tussen onze getallen en die van Spittlehouse zijn wat betreft orde van grootte redelijk, behalve die voor het kleinste kapgat. Toch was een nauwkeuriger overeenkomst verwacht. Daarom is de hulp van Dr. Spittlehouse ingeroepen, die het rapport van Adams (1999) stuurde, waarop Figuur 4 is gebaseerd. Tussen de getallen van Adams en de Figuur 4 in Spittlehouse et al. zijn opvallende discrepanties te constateren. Helaas zijn de originele aantekeningen van Adams intussen vernietigd, zodat Figuur 4 niet meer reproduceerbaar is.

Validatie van het numerieke model toont de betrouwbaarheid ervan. De resultaten kunnen gebruikt kunnen worden als nauwkeurige maat voor de zonbeschijning van kapgaten.

Conclusies (samengevat)

1. *Vanwege de onvolkomenheden in de door het WUR-team gebruikte Figuur 4 uit Spittlehouse et al., dat bovendien niet reproduceerbaar blijkt te zijn, had deze niet gebruikt mogen worden en zeker niet als basis voor een zo belangrijke grenswaarde.*
2. *De toetsingscriteria 1 en 2 voor de bepaling van de verstoringsgrens van (kleinschalige) kaalkap in bosbestanden worden bij toepassing van het analytische en het numerieke model al bereikt bij respectievelijk 0.1 ha en 0.25 ha.*
3. *De vragen van de Tweede Kamer zijn hiermee beantwoord. De wetenschappelijke onderbouwing van de door minister Schouten gepropageerde norm voor reguliere en vrije vlaktekop tot 0.5 ha is ondeugdelijk en zou moeten worden vervangen door 0.1 ha. Bijkomend voordeel daarvan is dat deze norm al wettelijk verankerd is voor de meldingsplicht van kaalkap.*

Inleiding

Een kapvlakte verstoort het bosklimaat, zowel op de kapvlakte zelf als in het omringende bos, in het bijzonder door zoninstraling aan de noordkant van de kapvlakte. Deze verstoring manifesteert zich in CO₂ emissie⁽²⁾, het nieuwe warmteregime door zoninstraling, het regenregime door ontbreken van het bladerdek, en de biodiversiteit, zowel onder- als bovengronds⁽³⁾.

In de Bossenstrategie⁽⁴⁾ worden kapvlaktes van ongeveer een halve hectare gepresenteerd als zijnde noodzakelijk voor de gewenste bosverjonging doordat voldoende licht kan toetreden. De Kamermotie van Beckerman en Smeulders⁽⁵⁾ vroeg minister Schouten het effect van een dergelijke kapvlakte op de bosecologie te laten onderzoeken, omdat er geen consensus was over de ecologische effecten van vlaktekop op de kwaliteit van bosecosystemen. Dit leidde tot een wetenschappelijk rapport, in opdracht van het ministerie van LNV geschreven door onderzoekers van de WUR.

Bij welke grootte van een kapvlakte is er dan sprake van een “substantiële verandering van het microklimaat in het bosecosysteem”? Het effect van zoninstraling op een kapvlakte is aanzienlijk. Dat is onbetwist. We hebben echter een criterium nodig om te kunnen bepalen boven welke grens dit effect het bosklimaat en het bosecosysteem wezenlijk zal verstoren.

De auteurs van het WUR-rapport⁽⁶⁾ kozen als criterium dat het bos verstoord wordt als tenminste 50% van het bodemoppervlak gedurende de dag zonlicht ontvangt. In een later stadium stelde Prof. G.M.J. Mohren⁽⁷⁾, mede-auteur van het rapport, dat de zonbelichting op 50% van het oppervlak meer dan 90% van de zonneshijn van boven het bos zou moeten bedragen. Dus een aanvullend, strenger criterium. Dit was in het WUR-rapport niet als zodanig beschreven, zo wordt in de mail⁽⁷⁾ bevestigd. Beide criteria leiden overigens tot correcte resultaten, zo werd door Mohren opgemerkt. Het is dus een keuze welk criterium men wenst te hanteren.

De auteurs van het WUR-rapport berekenen met dit strengere criterium dat pas op kapvlaktes vanaf 5000 m² de bosecologie wordt verstoord. De uitkomst van 5000 m² (0.5 ha) is uitsluitend gebaseerd op Figuur 4 uit een publikatie van Spittlehouse et al. 2004⁽⁸⁾ welke is gereproduceerd als Figuur 5 op p.19 in het WUR-rapport.

Nu richt de maatschappelijke en politieke discussie omtrent vlaktekop zich juist op kapvlaktes ter grootte van ongeveer 0.5 ha. Als het officiële WUR-rapport, in opdracht van LNV geschreven, nu uitkomt op diezelfde omstreken 0.5 ha en die goedkeurt, maar zich daarbij uitsluitend baseert op één enkele figuur uit het rapport van Spittlehouse et al. is het zaak deze figuur goed te doorgronden. Dit temeer daar dit figuur in het WUR-rapport in het geheel niet nader is getoetst.

² Em. Prof. Dr Thom Kuyper & Dr ir Peter A. Leffelaar, 17 november 2021. Toelichting bij studie CO₂-verlies bij kaalkap, 3 pp.

³ Rabbinge, R., E. Arnolds, T.W. Kuyper and P. Bindraban, 2020. Ecologische effecten van vlaktekop op de kwaliteit van bosecosystemen. Onderzoek in opdracht van Stichting NatuurAlert Nederland naar aanleiding van de Bossenstrategie van het ministerie van LNV, 66 pp.

en
Den Ouden, J. & G.M.J. Mohren, 2020. De ecologische effecten van vlaktekop in het Nederlandse bos. WUR, 63 pp.

⁴ Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2020. Ambities en doelen van Rijk en provincies voor de Bossenstrategie. 14 pp.

⁵ Kamermotie van Beckerman-Smeulders, Ingediend dd. 9-6-2020 (iets gewijzigd aangenomen dd 16-6-2020 (nr 35309-9)).

⁶ Den Ouden, J. & G.M.J. Mohren, 2020. De ecologische effecten van vlaktekop in het Nederlandse bos. WUR, 63 pp.

⁷ E-mail van 18 juni 2021.

⁸ Spittlehouse, D. L., R.S. Adams, and R.D. Winkler. 2004. Forest, edge and opening microclimate at Sicamous Creek. B.C. Min. For., Res. Br., Victoria, B.C. Res. Rep. 24, 43 pp.

Voortgezet onderzoek: analytisch en numeriek model

Goudriaan & Leffelaar (G&L) ⁽⁹⁾ hebben het eerste criterium getoetst en wel door alleen te kijken naar de direct zonlicht ontvangende fractie van de kapvlakte als functie van de tijd. Zij deden berekeningen met een *analytisch model* voor een cirkelvormig kapgat in bos met een boomhoogte van 20 m en in bos met een boomhoogte van 25 m. Het bleek dat hier de 50% zonbelichte oppervlakte gehaald wordt bij een kapgat van iets minder dan 1000 m². Bij een boomhoogte van 20 m ontvangt meer dan 50% van de kapvlakte gedurende 3½ uur direct zonlicht in de periode van 1 juni tot 11 juli. Voor dezelfde periode en bij 25 m boomhoogte wordt de 50% net gehaald op 1 juni en 11 juli, en wordt een duur van 1½ uur gehaald op 21 juni. De implicatie van dit resultaat is dat bij hoogzomer, een kapvlakte van 1000 m² en 20 m boomhoogte al op meer dan 50% van het oppervlak gedurende 3½ uur vol zonlicht ontvangt. Interessant: deze 1000 m² is juist het oppervlak dat in de bosbouw wordt gehanteerd als grens tussen groepenkap en vlaktekop, en is tevens de kleinste omvang die in de Wet Natuurbescherming een bos definieert.

Naast de berekeningen met het analytische model hebben we Figuur 4 van Spittlehouse et al. 2004 verder onderzocht met een *numeriek model*.

Daartoe hebben we twee initiatieven genomen:

(1) We hebben een bestaand numeriek model voor berekeningen aan grasmattbelichting in stadions ⁽¹⁰⁾ aangepast voor kapgaten. Vervolgens hebben wij met dit aangepaste model de zonbelichtingsfractie over de dag en het seizoen voor verschillende kapgatgroottes (1000, 2500 en 5000 m²) en boomhoogten (20 en 25 m) berekend. De uitkomsten hebben we vergeleken met die van G&L en met die van Spittlehouse. De uitkomsten met G&L waren uitstekend; die met Spittlehouse matig.

(2) In verband met dit laatste hebben we de hulp van Dr Spittlehouse ingeroepen om na te kunnen gaan hoe zijn Figuur 4 tot stand is gekomen en om de verschillen met ons numerieke model te kunnen verklaren.

Opmerking: het *analytische model* en het *numerieke model* zijn geheel onafhankelijk van elkaar ontwikkeld.

Modelbeschrijvingen

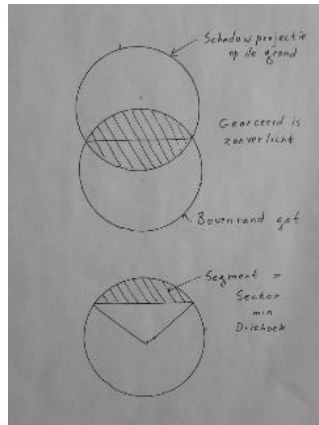
Analytisch model ⁽¹¹⁾

De vorm van het zonbeschenen deel wordt gevonden als de overlap van de cirkel van de kapvlakte met de cirkel van de projectie van de bovenrand op de bodem in de richting van de zonnestrallen. Het is dus een dubbel segment; het gearceerde deel in het bovenste deel van Figuur 1. Het oppervlak daarvan is te berekenen uit het verschil van de sector en de driehoek die beide ontspringen in het middelpunt van de cirkel (het onderste deel van Figuur 1) en dat met 2 te vermenigvuldigen.

⁹ Em. Prof. Dr ir Jan Goudriaan & Dr ir Peter A. Leffelaar, 25 februari 2021. Berekening van het zonverlichte deel van de bodem als functie van het tijdstip op de dag, voor 1 juni en 21 juni in Nederland, voor ronde en vierkante kapvlaktes, 6 pp.. (Bijlage 1 bij brief van 25 februari aan Dhr D. Slangen PLV. DG Natuur bij het ministerie van LNV.)

¹⁰Van Kraalingen, D.W.G., 1989. A Three-dimensional light model for crop canopies. Internal report 17: Dept. of Theoretical Production Ecology, PO Box 430, 6700 AK Wageningen, The Netherlands, July, 1989, 33 pp.

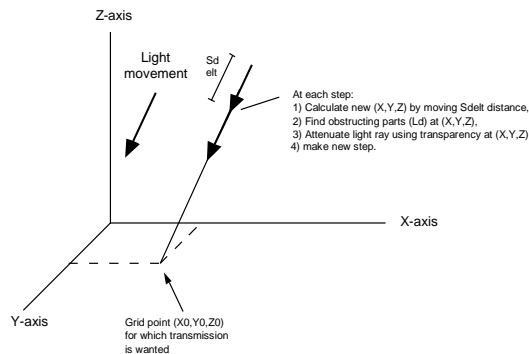
¹¹Een analytisch model berekent de exacte oplossing voor een wiskundig probleem.



Figuur 1. Het gearceerde oppervlak in het bovenste deel van de figuur is het zonverlichte kapgatoppervlak gegeven een zekere zonhoogte.

Numeriek model ⁽¹²⁾

Voor de numerieke berekeningen wordt het kapgat zodanig verdeeld in een grid van vierkantjes dat het hele ronde oppervlak is bedekt. De belichting voor elke grid cel wordt berekend als fractie van de dag waarop de cel direct zonlicht ontvangt, Figuur 2. Zonder bomen zou elke cel 100%, of een fractie 1.0, zonbelicht zijn. Met bomen rond een kapgat is die fractie kleiner door schaduwwerking. Als de daglengte op een bepaalde datum bijvoorbeeld 12 uur bedraagt en een cel was gedurende 9 uur belicht, dan is de zonbelichte fractie 0.75 voor die cel en voor die dag.



Figuur 2. Illustratie van een zonnestraal die op een grid cel valt om de belichting ervan te kunnen berekenen.

Er zullen cellen zijn die minder dan de zonbelichte fractie van 0.75 ontvangen, en cellen die meer dan 0.75 van de zonbelichte fractie ontvangen. Aggregatie van alle cellen die meer dan 0.75 zonbelicht zijn geweest levert een zeker oppervlak op. Dat oppervlak gedeeld door het gehele kapgatoppervlak, is het zonbelichte deel voor die dag. Als bijvoorbeeld de helft van de cellen een zonbelichte fractie van 0.75 heeft gehad, dan is 50% van het kapgatoppervlak voor meer dan 75% belicht geweest die dag. Deze berekening wordt voor elke dag van het seizoen gedaan, omdat elke dag een andere daglengte heeft. Vervolgens worden de resultaten over de opeenvolgende dagen en ruimte (alle belichte cellen in het grid) geaggregeerd en kan het totale oppervlak van de kapcirkel die zonbelicht was boven de fractie 0.75 worden berekend. De belichtingsgrens van 0.75 kan ook anders worden gekozen. In deze tekst zijn de berekeningen gedaan voor belichtingsgrenzen 0.50, 0.75 en 0.90.

¹² Een numeriek model berekent een zeer goede benadering van de exacte oplossing voor een wiskundig probleem.

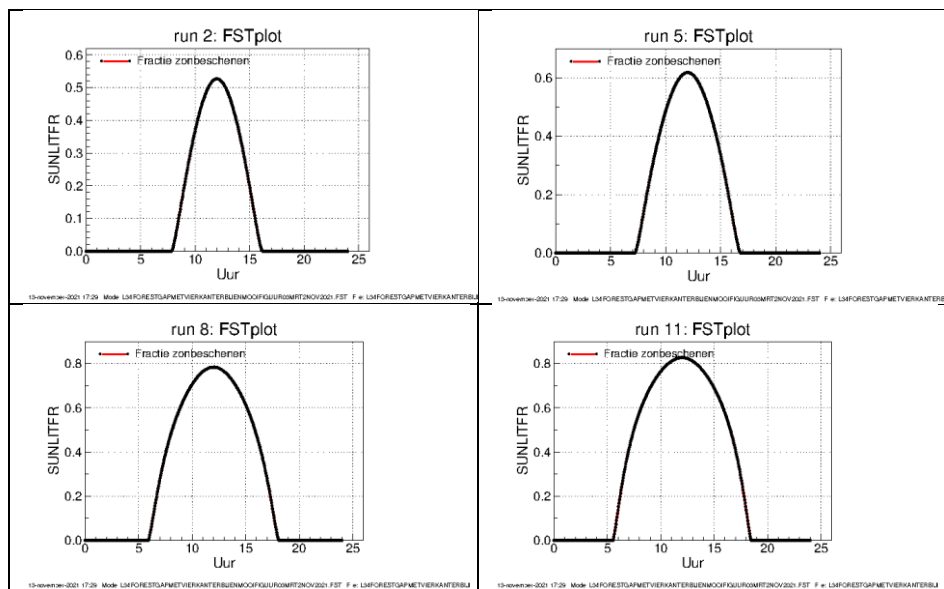
Berekeningen zijn gemaakt voor boomhoogten van 20 en 25 m en voor kapgaten van 1000, 2500 (alleen voor het numerieke model) en 5000 m². Elke cel in het grid heeft een oppervlak van 1 m². De tijdstap voor de numerieke integratie was 1 kwartier.

Opmerking: Zowel het analytische als het numerieke model houdt geen rekening met lichttransmissie door de bomen in het omringende bos op de kapgatbodem. De berekeningen zijn dus gemaakt alsof er een ondoorlatende wand rondom het kapgat staat. Dit criterium is streng aangezien er zeker zonlicht door de boomkruinen komt en de invloed van de kapvlakte tot ongeveer 1-2 x (straling), en 2-3 x (temperatuur) de boomhoogte in het omringende bos doordringt ⁽⁶⁾.

Resultaten

Analytisch model

Enige resultaten van het analytische model voor 21 juni in Nederland.



Figuur 3. Enige resultaten van het analytische model voor 21 juni in Nederland.

X-as: tijd in uur; Y-as: zonbelichte fractie van het ronde kapgat.

Linker figuren, run 2 en 8: boomhoogte 25 m; Rechter figuren, run 5 and 11: boomhoogte 20 m.

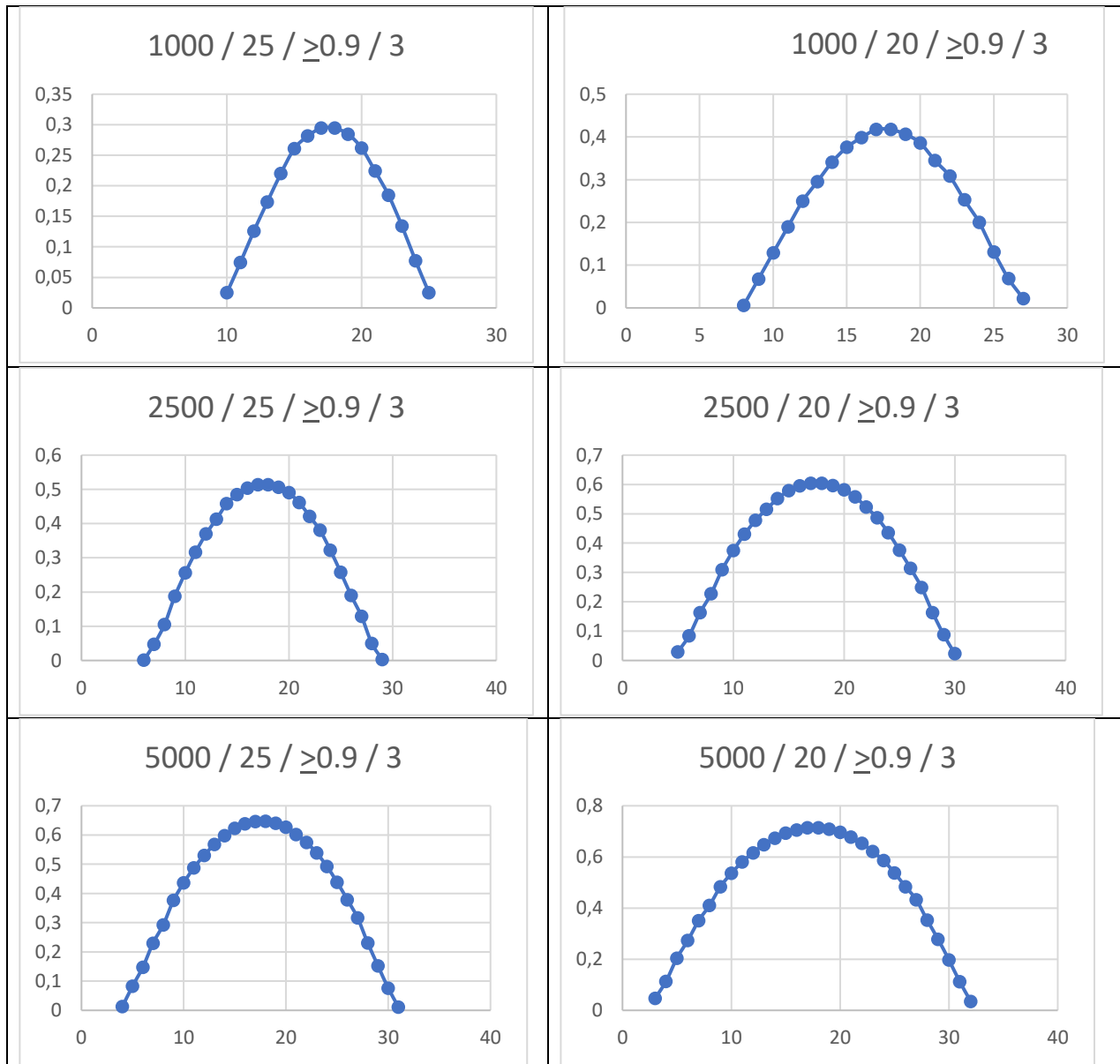
Top figuren, run 2 and 5: kapgatooppervlak 1000 m²; Onderste figuren, run 8 and 11: kapgatooppervlak 5000 m².

Zonbelichtingsduur voor meer dan 50% van het oppervlak op 21 juni varieert van 1½ uur voor 1000 m²/25 m boomhoogte (run 2), tot 3¾ uur voor 1000 m²/20 m boomhoogte (run 5), en van 8 uur voor 5000 m²/25 m boomhoogte (run 8) tot 9 uur voor 5000 m²/20 m boomhoogte (run 11).

Numeriek model

Voor het numerieke model worden resultaten gegeven van de zonbelichte fractie van het kapgatooppervlak gedurende het grootste deel van het jaar. Daartoe is het jaar in 36 dekades verdeeld. Elke maand telt 3 dekades (dag 1-10, 11-20 en 21-eind), waardoor er soms 11 dagen in een dekade zitten en soms 8 of 9 in het geval van februari. Dekade 18 is bijvoorbeeld de laatste 10 daagse periode van de 6^{de} maand, juni. In de volgende figuren is de X-as de dekade-aanduiding. De Y-as geeft de zonbeschenen fractie aan van de kapopening. De betekenis van “1000 / 25 / ≥0.9 / 3” is: een oppervlak van 1000 m², 25 m boomhoogte, een fractie van groter of gelijk aan 90% belichting vergeleken met de hoeveelheid licht boven het bos, aggregatie van de belichting in de gridcellen gedurende 3 uren rondom het middaguur. De linker figuren geven telkens de resultaten voor een boomhoogte van 25 m; de rechter figuren geven die voor 20 m boomhoogte.

Aggregatie over de hele dag (van zonsopkomst tot zonsondergang) gaf alleen een positief resultaat als de fractie belichting vergeleken met de hoeveelheid licht boven het bos groter was dan 0.5 (resultaten hiervan alleen voor 1000 m² gegeven in Figuur 5; zie ook de Appendix).



Figuur 4. Resultaten van het numerieke model voor een kapvlakte van 1000, 2500 en 5000 m², 2 boomhoogten en een belichting van ≥ 0.9 . X-as: tijd in dekades; Y-as: fractie van het kapgatoppervlak dat gedurende de dag zonbelicht is geweest boven die belichtingsgrens van 0.9.

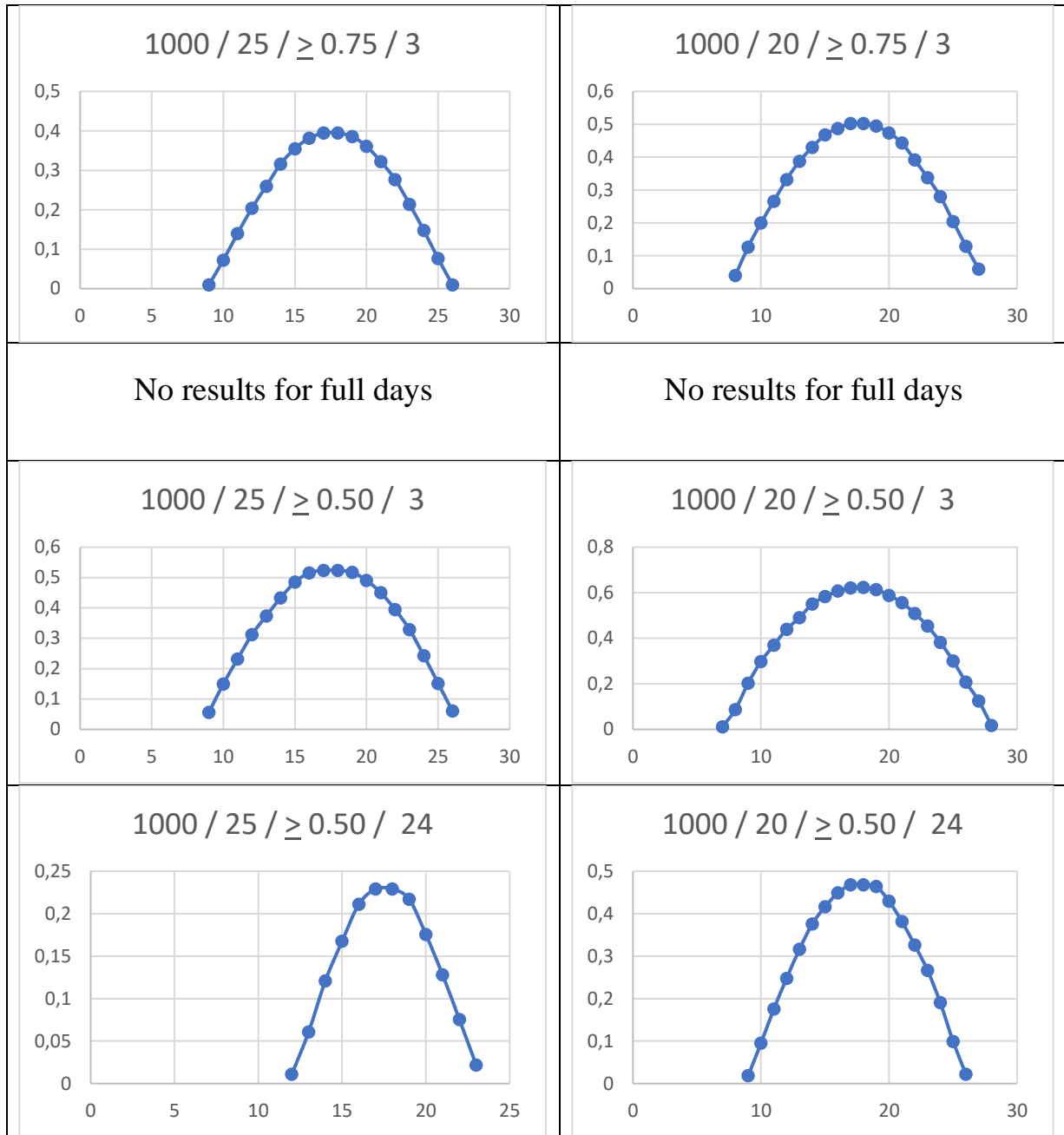
Voor een kapgat van 1000 m² is de hoogste oppervlakbelichting dus 30 en 42% voor boomhoogten van respectievelijk 25 en 20 m.

Voor het kapgat van 2500 m² is de hoogste oppervlakbelichting 50 en 60% voor boomhoogten van respectievelijk 25 en 20 m. Deze oppervlakbelichting treedt op gedurende ongeveer 4 dekades en 10 dekades voor boomhoogten van respectievelijk 25 en 20 m. Voor 25 m boomhoogte voldoet de oppervlakbelichting dus precies aan het in tweede instantie door Prof. G.M.J. Mohren ⁽⁷⁾ gestelde criterium van 50%.

Voor het kapgat van 5000 m² is de hoogste oppervlakbelichting 65 en 70% voor boomhoogten van respectievelijk 25 en 20 m. Deze oppervlakbelichting treedt op gedurende ongeveer 14 dekades en

18 dekades voor boomhoogten van respectievelijk 25 en 20 m. Hier wordt de 50% oppervlakbelichting sterk overschreden.

In de volgende serie figuren is de belichtingsgrens lager genomen. Bij 0.75 bijvoorbeeld ontvangt het belichte kapgatoppervlak 75% of meer van de hoeveelheid licht boven het bos.



Figuur 5. Resultaten van het numerieke model voor een kapvlakte van 1000 m², 2 boomhoogten en verschillende belichtingsgrenzen. X-as: tijd in dekades; Y-as: fractie van het kapgatoppervlak dat gedurende de dag zonbelicht is geweest boven de belichtingsgrens van 0.75 of 0.50.

Vanwege de minder strenge belichtingsgrenzen worden de belichte kapgatoppervlakken groter.

Voor een kapgat van 1000 m² met de 0.75 belichtingsgrens is de hoogste oppervlakbelichting nu 40 en 50% voor respectievelijk 25 en 20 m boomhoogte.

Verlaging van de belichtingsgrens naar 0.50 levert oppervlaktebelichtingen op van 52 en 62% voor respectievelijk 25 en 20 m boomhoogte.

Bij deze 0.50 belichtingsgrens levert een aggregatie over de hele dag ook resultaten: 23 en 47% voor respectievelijk 25 en 20 m boomhoogte.

In de Appendix aan het eind van dit document worden ook de resultaten gegeven voor belichtingsgrenzen van 0.75 en 0.50 voor kapgaten van 2500 en 5000 m².

Vergelijking resultaten van het numerieke model met Spittlehouse et al. Figuur 4.

In onderstaande tabel wordt een vergelijking gemaakt tussende resultaten van het numerieke model en de getallen die uit Figuur 4 van Spittlehouse werden afgelezen.

Table 1. Vergelijking van belichte kapgatfracties berekend door het numerieke model en zoals afgelezen uit Figuur 4 van Spittlehouse ⁽⁸⁾.

	Numerical model	Spittlehouse
1000 / 25 / ≥ 0.9 / 3	0.294	0.13
1000 / 20 / ≥ 0.9 / 3	0.417	0.28
2500 / 25 / ≥ 0.9 / 3	0.513	0.41
2500 / 20 / ≥ 0.9 / 3	0.603	0.55
5000 / 25 / ≥ 0.9 / 3	0.647	0.64
5000 / 20 / ≥ 0.9 / 3	0.714	0.76

Hierin betekent bijvoorbeeld 1000 / 25 / ≥ 0.9 / 3 dat het een kapgat van 1000 m² betreft met een boomhoogte van 25 m rondom, een belichtingfractie ≥ 0.9 , en dat over 3 uur rondom het middaguur van elke dag is geïntegreerd.

De overeenkomst tussen de getallen zijn wat betreft orde van grootte redelijk, behalve die voor het kleinste kapgat.

Meer resultaten van de berekeningen met het numerieke model staan in de tekst die we aan Dr Spittlehouse stuurden op 15 november 2021 ⁽¹³⁾.

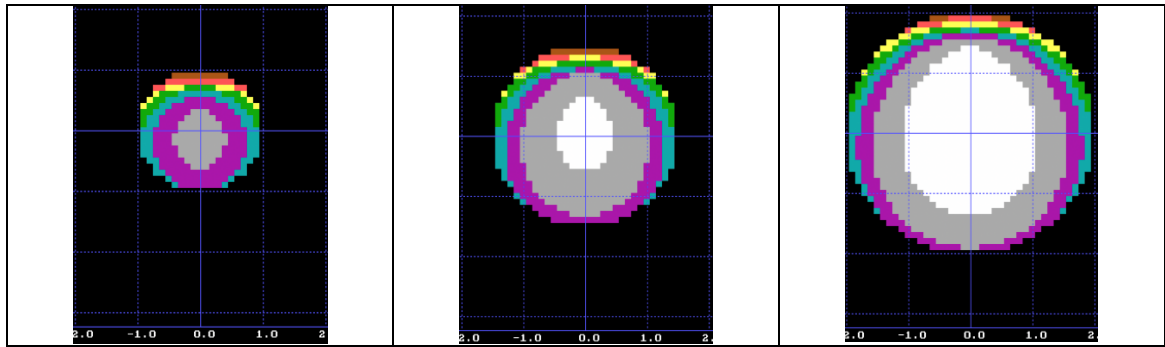
Afleiding data uit basisgegevens Spittlehouse-Ralph Adams

Omdat er een nauwkeurigere overeenkomst was verwacht tussen het numerieke model en de figuur uit Spittlehouse hebben we zijn hulp ingeroepen om na te kunnen gaan hoe zijn Figuur 4 tot stand is gekomen en om de verschillen met ons numerieke model te kunnen verklaren.

Dr Spittlehouse heeft ons vervolgens een rapport gestuurd van Ralph Adams ⁽¹⁴⁾ dat uitvoer van het CLIMO licht model bevat met gemodelleerde lichtdistributies in kapgaten. Het rapport vermeldt figuren voor kapgaten van 1 t/m 6 boomhoogtes. Figuur 6 geeft een drietal figuren uit het rapport.

¹³ Some questions about micro-climate in forest openings. Mail aan Dr Spittlehouse dd 15 november 2021 om 11:49.

¹⁴ Adams, R.S., 1999. Output of CLIMO light model. Report of B.C. Forest Service, Forest Climate catalog.tex, Januari 15, 1999, 24 pp. (Obtained via Dr D.L. Spittlehouse, November 22, 2021)



Figuur 6. CLIMO berekeningsresultaten voor kapgaten van 2, 3 en 4 boomhoogten. De lokatie was gespecificeerd als 120° W, 51° N. De integratieperiode liep van 15 mei tot 15 juni.

Kleuren: *wit*: belichting tussen 90 en 100%; *grijs*: belichting tussen 80 en 90%;

paars: belichting tussen 70 en 80%; etc.

Uit deze figuren zijn de bodembelichte fracties berekend voor de witte, grijze en paarse gebieden. Deze worden vervolgens vergeleken met resultaten uit Figuur 4 van Spittlehouse et al.. De resultaten staan hieronder.

Gap diameter of:	From Ralph Adams screen shots		Figure 4 Spittlehouse et al.
	white area	not present	
2 tree heights	gray+white area	0.20	0.31
	violet+gray+white	0.59	
	white area	not present	
3 tree heights	gray+white area	0.55	0.60
	violet+gray+white	0.76	
	white area	0.12	
4 tree heights	gray+white area	0.69	0.76
	violet+gray+white	0.84	
	white area	0.37	

Hoewel we mogen aannemen dat de figuren in de tabel de basis zijn geweest om Figuur 4 af te leiden (zie de quote hieronder van Dr Spittlehouse uit zijn mail van 22 november 2021), is het vreemd dat voor een kapgatdiameter van twee boomhoogten Figuur 4 een waarde van 0.31 geeft voor de belichting boven een belichtingsgrens van 0.9, terwijl de waarde afgelezen uit Figuur 6 in de tabel geen wit gebied bevat (in het witte gebied is de belichtingsfractie ≥ 0.9). Voor de kapgatdiameters van 3 en 4 boomhoogten zijn de getallen voor de witte gebieden veel lager (respectievelijk 0.12 en 0.37) dan de aflezing uit Figuur 4 (0.60). Als het grijze gebied, met een belichtingsfractie tussen 0.8 en 0.9, erbij wordt getrokken komen de getallen veel meer overeen. Met het paarse gebied erbij (belichtingsfractie tussen 0.7 en 0.8) komen de getallen hoger uit dan Figuur 4. Geven de getallen die uit Figuur 4 worden afgelezen misschien een belichtingsfractie ≥ 0.75 aan in plaats van ≥ 0.9 ?

Dr Spittlehouse schreef in zijn mail van 22 november 2021: "Hi Peter and Daniel: As noted in my previous email, there is little information in the reports on the CLIMO simulations. I reviewed them in detail before I replied to the previous email. Reviewing again the final project report, it looks like Figure 4 was originally a scan of a sketch in one of Ralph Adam's project notebooks (since recycled). I have attached the only document I could find related to the model simulations for opening size. It has screen shots of the simulated light distribution in openings. The data files used to generate the pictures may have been the source for Ralph's sketch. There are few text files that look like screen dumps of four images."

Onze conclusie is dat Figuur 4 niet reproduceerbaar lijkt te zijn.

Validatie numerieke model

Het numerieke model is op de volgende manieren gevalideerd:

1. er zijn berekeningen gemaakt zonder bos: het resultaat moet zijn, en was ook, dat de fractie 1.0 van het kapgat belicht was met volledig licht;
2. het kapgat werd geheel afgedekt met een deksel: het resultaat moet zijn, en was ook, dat de fractie 0.0 van het kapgat belicht was en het dus volledig donker was;
3. er werd een vlakke ondergrond genomen met daarop een noord-zuid georiënteerde oneindig lange muur van 1 m dik en 20 m hoog. Aan beide zijden zullen plekken pal naast de muur door de zon gedurende precies een halve dag beschreven worden en dus 50% instraling krijgen. Naarmate plekken verder van de muur afliggen zullen deze meer dan een halve dag zonlicht krijgen, en dus op grote afstand van de muur maximaal 100%. Dit resultaat werd gevonden.
4. de numerieke resultaten zijn vergeleken met de analytische resultaten van Goudriaan & Leffelaar (Figuur 3 en voetnoot 9) voor de situatie op het middaguur. De resultaten komen zeer goed overeen, zie hieronder:

tree height, m	date	Analytical	Numerical
25	June 21	0.526	0.531
25	June 30	0.521	0.528
20	June 21	0.618	0.622
20	June 30	0.613	0.619

Gezien deze validatie concluderen we dat het numerieke model betrouwbaar is en dat resultaten gebruikt kunnen worden om de gevolgen van zonbeschreven kapgaten in bossen ten aanzien van mogelijke veranderingen in de ecologie te beoordelen.

Conclusies en eindopmerkingen

- 1) Het numerieke berekeningsmodel van kapgatbelichting is getest en betrouwbaar bevonden.
- 2) Inzake het criterium dat zonlicht gedurende de dag minimaal 50% van het bodemoppervlak van een kapgat moet bereiken: dat gebeurt al in een kapgat van 1000 m², zoals berekend met het analytische model.
- 3) Inzake het criterium dat 90% of meer van het zonlicht, ten opzichte van de hoeveelheid licht boven het bos, 50% of meer van het bodemoppervlak van een kapgat moet bereiken: dat gebeurt al in een kapgat van 2500 m², zoals berekend met het numerieke model.
- 4) Als het ≥ 0.90 belichtingscriterium uit conclusie 3) wordt versoepeld tot ≥ 0.50 , wordt de helft van een kapgat van 1000 m² gedurende 5 dekades voor minstens 50% belicht, zoals berekend met het numerieke model.
- 5) Figuur 4 uit het rapport van Spittlehouse et al., 2004 ⁽⁸⁾ (en overgenomen in Den Ouden & Mohren, 2020 ⁽⁶⁾) lijkt niet reproduceerbaar, zelfs na consultatie van Dr. Spittlehouse.
- 6) Figuur 4 uit Spittlehouse lijkt eerder op een belichtingsgrens te zijn gebaseerd van 0.80, of zelfs nog wat lager, dan op de in Figuur 4 genoemde 0.90.
- 7) Vanwege constatering 5) en 6) is het onjuist om de aanbeveling van het WUR-rapport ⁽⁶⁾ om een kaalkapgrootte van 5000 m² als grens te nemen waarboven het

microklimaat in het bos substantieel verandert ⁽¹⁵⁾, over te nemen in de Bossenstrategie. De door de schrijvers van het WUR-rapport genoemde toetsingscriteria (conclusies 2 en 3) worden al bij 1000 m² (eerste criterium) en 2500 m² (strengere criterium) behaald.

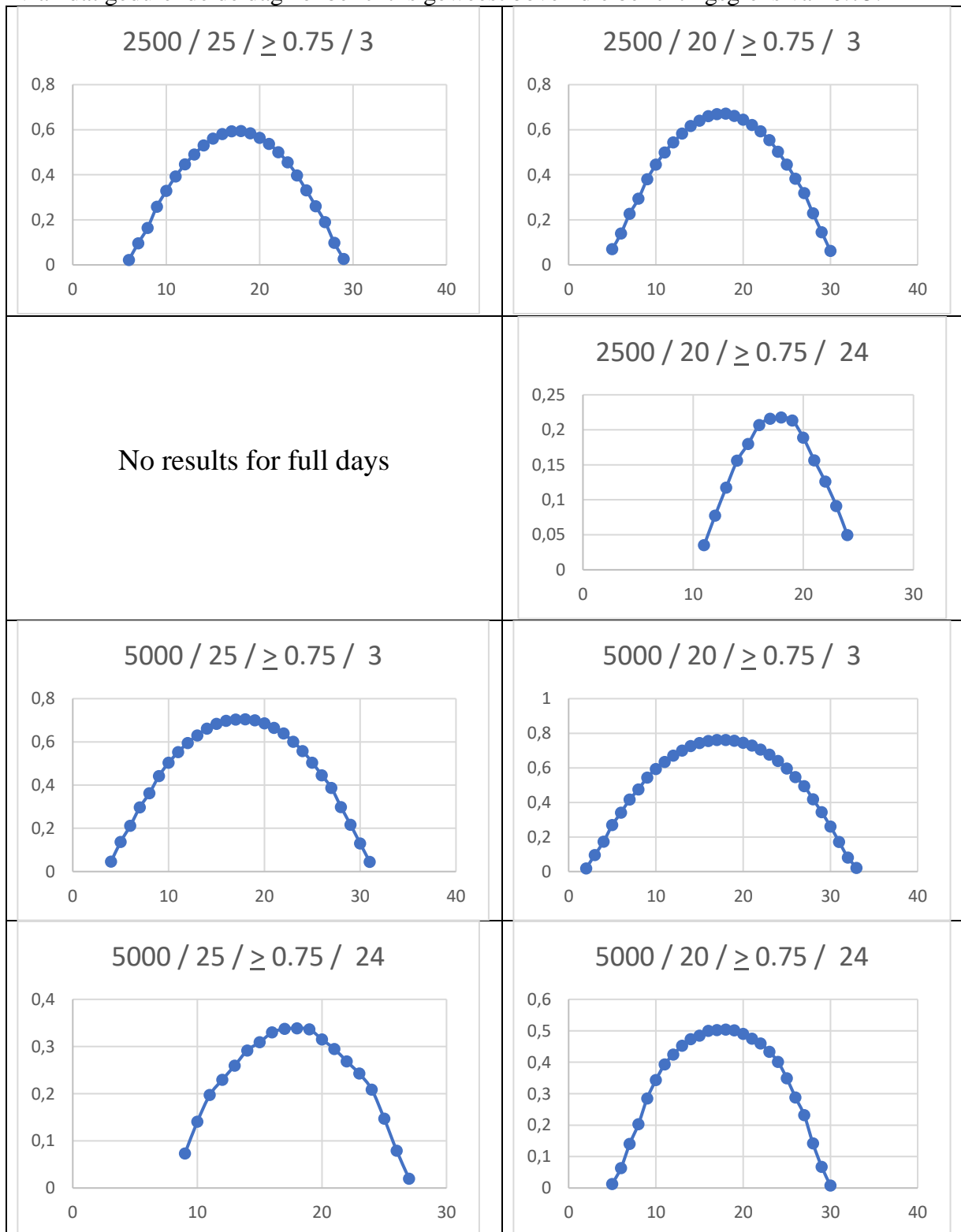
- 8) Het eerste criterium dat het bos verstoord wordt als tenminste 50% van het bodemoppervlak gedurende de dag zonlicht ontvangt, en het strengere tweede criterium dat de zonbelichting op 50% van het oppervlak meer dan 90% van de zonneshijn van boven het bos zou moeten bedragen, geven beide correcte resultaten. Het is dus een keuze welk criterium men wenst te hanteren.

Dr Ir P.A. Leffelaar & Ir D.W.G. van Kraalingen
Wageningen, 1 maart 2022

¹⁵Zie samenvatting 1^{ste} pagina 2^{de} alinea in Den Ouden, J. & G.M.J. Mohren, 2020. De ecologische effecten van vlaktekop in het Nederlandse bos. WUR, 63 pp.

Appendix

Enige resultaten van het numerieke model voor een belichtingsgrens van 0.75 voor oppervlaktes van 2500 en 5000 m². X-as: tijd in dekades; Y-as: fractie van het kapgatoppervlak dat gedurende de dag zonbelicht is geweest boven die belichtingsgrens van 0.75.



Enige resultaten van het numerieke model voor een belichtingsgrens van 0.50 belichting voor oppervlaktes van 2500 en 5000 m². X-as: tijd in dekades; Y-as: fractie van het kapgatoppervlak dat gedurende de dag zonbelicht is geweest boven die belichtingsgrens van 0.50.

