

Top-down control of visual attention and its reflection in human visual cortex

Citation for published version (APA):

Peters, J. C. (2007). *Top-down control of visual attention and its reflection in human visual cortex*. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.20071024jp>

Document status and date:

Published: 01/01/2007

DOI:

[10.26481/dis.20071024jp](https://doi.org/10.26481/dis.20071024jp)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Chapter 8

Summary

In this thesis, the networks of brain areas involved in controlling the goal-directed allocation of covert visual attention (*Chapters 2-5*) and the associated ‘top-down’ modulation of processing in the visual cortex (*Chapters 6-7*) were studied using functional magnetic resonance imaging (fMRI) and electro-encephalography (EEG). Moreover, to explore how proficiently goal-directed attention can be deployed in a range of situations, the studies presented in this thesis used various tasks which all required an efficient deployment of the limited attentional resources. These studies were part of three main projects, with each project focusing on a different aspect of voluntarily attentional control. The first project (*Chapter 2 & 3*) investigated whether task-irrelevant stimuli that match information in working memory (WM) can be ignored. The second project (*Chapter 4 & 5*) studied how accurately and efficiently the attentional focus can be scaled. Finally, the third project (*Chapter 6 & 7*) explored the limits of distributing attention in a complex spatial configuration. The results of these projects will be discussed within a broader context below.

A concise background on the current state of knowledge regarding the (neural) mechanisms of covert visual attention, as well as a short introduction to the neuroimaging methods used to study attention in this thesis, was presented in *Chapter 1*. In addition, the three projects that formed the basis of this thesis were introduced.

The first project (*Chapter 2 & 3*) incorporated psychophysical, Event-Related Potential (ERP), and fMRI measurements to explore the influence of WM content on visual search processes. WM plays an important role in visual search, since the representation of the searched object that is held in WM (the ‘search template’) guides attention to matching items in the visual scene. At a neurobiological level, this attentional guidance by WM content is implemented via top-down feedback from the prefrontal cortex that biases activity in visual areas in favor of matching visual inputs.

Because multiple items can be held in WM, an important question is whether all these items guide attention to matching stimuli, or only the items that are relevant for the task at hand. This question was examined using a paradigm in which participants had to search a target object in a stream of objects, while maintaining a second object in WM (the ‘memory item’) that would function as target in a subsequent task. The results showed that in the first task, the deployment of attention was exclusively guided by the search template and not by the ‘accessory’ memory item that was stored in WM for later use. In contrast to the search template, this accessory memory item did not bias attention to stimuli belonging to its object category. Moreover, when the memory item was presented as a distractor in the first task, this item (unlike the search target) did not receive more attention than other distractors that were not represented in WM. Conversely, the memory item *did* guide attention once it became relevant (being the new search target) in the second task, showing that the attentional guidance by items in

WM can be adjusted if a new target has to be searched. This dynamic control of the attentional guidance by WM content is presumably exerted by a subset of the frontal and parietal areas that are recruited when target information needs to be updated in between the first and second task. Although additional research is needed to assess how attentional guidance by WM representations is controlled within the identified network, the ERP and fMRI results of the first project indicated that the relevance of WM representations for the task at hand strongly influences whether they are allowed to provide top-down feedback. The finding that only relevant items in WM bias processing in visual areas (and that this relevancy can be adjusted according to task demands), is consistent with accumulating evidence indicating that the prefrontal cortex maintains information in a flexible and task-oriented manner rather than serving as a passive sensory buffer.

The second project tried to provide further insights into how the spatial attention focus (or 'zoom-lens') is scaled. Although attentional scaling is an important part of visual search, not much is known about its underlying mechanisms. To gain more insights into the characteristics of attentional scaling and its neural basis, we performed a series of four psychophysical studies (*Chapter 4*) and an additional rapid event-related fMRI study (*Chapter 5*). In a letter identification task, subjects were cued to attend to one of the three levels of a compound stimulus, consisting of three differently-sized superimposed letters. In 'zoom' trials, a letter-like symbol at the cued level indicated that attention had to be redirected to another level within the same stimulus. Response congruency between the different levels was varied to assess the degree of interference between levels when attention was scaled to a single level and, moreover, when attention needed to be rescaled to another level. Using this paradigm, primary functional properties of the scaling mechanism could be investigated by manipulating the rescaling 'direction' (i.e., zooming-in versus zooming-out) and by varying the required extent of rescaling.

The results showed that attention could be accurately scaled to each individual level. As expected, responses were slower and more error-prone when attention needed to be rescaled to another level. At the neural level, rescaling the zoom-lens recruited a fronto-parietal network, which overlapped with the network known to be involved in shifting attention from one location to another. The psychophysical studies suggested that both the extent as well as the direction of rescaling influenced the way in which the zoom-lens was adjusted. Performance decreased with an increase in the required extent of rescaling, and contracting appeared to be more difficult than expanding the zoom-lens. This latter difference between zooming-in and zooming-out was further explored in the fMRI study, which suggested that zooming-in and zooming-out were mediated by highly similar fronto-parietal networks. However, within these networks, areas related to cognitive or attentional control were activated more strongly during zooming-in. The decreased performance together with the increased need for attentional control

could suggest that contracting the zoom lens is a more difficult operation than expanding the zoom-lens. However, since differences in the visual context of the small and large letter in the used stimulus probably contributed to these divergent outcomes, additional studies with other stimuli are needed to further substantiate these findings.

Additionally, we addressed the question whether the intermediate level would be temporarily encompassed in the zoom-lens when attention was rescaled between the large and small level. Results of the psychophysical studies showed that conflicting information at the middle level deteriorated performance, when attention was rescaled between the large and small level (irrespective of the direction of rescaling). The negative effect of presenting response incongruent information at the middle level suggested that the zoom-lens could not be discretely rescaled from the large to the small level or the other way around. This interference was also reflected at the neural level by increased activation in the dorsal anterior cingulate cortex, which is involved in the detection of response conflict. However, these neural enhancements were only observed when attention was zoomed-out, suggesting that the middle level could be 'skipped' while zooming-in from the large to the small level. Although this latter finding is partially inconsistent with the results of the psychophysical experiments, one of these studies hinted to the possibility that the zoom-lens can be discretely rescaled with increased experience (although this effect was obtained for zooming-out rather than for zooming-in), which also could have influenced our fMRI results.

Overall, these divergent results indicate that attentional scaling mechanisms are influenced by both top-down factors, like strategy and practice, as well as bottom-up factors, such as visual context. Future studies could investigate the top-down and bottom-up factors influencing scaling mechanisms in more detail, by for example varying the amount of training and the type of stimulus.

The third project (*Chapter 6 & 7*) investigated whether spatial attention can be deployed in more complex configurations (e.g., attending multiple non-contiguous regions in parallel) than the single unitary focus suggested by the spotlight or zoom-lens model. It would be highly efficient if attention could be allocated to two discrete regions in parallel, thereby not wasting limited attentional resources on irrelevant intervening areas that would be encompassed by a large unitary focus. The issue whether attention can operate in a parallel fashion has been intensively debated in the literature. *Chapter 6* provides an overview of this debate and concludes, based on the combined evidence of psychophysical, neuroimaging, and modeling studies, that two discrete parts of a visual scene can be attended in parallel. However, the reviewed studies all used paradigms in which attention could be split in two foci with a similar size. Conversely, in the two psychophysical studies and the corresponding fMRI study presented in *Chapter 7*, attention needed to be simultaneously deployed to two complexly shaped regions that differed in size. Although preliminary, fMRI measurements of activity in the

visual cortex suggested that centrally aligned pairs of small and large outlined rectangles could be attended in parallel. No attention appeared to be deployed to the intervening regions, indicating that the attentional system is highly efficient in allocating its limited resources even when very complex configurations are required. In sum, the results of the third project support the emerging view that the distribution of attention is more appropriately characterized by a pliable landscape in which the weights of multiple locations can be modulated in parallel, than by a single serially moving focus.

Overall, the results of the discussed projects point to a rather proficient deployment of goal-directed attention in the explored situations. The first project showed that WM content exclusively guides attention to task-relevant objects in a visual scene and not to objects that will only become relevant in the near future. The findings of the second project indicated that the attentional focus can be adequately adjusted to match the spatial scale of a relevant region. However, the scaling of this focus appeared to occur in a continuous fashion by default, whereas more efficient discrete scaling only seemed to be possible after additional training. Finally, the third project revealed that spatial attention could be efficiently allocated in highly complex configurations. Although these results suggest that attention can be quite effectively deployed according to the behavioral goals of the observer, there are plenty of situations in which attention is more strongly controlled by stimulus-driven than by goal-directed factors. For example, top-down control often cannot prevent attentional capture by salient stimuli and, in addition, is sometimes not able to instantly override automatic responses (such as word reading in the Stroop task). Future research could examine the interaction between goal-directed and stimulus-driven attention by including salient stimuli in the used paradigms, leading to a more fine-grained delineation of the limitations of top-down controlled visual attention. Another interesting future line of research would be to study the control of goal-directed attention using a multi-method approach. Consistent with existing literature, the fMRI results of the first and second project suggest that brain areas in the frontal and parietal cortex control goal-directed attention in a variety of attention tasks. Combining fMRI with high temporal resolution methods like EEG might further elucidate whether frontal and parietal areas are conjointly recruited when attentional control is required or whether these areas are activated in succession. In addition, transcranial magnetic stimulation (TMS) can be applied to study causal relations between the areas of this fronto-parietal network. By inducing 'virtual lesions' with TMS, the functional roles of the recruited areas could be more clearly established, thereby providing a means to further deepen our understanding of the human visual attention system.

Samenvatting

Samenvatting

De studies in dit proefschrift onderzochten de netwerken in de hersenen die betrokken zijn bij het controleren van de doelgerichte sturing van coverte visuele aandacht (*Hoofdstuk 2-5*) en de daaraan gerelateerde *top-down* modulatie van verwerking in de visuele cortex (*Hoofdstuk 6-7*) m.b.v. functionele magnetische resonantie beeldvorming (fMRI) en electro-encefalografie (EEG). Om te onderzoeken hoe bekwaam doelgerichte aandacht gecontroleerd kan worden in uiteenlopende situaties, werden in de gepresenteerde studies verschillende soorten taken gebruikt die allemaal een efficiënte allocatie van de gelimiteerde aandachtsbronnen vereisten. De studies waren onderdeel van drie hoofdprojecten, die elk een eigen zwaartepunt hadden. In het eerste project (*Hoofdstuk 2 & 3*) werd onderzocht of irrelevante stimuli die overeenstemmen met representaties in het werkgeheugen genegeerd kunnen worden. De doelstelling van het tweede project (*Hoofdstuk 4 & 5*) was om erachter te komen hoe accuraat en efficiënt de omvang van de aandachtsfocus kan worden bijgesteld (oftewel, hoe accuraat en efficiënt aandacht kan worden “in- en uitgezoomd”). Tenslotte werd in het derde project bestudeerd hoe goed aandacht gedistribueerd kan worden in een complexe spatiële configuratie. In onderstaande paragrafen zullen de resultaten van deze projecten in een bredere context worden besproken.

Hoofdstuk 1 geeft een beknopt overzicht van de huidige kennis over de (neurale) mechanismen van coverte visuele aandacht. Daarnaast biedt het een korte inleiding in de beeldvormende methodes die in dit proefschrift gebruikt zijn om aandacht te bestuderen. In het laatste deel van hoofdstuk 1 worden de drie projecten geïntroduceerd, die beschreven worden in de overige hoofdstukken van het proefschrift.

In het eerste project (*Hoofdstuk 2 & 3*) werden psychofysische, gebeurtenisgerelateerde potentialen (*Event-Related Potentials* of ERPs) en fMRI gegevens geanalyseerd om de invloed van werkgeheugen op visuele zoekprocessen in kaart te brengen. Werkgeheugen speelt een belangrijke rol tijdens zoeken, omdat het een representatie van het object dat gezocht wordt vasthoudt en deze ‘*search template*’ gebruikt om aandacht te richten op overeenkomende informatie in het visuele veld. Op een neurobiologisch niveau is deze sturing van aandacht door het werkgeheugen geïmplementeerd via een *top-down* feedback van de prefrontale cortex die activiteit in de visuele cortex beïnvloedt ten gunste van overeenkomende visuele input.

Omdat we meerdere items tegelijk in ons werkgeheugen kunnen vasthouden, is het een belangrijke vraag of al deze items aandacht sturen naar overeenkomende stimuli in het visuele veld, of alleen diegene die relevant zijn voor de uit te voeren taak. Deze vraag werd onderzocht m.b.v. een paradigma waarin proefpersonen een bepaald object moesten zoeken in een stroom van objecten, terwijl ze een tweede object moesten onthouden (het ‘*geheugen item*’) voor een volgende taak. De resultaten lieten zien dat in de eerste taak aandacht alleen werd gestuurd door de *search template* en niet door het geheugen item dat

in het werkgeheugen werd vastgehouden voor later gebruik. In tegenstelling tot de *search template* stuurde dit tweede item in het werkgeheugen aandacht niet in de richting van stimuli die tot zijn object categorie behoorden. Daarnaast kreeg dit geheugen item (in tegenstelling tot het gezochte object) niet meer aandacht dan andere objecten, als het in de eerste taak gepresenteerd werd. Daarentegen beïnvloedde het extra item in het geheugen de aandacht wél vanaf het moment dat het relevant werd (als het nieuwe object wat gezocht moest worden) in de tweede taak, wat laat zien dat het sturen van aandacht door werkgeheugenrepresentaties kan worden aangepast als er een nieuw object gezocht moet worden. Deze dynamische controle over welke representaties in het werkgeheugen aandacht mogen sturen, wordt waarschijnlijk uitgevoerd door een deel van de frontale en parietale gebieden die actief worden als informatie over het te vinden object wordt aangepast tijdens de overgang van de eerste naar de tweede taak. Hoewel verder onderzoek nodig is om inzicht te verkrijgen in de manier waarop deze hersengebieden de sturing van aandacht door het werkgeheugen precies controleren, laten de ERP en fMRI resultaten van het eerste project duidelijk zien dat de relevantie van een werkgeheugenrepresentatie voor de uit te voeren taak, bepaald of deze *top-down* feedback mag geven. De bevinding dat alleen relevante items in het werkgeheugen visuele verwerking beïnvloeden (en dat deze relevantie aangepast kan worden aan de hand van de taakstelling) is in overeenstemming met accumularend bewijs dat aantoont dat de prefrontale cortex informatie vasthoudt op een flexibele, taakgerichte manier i.p.v. dat hij dient als passieve sensorische buffer.

Het tweede deelproject richtte zich op het bestuderen van de mechanismen die ten grondslag liggen aan het bijstellen van de omvang van de aandachtsfocus (“zoom-lens”). Hoewel het “inzoomen” en “uitzoomen” van aandacht belangrijk is tijdens het zoeken (op bijvoorbeeld een plattegrond), is nog niet veel bekend over de manier waarop dat gebeurt. Om meer inzicht te krijgen in dit “zoom” mechanisme en zijn neurale basis, hebben we vier psychofysische studies (*Hoofdstuk 4*) en een fMRI studie (*Hoofdstuk 5*) uitgevoerd. In een letter identificatie taak moesten proefpersonen letten op één van de drie niveaus van een stimulus die samengesteld was uit drie op elkaar liggende letters van verschillende grootte. In de zogenaamde ‘zoom’ trials werd op dat niveau in de stimulus een symbool gepresenteerd wat aangaf dat de proefpersoon binnen diezelfde stimulus, zijn of haar aandacht naar een ander niveau moest in- of uitzoomen. De respons congruentie tussen de verschillende niveaus werd gevarieerd om de mate van interferentie tussen de niveaus vast te stellen als aandacht werd gericht op een bepaald niveau, en wanneer aandacht vervolgens werd in- of uitgezoomd naar een ander niveau. Met dit paradigma konden we de belangrijkste eigenschappen van het “zoom” mechanisme bestuderen door het manipuleren van de “richting” (i.e., inzoomen versus uitzoomen) en de mate waarin de focus bijgesteld moest worden.

Samenvatting

De resultaten toonden aan dat aandacht accuraat op elk individueel niveau kon worden gefocust. Als aandacht vervolgens moest worden in- of uitgezoomd naar een ander niveau, werden proefpersonen zoals verwacht trager en maakte ze meer fouten. Het in- of uitzoomen naar een ander niveau activeerde in de hersenen een fronto-parietaal netwerk, dat overlap vertoonde met het netwerk wat betrokken is bij het verschuiven van de aandachtsfocus tussen twee locaties. De psychofysische resultaten suggereerden dat zowel de mate als de richting van het zoomen invloed hadden op hoe de focus werd bijgesteld. De prestatie verminderde als de focus meer moest worden bijgesteld en inzoomen was moeilijker dan uitzoomen. Deze laatste bevinding werd verder bestudeerd in een fMRI experiment, waarvan de resultaten suggereerden dat het in- en uitzoomen van aandacht fronto-parietale netwerken activeren die sterk op elkaar lijken. Binnen deze netwerken zijn gebieden die betrokken zijn bij controle processen echter sterker actief tijdens het inzoomen. De lagere prestatie van proefpersonen, gecombineerd met de sterkere behoefte aan cognitieve controle, zouden erop kunnen duiden dat inzoomen moeilijker is dan uitzoomen. Omdat verschillen in de visuele context van de grote en kleine letter in de gebruikte stimulus waarschijnlijk hebben bijgedragen aan deze resultaten, is echter vervolgonderzoek met andere stimuli nodig om deze resultaten verder te onderbouwen.

Daarnaast onderzochten we of de aandachtsfocus tijdelijk het middelste niveau omvat tijdens het in- en uitzoomen tussen het grote en kleine niveau. Resultaten van de psychofysische studies lieten zien dat als de focus wordt in- en uitgezoomd tussen het grote en kleine niveau, conflicterende informatie op het middelste niveau leidt tot een minder goede prestatie (ongeacht of in- of uitgezoomd wordt). Dit impliceert dat de zoom-lens niet discreet maar gradueel wordt bijgesteld. De interferentie van het middelste niveau werd op een neurobiologisch niveau gereflecteerd door verhoogde activatie in het dorsale gedeelte van de anterior cingulate cortex, een gebied dat betrokken is bij het detecteren van respons conflict. Deze verhoogde activering werd echter alleen waargenomen bij het uitzoomen, wat suggereert dat het middelste niveau wel kon worden “overgeslagen” tijdens het inzoomen van het grote naar het kleine niveau. Hoewel dit laatste resultaat gedeeltelijk in tegenstelling is met de bevindingen van de psychofysische experimenten, suggereerde een van deze studies dat de zoom-lens mogelijk discreet kan worden bijgesteld na extra training (al werd dit effect echter waargenomen bij het uit- in plaats van bij het inzoomen), iets wat ook onze fMRI resultaten beïnvloed zou kunnen hebben.

De uiteenlopende resultaten van de studies geven aan dat het bijstellen van de grootte van de aandachtsfocus beïnvloedt wordt door zowel *top-down* factoren, zoals strategie en training, als ook door *bottom-up* factoren, zoals visuele context. Toekomstige studies kunnen deze factoren verder bestuderen door bijvoorbeeld de hoeveelheid training en het type stimulus te variëren.

Het derde project (*Hoofdstuk 6 & 7*) onderzocht of spatiële aandacht toegepast kan worden in complexere configuraties (bijvoorbeeld de aandacht verdelen over meerdere gebieden die niet op elkaar aansluiten) dan een enkele focus zoals gesuggereerd door het *spotlight* of *zoom-lens* model. Het zou uitermate efficiënt zijn als aandacht verdeeld zou kunnen worden over twee discrete gebieden, zodat de beperkte aandachtscapaciteit niet verspild wordt aan irrelevante tussenliggende gebieden. Over de vraag of aandacht verdeeld kan worden is uitgebreid gedebatteerd in de literatuur. *Hoofdstuk 6* geeft een overzicht van dit debat en concludeert, gebaseerd op gecombineerd bewijs van psychofysische, *neuroimaging* en simulatie studies, dat aan twee discrete gebieden van het visuele veld tegelijk aandacht kan worden geschonken. De besproken studies gebruikten echter allemaal paradigma's waarin aandacht verdeeld kon worden over twee regio's met dezelfde grootte. In de twee psychofysische studies en de corresponderende fMRI studie die in *Hoofdstuk 7* gepresenteerd worden, moest aandacht echter verdeeld worden over twee gebieden met een complexe vorm, die ook nog in grootte verschilden. De voorlopige fMRI resultaten suggereren dat aandacht kon worden verdeeld over gecentreerde kleine en grote rechthoeken. Aan de tussenliggende regio's leek geen aandacht te worden gegeven, wat suggereert dat het aandachtsysteem buitengewoon efficiënt zijn gelimiteerde bronnen kan toepassen zelfs als dit om een zeer complexe aandachtsdistributie vraagt. De resultaten van het derde project ondersteunen het opkomende idee dat de distributie van aandacht beter beschreven kan worden als een glooiend landschap waarin de gewichten van meerdere locaties tegelijk kunnen worden gemoduleerd, dan als een enkele focus die serieel van locatie naar locatie verschuift.

De resultaten van de besproken projecten tonen aan dat doelgerichte aandacht adequaat kon worden toegepast in de onderzochte situaties. Het eerste project liet zien dat het werkgeheugen de aandacht exclusief richt op objecten in het visuele veld die nu belangrijk zijn en niet op objecten die pas later relevant worden. De bevindingen van het tweede project suggereerden dat de aandachtsfocus adequaat aangepast kan worden om overeen te stemmen met de omvang van een relevant gebied. De focus lijkt echter op een continue manier aangepast te worden, terwijl het efficiëntere discrete aanpassen alleen mogelijk leek na extra oefening. Tenslotte toonde het derde project aan dat spatiële aandacht efficiënt kon worden gedistribueerd in zeer complexe configuraties. Hoewel deze resultaten suggereren dat doelgerichte aandacht behoorlijk effectief toegepast en goed gecontroleerd kan worden, zijn er talrijke situaties waarin aandacht sterker gecontroleerd wordt door stimulus-gedreven (*stimulus-driven*) dan doelgerichte factoren. *Top-down* controle kan bijvoorbeeld niet altijd voorkomen dat aandacht getrokken wordt door opvallende stimuli en is ook niet altijd in staat om automatische reacties te onderdrukken (zoals het lezen van woorden tijdens de *Stroop* taak). Toekomstig onderzoek zou de interactie tussen doelgerichte en stimulus-gedreven aandacht kunnen onderzoeken door aandachttrekkende stimuli in de gebruikte paradigma's

Samenvatting

te implementeren, waardoor we de limitaties van doelgerichte visuele aandacht verder in kaart zouden kunnen brengen. Het bestuderen van doelgerichte aandacht met een combinatie van methoden zou een andere interessante onderzoekslijn vormen. De fMRI resultaten van het eerste en tweede project suggereerden dat, in overstemming met de bestaande literatuur, hersengebieden in de frontale en parietale cortex doelgerichte aandacht controleren in verschillende aandachtstaken. Het combineren van fMRI met methoden die een hoge temporele resolutie hebben (zoals EEG) zou duidelijk kunnen maken of de verschillende gebieden van dit fronto-parietale netwerk tegelijkertijd of na elkaar geactiveerd worden als aandacht moet worden verschoven. Daarnaast kunnen de causale relaties tussen deze frontale en parietale gebieden bestudeerd worden m.b.v. transcraniële magnetische stimulatie (TMS). Door het induceren van ‘virtuele laesies’ met TMS, zouden de functies van de betrokken gebieden met meer zekerheid vastgesteld kunnen worden, wat ons de mogelijkheid biedt om ons inzicht in de werking van het menselijke visuele aandachtssysteem verder te vergroten.