

University of Groningen

Context Matters: Memories of Prior Times

Maaß, Sarah

DOI:
[10.33612/diss.135934544](https://doi.org/10.33612/diss.135934544)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2020

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):
Maaß, S. (2020). *Context Matters: Memories of Prior Times*. University of Groningen.
<https://doi.org/10.33612/diss.135934544>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Summary Samenvatting

Thesis Summary

The context matters. How we perceive the world is a subjective process that is colored by earlier experiences. The influence of earlier perceived stimuli on current perception signals the pivotal role of a memory system in perception. This process is also present in the perception of time, specifically in interval timing of durations up to a couple of seconds. Interval timing plays a central role in many aspects of human behavior. Everything we experience, do, perceive or think about unfolds in time: One of the differences between a great and mediocre debater is the perfect use of timing by the first; being well prepared at the “ready, set, go!” signal is an important determiner of athletic success, and, as shown on the first pages of this thesis, a too long hesitation can have a significant impact on the meaning of the answer that is given to a question. Given the importance of time, one would expect that the human system has an accurate temporal system. However unlike the steady rhythm of the second hand of the clock that will jump again exactly one second later, our internal sense of time is not at all constant, and just like other perceptual processes, is highly subjective. In this thesis I focus on the subjective nature of timing, and more specifically, on how memory partially drives the subjective modulations of time.

In the empirical chapters of this thesis, I have mainly used duration reproduction tasks. In this type of task, participants are first presented a duration by means of a visual (e.g., a small circle on a computer screen) or auditory (e.g., a 440 Hz tone) stimulus that is presented, and – after a while – disappears again. Participants are asked to pay attention to the duration, without using explicit timing strategies (such as counting). After the duration is presented, they are instructed to reproduce that duration. Hereto, the presentation of the same stimulus is started again, and the participants are asked to press a button when the visual stimulus was on the screen, or the tone sounded, for the same duration. More specifically, I utilized *multi* duration reproduction experiments in which the presented duration is selected from a range of durations. When durations of different lengths are reproduced, one typically observes an regression towards the mean of the distribution, known as the central tendency effect: relatively long durations are underestimated, and short durations are overestimated. As this effect demonstrates that context construed out of previous experiences influence current performance, it highlights the important role of memory on the perception of time. Paradoxically, it might seem that incorporating more information yields a less precise reproduction.

However, the more prominent view in the literature is that this memory-driven context effect serves to optimize performance when faced with a noisy

environment. When the senses register a stimulus that deviates from normal, it is often optimal to assume that the deviation is partially driven by noise, and thus adjust the readout to a value closer to earlier experienced “normal performance”. This process is formalized in the Bayesian Observer framework. In this framework, the likelihood distribution, reflecting the observer’s certainty about the value of the presented stimulus, is integrated with the prior distribution, reflecting the observer’s earlier experiences in that context: When the likelihood distribution is narrow, reflecting a very precise and certain readout, the prior will have little influence, but when the likelihood is wider, reflecting a less precise readout, the eventual percept will be more strongly based on the prior.

In **Chapter 2**, I explore how bottom-up (i.e., statistical properties of the stimulus material) and top-down information (i.e., abstract knowledge about the experimental conditions) influence the buildup of the prior. The goal of this chapter was to explore the parameters driving the buildup of context to select optimal experimental features for further exploration of central tendency or context effects. In this chapter, I demonstrate that (1) the context effect emerges as long as sufficiently distinct durations are presented; (2) the effect is not modulated by explicit instructions or other cues; and (3) just a single additional duration is sufficient to produce a context effect. Even though a single additional duration could already elicit a context effect, a more precise pattern of results can be obtained when stimuli durations are sampled from three durations, which is the design used in Chapters 4, and 5. In these chapters we explore how memory, either when affected due to clinical deficiencies or fluctuating due to healthy aging, influences temporal performance. However, to be able to assess the role of memory, it is pertinent to have a measure of the noisiness of the percept.

In **Chapter 3**, I propose an experimental paradigm, the 1- second production task, that was designed to provide a quick test of temporal precision. In this task, participants are asked to produce a one second duration by pressing a key one second after a warning signal. Importantly, participants are not provided with any feedback during task performance. Due to the lack of feedback, their accuracy is typically relatively low (the average produced duration often ranges from 500 milliseconds to 2 seconds). However, this task focuses on the precision of the estimates: how much variability is observed in the sequence of estimations? Even though an internal monitoring process could result in the updating of the participant’s memory of the durations, we propose that this task is relatively memory-independent as no external information can be used to optimize performance. Based on these assumptions, the variability observed in the one second productions should provide an estimate of just clock and motor

noise, an assumption that was supported by empirical data as the estimated clock noise correlated with observed temporal performance in a multi-duration reproduction task in healthy young adults.

Chapter 4 highlights the role of the memory system in interval timing by addressing the impact of clinical memory dysfunctioning on interval timing. In Chapter 4, I present data from patients diagnosed with mild-cognitive impairment, a state which is often seen as a precursor to the development of Alzheimer's disease. Interestingly, the data reported in this chapter support the notion that behavior of memory-affected participants is better described by assuming a *stronger* impact of previous experiences. Even though these results might seem counterintuitive as it suggests that *poorer* memory function leads to an *increase* of a memory-driven phenomenon such as the central tendency effect, this effect was also observed in a control group of healthy ageing participants when performance was analyzed as a function of their memory performance. In **Chapter 5**, I report a validation of the effect in a healthy, yet ageing memory subgroup. The counterintuitive results can, however, be readily explained when taking into account that the just perceived duration also needs to be stored in memory. If the affected memory system also influences this single memory trace, it is not unlikely to assume that this trace will be more affected than the prior, which consists of a blend of multiple earlier representations. If the width of the likelihood distribution is more strongly affected by the affected memory system than the prior, the prior will take precedence, and thus a stronger central tendency effect will be observed. Interestingly, the work in these chapters also suggest that the performance on a timing task might be a valuable, indirect litmus test of memory functioning, as timing performance is directly related to continuous measures of memory functioning.

All this work suggests that memory plays an important role in the empirical phenomena associated with timing. Yet, the most prominent Bayesian observer models of interval timing ignore memory as a potential explanatory variable. In **Chapter 6**, I present an updated version of the Bayesian observer models that acknowledges the variability of human memory processes and allows for assessing the relative role of clock variability and memory processes in temporal performance. Instead of assuming a static memory representation, I present a more realistic representation of the empirical prior by using a mixture of distributions each representing a stimulus category. By fitting this model to the data presented in Chapter 3 and 4, I demonstrate that the Mixture Log-Normal Model provides the most sensible estimation of the shape of the prior and the role of clock and motor noise in interval timing tasks. Furthermore, by applying this model to a clinical sample I conclude that the Mixture Log-

Normal Model allows for a more accurate description of the mechanisms underlying behavior of clinical and healthy aged populations.

Overall, with the work presented in this thesis I demonstrate that the multi-duration reproduction task provides a productive paradigm to study how time and memory interact, and that this task could provide an index of memory functioning in an indirect and unobtrusive way. This work has highlighted that temporal perception is a highly subjective process that is driven by the influence of **memories of prior times**.

Samenvatting Proefschrift

Context is belangrijk. Het waarnemen van de wereld is een subjectief proces dat gekleurd wordt door eerdere ervaringen. De invloed van eerder waargenomen stimuli op de huidige waarneming duidt op een cruciale rol van het geheugensysteem bij waarneming. Dit proces speelt ook een rol bij de perceptie van tijd, met name in *interval timing*, het proces dat verklaart hoe we intervallen van tiende tot tientallen seconden waarnemen.

Interval timing speelt een centrale rol in een breed scala van menselijk gedrag. Alles wat we ervaren, doen, waarnemen, of waarover we nadenken, verloopt in de tijd: Eén van de verschillen tussen een goede en middelmatige spreker is het perfecte gebruik van timing door de eerste; het juist kunnen inschatten van de timing van de “af!” in “klaar voor de start, af” is een bepalende factor voor sportief succes, en, zoals te zien is op de eerste pagina's van dit proefschrift, kan een te lange aarzeling een grote invloed hebben op de manier waarop een gelijkkluidend antwoord wordt geïnterpreteerd. Gezien het belang van tijd zou je verwachten dat de mens tijd accuraat kan waarnemen. Maar in tegenstelling tot het gestage ritme van de klok die precies een seconde later opnieuw de secondewijzer verder laat springen, is ons interne gevoel voor tijd helemaal niet constant, en net als bij andere perceptuele processen, zeer subjectief. In dit proefschrift focus ik op de subjectieve aspecten van timing, en meer specifiek op hoe de invloed van geheugen leidt tot subjectieve modulaties van tijd.

In de empirische hoofdstukken van dit proefschrift heb ik voornamelijk temporele reproductietaken gebruikt. Bij dit type taak krijgen deelnemers eerst een tijdsduur of “interval” aangeboden door middel van een visuele (bijv. een cirkel op een computerscherm) of auditieve (bijv. een 440 Hz toon) stimulus. Deze stimulus wordt voor een bepaald tijdsinterval aangeboden, en verdwijnt dan automatisch. Deelnemers aan het onderzoek wordt gevraagd om op de duur van het interval te letten, zonder expliciete timingstrategieën (zoals tellen) te gebruiken. Nadat het interval is gepresenteerd, krijgen ze de instructie om het waargenomen interval te reproduceren. Hiervoor wordt dezelfde stimulus weer gepresenteerd, en de deelnemers wordt gevraagd een knop in te drukken wanneer de visuele of auditieve stimulus even lang was aangeboden als tijdens de waarneem-fase. Meer specifiek heb ik reproductie-experimenten bestaande uit *meerdere* intervallen gebruikt waarbij de gepresenteerde tijdsduur varieert tussen trials. Wanneer intervallen van verschillende lengtes worden gereproduceerd, observeert men een regressie naar het gemiddelde in de geproduceerde intervallen, bekend als het centrale tendenseffect (“central tendency effect”): relatief lange intervallen worden onderschat en korte intervallen worden

overschat. Aangezien dit effect aantoont dat de context, opgebouwd uit eerdere ervaringen, de huidige prestaties beïnvloedt, benadrukt dit fenomeen de belangrijke rol van geheugen in de perceptie van tijd. Paradoxaal genoeg lijkt het erop dat het beschikbaar hebben van meer informatie een minder nauwkeurige reproductie oplevert.

Het prominente standpunt in de academische literatuur is echter dat dit geheugen-gestuurde context effect leidt tot optimalisatie van prestatie als de waarneming ruizig is. Wanneer de zintuigen een afwijkende stimulus registreren in een ruizige situatie, is het vaak optimaal om aan te nemen dat de waargenomen afwijking gedeeltelijk wordt veroorzaakt door ruis, en de waarneming intern aan te passen zodat deze dichter bij een eerder ervaren ‘accurate waarneming’ komt te liggen. Dit proces is geformaliseerd in het *Bayesian observer framework*. In dit theoretische model wordt een waarneming gerepresenteerd door een waarschijnlijkheidsverdeling, de *likelihood*, die “nauwer” is als de waarneming zonder veel ruis is waargenomen, en breder is als de waarneming ruiziger is. Deze waarschijnlijkheidsverdeling wordt geïntegreerd met een verdeling die de eerder opgedane kennis representeert, de *prior*. Als de *likelihood* relatief smal is, zal de *prior* weinig effect en domineert de *likelihood*, maar als de *likelihood* heel breed is, zal de *prior* domineren.

In **Hoofdstuk 2** onderzoek ik hoe bottom-up (de specifieke eigenschappen van het stimulusmateriaal) en top-down informatie (abstracte kennis over de condities van het experiment) de opbouw van de *prior* beïnvloeden. Het doel van dit hoofdstuk was om de parameters in kaart te brengen die de opbouw van context bepalen, zodat optimale parameters gekozen konden worden voor vervolgent experimenten. In Hoofdstuk 2 laat ik zien dat (1) het contexteffect optreedt zodra de intervallen voldoende van elkaar verschillen; (2) het effect niet gemoduleerd wordt door expliciete instructies of andere aanwijzingen aan de proefpersonen; en (3) slechts een enkel extra interval voldoende is om een contexteffect te produceren. Hoewel een enkel extra interval dus al voldoende zou zijn, wordt een nauwkeuriger resultaat verkregen wanneer er drie verschillende intervallen worden gebruikt, zoals het geval is in de hoofdstukken 4 en 5. In deze hoofdstukken onderzoeken we hoe geheugen, hetzij wanneer beïnvloed door klinische tekortkomingen of fluctuerend als gevolg van *healthy aging*, de subjectieve tijds waarneming beïnvloedt. Om de rol van het geheugen te kunnen beoordelen, is het echter noodzakelijk om te weten hoe onnauwkeurig de interne klok zelf is.

In **Hoofdstuk 3** presenter ik een nieuw experimenteel paradigma, de 1-Second Task, die een snelle inschatting van temporele precisie oplevert. In deze taak wordt de deelnemer gevraagd om een tijdsduur van één seconde te produceren door één seconde op een toets te drukken. Belangrijk hierbij is dat

deelnemers tijdens de taakuitvoering geen feedback krijgen. Vanwege het gebrek aan feedback is hun nauwkeurigheid doorgaans relatief laag (de gemiddelde geproduceerde duur varieert meestal van 500 milliseconden tot 2 seconden). Deze taak richt zich echter op de precisie van de schattingen: hoeveel variabiliteit wordt waargenomen in een reeks 1-seconde inschattingen? Hoewel een intern proces zou kunnen leiden tot het updaten van het geheugen, veronderstellen wij dat deze taak relatief geheugenonafhankelijk is omdat er geen externe informatie kan worden gebruikt om de prestaties te optimaliseren. Op basis van deze aannames zou de variabiliteit die wordt waargenomen in de 1-seconde producties een schatting moeten opleveren van alleen klok- en motorvariabiliteit, een aanname die werd ondersteund door empirische data, aangezien de geschatte klokvariabiliteit correleerde met waargenomen temporele prestaties in een reproductietaak.

Hoofdstuk 4 belicht de rol van het geheugensysteem op *timing* door te kijken naar de impact van klinische geheugenstoornissen op *timing*. In hoofdstuk 4 presenteer ik een studie met patiënten die de diagnose *Mild Cognitive Impairment* hebben gekregen, een diagnose die vaak wordt gezien als een voorloper van de ziekte van Alzheimer. Interessant is dat deze studie het idee ondersteunt dat het gedrag van deze patiënten *beter* kan worden beschreven door uit te gaan van een *sterkere* invloed van eerdere ervaringen, hoewel hun geheugen dus aangetast is. Hoewel deze resultaten contra-intuïtief lijken, omdat het suggereert dat een *slechtere* geheugenfunctie leidt tot een *toename* van een geheugen-gestuurd fenomeen, werd dit effect ook waargenomen in een controlegroep als hun prestaties worden geanalyseerd als een functie van geheugenprestatie. In **Hoofdstuk 5** rapporteer ik een replicatie van dit effect in een groep gezonde ouderen. De contra-intuïtieve resultaten kunnen echter gemakkelijk worden verklaard wanneer er rekening mee wordt gehouden dat het waargenomen interval ook in het geheugen moet worden opgeslagen: Als het aangetaste geheugensysteem ook dit geheugenspoor beïnvloedt, is het niet onwaarschijnlijk dat dit spoor meer zal worden beïnvloed dan de *prior*, dat bestaat uit een mix van meerdere eerdere representaties. Als de *likelijkheid* sterker wordt beïnvloed door het aangetaste geheugensysteem dan de *prior*, zal een sterkere regressie naar het gemiddelde optreden. Interessant is dat het werk in deze hoofdstukken ook suggereert dat de uitvoering van een timingtaak een waardevolle, indirecte lakmoestest kan zijn van het functioneren van het geheugen, aangezien prestaties op geheugen taken direct weerspiegelt worden in het gedrag op *timing* taken.

Al dit werk suggereert dat geheugen een belangrijke rol speelt in het waarnemen van tijd. Toch negeert het meest prominente *Bayesian observer model* variabiliteit in geheugen als een potentiële verklarende variabele. In **Hoofdstuk**

6 presenteer ik een nieuwe, uitgebreide versie van een *Bayesian observer model* dat de variabiliteit van het menselijk geheugenproces representeert, en daarmee een inschatting kan geven van de relatieve rol van de klok variabiliteit *en* geheugenprocessen in temporele prestaties. In plaats van een statische geheugenrepresentatie te veronderstellen, presenteer ik een meer realistische representatie van de *prior* door een combinatie van verschillende distributies te gebruiken die elk een eigen stimuluscategorie vertegenwoordigen. Door dit model te vergelijken met de data zoals die in hoofdstuk 3 en 4 is gepresenteerd laat ik zien dat een *Mixture Log-Normal Model* de meest realistische representatie van het menselijk gedrag oplevert. Door dit model toe te passen op de klinische data laat ik zien dat deze representatie een goede inschatting geeft van de geheugen deficiënties in pre-Alzheimerpatiënten.

Samenvattend, met het werk dat ik in dit proefschrift presenteer, laat ik zien dat de reproductietaak met meerdere intervallen een productief paradigma is waarmee wij kunnen bestuderen hoe tijd en geheugen op elkaar inwerken, en dat deze taak een indirecte en onopvallende index is van deficiënties in geheugenprocessen. Maar bovenal heeft dit werk heeft aangetoond dat temporele perceptie een zeer subjectief proces is, dat wordt gestuurd door **herinneringen aan vervlogen tijden**.

