

The Power of Context

How linguistic
contextual
information
shapes
brain dynamics
during sentence
processing

RENÉ TERPORTEN



The Power of Context: How linguistic contextual
information shapes brain dynamics during
sentence processing

René Terporten

The work described in this thesis was carried out at the Donders Institute for Brain, Cognition and Behavior and the Max Planck Institute for Psycholinguistics, Nijmegen, The Netherlands.

The educational component of the doctoral training was provided by the International Max Planck Research School (IMPRS) for Language Sciences. The graduate school is a joint initiative between the Max Planck Institute for Psycholinguistics and two partner institutes at Radboud University – the Centre for Language Studies, and the Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour. The IMPRS curriculum, which is funded by the Max Planck Society for the Advancement of Science, ensures that each member receives interdisciplinary training in the language sciences and develops a well-rounded skill set in preparation for fulfilling careers in academia and beyond.

ISBN/EAN: 978-94-92910-15-8

Design & Layout

René Terporten (cover & inside)

Print

Ipskamp Printing

Copyright © René Terporten, 2020.

The Power of Context: How linguistic contextual information shapes brain dynamics during sentence processing

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Radboud University Nijmegen
op gezag van de rector magnificus prof. dr. J.H.J.M. van Krieken
volgens besluit van het college van decanen
in het openbaar te verdedigen op vrijdag 2 oktober 2020
om 12.30 uur precies

door

René Terporten
geboren op november 23, 1988
te Viersen (Duitsland)

Promotor(en)

Prof. dr. P. Hagoort

Copromotor(en)

Dr. A.V.M. Kösem

Manuscriptcommissie

Prof. dr. F. Huettig

Prof. dr. A.S. Meyer

Dr. A.G. Lewis

To my family

Contents

Chapter 1	9
Introduction	
Chapter 2.....	25
The Relation between Alpha/Beta Oscillations and the Encoding of Sentence induced Contextual Information	
Chapter 3.....	47
The Influence of the Encoding of Sentence induced Contextual Infor- mation on Functional Connectivity as marked by Alpha Oscillations	
Chapter 4.....	63
The Interaction of Context Constraints and Predictive Validity during Sentence Reading	
Chapter 5.....	85
General Discussion	
References.....	97
Appendices.....	113
Nederlandse Samenvatting.....	161
Curriculum Vitae.....	169
Author Publications.....	171
Acknowledgements.....	173
MPI Series in Psycholinguistics.....	180



Chapter 1

Introduction

It was the same routine, at the same time. She needed it and she knew it, but she was not in a mood to overthink it. With a firm grasp she got the necessary ingredients that would hopefully ease her cravings. 'Not too much, not too less.', she thought 'It has to be perfect.'. She pulled the handle which opened access to a small container and poured the ingredients in it. Before the container spilled over, she slowed down and very carefully made sure that nothing would be wasted. She took a stamp shaped tool and pressed the ingredients harder into the container. She stopped, looked at the result and decided to press again. 'This time', she groaned, 'this time, it will be just right.', and she finished torturing the ingredients. The container and its handle got back where they belonged and with excessive force, she rotated the handle until it could move no more. She stared at the needle, tapped the plastic in front of it as if it would help. 'Please!', she begged to the needle 'Please, be in the right spot this time, for god's sake!'. Another container was placed underneath the whole setup, a buzzing sound appeared, and she waited. Her eyes rested upon the needle, but it did barely move. The needle raised a bit, froze in place and began vibrating. 'Come one, come on!' – but it didn't help. The buzzing stopped and the needle dropped back to its original resting state. She started crying: 'Why is it so hard to make a good espresso?!', and she started repeating the whole process again.

Upon first reading of the short story above, it certainly takes until the last sentence before a reader fully understands what is going on. The sentences provide information about that something is going on. Yet, the exact nature of what it is remains elusive. In other words, throughout the whole story it remains difficult to put the provided information into context. If the story would begin with 'Let's hope I can make a good espresso this time', all further explained actions would be easily combined and integrated with that context. A priori available information about the context could even help the reader to predict what is likely to happen next. Most likely these predictions would support comprehension of the sentences and reading through the story would be much easier. This PhD thesis aims to investigate how contextual information can support linguistic integration and the generation of linguistic predictions. To understand how these processes work, I investigated the human brain.

Contextual information in language processing

Context is an important factor that influences the way how language is processed (Hasson et al., 2018; Kuperberg & Jaeger, 2016). What exactly is language context? Context in language processing relates to a set of very diverse information. Contextual information can for example relate to the current environment in which an utterance is encountered. It can relate to the personality of a speaker or the mood of the listener. Contextual information can be shaped by the story line of a narrative. Individual word meanings do also contribute to an overall representation of language context. Language context is thus hierarchically organized, containing information that is more abstract (e.g. the environment), down to very specific information of the language input itself (e.g. word meanings). The diverse levels of this contextual hierarchy do have an influence on how language input is processed. Roughly speaking, previous literature highlighted two aspects of how language processing is influenced by context, by exploring how context influences the integration of current, and the prediction of subsequent language input.

Context integration during language processing means that different sources of information converge with a common representation in memory. Individual word meanings that are encountered during processing of the language input are integrated into a preceding context representation. Diverse contextual information is integrated within the same timeframe and continuously adds to the preceding context representation (Hagoort, 2013; Hagoort & van Berkum, 2007; Hasson et al., 2018; Van Berkum, 2008). The preceding context helps to construct the appropriate meaning and supports the interpretation of the language input (Hagoort et al., 2009). Contextual integration happens after the language input (e.g. a word) is encountered. Classical experiments that explore the influence of contextual information on language integration, manipulate the plausibility of a word, given its preceding sentence context. For example, the word ‘kite’ would make for a more plausible ending of the sentence ‘In autumn, I enjoy the windy days and fly my ___’ than a word like ‘cow’. This is because ‘kite’ is easily integrated with a context representation that relates to semantic concepts like autumn and windy days. This ease of

effort to integrate more plausible words with its preceding context is reflected by shorter reading times (Clifton et al., 2007; Monsalve et al., 2012) and is also indexed by classic electrophysiological markers (Baggio & Hagoort, 2011; Kutas & Federmeier, 2011), which will be discussed later in more detail.

While contextual integration occurs incrementally upon recognition of each following word, contextual information can also provide a bias towards language input that is most likely to occur. Contextual information therefore enables linguistic predictions which engage processes prior to the occurrence of the language input. Because language context entertains diverse layers of information, the generated predictions are also diverse (Kuperberg & Jaeger, 2016). If a context provides rich information about the personality and mood of a speakers, strong predictions can be generated about how a message will be uttered. If the individual word meanings of a sentence provide enough information, upcoming word meanings or the exact lexical items can be predicted. Again, a sentence like ‘In autumn, I enjoy the windy days and fly my ___’ induces strong predictions that this sentence is likely to end with the word ‘kite’.

The influence of contextual information onto linguistic predictions has been shown behaviorally with visual world paradigms (Tanenhaus & Trueswell, 2006). In these paradigms, eye-movements are recorded, while participants listen to language input and at the same time observe multiple visual images, presented on a screen. If the contextual information of the language input leads towards a linguistic prediction of a lexical item that is also presented as object on the screen, eye-movements towards that object are recorded before the lexical item is acoustically processed by the participant. This implies that during comprehension, linguistic predictions are generated incrementally as the language input unfolds. During this incremental process, the accumulated diverse contextual information keeps on biasing predictive processes (Kuperberg & Jaeger, 2016).

The literature on linguistic predictions entertains in addition two concepts that are worth mentioning within the framework of this thesis: the notion of certainty and surprisal (Kuperberg & Jaeger, 2016). The notion of certainty expresses the likelihood of a linguistic prediction to be valid. While the sen-

tential context of ‘In autumn, I enjoy the windy days and fly my ___’ induces strong certainty that this sentence will end with ‘kite’, certainty significantly decreases for the same word if preceded with a sentential context like ‘Sometimes, I enjoy the days and fly my ___’. The concept of surprisal indicates how unexpected an encountered language input was. Surprisal thus reflects the degree to which a prediction matches with the actual input (Kuperberg & Jaeger, 2016). If a sentence like ‘In autumn, I enjoy the windy days and fly my ___’ would end with ‘cow’, this would induce strong surprisal as the actual input does not match with the lexical prediction of the word ‘kite’.

Contextual information during language processing thus relates to a hierarchy of diverse types of information. This PhD thesis investigates the influence of linguistic contextual information on language processing. Within the linguistic domain, contextual information influences the way how lexical input is integrated and how predictions can be generated within the same time-frame. If contextual factors can influence linguistic integration and prediction at multiple levels, how are these processes expressed in the human brain?

The evidence for context encoding in the brain

Brain processes that are potentially influenced by linguistic context must adapt to the ongoing language input stream quickly and dynamically. It is therefore important to employ measuring techniques that can capture these fast dynamics. Electrophysiological methods like electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG) fall in these categories. EEG and MEG measuring methods benefit from a high temporal resolution while their spatial resolution is lower (see box 1 for an explanation of both methods). Methods like EEG and MEG thus provide precise estimates of when brain functions are affected but lack precision about where these effects take place.

Evidence for the effect of contextual linguistic information onto language processing comes from investigations of the classical N400 component. The N400 is an event-related potential (ERP) with a well-defined profile. It is a negative deflection in the ERP trace starting around 250 ms after a target word (e.g.

within a sentence) onset, with a maximal amplitude at about 400ms. The amplitude is calculated relative to a pre-target word baseline (Kutas & Federmeier, 2011). The size of the N400 amplitude has been related to a complex interaction of multiple influential factors including meaning, perception, attention, memory and predictability. The N400 amplitude has been found to be stronger (more negative) whenever readers and listeners encountered a word that was implausible with the prior established language context as compared to a word that fits the context (Halgren et al., 2002; Kutas & Federmeier, 2011; E. Lau et al., 2009; Lau et al., 2012). A sentence as shown in example a) would therefore lead to a stronger N400 amplitude at the word fridge as compared to thesis in example b), as the latter one is congruent with the prior sentence context.

- a) To obtain a PhD degree, first you need to write your fridge.
- b) To obtain a PhD degree, first you need to write your thesis.

Because the N400 is a sensitive index for the congruency of a target word given its preceding context, amplitude modulations have classically been linked to context integration. Yet, with the N400 indicating how well a target word fits within its language context, it has also been implied that the N400 effect could be linked to the predictability of the target word. In terms of language prediction, the N400 is thought to functionally mark how surprising the occurrence of a target word is, in light of its preceding context (Frank et al., 2015; Kutas & Federmeier, 2011). The N400 amplitude is stronger for implausible or unexpected items, but importantly it is also influenced by how constraining the preceding sentential context is (i.e. how predictive are subsequent linguistic items based on a context). The N400 amplitude has been shown to gradually increase as sentence context constraints get weaker, and the predictability of a target word becomes less strong (DeLong et al., 2005; Diaz & Swaab, 2007; Freunberger & Roehm, 2017; Ito et al., 2016; Kutas & Federmeier, 2011; Van Petten & Luka, 2012). An example sentence like c) would therefore result in a lower N400 amplitude at the tar-

get word strings than sentence d). Thus, even though the target word stays the same and is congruent with the previous sentence context, the stronger sentential context constraints in c) lead to a reduction in N400 amplitude.

- c) The guitarist exchanges one of his strings.
- d) The man exchanges one of his strings.

While not being linked to predictive processes directly but rather to a complex interaction of multiple factors which also include context integration (Kutas & Federmeier, 2011), these N400 modulations suggests that sentence context constraints might alter predictions that are encoded prior to target word occurrence. Yet, the N400 effect only explores the consequence of linguistic predictions after the to be predicted word already occurred. It remains therefore difficult to distinguish between the effect of linguistic context onto integration and prediction respectively, at the level of the N400 itself. It has been shown that it is potentially possible to distinguish N400 effects resulting from integration and prediction using adjusted experimental settings (Mantegna et al., 2019) or analytical approaches (Nieuwland et al., 2019). Yet, if linguistic prediction implies that brain states are altered before target word occurrence, the need exists to explore brain processes that are altered before the target word is even processed.

What does linguistic prediction mean for the brain?

If contextual linguistic information induces predictions about upcoming language input, predictive processes should be observable before the target input is even processed. How would these predictive processes be expressed by brain activity? Language prediction is assumed to provide a head start for the brain in language processing. Based on the preceding context, the brain can use the given information to shape its own state in such a way that subsequent processing of the upcoming linguistic item is facilitated (Kuperberg & Jaeger, 2016; Molinaro et al., 2016). An ongoing debate ex-

ists about how exactly this pre-shaping of brain states is accomplished. One line of evidence points to the possibility of pre-activation. Pre-activation enables the brain to engage in neuronal activity over areas that would be activated if the predicted linguistic item was encountered. Because the neurons responsible for the encoding of this linguistic item are then already at work upon its occurrence, ongoing brain processes are thought to be facilitated.

Indirect evidence for predictive pre-activation during language processing comes from eye-movement recordings in visual world paradigms as described earlier (Tanenhaus & Trueswell, 2006). The idea in visual world paradigms was that pre-activation as a consequence of contextual information, leads to early eye-movements to anticipated objects on a screen. Another line of evidence for pre-activation comes from studies that looked at ERP effects for words that preceded the target word in a sentence. For example, DeLong and colleagues (DeLong et al., 2005) investigated ERPs at the article before a target noun. They found that the N400 amplitude was increased for the article ‘an’ as compared to ‘a’ for a sentence like ‘The day was breezy so the boy went outside to fly (a/an) kite.’. They argued that this was the case because the contextual information up to the last article strongly lead to the prediction of the word ‘kite’, which could grammatically only be preceded by the article ‘a’. The authors explained that the increased N400 for the article ‘an’ resulted from the mismatch of the predicted lexical input ‘kite’ and the actual input of an article that is not grammatically congruent with that prediction. Because these effects preceded the occurrence of the target word ‘kite’, it was argued that the results speak for pre-activation. Similarly, Van Berkum and colleagues (Van Berkum et al., 2005) investigated ERP effects for adjectives that preceded the target, which was the noun predicted by a sentence context. By introducing two-sentence short stories in Dutch to the participants, the target noun within the last sentence became predictable. By manipulating the adjectives’ gender (which is possible in Dutch), they were able to show differences in ERP amplitudes for matching versus mismatching genders of the noun-preceding adjectives. The authors argued that the differences in ERP amplitude were observable at the adjective level, because they were linked to the prediction of the subsequent noun. They also showed that readers slowed down their reading pace, if they

were faced with an adjective that was inconsistent with the predicted noun.

The idea of pre-activation for linguistic prediction is however not straightforward because of two reasons. First, language context provides very diverse information at multiple levels and therefore supports the generation of linguistic predictions at multiple levels as well. For example, a sentence like “On my birthday I love to eat a ___” supports the prediction of the specific word “cake”. However, from a sentence like “On my birthday I love to get the ___” it is much more difficult to predict the specific word form, but predictions can still be made on a conceptual level (i.e. predicting sentence continuations that fit the concept of a birthday). The evidence for pre-activation mostly focusses on manipulating a specific linguistic prediction at a low level (e.g. a prediction at the level of one specific word form) like in DeLong and colleagues (DeLong et al., 2005). But this low-level representation is embedded within a language hierarchy (from conceptual to lemma level, and from lemma level to lexeme level (Levelt, 1993)). Thus, pre-activation at a lower level should be the result of cascading pre-activation at multiple stages of the language hierarchy in the brain, but the evidence for this is sparse.

Second, if the brain pre-activates the predictive linguistic input, this pre-activation is thought to be metabolically costly (Attwell & Laughlin, 2001; Kuperberg & Jaeger, 2016). If the actual input matches with the linguistic prediction and processing is facilitated, the metabolic benefits probably outweigh the costs of pre-activation. However, if the actual input does not match, the additional surprisal and integration of the linguistic item will result in additional metabolic costs for the brain. It has been stated that while it is more costly for the predictive brain to be wrong, if linguistic predictions more often match than mismatch, the benefit of linguistic prediction is bigger than its metabolic costs (Kuperberg & Jaeger, 2016). Yet, it remains an open question whether this balance still holds if linguistic prediction is supported by pre-activation mechanisms at different levels of the language processing hierarchy.

As a possible solution to these problems it has been suggested that linguistic predictions are weighted by their utility (Howes et al., 2009; Kuperberg & Jaeger, 2016). That is, linguistic predictions that have a higher chance of

being invalid are weighted less than predictions that most likely turn out to be valid. Only linguistic predictions that are strong in utility are propagated along the language processing hierarchy in the brain. In case of pre-activation, such a utility function would massively constrain the pool of linguistic items that are pre-activated and therefore reduce the metabolic costs of this process. A consequence of this suggestion is that the brain can pre-activate at different levels of the language processing hierarchy, but that this is not always done, which might explain inconsistencies in the literature. An open question remains about how such a utility function of linguistic predictions is mechanistically implemented in the brain, which is discussed later.

Another possibility that could support language prediction is that the changes in brain states prior to the occurrence of a linguistic item are reflected in changes of underlying functional networks (Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2019; Hasson et al., 2018). This means that the brain does not always need to pre-activate the exact neuronal populations underlying the processing of a specific linguistic item. Rather, linguistic prediction could result in shaping the functional connections between areas such that the propagation of linguistic information along the language processing hierarchy is facilitated. This alternative shifts the view from local pre-activation to a more global pre-shaping of the functional architecture underlying language processing.

Contextual linguistic information can thus induce linguistic predictions which are potentially expressed by pre-activation in the brain. In the remainder of this thesis it is important to note that context induced predictive mechanisms should be observable in the brain before a predicted linguistic item is processed. While the N400 electrophysiological marker served as a useful tool to investigate the effect of contextual information after a target word occurred, neural markers exist that support the investigation of this effect prior to occurrence of the target word.

Neuronal oscillations and the processing of contextual information

Neuronal oscillations have been proven to be a useful tool to investigate

the effects of linguistic context onto brain states before occurrence of a linguistic item (Bastiaansen & Hagoort, 2006; Lam et al., 2016; Lewis & Bastiaansen, 2015; Piai et al., 2017; Piai, 2019; Wang et al., 2017). Neuronal oscillations result from synchronized activity of populations of neurons. The rhythm of their synchronous activity is expressed in frequency (Hz). Neuronal oscillations have been divided in several functional frequency bands (delta (2-3 Hz), theta (4-7 Hz), alpha (8-12 Hz), beta (13-39 Hz), gamma (40-120 Hz)) and each frequency band has been linked to cognitive functions. The prominence of a specific frequency band is expressed by its power. Alpha and beta oscillations are hypothesized to reflect a domain-general mechanism that shape the communication of sensory information between distant neural networks (Bonfond et al., 2017; Jensen & Mazaheri, 2010). More mechanistically, alpha oscillations are thought to gate information flow in the brain by actively inhibiting areas that process task-irrelevant information.

Recent evidence suggests that neural oscillations, including alpha and beta oscillations, could be linked to context-induced linguistic prediction during sentence processing (Bastiaansen & Hagoort, 2006; Lewis & Bastiaansen, 2015; Wang et al., 2017). Neural oscillatory responses have been linked to semantic predictions. For example, beta (13-20 Hz) oscillations (Wang, Jensen, et al., 2012) and gamma band (>40 Hz) activity (Bastiaansen & Hagoort, 2015; Lewis & Bastiaansen, 2015) have been interpreted as neural markers for semantic predictions. Other brain oscillatory responses in the alpha (8-12 Hz) and low beta (14-20 Hz) frequency ranges have been linked to linguistic prediction prior to the appearance of a target word (Piai et al., 2014, 2017; Rommers et al., 2012, 2017; Wang et al., 2017). In these experiments, participants read sentences that had either a very constraining sentence context or had a sentence context that was only weakly constraining. Depending on these context constraints, participants were either likely to predict the target word within a sentence or not. Neuronal oscillatory activity was measured shortly before participants processed the target word. Power decreases for the alpha and beta frequency band have been found to be stronger for sentence contexts that were strongly constraining as compared to the weakly constraining sentence contexts. These results led to the hypothesis that alpha and beta band os-

cillatory activity is directly related to the predictability of a target word (Bastiaansen & Hagoort, 2015; Kuperberg & Jaeger, 2016; Rommers et al., 2012; Wang et al., 2017). The alpha power decrease found in the studies described above, has also been explained as reflecting stronger engagement of the language network when predictions could be formed from preceding sentential context. What exactly are the networks dedicated to language processing?

The brain networks involved in language prediction

Language processing involves a network of dedicated brain areas that is strongly left lateralized, but also includes areas bilaterally (Chai et al., 2016; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2013). Unlike older views of the language processing system in the brain, the modern view includes brain networks that lie beyond the left perisylvian fissure. This includes the left temporal areas, angular gyrus, left inferior frontal gyrus as well as frontal and parietal areas (Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2013, 2019). These areas work in concert to achieve successful language processing. Regarding the contribution of these areas to language processing, evidence points to a separation of labor. Based on the memory, unification and control (MUC) model (Hagoort, 2013, 2019) this separation is as follows: while linguistic input (e.g. a sentence) is encoded, lexical items get selected from memory. Memory functions are supported by left temporal areas. The selected item from memory needs to be integrated or unified with the already available contextual information. The process of unification in turn is supported by neurons in left inferior frontal areas. Frontal and parietal areas make part of the control function of this model and support the allocation of attentional and other cognitive resources that monitor or facilitate language processing. The emphasis of this model is on the dynamic network architecture that underlies language processing. All these areas need to work in concert to dynamically adapt to the dynamics of the linguistic input stream.

While the MUC model views cognitive control as an integral part of the language processing machinery, others differentiate between a ‘core’ and a ‘periphery’ in language processing (Fedorenko & Thompson-Schill, 2014). The

Box 1. MEG and EEG

Magnetoencephalography (MEG) and electroencephalography (EEG) are both electrophysiological methods that are noninvasive and provide an excellent time resolution of the recorded brain data but are less precise regarding its neuroanatomical underpinnings. For EEG measurements, an electrode cap (mostly containing 32-64 electrodes) is placed on a participant's head. These electrodes measure voltage fluctuations that are a result of ionic currents from the neurons of the brain. These currents are created whenever a neuron creates an action potential. With around 86 billion neurons in the human brain, the currents created by these neurons are strong enough to travel through grey matter, the dura mater and the human skull. The electrodes placed on the scalp of the participants are then able to pick up the signal. However, because the currents need to travel through all these anatomical barriers, the origin of the electrophysiological signal is difficult to reconstruct.



MEG on the other hand measures the magnetic fields that are produced by the postsynaptic current of columns of neurons. If enough neurons within a column receive synchronous input, the strength of the magnetic field is detectable by MEG sensors. MEG has the advantage over EEG that the measured magnetic fields effortlessly pass through anatomical barriers, without being distorted. A reconstruction of underlying sources therefore becomes more feasible with MEG. To obtain MEG data, participants must be seated in a magnetically shielded room and

their head is placed under a MEG helmet. Within this helmet, superconducting sensors pick up the brain signals. These sensors however must be cooled down a few degrees below absolute zero with liquid helium, to maintain sensitivity to the magnetic fields. The maintenance of a MEG system is therefore much more expensive than using EEG.

core concerns dedicated language processing areas that are reliably activated throughout various language processing tasks. This includes left temporal areas, left angular gyrus and left inferior frontal areas. The periphery consists of domain general areas dedicated to cognitive control functions, supported by frontal and parietal areas. The periphery is thought to act as an add-on onto the core language processing machinery, and belongs to a multiple demand network (Duncan, 2010; Duncan & Owen, 2000). Whenever needed, the periphery can have an influence onto ongoing language processes of the core and shape language processing by selectively amplifying or inhibiting neuronal activation.

Whether cognitive control should be regarded as an integral part or a periphery of the language processing machinery is a relatively irrelevant question if one holds non-essentialist view of language in the brain (Hagoort, 2019). Yet, language processing in general and language prediction here specifically, involve cognitive control functions like attention, executive control or working memory (Aarts & Roelofs, 2010; Bastiaansen et al., 2002; Fedorenko, 2014; Gratton et al., 2018; Hagoort, 2013; Hartsuiker, 2014; Piai & Roelofs, 2013). These cognitive control functions could potentially influence how language predictions are propagated along the language processing hierarchy (Kuperberg & Jaeger, 2016). By selective facilitation of ongoing processes, predictions that are likely to be valid could be targeted by cognitive control areas and their signal could be amplified. Cognitive control functions therefore might have an influence on language predictions, based on their respective utility.

Goal and outline of the thesis

Contextual linguistic information forms an integral part of language processing. A better understanding of the mechanisms underlying the encoding of contextual linguistic information during language comprehension therefore leads to a better understanding of how everyday language comprehension is accomplished by the human brain. While electrophysiological evidence helped in understanding that language context influences language processing, this evidence mainly focusses on processing of the target words itself. This, however, makes it difficult to distinguish between context in-

duced processes that relate to integration vs. linguistic prediction. Additionally, the predictive processes that influence brain states before target word occurrence remain to be elaborated. While neuronal oscillations provide a supportive tool in investigating these predictive processes, their exact functional underpinnings during linguistic prediction are not fully understood yet. This dissertation provides three empirical studies, investigating the effect of contextual linguistic information onto ongoing brain processes during sentence reading, as measured by differences in oscillatory activity and event related potentials, before and after target word occurrence.

Chapter 2 builds upon earlier research that investigates the effects of sentence context constraints onto target word predictability (Lewis & Bastiaansen, 2015; Piai et al., 2014, 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017). While previously extreme ends of target word predication (very predictable vs. not predictable) were investigated, this experiment includes multiple degrees of sentence context constraints that lead to multiple levels of target word predictability. Participants read a word by word presentation of sentences on a screen while online MEG data was recorded. Oscillatory activity in the alpha and beta frequency range was analyzed before target word occurrence. N400 amplitude modulations were analyzed after target word occurrence. This chapter answers the question whether these frequency bands indeed serve as neural marker for linguistic prediction.

Chapter 3 extends the findings of chapter 2 and employs state of the art connectivity analyses. With this study we aim to reveal whether different sentence context constraints lead to observable changes in inter-areal interactions between regions of a language network within the alpha frequency band. This chapter builds upon the notion that successful language comprehension requires the interaction of dedicated brain areas that goes beyond the classical view of a left perisylvian language brain.

Chapter 4 explores whether the linguistic predictions that are generated from the sentence's context are robust to the overall environment in which they are encoded. In this EEG study, participants were again reading sentences with multiple degrees of sentence context constraints. However, participants

were split in one of two groups. While one group read mainly congruent target words to the sentence's context, the other group read mainly incongruent target words. With this manipulation we aimed to investigate whether the effect of linguistic prediction onto ongoing brain dynamics is different between environments in which the predictions turn out to be mostly valid or not.

Chapter 5 summarizes the findings of the three empirical approaches and discusses the role of alpha and beta oscillations for linguistic prediction. Furthermore, future possibilities for investigating linguistic prediction are discussed.



Chapter 2

The Relation between Alpha/
Beta Oscillations and the En-
coding of Sentence induced
Contextual Information

ABSTRACT

Pre-stimulus alpha (8-12 Hz) and beta (16-20 Hz) oscillations have been frequently linked to the prediction of upcoming sensory input. Do these frequency bands serve as a neural marker of linguistic prediction as well? We hypothesized that if pre-stimulus alpha and beta oscillations index language predictions, their power should monotonically relate to the degree of predictability of incoming words based on past context. We expected that the more predictable the last word of a sentence, the stronger the alpha and beta power modulation. To test this, we measured neural responses with magnetoencephalography of healthy individuals during exposure to a set of linguistically matched sentences featuring three levels of sentence context constraint (high, medium and low constraint). We observed fluctuations in alpha and beta power before last word onset, and modulations in M400 amplitude after last word onset. The M400 amplitude was monotonically related to the degree of context constraint, with a high constraining context resulting in the strongest amplitude decrease. In contrast, pre-stimulus alpha and beta power decreased more strongly for intermediate constraints, followed by high and low constraints. Therefore, unlike the M400, pre-stimulus alpha and beta dynamics were not indexing the degree of word predictability from sentence context.

This chapter appeared in: Terporten, R., Schoffelen, J. M., Dai, B., Hagoort, P., & Kösem, A. (2019). The Relation between Alpha/Beta oscillations and the encoding of Sentence induced contextual information. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12.

INTRODUCTION

Sentence level language comprehension results from dynamic cognitive processes which combine and unify smaller linguistic units to create meaning (Cairns et al., 1981; Glucksberg et al., 1986; Hagoort, 2016; Morris, 1994; Moss & Marslen-Wilson, 1993; Rommers et al., 2012). These cognitive processes occur online, while the sentence unfolds, instantiating unified meaning which relates to the computation of semantics, spanning the whole utterance. During this process, a context representation is compared and updated on a moment to moment basis. The bias provided by the momentarily established context alters subsequent linguistic processing (Federmeier, 2007; Frank & Willems, 2017; Xu et al., 2005). One classical approach to investigate the impact of linguistic predictions at the neuronal level is to measure the N400 component, which is called the M400 in magnetoencephalographic (MEG) studies (Janssen et al., 2017; Kutas & Federmeier, 2011; Tromp et al., 2018). The N400 functionally marks how surprising the occurrence of a target word is provided the past sentential context (Frank et al., 2015). The N400 amplitude is stronger for anomalous or unexpected items, but importantly it is also influenced by how constraining the preceding sentential context is (i.e. how predictive are subsequent linguistic items based on past context), such that the N400 amplitude increases with lower sentence context constraints (DeLong et al., 2005; Diaz & Swaab, 2007; Freunberger & Roehm, 2017; Ito et al., 2016; Kutas & Federmeier, 2011; Van Petten & Luka, 2012). While not being linked to predictive processes directly, these N400 modulations suggests that sentence context constraints alter predictions that are encoded prior to target word occurrence.

Prediction in its minimal sense can be understood as changes in brain states in response to contextual information which facilitate the processing of new input (Kuperberg & Jaeger, 2016; Molinaro et al., 2016). Recent evidence suggests that neural rhythmic activity could be involved in the prediction of linguistic input during sentence processing. Neural oscillatory responses have been linked to the N400 and semantic predictions, such as theta (4-7 Hz) oscillations (Molinaro et al., 2013; Rommers et al., 2017) and gamma band (>40 Hz) activity (Lewis et al., 2015; Mamashli et al., 2019; Wang et

al., 2017; Wang, Zhu, et al., 2012). Importantly however, theta and gamma oscillatory activity has mostly been observed as neural markers for semantic predictions after target word presentation. In contrast, and to the interest of the present study, other brain oscillatory responses in the alpha (8-12 Hz) and beta (16-20 Hz) frequency ranges have been linked to both domain-general and linguistic predictive mechanisms prior to the apparition of a target word. Alpha and beta oscillations are hypothesized to reflect a domain-general mechanism for the prediction of upcoming sensory input (Arnal & Giraud, 2012; Lewis et al., 2016) and to constitute top-down mechanisms that shape the communication of sensory information between distant neural networks (André Moraes Bastos et al., 2015; Bonnefond et al., 2017; Fries, 2015). Beyond sensory processing, recent theory and evidence suggests that alpha and beta oscillations would also be involved in linguistic prediction (Kuperberg & Jaeger, 2016; Lewis et al., 2016; Lewis et al., 2015). Decreases in alpha power (Lam et al., 2016; Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017) and low-beta power (Bastiaansen & Hagoort, 2015; Piai et al., 2017; Wang et al., 2017) have previously been linked to the processing of sentential context constraints. Specifically, the power decrease has been found to be stronger when sentential context is highly predictive of the last word of the sentence than when the prediction of the last word cannot be made based on past context (Bastiaansen & Hagoort, 2015; Lam et al., 2016; Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017; Wang, Jensen, et al., 2012; Weiss & Mueller, 2012; Willems et al., 2008). The power decrease has been explained to reflect stronger engagement of the brain areas of the language network in scenarios in which predictions can be formed from past sentential context (Jensen & Mazaheri, 2010; Wang et al., 2017). Yet, the evidence for alpha and beta oscillations being involved in language prediction is still debated, as it has only been observed between extreme situations, i.e. between very predictable sentences or completely unpredictable sentences (Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017). If alpha and beta power reflect the degree of predictability of an upcoming word, we hypothesized that alpha/beta power should gradually decrease with higher context constraint.

To test this, we presented multiple graded groups of sentences context con-

straints. Participants passively read sentences belonging to either a low (LC), medium (MC) or high (HC) context constraining condition (Table 1). Crucially, we constructed the sentence material using triplets of sentences, and modulating the context constrain by only changing one word in the sentence (see Methods for details). Neuronal activity was measured online using MEG, before and after display of a target word. Based on previous findings (Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017), we predicted that pre-stimulus alpha and beta power would differ between different conditions of predictability. The power decrease is expected to be strongest for the HC, followed by the MC and LC condition (Fig. 1).

MATERIALS & METHODS

Participants

In total, thirty-five students (mean age 24 years, range 18 - 43; 16 males) took part in the experiment. All participants provided their informed consent in accordance with the declaration of Helsinki, and the local ethics committee (CMO region Arnhem-Nijmegen). All experimental protocols were approved by the review board of the Donders Centre for Cognitive Neuroimaging prior to the start of the experiment. The participants were all Dutch native speakers,

Stimulus material examples	
Condition	Stimulus
HC	(NL) Op dit gebouw heb je een goed uitzicht. (EN) On this building you got a good view.
MC	(NL) Op deze toren heb je een goed uitzicht. (EN) On this tower you got a good view.
LC	(NL) In deze wijk heb je een goed uitzicht. (EN) In this area you got a good view.

Table 1: Example Dutch sentence triplet from the final stimulus set with its English translation. The context constraining conditions were manipulated by changing one context constraining word.



Figure 1: A schematic display of a trial procedure. A trial began with the display of a fixation period, followed by a blank screen. Subsequently the sentence was visually displayed by a word by word presentation, up to the final word as indexed by the period. Between words, a black screen served as delay before a subsequent word was shown.

right-handed, had normal or corrected-to-normal vision and none of them suffered from neurological impairment or dyslexia. Two participants were excluded because they did not finish the experiment. Therefore, thirty-three participants were included for further analyses (mean age 24 years, range 18 - 43; 15 males).

Stimulus material

The stimulus set consisted of 253 sentence triplets, including 203 critical and 50 filler sentence triplets. Each sentence within a critical triplet belonged to either a high context (HC), medium context (MC), or low context (LC) constraining condition. The different degree of constraint within a triplet was achieved by manipulating only one word, the context constraining word, which was always at the same position within a sentence with regard to a triplet (table 1). Across the conditions, these context constraining words were matched with regard to word length ($F(2, 606) = 0.78, p = .457$, with a Mean (SE) of HC: 7.12 (2.26); MC: 7.1 (2.54); LC: 7.37 (2.61)) and word frequency ($F(2, 584) = 1.98, p = .138$, with Mean (SE) of HC: 2.4 (0.78); MC: 2.56 (0.87); LC: 2.5 (0.84); based on the Dutch SUBTLEX-NL database (Keuleers et al., 2010). The stimuli were pretested in a sentence completion task in order to verify the step-like degree of context constraints within a triplet (from high, to medium, to low). For this task - independent from the MEG experiment - a sample of participants ($N = 51$) were required to complete a sentence presented on a computer screen, for which the final word was miss-

ing. Participants performed the experiment with one of three counterbalanced lists. Each list included the same number of critical sentences from either of the three context constraining conditions. The validation of the conditions was performed in two subsequent steps: first, the degree of context constraint per sentence was evaluated by calculating the percentage of participants that would finish a sentence with the same word. These probabilities are thought to reflect the degree to which the sentential context biases subsequent language processing. As expected, HC sentences resulted in the highest percentage of participants proposing the same word as cloze (Mean (SE) = 77% (17.74)), followed by MC (Mean (SE) = 50% (18.67)) and LC (Mean (SE) = 28% (11.97)). The three conditions differed significantly from each other with regard to their degree of context constraints ($F(2, 606) = 442.84, p < .001$).

Second, and in order to create the final stimulus set, the final word from the HC sentences with the highest percentage was chosen as sentence ending for all sentences within a triplet. This approach resulted in cloze probabilities for the final word - the target word - that were different from the percentages of the context constraints for the MC and LC conditions. Still, the cloze probabilities differed significantly between conditions ($F(2, 606) = 468.16, p < .001$), with HC showing the highest cloze probability (Mean (SE) = 77% (17.74)), followed by MC (Mean (SE) = 42% (25.94)) and LC (Mean (SE) = 15% (15.82)). The cloze probabilities are thought to reflect how surprising the final word occurrence is, given the past sentential context. In our stimulus set, context constraint measures were highly correlated with measures of cloze probability ($r = 0.93, p < .001$).

In the MEG experiment, participants were presented with one of the counterbalanced lists, with an additional set of 50 filler sentences. The filler sentences did not differ between lists but followed a different sentence structure as compared to the critical sentences.

Experimental procedure

Participants were comfortably seated in a dimly illuminated and magnetically shielded room. All participants were instructed to place their arms on the arm rest of the chair, with access to a button box with their right hand. In front of each participant, at a distance of 80 cm and with a 25°-35° viewing angle,

a screen was located on which all stimulus material was displayed. The words were shown in black, on a grey background. Participants were instructed to silently read the displayed sentences on the screen, and to focus on the content of each sentence. Furthermore, it was highlighted that sometimes (after 20% of the sentences; subjects were not informed about the precise percentage) a question would be asked about the content of the previous displayed sentence. The participants were then required to answer this question with ‘yes’ or ‘no’ by button press. The answer possibilities (‘yes’/‘no’) were randomly displayed on the left or right side of the screen and a left or right button had to be pressed accordingly. These question trials were catch trials, intended to ensure that participants were actively processing the meaning of the sentences, without focusing their attention on the contextual constraints. A trial started with the display of a fixation cross in the middle of the screen for 500 ms. The fixation cross was followed by a blank screen for a random interval of 500-1200 ms. Subsequently, the word-by-word presentation of the sentence began, with each word being displayed for 200 ms, followed by a blank screen of 800 ms. An interval of 1000 ms was chosen in order to record pre-stimulus alpha and beta activity that is not influenced by the evoked response to the previous displayed word. After a sentence ended, another blank screen occurred for 2000 ms (Fig. 1). After that, either a catch question was displayed, with the whole question in the middle of the screen and the yes-no answers randomly split to the left or right side, or the next trial began. In total, participants read 253 sentences (253 trials) in random order, which came from one of three lists, counterbalanced on the three levels of context constraints. The total amount of trials was divided into four blocks, separated by small breaks in-between. The length of a break was self-determined by the participants and the task could be continued by button press. In total, the data acquisition lasted 60 min.

Data acquisition

All data were acquired using a 275 axial gradiometers CTF Omega MEG system. Horizontal and vertical bipolar electrooculography (EOG) as well as electrocardiography (ECG) were recorded in order to discard eye blinks, eye movements and heart beats contaminated trials. All electrophysiological sig-

nals were low-pass filtered at 300 Hz, digitized at 1200 Hz, and stored for off-line analysis. Three coils were placed on the nasion and the left and right ear canal to register the head position with respect to the gradiometers. The coils enabled real-time monitoring of the head position throughout the experiment (Stolk et al., 2013). Next to the MEG recordings, magnetic resonance images (MRIs) were obtained from 32 of the participants with a 1.5T or 3.0T Siemens system. By means of attached markers at the same anatomical locations as the head coils, the MRIs could be aligned to the MEG coordinate system.

Data preprocessing

All data were analyzed using the open-source Matlab toolbox Fieldtrip (Oostenveld et al., 2011). From the MEG data, a time-window of interest was segmented 2 s before and after the onset of a sentence's final word for each trial. This segmentation therefore included the blank delay period just before onset of the target word, where the effect of context constraints is expected to occur, and the period after onset of the target word. The segmented data were low-pass filtered at 150 Hz. The 50 Hz line noise components were removed by using a notch filter. Artifact identification and rejection was done in three steps. First, MEG jump and muscle artifacts were identified by visual inspection of amplitude variance over trials. Second, artifacts related to eye-movements and cardiac activity were identified and removed by means of an independent component analysis (fastICA) (Hyvärinen & Oja, 2000), followed by backprojection. The independent components were visually inspected and removed from the sensor data, if they resembled heartbeat, eye-movements or blinks (as compared to the recorded EOG and ECG). Third, the resulting data were again visually inspected to remove any remaining artifacts. From this procedure, on average 11% of trials and 1.5% of MEG sensors were excluded from further analysis.

Event-Related Field (ERF) analysis

Event-related fields were investigated to observe M400 modulations after the last word onset. This correlate is the magnetic counterpart of the classical N400 measured by electroencephalography and inhabits the same time-course and response properties (Halgren et al., 2002; E. Lau et al., 2009). For each condition, the epochs were first low-pass filtered at 35 Hz. All ERFs were then

baseline corrected based on a time window of -300 ms – 0 ms relative to target word onset. To facilitate comparison across participants the ERFs were transformed to a combined synthetic planar gradient representation (Bastiaansen & Knösche, 2000). The M400 component was calculated by averaging over the planar gradient field amplitude from 250 ms to 600 ms following target word onset.

Time-frequency analysis

Time-frequency analysis was first done for the time-window of -800 ms to 0 ms relative to the sentence's target word onset, including only the blank delay period. Additionally, the M400 sensitive time-window after target word onset was considered for time-frequency analyses, including a window from 200 ms up to 700 ms. Alpha and beta power were estimated for each condition using fast Fourier transform for a frequency range of 8 Hz to 12 Hz for the alpha, and 16 Hz to 20 Hz for the beta frequency bands (based on Wang et al. (2017)), with a Hanning-tapered 500 ms sliding window in time steps of 10ms. No baseline correction was performed on the time-frequency data, statistics were performed by contrasting individual conditions of context constraints. Time-frequency plots were created using a wider frequency range of 2 Hz to 30 Hz (using a fixed 500 ms sliding Hanning window in time steps of 10 ms and frequency steps of 2 Hz) for a time window of -1000 ms to 1000 ms. Power was averaged over channel clusters that were a result of the statistical comparison between conditions for the alpha and beta frequency band respectively.

Source analysis

To estimate the sources of the oscillatory activity, the Dynamical Imaging of Coherent Sources (DICS) beamforming approach was applied to the data (Gross et al., 2001). The volume conduction model was constructed from the individual anatomical MRI as a single shell representation of the inside of the skull. This model was used to compute the forward model according to Nolte (2003). The initial co-registration between the headmodel and MEG sensors was achieved by manually identifying the anatomical landmarks of the nasion and two auricular fiducials, and was additionally refined, using the subject-specific three-dimensional digitised representation of the scalp, as obtained by a Polhemus digitizer. The source space was discretized into a three dimensional

grid with a 6mm resolution. Source reconstruction was performed using a spatial filter, which was computed by combining the cross-spectral density (CSD) matrices from all three conditions (HC, MC, LC). The CSDs were computed using the Fast Fourier transform of the data with multitapering, with a center frequency of 10 Hz or 18 Hz for the alpha (averaged over the time window 540-0 ms, relative to target word onset) and beta (averaged over 450-0 ms) frequency band respectively. All visualizations are based on interpolated data onto the MNI template. The different conditions of the source reconstructed data were compared based on cluster-based permutation statistics as described below.

Cluster-Based permutation statistics

Statistical evaluation was done using non-parametric cluster-based permutation tests (Maris & Oostenveld, 2007). First, we computed F-statistics to quantify the effect of context constraints (three levels: HC, MC, LC) for each sensor and time point. These F-statistics were used to define the clusters for the non-parametric statistical testing: clusters consisted of samples whose F-values were above threshold (threshold: F-value associated with a p-value of 5%) and were adjacent in space and time. Cluster-level statistics were computed by taking the sum of F-values within each cluster. The distribution of the cluster-level statistics under the null hypothesis was obtained by repeating this procedure for 5000 permutations of random re-labeling of the conditions. Clusters whose test-statistics fell in the highest 5th percentile of its reference distribution were considered significant.

RESULTS

Behavioral performance

In order to confirm the participant's attention to the experimental task, their performance was measured during catch trials that occurred after presentation of 20% of the sentences. The overall accuracy measures show a mean ceiling performance of 95% (SE = 4.65), 96% (SE = 4.42) and 97% (SE = 2.83) for the HC, MC and LC sentences respectively. There were no significant differences in accuracy with respect to the different conditions (Accuracy: $F(2, 31)$

= 0.47, $p = 0.627$). This indicates that the participants were paying attention to the content of the presented sentences.

Event-Related fields after target word onset

In this experiment, participants read words preceded by a context with different degrees of constraint (three context-constraint conditions: high, medium and low context constraints) while brain signals were recorded online. We first analyzed the effect of context constraints on the event-related fields upon target word presentation. Based on previous literature (DeLong et al., 2005; Kutas & Federmeier, 2011) we expected a monotonous relationship between cloze probability and the M400 component. Consistently, as can be seen from the amplitude fluctuations of the event-related activity (Fig. 2), amplitude differences between the three conditions emerged within the typical M400 time-window. The M400 amplitude strength decreased with increasing cloze probability, such that the HC condition displayed the lowest M400 amplitude, followed by the MC and LC conditions. The cluster-based statistics revealed a main effect of context constraints on the M400 amplitude strength in a pre-defined time window of 250 ms to 600 ms after target word onset; this effect was most pronounced over a left-frontal localized cluster of sensors (Fig. 2, cluster $p = .005$). The post-hoc contrasts (based on pairwise T-tests) revealed that the effect was mainly driven by a difference between HC vs. LC ($p < .001$) and HC vs. MC ($p = .013$). Although the M400 amplitude was smaller for MC than for LC condition, this difference was not significant. These effects were overall in line with the current literature showing that the M400 amplitude reflects semantic retrieval and unification of the target word with the preceding context.

Alpha/Beta power modulations before target word onset

Next, we investigated the effect of content constraints on alpha and beta power modulations before target word onset. Based on earlier research (Wang et al., 2017), an effect was suggested to occur during the delay period, just before the display of the target word. The cluster-based statistics for the alpha (8-12 Hz) frequency band revealed a significant difference between all three conditions with regard to power ($p = .019$) for a time-window of -540 ms to

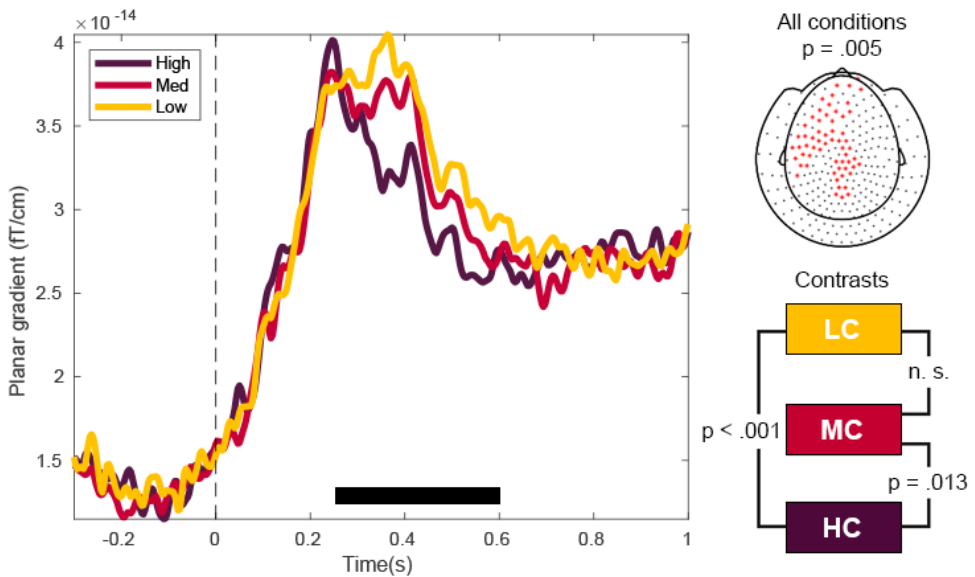


Figure 2: The event related fields of the M400 component at target word onset as averaged across channel clusters. The M400 amplitude is gradually modulated by the degree of context constraints, resulting in the lowest amplitude in HC, followed by MC and LC. The black horizontal line in the main figure highlights the time window [250 ms, 600 ms] pre-defined for the spatial cluster-based permutation test. The upper right topography shows the MEG sensors that formed a cluster as result from the statistical comparison of the conditions. The effect is most pronounced over left lateralized sensors.

0 ms relative to target word onset. This effect was most pronounced over a widespread set of sensors, including anterior, central and posterior sensors (Fig. 3). Over these sensors, alpha power showed the strongest decrease for the MC condition, followed by HC and LC (Fig. 3). The post-hoc contrasts of these conditions indicate that the power decrease is significantly different between HC vs. MC ($p = .023$), MC vs. LC ($p < .001$), and HC vs. LC. ($p = .026$). Post-hoc comparisons of power (averaged over $t(\alpha) = -540 - 0$ ms and $t(\beta) = -450$ ms - 0 ms) with respect to the whole spectrum (2 Hz to 30 Hz) showed that the strongest difference between context constraints peaks in the lower alpha range (8 Hz, Fig. 4).

We performed source reconstruction to allow for a more detailed description of the brain areas involved in the observed sensor-level effect. Source-level statistical evaluation indicated that this effect was most pronounced in pari-

etal areas, with a bias to the right hemisphere (Fig. 5, $p = .003$, cluster-based corrected).

The sensor-level analyses in the beta (16-20Hz) frequency band revealed a similar tendency as for the alpha results, though the effects were not significant (cluster with lowest p-value in cluster-based corrected statistics: $p = .077$, see Fig. 6,7).

Source statistics in turn indicated a significant F-contrast across all conditions with the effect being most pronounced over a set of frontal and parietal areas, biased to left frontal cortex (Fig. 8, $p = .002$, cluster-based corrected). The power fluctuations were, similar to the results on alpha power, non-monotonically related to each other. The MC condition was again displaying the strongest decrease followed by HC and then the LC condition (Fig. 6, 7).

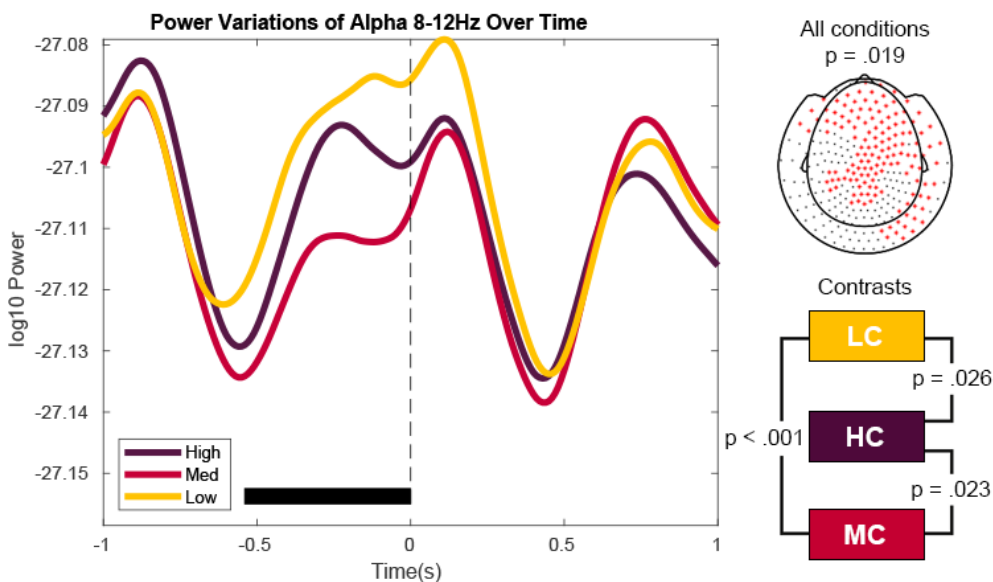


Figure 3: Alpha power fluctuations vary as a function of context constraint before target word onset as averaged across channel clusters. The black horizontal line in the main figure highlights the time window [-540 ms, 0 ms] of the spatio-temporal cluster for which the difference between conditions was significant. The upper right topography shows the MEG sensors of the cluster. The effect of context constrains is most pronounced over frontal and posterior sensors. Over these sensors, alpha power showed the strongest decrease for the MC condition, followed by HC and LC.

Alpha/Beta power modulations after target word onset

To cover any oscillatory effects within the M400 sensitive time-window, alpha and beta power modulations were investigated as a function of context constraints after target word onset. The individual cluster-based statistics for both frequency bands revealed no significant difference between the three conditions with regard to power, within this particular time-window.

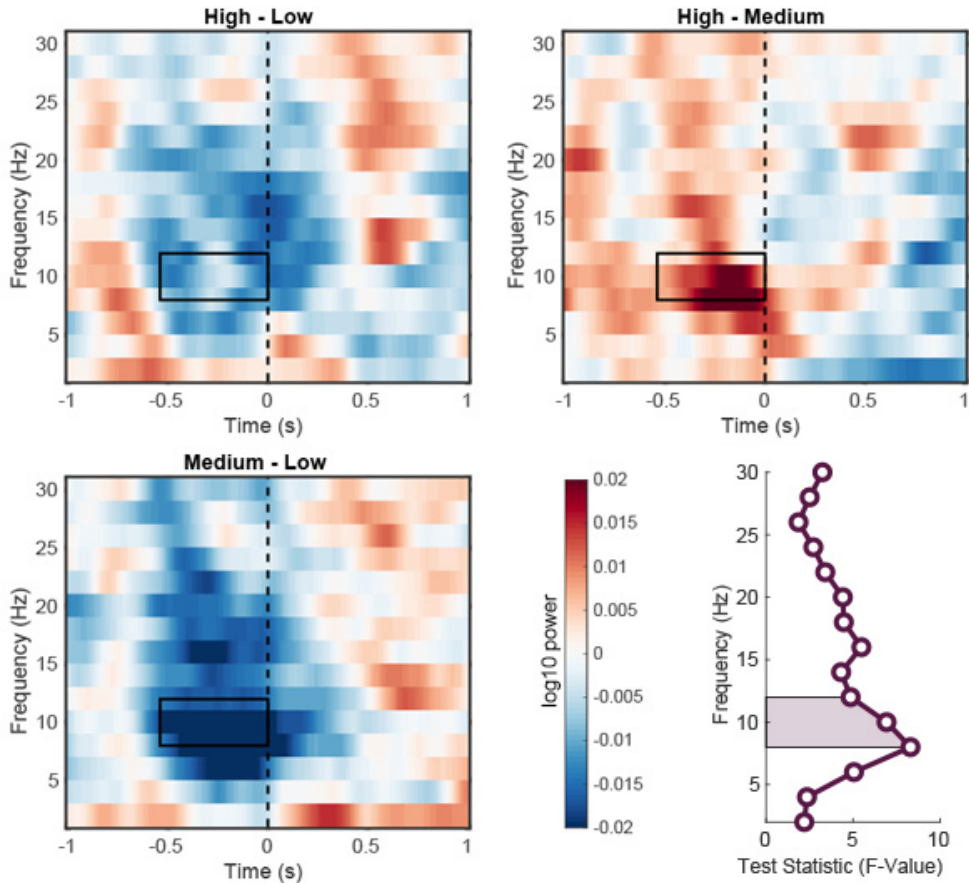


Figure 4: Time-frequency power contrasts between context constraint conditions within the alpha band sensor cluster. Time-frequency plots indicate power as averaged across sensors that were identified by the cluster-based permutation statistics of the alpha frequency band (8-12 Hz). The dashed line marks the onset of the target word. The rectangle indicates the time-window of the respective cluster, and alpha frequency band. Lower right figure shows the F statistics of the main effect of context constraints across frequencies, averaged within the time window [-540 ms, 0 ms]. The area under the curve indicates the pre-defined alpha frequency range used for cluster based analysis (8-12 Hz). The effect of context constraint is stronger in the lower alpha range (8 Hz).

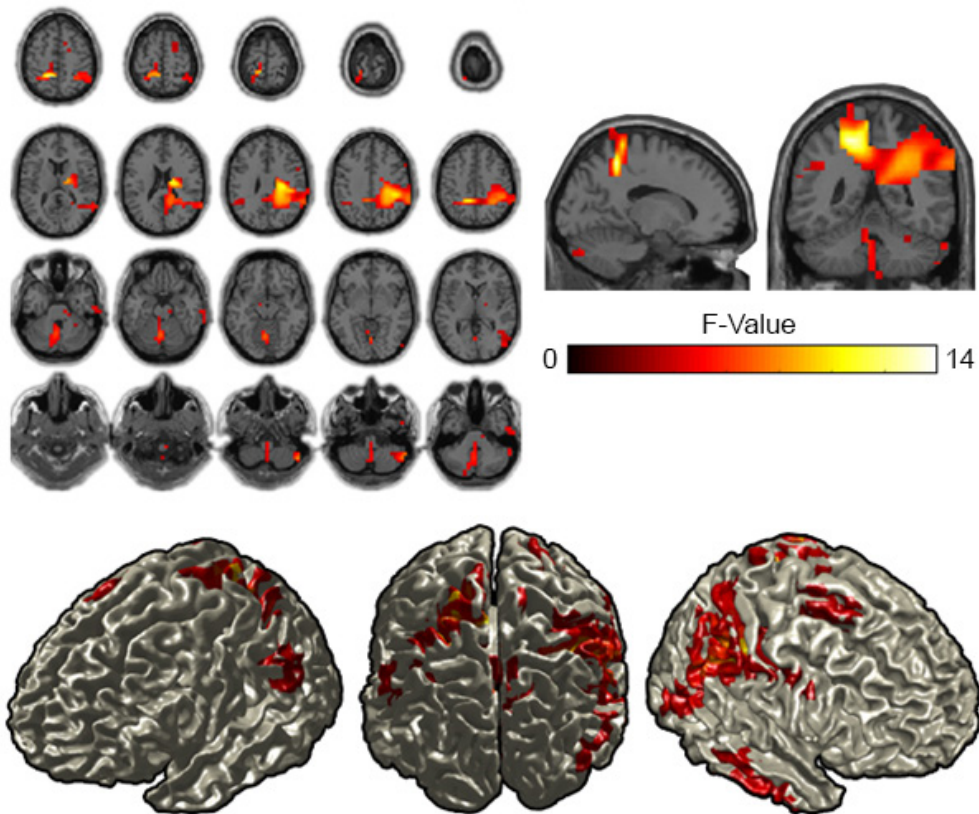


Figure 5: Reconstruction of the effect of context constraints in the alpha range (8-12 Hz). The source statistics reveal that the effect of the context constraint manipulation is most pronounced over left and right parietal regions. Upper figures show horizontal and sagittal as well as coronal slices for the alpha frequency band. Lower figures represent surface plots of the source statistics (F-values are thresholded at $p < .05$ and controlled for multiple comparisons using cluster-based permutation tests).

DISCUSSION

The current study investigated the role of pre-stimulus alpha and beta oscillations as a neural marker for sentence context constraints. Our results confirm the sensitivity of pre-stimulus alpha and beta power to different levels of constraint. Power of alpha and beta decreases when sentential context constraints are high as compared to when the context constraints are low, in line with previous findings (Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017). However, we report the strongest decrease in alpha and beta power for the medium context constrain conditions. The data contradicts our

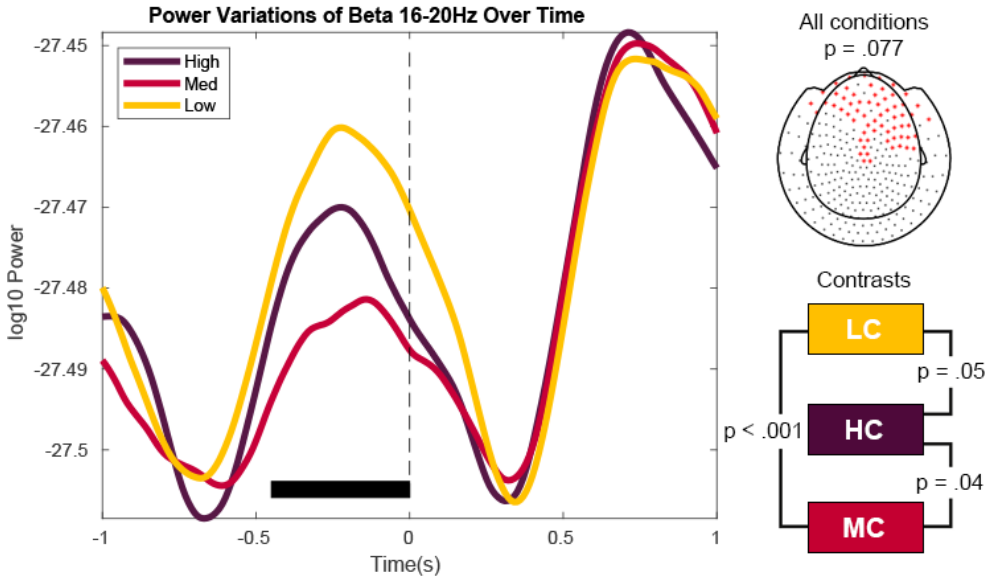


Figure 6: Beta power fluctuations as a function of context constraints as averaged across channel clusters. The striped line marks target word onset. The black horizontal bar indicates the time window of the cluster [-500 ms, 0 ms]. The right topography shows the sensors of the cluster. The effect of context constraints (which does not reach significance threshold) is most pronounced over frontal sensors. Over these sensors, beta power showed the strongest decrease for the MC condition, followed by HC and LC.

initial hypothesis and instead indicate that pre-stimulus alpha and beta oscillations are non-monotonically related to the amount of contextual constraint which in turn reflects the predictability of the sentence ending. In line with earlier findings, the M/N400 amplitude was monotonically modulated by the degree of constraint, resulting in the lowest amplitude for high, followed by medium and low context constraints. The results suggest that pre-stimulus alpha and beta oscillations and the M/N400 component are neural markers that relate to distinct processes during sentence context evaluation.

In agreement with classic findings, our results show the M/N400 magnitude monotonically decreases with increasing context constraints, and this finding can be taken as support for M/N400 integration and/or predictability accounts (Kutas & Federmeier, 2011). In contrast, the pre-stimulus alpha/beta power fluctuations do not linearly relate to the degree of predictability of the

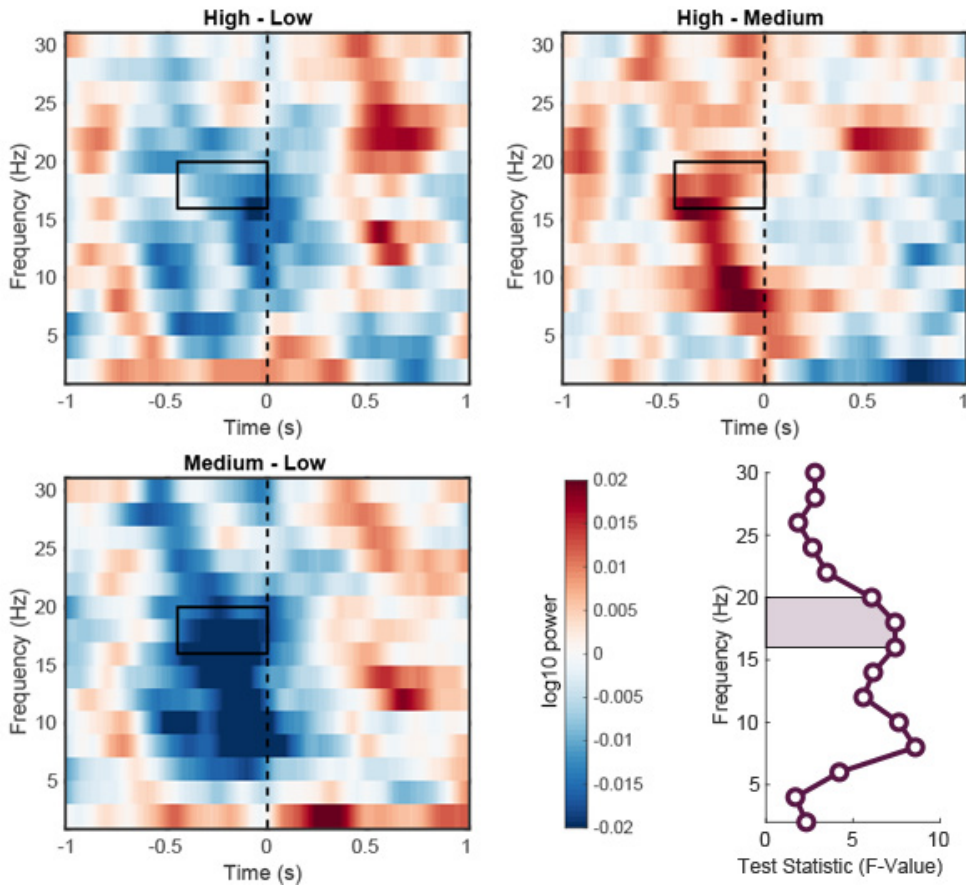


Figure 7: Time-frequency power contrasts between context constraint conditions within the beta band sensor cluster. Time-frequency plots are averaged across sensors that were identified by the cluster-based permutation statistics of the beta frequency band (16-20 Hz). The dashed line marks the onset of the target word. The rectangle indicates the time-window of the respective cluster, and the beta frequency band. Lower right figure shows the F statistics of the main effect of context constraints across frequencies, averaged within the time window [-500 ms, 0 ms]. The area under the curve shows the pre-defined beta frequency range used for cluster-based analysis (16-20 Hz). For this cluster (over frontal sensors) the effect of context constraint is strongest in the beta range (16-18 Hz) and in the lower alpha range (8-10 Hz).

target word given its sentential context. Our findings partially replicate previous results, showing that high context constraints induced a stronger alpha/beta power decrease than low constraint (Lewis et al., 2015; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017). Yet, the stronger alpha/beta power decrease for medium context constraints suggest that alpha and beta power does not reflect

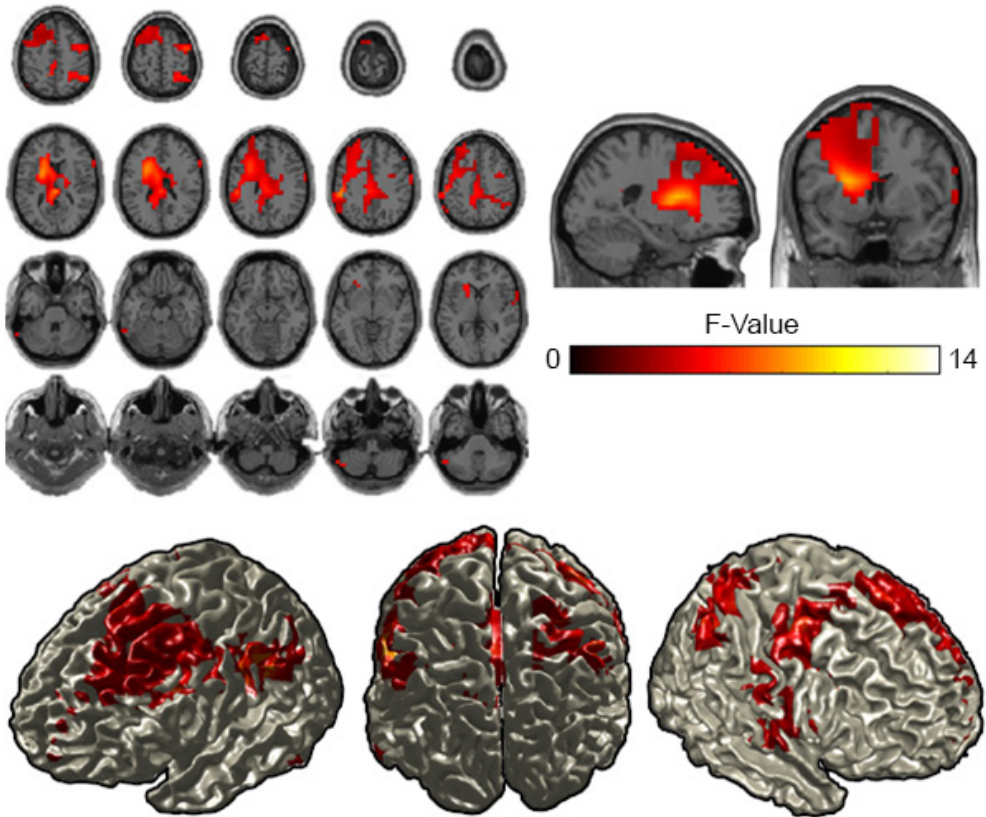


Figure 8: Reconstruction of the effect of context constraints in the beta range (16-20 Hz). The source statistics reveal that the effect of the context constraint manipulation is most pronounced over left and right dorso-lateral prefrontal regions and parietal regions. Upper figures show horizontal and sagittal as well as coronal slices for the beta frequency band. Lower figures represent surface plots of the source statistics (F-values are thresholded at $p < .05$ and controlled for multiple comparisons using cluster-based permutation tests).

the degree of predictability of the target word given its context. Furthermore, while we initially defined the alpha frequency band between 8-12 Hz as in previous reports (Jensen & Mazaheri, 2010; Lam et al., 2016; Mathewson et al., 2009; Rommers et al., 2017), post-hoc analysis show that the strongest effects of context constraint were observed in the lower alpha range around 8 Hz. This suggests that alpha effects previously linked to sentential constraint processing (Wang et al., 2017) may be more prominently observed in the lower alpha range. The interpretation of the results could still be framed

within the general mechanistic account of alpha being indicative of neuronal engagement (Jensen & Mazaheri, 2010), considering that lower alpha band activity in the 7-9 Hz has been linked to information gating regarding visual processing (Busch & VanRullen, 2010; Hanslmayr et al., 2013). In addition to the differences in amplitude fluctuations between pre-stimulus alpha and beta oscillations and post-stimulus M400, our effects exhibit distinct topographical properties. The sources of the M400 have previously been localized to temporal as well as prefrontal areas, with a stronger prominence in the left hemisphere (see Lau and colleagues (Lau et al., 2008)). The topography of the M400 results in the present study is in line with these common findings. In contrast, the sources of the pre-stimulus alpha and beta power changes cover distinct areas. Alpha power modulations were most pronounced over parietal areas, and beta power effects were most pronounced over dorsolateral prefrontal areas. While alpha and beta power reacted similarly to the amount of context constrain within a sentence, the source reconstruction of these effects suggest that alpha power modulations and beta power effects do not reflect the same process. These results capture different alpha and beta dynamics that were reported in studies contrasting low and high sentence context constraints processing only (Piai et al., 2015; Wang et al., 2017). These studies located the alpha and beta power differences predominantly over left inferior frontal areas and left middle and posterior temporal regions.

Pre-stimulus alpha and beta power modulations are not consistent with processes that relate to predictability. However, their dynamics and topographies could speculatively indicate that they relate to attention and/or working memory operations taking place during sentence processing (Piai et al., 2015). Alpha oscillations have been previously related to attentional gating and the maintenance of task relevant items in working memory (Bastiaansen et al., 2002; Bastiaansen & Hagoort, 2006; Hanslmayr et al., 2012; Jensen & Tesche, 2002; Piai et al., 2016; Röhm et al., 2001; Roux & Uhlhaas, 2014). Parietal alpha power is shown to decrease with working memory load during encoding (Boudewyn et al., 2015; Jensen & Tesche, 2002; Sauseng et al., 2005), and may reflect the relative engagement of networks involved in the encoding of items to keep in memory, and the active inhibition of task irrelevant items

(Roux & Uhlhaas, 2014). The dorsolateral prefrontal cortex is a crucial region recruited for working memory operations (Barbey et al., 2013; Duncan, 2010; Duncan & Owen, 2000). The beta activity reported in our study could potentially reflect working memory load processing capacity (Yoon et al., 2016). This mechanism is crucial during sentence processing, where pre-stimulus alpha and beta oscillations could be then involved in the preselection and maintenance of lexical candidates (Piai et al., 2015) (see also Piai and colleagues (Piai et al., 2014)). The set of target candidates that need to be retrieved and maintained should in particular be guided by semantic context (Levelt, 1993). We speculate that the amount of possible lexical items to be encoded and maintained might differ depending on the degree of constraint, which would lead to distinct alpha and beta power modulations before target word onset. Compared to low or high context constraining sentences, intermediate context constraints may generate the highest competition between lexical candidates. In the high context constraining conditions, few items are competing, which would require low working memory demands. In low context constraining conditions, the sentential context is broad enough that the number of alternative candidates for sentence ending would be much higher than working memory capacities, resulting in working memory processes being disengaged in this setting. Eventually, in medium context constraining settings, more distractors are to be maintained in working memory than in other context constrains conditions, which in turn is reflected by the stronger alpha power decrease.

As an alternative explanation, the changes in alpha and beta activity could also reflect an overall change of alertness or attentional lapses as a function of the predictability of the stimulus (Boudewyn & Carter, 2018; Boudewyn et al., 2015). In these studies, participants who had higher alpha power at the presentation of a relevant sentential context were more likely to discard this sentential information for incoming linguistic processing. A decrease in alpha power prior to target word onset could thus potentially reflect general higher levels of alertness that would affect the processing of relevant contextual words. However, we do not think that changes in alertness can explain our results as we controlled our design to result in similar levels of alertness across conditions by randomizing the presentation of the

sentences and matching linguistic features like word frequency and length.

In sum, using sentences with different context constraints that are matched on other linguistic variables like lexical frequency and word length, this MEG study shows that pre-stimulus alpha/beta power in the course of the sentence is modulated by context constraints. However, the alpha/beta power decrease is strongest for medium constraining sentences, which defies previous interpretations of this marker in light of a prediction mechanism. The non-monotonic sensitivity of the alpha/beta power fluctuations to these different levels of constraints highlight the importance of including intermediate conditions in language research. Therefore, our results do not support the hypothesis that alpha and beta oscillatory markers reflect linguistic predictability, and a mechanistic account relating alpha/beta oscillations and the degree of sentence context constraint remains to be elaborated.



Chapter 3

The Influence of the Encoding of Sentence induced Contextual Information on Functional Connectivity as marked by Alpha Oscillations

ABSTRACT

Directed interactions between dedicated brain areas for language processing have been shown to be frequency dependent. Specifically, during sentence reading, alpha (8-12 Hz) and beta (15-30 Hz) oscillations have been shown to mark opposite directional patterns of information flow. In this study, we aimed to reveal whether different sentence context constraints lead to observable changes in inter-areal interactions between regions of a language network as well. By focusing on the alpha frequency band, we hypothesized that varying strengths of constraints would influence connectivity between areas that include core language areas and bilateral frontal and parietal areas. To test this, we revisited earlier data of the influence of context constraint onto alpha power and used power correlations as well as Granger causality as our measures of connectivity. We found that different levels of constraints indeed lead to different correlational patterns, covering bilateral frontal, parietal and left anterior temporal areas. Yet, the directed connectivity strength between these regions does not differ as a function of context constraints. While we confirmed that alpha power correlations are sensitive to sentence context, future approaches should involve a broader frequency spectrum to investigate a potential frequency dependency in directed connectivity patterns, regarding the encoding of context constraints.

This chapter appeared in: Terporten, R., Hagoort, P., Kösem, A. & Schoffelen, J. M. (in prep.). The Influence of the Encoding of Sentence induced Contextual Information on Functional Connectivity as marked by Alpha Oscillations.

INTRODUCTION

Successful sentence comprehension results from dynamic interactions in a dedicated network of brain areas, which goes beyond the boundaries of a core left perisylvian language network (Cairns et al., 1981; Hagoort, 2013, 2016; Hasson et al., 2018; Moss & Marslen-Wilson, 1993; Rommers et al., 2012). Semantic context is built-up incrementally by processing bottom up linguistic information that is projected to the context building nodes. The built-up contextual information needs to be made available to other relevant nodes in the network in a top-down fashion (Hagoort, 2013; Markov et al., 2013; Zekveld et al., 2006). In this distributed functional network, neuronal oscillatory synchronization might facilitate inter-areal interactions (Bastos et al., 2015; Bonnefond et al., 2017; Fries, 2015; Schoffelen et al., 2017) as well as local processing (Bonnefond et al., 2017; Fries et al., 2001; Jensen & Mazaheri, 2010). Using Granger causality to investigate directed interactions between brain areas, a recent study showed these interactions to be frequency dependent during language processing (Schoffelen et al., 2017). Specifically, oscillations in the alpha frequency range (8-12 Hz) propagated from left anterior temporal areas to left inferior frontal areas. Beta oscillations (15-30 Hz) propagated in opposite direction.

This frequency specificity potentially supports the communication of contextual information. It remains to be established whether these frequency specific interactions are modulated by the amount of contextual information that is processed as the sentence unfolds. The encoding of contextual information during sentence processing has been shown to involve distinct brain regions of the language network, including (among others) left frontal and left temporal areas as identified with fMRI (Humphries et al., 2001; Johnson et al., 2009; Kristensen et al., 2014; Willems et al., 2016). Electrophysiological studies investigating the brain's oscillatory response to language reported local decreases in alpha power over left inferior frontal and left temporal areas. (Lam et al., 2016; Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017). Low frequency power decreases have been found to be stronger for highly sentence context constraining scenarios than for sentences with only weak constraints (Bastiaansen & Hagoort, 2015; Lam et al., 2016; Piai et al., 2017; Rommers et

al., 2017; Wang et al., 2017; Willems et al., 2008), which can be interpreted to reflect stronger engagement of the respective underlying brain areas (Jensen & Mazaheri, 2010; Wang et al., 2017). In a recent study, in which the degree of sentence context constraints was manipulated, alpha activity was found to be modulated predominantly over parietal regions (Terporten et al., 2019). Parietal areas are not only known to be involved in language processing, (Fedorenko et al., 2012; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2016) but are also linked to cognitive control operations, (Fedorenko et al., 2012; Kristensen et al., 2013) which relate to the allocation of attention (Kristensen et al., 2013), working memory processes (Piai et al., 2016; Piai & Roelofs, 2013) and/or executive functioning (Hartsuiker, 2014; Klaus & Schutter, 2018).

Parietal areas were not investigated as region of interest in (Schoffelen et al., 2017) and measures of functional connectivity modulated by different degrees of sentence context constraints were not employed in Terporten et al. (2019). Here, we aim to uncover whether and how varying degrees of context constraints indeed lead to observable changes in inter-areal interactions between regions of the language network. To this end, we revisited data collected by Terporten et al. (2019) and defined a parietal seed region from the source reconstruction of contextual modulations of alpha power. Because the effect of context constraints was found for alpha (8-12 Hz), we restricted our current connectivity approach to this frequency band. Alpha band activity was correlated between the seed region and all other areas of the brain. Differences in correlation between conditions could potentially point to nodes in a distributed network that are modulated by contextual information. Brain areas that correspond to such a network were selected for subsequent Granger causality analysis, to reveal potential differences in inter-areal interactions. Both functional connectivity approaches were used to investigate 1) whether a context sensitive functional network with regard to the alpha frequency band can be identified, 2) whether this network changes its characteristics of inter-connections with varying degrees of context constraint and 3) if the topography can be functionally related to cognitive control or language processes.

Because a difference in alpha power was found over a set of frontal and parietal

areas in Terporten et al. (2019), we predicted that a connectivity approach to the comparison of multiple degrees of sentence context constraints results in a distributed functional network that possibly lies outside of a core language network. Furthermore, we expected that this functional network would dynamically adapt its directed interactions to the different degrees of sentence context constraints.

METHODS & MATERIALS

Experimental procedure and data acquisition

All analyses described here were based on the experimental procedures and acquired data previously obtained by Terporten and colleagues (Terporten et al., 2019). Thirty-five healthy Dutch native speakers were asked to read Dutch sentences, which were presented word by word on a screen, while brain activity was measured with a 275 axial gradiometers CTF Omega MEG system. The linguistically matched sentences differed in their degree of context constraint, which has an influence on the certainty to which the final word (the target word) of the sentence can be predicted by the participants. Three degrees of context constraint were introduced by the set of sentences: high, medium and low constraints. Each participant read 203 sentences which were equally divided into low, medium and high context constraints. Using the Matlab open-source toolbox Fieldtrip, all data was epoched relative to target word onset, low-pass filtered at 150 Hz, and 50 Hz line noise was removed in advance of further analysis. MEG jump, muscle, eye movement and cardiac related artifacts were removed using a combination of a visual artifact rejection procedure and independent component analysis.

Source reconstruction and specification of seed region

Terporten and colleagues (Terporten et al., 2019) showed that varying degrees of sentence context constraints modulate alpha (8-12 Hz) power, shortly before target word onset. Here, we aimed to quantify whether functional connectivity in the alpha band was also modulated by the degree of sentence context constraints. To this end, we first defined a seed region, which was defined as the 3-dimensional grid point that showed the strongest context con-

straints dependent modulation (Fig. 1). Source reconstruction of alpha power was performed using Dynamical Imaging of Coherent Sources (DICS) beamforming (Gross et al., 2001). We created subject specific volume conduction models according to (Nolte, 2003) from the individual anatomical MRIs. The source model was created as a 3-dimensional grid with a 6 mm resolution. Anatomical landmarks of the nasion and two auricular fiducials were manually identified and used to achieve the co-registration of the volume conduction model and the MEG sensors, which was additionally guided by subject-specific three-dimensional digitized representations of the scalp, using a Polhemus digitizer. Spatial filters were computed using a combination of the Fourier coefficient matrices from all three conditions (high, medium, low constraints) combined. These Fourier coefficients were calculated by using the Fast Fourier transform of the data with multitapering, including a 10 Hz center frequen-

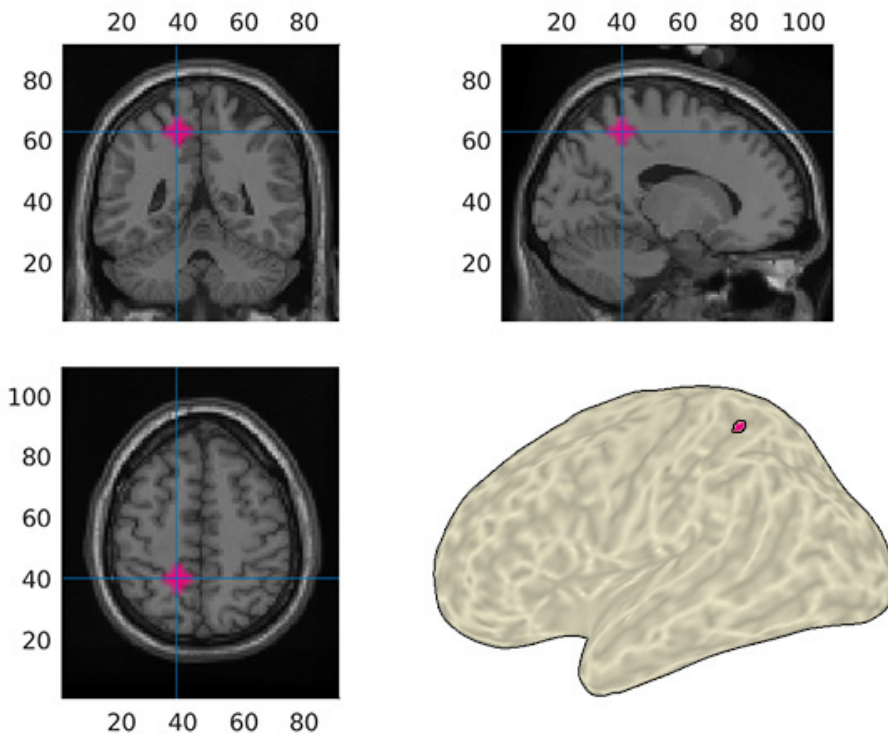


Figure 1. Source-reconstructed visualization of the parietal seed region that was used for the connectivity analyses.

cy to focus on the alpha frequency band. For the spectral decomposition we used epochs from 540 ms to 0 ms relative to target word onset, which is the time window with the strongest context constraints dependent power changes.

Source reconstructed alpha power was compared across conditions, using a dependent samples F-statistic, and evaluated with cluster-based permutation statistics (see below). This evaluation showed a significant difference across the three sentence context constraints. The largest F-value was observed in a location in left dorsal parietal cortex. This parietal location was defined as seed region, to identify the functional network for subsequent analysis.

Spearman power-power correlation

We computed the connectivity between the parietal seed region and the rest of the brain, using the Spearman rank correlation coefficient of band-limited power in the alpha band. To this end, we first calculated source level alpha power for each grid point and for each trial. The dipole level Fourier coefficients were computed by multiplying the sensor level Fourier data (multitaper, 10 Hz center frequency, taper smoothing frequency of 4 Hz, -540 ms to 0 ms relative to target word onset) with the beamformer spatial filter, obtained from the source analysis as described above. With the Fourier data being available for each grid point, the power was calculated, and averaged over the individual taper data that resulted from the initial multitapering approach.

Rank correlations were computed between the parietal seed region and the rest of the brain. In order to reduce noise in the estimated correlation maps, exploiting the spatial blurriness of the beamformer, the grid point of the seed region was extended to a three-dimensional cross by adding one grid point to either side of the original one. Thus, we computed the seed-based correlation maps as the average across the seven individual dipolar seed-based maps. Alpha power correlations were calculated for each of the three context constraining conditions separately. To enhance interpretability of the data, spatial noise was further reduced by applying non-homogeneous smoothing to the correlation data as described in Schoffelen and Gross (2011). The correlational data for the different context constraining conditions was compared based on cluster-based permutation statistics.

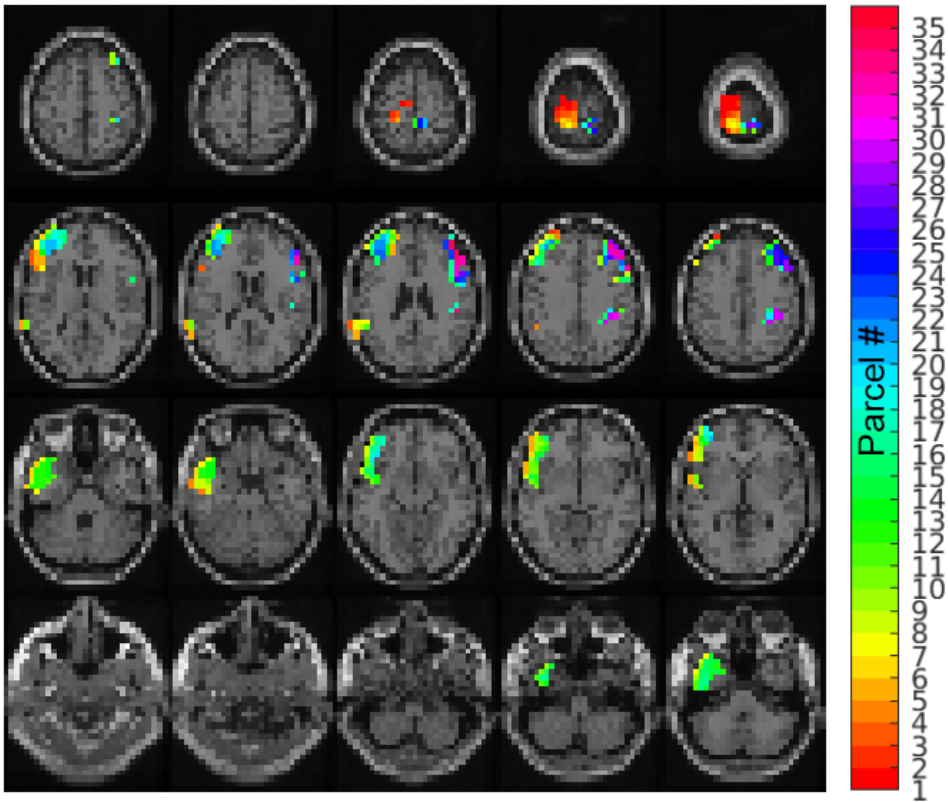


Figure 2. Interpolation of volumetric parcels onto the MRI template, color-coded by parcel number. A parcel was selected when at least 50% of its grid points were overlapping with the grid points that belonged to the top 10% of F-values from the statistical comparison of all three context constraining conditions. These parcels were used to calculate the bivariate Granger causal estimates.

Parcellation and frequency resolved Granger causality

Based on the results from the correlation analysis described above, we defined a set of regions-of-interest. This was achieved by using a volumetric, atlas-based parcellation scheme. The volumetric atlas was a custom version of the Conte69 atlas to resemble the surface atlas used in Schoffelen et al. (2017). With this parcellation scheme we ended up with 187 parcels per hemisphere. For subsequent Granger causality computations, we selected parcels for which more than 50% of the respective grid points, overlapped with the grid points that belonged to the top 10% F-values. F-values resulted from

the statistical comparison between all three conditions of the correlational data. This this led to the selection of 35 parcels (Fig. 2). For each parcel we selected a grid point that was in the center of the parcel. These parcel specific grid points were used as ROIs for the Granger causality computations.

The Granger causality computation was accomplished in a three-step approach, which first involved the spectral decomposition of the signals at the sensor level. Fast Fourier Transform was applied to the time domain data for each separate condition for a time-window of -540 ms to 0 ms relative to target word onset using multitapers (including 5 Hz taper smoothing frequency). Second, the data were projected into source space by using the ROI specific spatial filters obtained with a Linearly Constrained Minimum Variance (LCMV) beamformer. For each condition, bivariate frequency resolved Granger causal estimates were computed between all pairs of ROIs, using non-parametric spectral factorization (Dhamala et al., 2008). This selection procedure resulted in 595 pairwise connections of the initial 35 parcel specific grid points. To distinguish between weak asymmetries that are due to a difference in signal-to-noise ratio (SNR) and strong asymmetries of Granger causality, we also computed Granger causality of a time-reversed version of the signal, averaged over all three conditions. From the 35 parcel specific grid point selection, only parcels were used for condition specific comparisons in Granger causality, for which the difference between Granger causality and its reversed version were statistically significant across subjects at $p < 0.05$ (one-sided t test, Bonferroni corrected).

Cluster-Based permutation statistics

Non-parametric cluster-based permutation tests (Maris & Oostenveld, 2007) were performed for statistical evaluation. The effect of context constraints (three levels: HC, MC, LC) was quantified by computing F-statistics for each gridpoint over trials. Subsequently, these test statistics were used to define clusters for the non-parametric statistical testing: clusters consisted of samples with F-values above threshold which are associated with a p-value of smaller than 5% and were adjacent in space. Cluster-level statistics were calculated by taking the sum of F-values within each cluster. This procedure was repeated for 5000 permutations of random relabeling of the

conditions in order to obtain the distribution of the cluster-level statistics under the null hypothesis. The observed cluster-level statistics were tested against the reference distribution. The test-statistic was considered significant if it belonged to the highest 5th percentile of its reference distribution.

RESULTS

Spearman power-to-power correlations of alpha power

Alpha power-to-power correlations between the parietal seed region and the rest of the brain differed significantly between sentence context constraints ($p = .002$, cluster corrected for multiple comparisons). The F-statistics in source space (thresholded for top 10% F-values) revealed a distributed set of areas for which alpha power is differently correlated with the parietal seed region with respect to each condition, including left anterior temporal, left and right frontal areas as well as the right insula (Fig. 3). Subsequent pairwise conditional contrasts of the alpha power correlations between the parietal seed and the rest of the brain were calculated (Fig. 4) and the T-statistics (cluster corrected for multiple comparisons) were interpolated onto the brain surface for visualization. These maps revealed that it strongly depends on the contrast for which areas show a difference in alpha power correlation with the seed region. More specifically, contrasting HC vs. LC ($p = .002$, corrected) resulted in the most widespread set of areas, including left and right frontal, left anterior temporal areas, left angular gyrus and right insula. The other contrasts HC vs. MC ($p = .017$, corrected) and MC vs. LC ($p = .028$, corrected) however displayed areas that were much more restricted to frontal or parietal areas. Depending on the contrast, it could be suggested that either a different network is engaged or the strength of the connectivity between a same set of areas (left frontal) and the parietal seed region is modulated. These results also revealed that the distribution of t-values is mostly negative for each of the contrasts (Fig. 4). This indicated that the distribution of condition specific alpha power correlations was overall lowest for HC, followed by MC and LC. This led to the suggestion that overall connectivity strength between the parietal seed and largely bilateral frontal areas, was weakest during encoding of strong

contextual constraints. Connectivity strength between frontal and parietal areas was in turn increased during encoding of weak contextual constraints.

Granger causality is affected by context constraints

The statistical comparison between Granger causality and reversed Granger causality did not result in a parcel specific difference that was considered significant. Because the manipulation could lead to only subtle differences in connection strength, we still statistically compared Granger causality between context constraining conditions for the 35 parcels. This statistical comparison did not reach the significance threshold of $p < 0.05$. Connection strength does thus not differ between parcel-specific grid points as a function of sentence context constraints for the alpha (8 – 12 Hz) frequency range.

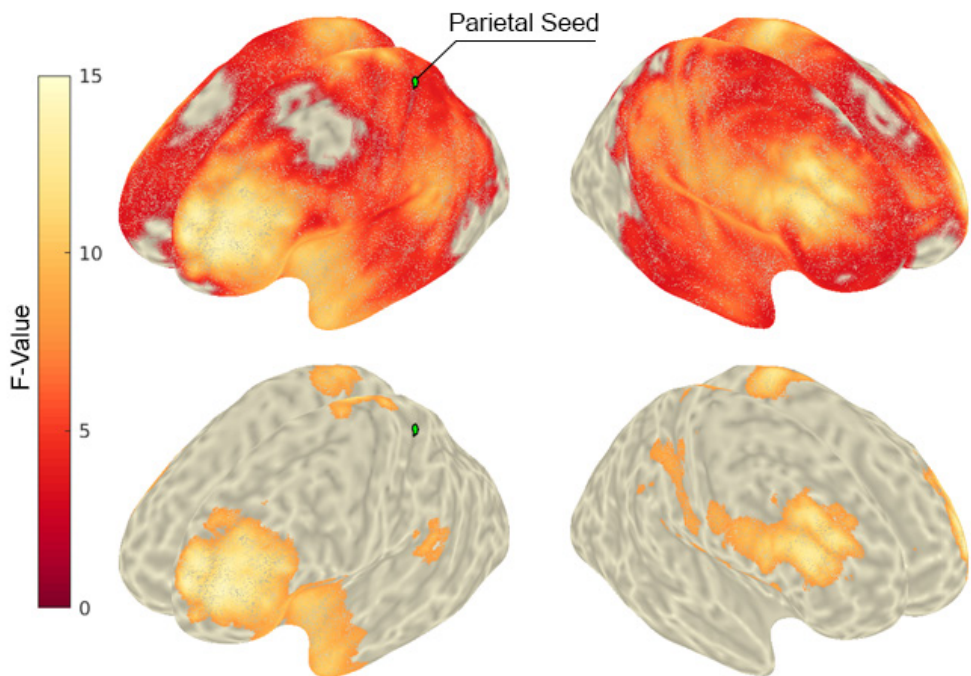


Figure 3. Statistical comparison of Spearman power-to-power correlations for all conditions of different degrees of sentence context constraints between the seed and the rest of the brain. F-values are plotted onto an inflated brain surface. The upper plots show the distribution of F-values that correspond to p-values which fall under the significance threshold of $p < 0.05$ (corrected for multiple comparisons). The lower plots show the distribution of the top 10% of F-values.

DISCUSSION

Whether frequency specific interactions between brain areas are modulated by the amount of contextual information of a sentence remained an open question. Here, by revisiting data from Terporten and colleagues (Terporten et al., 2019) we aimed to investigate whether and how multiple degrees of context constraints lead to observable changes in inter-areal interactions between regions of the language network. To this end, alpha (8-12 Hz) power was correlated between an a-priori defined parietal seed region with alpha power across the rest of the brain as a function of sentence context constraints. Conditional differences in correlation strength were thought to point to areas of a functional network which are sensitive to the manipulation. The areas identified by the correlation analysis served as ROIs for Granger causal estimates to reveal conditional differences in inter-areal directionality of information flow.

The results on the alpha power correlations between the parietal seed and the rest of the brain revealed sensitivity to the context constraint manipulation. This sensitivity is expressed over areas including left and right frontal, left parietal, left anterior temporal and part of the right the insula (Fig. 3). These results fit earlier findings on alpha as representing a sensitive functional marker for the contextual constraints (Terporten et al., 2019). Additionally, the findings fit our expectation that differences in alpha power correlations can be used to identify areas of a functional network that is sensitive to our manipulation. Conditional differences in alpha power in these areas could relate to local differences in neuronal engagement (Jensen & Mazaheri, 2010). This in turn suggests that the identified functional network is up- or down regulated depending on the constraints provided by a sentence's context.

Pairwise comparisons of the alpha power correlations suggest that the identified areas differ depending on the condition-specific contrasts that were used (Fig. 4). This means that it is not the same areas that correlate differently with the parietal seed as a function of context constraints. It means that different areas become sensitive to the manipulation as expressed by their difference in alpha power correlation with the parietal seed. The topographies of the conditional contrasts cover largely frontal and parietal areas. A statistical comparison be-

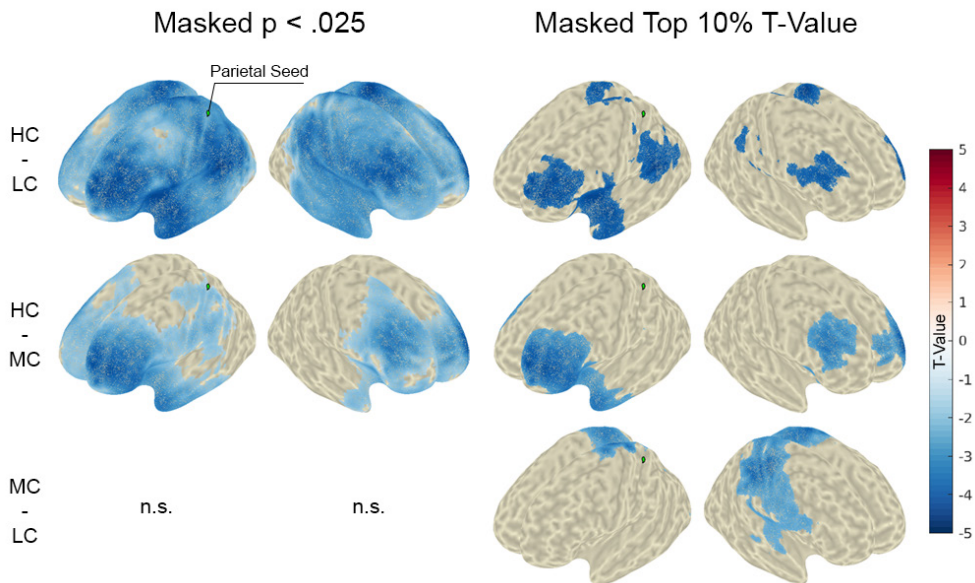


Figure 4. Pairwise conditional contrasts regarding alpha power correlations between the parietal seed and the rest of the brain. T-statistics are interpolated onto an inflated brain surface. The inner plots show the distribution of t-values that correspond to p-values that fall below the significance threshold of $p < 0.025$ (corrected for multiple comparisons). The outer plots show the distribution of the top 10% of t-values of the respective contrast.

tween all three levels of context constraints, reveals areas for which the alpha power correlations differ most (Fig. 3). Strong contextual constraints resulted in weaker alpha power correlations than weaker contextual constraints. This in turn suggests that also the strength of the directed connections between these areas differs for the alpha frequency band, as a function of context constraints.

This suggestion is not confirmed by the estimates of Granger causality. Connection strength did not differ between the true signal and the time-reversed signal. This means that no parcel-specific strong connections can be identified within the alpha frequency band that justify a further exploration of conditional differences in Granger Causality. While we still explored the possibility that our manipulation might lead to subtle differences in Granger Causality, the statistics again confirmed that connection strength did not differ as a function of sentence context constraints. Unlike Schoffelen and

colleagues (Schoffelen et al., 2017) we are unable to show that sentence reading affects directed interactions of dedicated brain areas in a frequency dependent manner. This might be due to a lower number of subjects tested in the current study as compared to Schoffelen and colleagues (Schoffelen et al., 2017) as well as a lower number of critical trials. The larger number of subjects and trials in Schoffelen et al. (2017) might have increased the SNR for estimations of directed connection strength. The selection of the ROIs also differs between the current approach and Schoffelen et al. (2017). Here, we selected center grid points for each parcel, while Schoffelen and colleagues (Schoffelen et al., 2017) extracted the components of the parcel-specific signals that explained most of the variance within a parcel. Our method could have resulted in a selection of grid points with a small SNR. Future approaches could either adapt the method from Schoffelen et al. (2017) or use an average of the signal over the parcel-specific grid points to increase SNR.

Some potential confounds need to be addressed regarding the interpretation of the results. The widespread correlation patterns might be a result of an overall conditional difference in signal-to-noise ratio (SNR) between conditions. For conditions in which alpha power is high, the signal of interest might be amplified which results in higher correlations and/or a bias in the strength of directed connections. As a consequence the patterns could merely result from SNR dependent field spread (Bastos & Schoffelen, 2016). A stratification approach in which power is equalized between conditions by a trial rejection procedure could address this confound. It should be noted however that the current approach benefits from investigating contrasts of carefully controlled conditions which assumes that SNR is equal between conditions. In addition, the current approach is based on source-reconstructed data which provides an estimate of the underlying sources (Schoffelen & Gross, 2011). It should be noted that the current approach only considers the alpha frequency bin to directly relate to the results in Terporten et al. (2019). In Schoffelen et al. (2017) a broader frequency spectrum was investigated including amongst others the beta frequency band (15-30 Hz). Directed information flow from left inferior frontal to left anterior temporal areas indicated opposite patterns for alpha and beta. Besides the current focus on the alpha frequency bin, a

broader spectrum should be considered for future connectivity approaches.

Taking these considerations into account, the current results can be functionally linked to language processing and domain general cognitive control processes. Left temporal areas have been related to the retrieval of lexical items (Hagoort, 2016). The anterior temporal lobe is often associated with the processing of semantic information or the processing of conceptual object representations (Hagoort, 2013; Peelen & Caramazza, 2012; Rice et al., 2015). Bi-lateral frontal areas as well as the right insula have been suggested to relate to a multiple demand (MD) system (Fedorenko et al., 2012; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014) which supports processes like attention, working memory and cognitive control operations. Inter-areal interactions between frontal and temporal areas potentially underly the preselection of lexical items during language processing (Kuperberg & Jaeger, 2016) or unification operations (Hagoort, 2016, 2019). A potential interaction between left temporal areas and the right insula have been related to language processing as well (Ardila et al., 2014; Oh et al., 2014). Yet, with the functional contribution of the right insula could also make part of a multiple demand network (Crittenden & Duncan, 2014; Duncan, 2010; Nelson et al., 2010).

Interactions between a language processing system and domain general cognitive control system can be reconciled within a ‘core – periphery’ framework of language processing (Fedorenko et al., 2012; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014). Within this framework, the ‘core’ represents a left-lateralized network of brain areas that is dedicated to language processing. The ‘core’ network dynamically makes use of functional connections with a ‘periphery’ of brain areas that support domain general cognitive control operations. This view gains support from studies in which semantic or syntactic complexity leads to an increase in demands put on working memory or attention (Duncan & Owen, 2000; Peelle et al., 2010; Piai et al., 2016; Piai & Roelofs, 2013). Linguistic information itself can lead to an increase in attentional focus (Kristensen et al., 2013; Wang et al., 2011). The current results potentially reflect this inter-areal interaction between a language ‘core’ and a domain general cognitive control ‘periphery’ and highlights that local

sentence context constraints have an influence on this interaction. The correlational results further lead to the suggestion that frontal and parietal areas - which make part of a domain general network - are more strongly connected to each other as context constraints become weaker. Based on this finding, it could be argued that domain general mechanisms are potentially more engaged upon encoding of weakly constraining contextual information.

The design used in Terporten et al. (2019) does not directly manipulate cognitive control mechanisms. This means that the exact functional contributions of the local areas and their connectivity must largely rely on inverse inference, which in of itself can be misleading (Hasson et al., 2018; Poldrack, 2006). Furthermore, the topographic differences found for the alpha power correlations are widespread, covering various parts of the brain. This makes it difficult to narrow down the exact areas that make part of a potential functional network. Irrespective of these difficulties, the current results still emphasize that alpha oscillations serve as a viable functional marker to investigate how multiple degrees of context constraints lead to observable changes in inter-areal interactions.

In sum, the current analytical revisit of the data from a previously conducted study on sentence processing (Terporten et al., 2019) reveals that the alpha (8-12 Hz) frequency band marks changes in connectivity, as indicated by power correlations, between a distributed set of brain areas as a function of sentence context constraints. The connectivity changes can be functionally integrated into a language ‘core’ and ‘periphery’ framework (Fedorenko & Thompson-Schill, 2014) in which left perisylvian core language areas dynamically interact with a domain general cognitive control system. This dynamic interaction is thought to flexibly support language comprehension as the local degrees of sentence context constraint change.



Chapter 4

The Interaction of Context Constraints and Predictive Va- lidity during Sentence Reading

ABSTRACT

Sentence contextual information supports mechanisms that underly both the prediction and integration of subsequent linguistic input. It remains an open question how and whether these mechanisms interact during sentence processing. To this end we employed an experimental paradigm in which we orthogonalized sentence context constraints and predictive validity. While recording electroencephalography, participants read sentences with three levels of sentential context constraints (high, medium and low). Participants were also separated into two groups, which differed in the proportion of valid congruent target words that could be predicted from the sentential context. For both groups we investigated modulations of alpha power before, and N400 amplitude modulations after target word onset. The results indicate that both neural markers are influenced by the degree of context constraint but are robust to modulations in predictive validity. While the N400 amplitude is gradually decreased with higher context constraints, alpha power is non-monotonically influenced, displaying the strongest decrease for high context constraints over frontal electrode sides. Alpha power modulations before target word onset can therefore not be directly linked to target word predictability. The robustness of these neural markers to modulations in predictive validity supports the assumption that top-down strategies that could be employed by the participants to achieve the task goal, are less influential during the employment of mechanisms that support linguistic prediction or integration.

This chapter appeared in: René Terporten, Eleanor Huizeling, Karin Heidlmayr, Peter Hagoort, & Anne Kösem (in prep.). *The Interaction of Context Constraints and Predictive Validity during Sentence Reading*.

INTRODUCTION

Contextual information encoded during sentence reading is known to facilitate the processing of new linguistic input (Kuperberg & Jaeger, 2016). While this phenomenon is well documented (DeLong et al., 2005; Frank et al., 2015; Freunberger & Roehm, 2017; Ito et al., 2016; Kutas & Federmeier, 2011; Van Petten & Luka, 2012), the mechanisms at the origins of the processing of sentential linguistic information are still debated (Huettig, 2015; Huettig & Guerra, 2019; Nieuwland et al., 2019). The effects of context constraints could occur incrementally via integration mechanisms, which consist in integrating the (bottom-up) activated word meaning with its context after its presentation (Bar, 2007; Gerrig & McKoon, 1998; Huettig, 2015; Lau et al., 2012). Conversely, the processing of contextual information could result from prediction mechanisms (Federmeier et al., 2007): based on the contextual information, the brain would build predictions about certain linguistic features of the incoming words prior to the arrival of the sensory evidence.

While both, integration and prediction accounts of language processing, have received experimental support, a remaining outstanding question is whether both mechanisms interact during sentence analysis, and under what circumstances one mechanism prevails the other. In a recent discussion (Huettig, 2015), it is elaborated that distinct contextual processes could potentially be recruited depending on the strategic approaches of the participant, to achieve the task specific goal. In line with this, semantic priming tasks indicate that the amplitude of the N400 evoked response to a target word is not only dependent on the prime word but also on the experimental setup, specifically the proportion of valid primes in the design (Brown et al., 2000; Holcomb, 1988; Lau et al., 2012). Going beyond single word processing, different task instructions for sentence reading influence the effect of context constraint onto brain responses: the N400 amplitude at the target word is stronger when participants were explicitly asked to predict the word, compared to when they were asked to understand the sentence (Brothers et al., 2017, 2019).

These results show that top-down strategies are likely to have an influence onto context constraint processes. Crucially, they also suggest that

these top-down influences tap onto predictive processes, to the extent that experimental manipulations relied on task instructions (asking participants to explicitly predict a target word), or by manipulating the predictive validity of primes in the setup. However, it is argued that such strategic enhancement of prediction mechanisms in sentence analysis may be restricted to certain lab settings, using very predictable text materials and asking explicitly to predict during the tasks. When controlling for these factors during natural language processing, the impact of prediction mechanisms seems limited (Huettig & Guerra, 2019; Nieuwland et al., 2019; Nieuwland et al., 2018). Particularly, it remains unclear whether strategic prediction mechanisms impact the processing of less context constraining sentences.

The current study addresses this issue by manipulating separately the influence of linguistic predictive validity over a set of sentences with varying degrees of context constrains. To this end, participants passively read sentences with either a high (HC), medium (MC) or low (LC) context constraints. The validity of these predictions was manipulated experimentally using different environments. Specifically, participants were split into two groups: one group receiving mainly (80%) congruent target words to the previously established sentence context, the other group receiving mainly (80%) incongruent target words. The proportion of valid predictions was thought to alter the strategic way of how sentence context constraints were evaluated to generate linguistic predictions. We observed the influence of sentence context constraint and language predictive validity on two distinct neural markers, the N400 and alpha (8 Hz- 12 Hz) oscillations, recorded with electroencephalography (EEG). The N400 amplitude is classically modulated by the congruency and predictability of a target word, considering a previously established language context. Brain oscillatory responses in the alpha (8-12 Hz) frequency range have been linked to linguistic predictive mechanisms prior to the occurrence of a target word (Lam et al., 2016; Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017), with decreases in alpha power relating to the processing of sentence context constraints. The power decrease has been found to be stronger for sentential context constraints that lead to a strong prediction of a target word as compared to when its predictability is very low (Bastiaansen &

Hagoort, 2015; Piai et al., 2017; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017; Willems et al., 2008), though the direct link between alpha power and linguistic predictability has been challenged in a recent report (Terporten et al., 2019). We investigated how the N400 amplitude at target word onset and pre-target word alpha power modulations were modulated by context constraints and by the predictive validity of target words. We expected the N400 amplitude to be gradually influenced by sentence context constraints, with higher constraints resulting in a reduction in amplitude (less negative). Based on our earlier approach (Terporten et al., 2019) we expected pre-target alpha power to be modulated by sentence context constraints, but we expected alpha desynchronization to be non-monotonically linked to the predictability of the target word. If predictive validity of the target words has an influence on these neural markers, this evidence would be in favor of a strategic top-down modulation onto processes related to the encoding of sentence context constraints.

MATERIALS & METHODS

Participants

In total, 70 participants were invited from the participant pool of the Max Planck Institute (MPI) for Psycholinguistics, Nijmegen. All participants gave their informed written consent in accordance with the declaration of Helsinki, and the local ethics committee (CMO region Arnhem-Nijmegen). All participants were Dutch native speakers, right-handed, had normal or corrected-to-normal vision and did not suffer from neurological impairment or dyslexia. After completion of the experiment, the participants received 18 euro. One participant did not finish the experiment and was excluded such that 69 participants (mean age 25 years, range 19-41; 20 males) were included for the analyses.

Stimulus material

The stimulus set used in this study consisted of 203 critical sentence triplets from Terporten et al. (2019), but was additionally grouped into a congruent or an incongruent set of sentences (see table 1 for examples). Each sentence for both groups belonged to either a high context (HC), medium

context (MC), or low context (LC) constraining condition. The degree of constraint for a given sentence was manipulated by changing one word, the context constraining word. This word was always at the same position within a sentence with regard to a triplet (table 1). Across the conditions, these context constraining words were matched with regard to word length ($F(2, 606) = 0.78, p = .457$, with a Mean (SE) of HC: 7.12 (2.26); MC: 7.1 (2.54); LC: 7.37 (2.61)) and word frequency ($F(2, 584) = 1.98, p = .138$, with Mean (SE) of HC: 2.4 (0.78); MC: 2.56 (0.87); LC: 2.5 (0.84); based on the Dutch SUBTLEX-NL database (Keuleers et al., 2010). The degree of context constraints differed significantly between constraining conditions ($F(2, 606) = 442.84, p < .001$). HC sentences showed the strongest degree of context constraints (Mean (SE) = 77% (17.74)), followed by MC (Mean (SE) = 50% (18.67)) and LC (Mean (SE) = 28% (11.97)). In (Terporten et al., 2019) all sentence final words - the target words – were possible continuations of the preceding context (congruent target words). The cloze probabilities of the congruent target words differed significantly between conditions ($F(2, 606) = 468.16, p < .001$), with HC showing the highest cloze probability (Mean (SE) = 77% (17.74)), followed by MC (Mean (SE) = 42% (25.94)) and LC (Mean (SE) = 15% (15.82)). Measures of context constraints highly correlated with measures of cloze probability for congruent target words ($r = 0.93, p < .001$). In addition to the congruent stimulus set, a stimulus set was created with 203 incongruent target words. The congruent and the incongruent stimulus set differed significantly from each other on pre-tested ratings of plausibility ($F(1,1312) = 4772.23, p < .001$). The incongruent target words did not occur in the pretest of the congruent stimulus set and therefore all have a cloze probability of 0%. Congruent and incongruent target words were matched on word length ($t(404) = -1.12, p = 0.264$, with a Mean (SE) of Congruent: 5.79 (0.14); Incongruent: 6.0 (0.13)) and word frequency ($t(404) = 1.29, p = .199$, with a Mean (SE) of Congruent: 3.07 (0.05); Incongruent: 2.98 (0.04)); based on the Dutch SUBTLEX-NL database (Keuleers et al., 2010).

A practice stimulus set was also created, including a selection of 50 congruent and incongruent sentences from (Wang et al., 2017). Half of the sentences were defined as HC, while the other half was defined as LC for

each congruency condition separately (see (Wang et al., 2017) for details). For the EEG experiment, six counterbalanced lists were created. Three of these lists contained 80% of congruent target words, while the other three lists contained 80% of incongruent target words. The practice stimulus set was thought to bias participant’s expectation of the predictive validity of the context constraints, towards the respective proportion of (in)congruent target words in the critical stimulus set. For all lists, the three levels of context constraints were pseudo-randomly distributed across the set.

Experimental procedure

Participants were comfortably seated in front of a screen in a dimly illuminated room. They were instructed to rest their right arm on the table in front of them and to access a button box with their right hand. At 70 cm and with a 25°-35° viewing angle, a screen was located to which all stimuli were projected. Written stimuli were shown in black, on a grey background.

Participants were instructed to silently read the displayed sentences on the screen, and to focus on the content of each sentence. It was explained that sometimes (after 25% of the sentences; subjects were not informed about the precise percentage) a question would be prompted about the content of the previously displayed sentence. The participants were required to

Stimulus material examples	
Condition	Stimulus
HC	(NL) Op dit gebouw heb je een goed uitzicht. (EN) On this building you got a good view.
MC	(NL) Op deze toren heb je een goed uitzicht. (EN) On this tower you got a good view.
LC	(NL) In deze wijk heb je een goed uitzicht. (EN) In this area you got a good view.

Table 1: Example Dutch sentence triplet from the final stimulus set with its English translation. The context constraining conditions were manipulated by changing one context constraining word.



Figure 1: A schematic display of a trial procedure as used in (Terporten et al., 2019). A trial began with the display of a fixation period, followed by a blank screen. Subsequently the sentence was visually displayed by a word by word presentation, up to the final word as indexed by the period. Between words, a black screen served as delay before a subsequent word was shown.

answer this question with ‘yes’ or ‘no’ by button press. The answer possibilities (‘yes’/‘no’) were displayed randomly on the left or right side of the screen and a left or right button had to be pressed accordingly. The occurrence of these questions throughout the experiment was at random intervals. The goal of these questions was to ensure that participant kept processing the content of the sentence material throughout the experimental session.

A trial began with the presentation of a fixation cross in the middle of the screen for 500 ms. This was followed by a blank screen for a jittered interval of 500-1200 ms. The sentences were presented word-by-word. Each word was displayed for 200 ms, followed by a blank screen of 800 ms. The inter stimulus interval of 1000 ms was chosen to avoid the influence of the evoked response from stimulus onset onto pre-target alpha activity. Another blank screen occurred for 2000 ms (Fig. 1) after (sentence final) target word offset. In 25% of the cases, a catch question was displayed, with the full question centered on the screen and the yes-no answers randomly split to the left or right side.

Each participant was presented with either a congruent or incongruent practice set, followed by the corresponding (congruent or incongruent) experimental list, in a pseudo-randomized order. This resulted in half of the participant pool belonging to a congruent group, while the other half belonged to an incongruent group. For each group, participants were presented with 50 practice sentences

from Wang et al. (2017) at the start of the experiment to prime the statistics of the sentence's congruency. This was followed by 203 critical sentences (203 trials) in random order. Trial presentation was divided into four blocks, separated by self-paced breaks in-between. In total, the experimental procedure took 60 min.

Data acquisition

Data was recorded online with an electroencephalogram (EEG). A custom actiCAP 64-electrode montage (Brain Products, Munich, Germany) was used, with 58 equidistant electrodes mounted in the cap (see Fig. 2). Four electrodes measured EOG, with two horizontal EOG electrodes placed next to the left and right eye. Vertical EOG was measured by placing two electrodes above and below the participant's left eye. One electrode was placed on the right mastoid, another reference electrode was placed on the left mastoid. The ground electrode was placed on the forehead, above the nasion. The EEG signal was referenced online to the left reference, amplified through BrainAmp DC amplifiers and digitized at 500 Hz. Data were filtered online with a high pass filter of 0.02 Hz and a low pass filter of 500 Hz.

Data preprocessing

All data were analyzed using the Matlab 2016a open source toolbox Fieldtrip (Oostenveld et al., 2011). Data were segmented 1.5 s before and after the onset of the target word for each trial, including the blank 800 ms period before target word presentation. The segmented data were low-pass filtered at 150 Hz and high-pass filtered at 0.1 Hz and re-referenced to the average of the left and right mastoid. The 50 Hz line-noise component was removed using a discrete Fourier transform (DFT) filter. Remaining strong line noise and muscle artifacts were identified first by visual inspection of amplitude variance over trials and the corresponding trials were removed. Second, artifacts related to eye-movements removed by means of an independent component analysis (fastICA) (Hyvärinen & Oja, 2000), followed by back projection. Bad channels were repaired by replacing them with the plain average of the nearest neighbors. Third, the resulting data were again visually inspected on a trial-by-trial basis and trials with remaining artifacts were removed. From this procedure and for both groups, 6% of trials were excluded on average from further analysis.

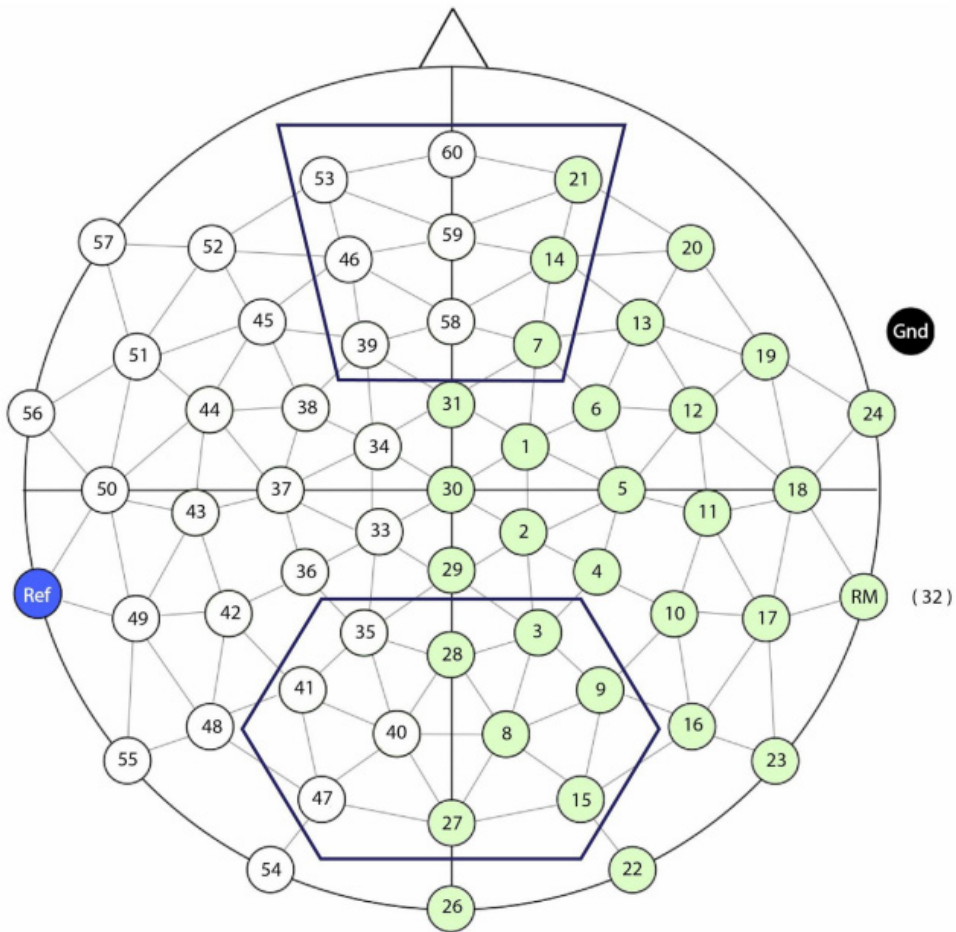


Figure 2: EEG channel layout. The equidistant custom channel layout that was used for data acquisition. Figure used from Nieuwland et al. (2019).

Event-Related Potential (ERP) analysis

Event-related potentials were investigated to observe N400 modulations after target word onset as a function of Constraint (HC, MC, LC), Congruency (congruent, incongruent) and Group (high predictive validity, low predictive validity). Per condition, pre-processed epochs were low-pass filtered at 35 Hz. Baseline correction was performed using a time-window of -300 ms to 0 ms relative to target word onset. The N400 component was calculated by averaging amplitudes from 250 ms to 600 ms following target word onset. For statistical analyses, the average amplitude over the central channels 1,

2, 29, 30, 31, 33 and 34 (see Fig. 2) was extracted per participant and per condition (Constraint x Congruency x Group) separately within the N400 relevant time-window. All statistical analyses on the extracted data were performed in the R software (Core Team, 2019) by fitting a linear mixed effect model (lmer) to the interaction of the conditions (Constraint: HC, MC, LC; Congruency: congruent, incongruent; Group: high predictive validity, low predictive validity) with participant as random effect. The estimates of the model were interpreted using R's type II anova() function. Correction for multiple comparisons was performed using the Tukey method (Tukey, 1949).

Time-frequency analysis

Time-frequency analysis was performed on a time-window of -1500 ms to 1500 ms relative to target word onset. Power was estimated for a frequency range of 2 Hz to 40 Hz, using a fixed 500 ms sliding Hanning window in time steps of 50 ms, and frequency steps of 2 Hz. No baseline correction was performed on the time-frequency data. The alpha (8-12 Hz) specific power modulation over time was plotted by selecting the average power for frontal (7, 14, 21, 39, 46, 53, 58, 59, 60) and centro-parietal (3, 8, 9, 15, 27, 28, 35, 40, 41, 47) channels respectively (see Fig. 2), within the 8-12 Hz frequency range and within a time-window of -1.0 s to 1.0 s relative to target word onset. For statistical analyses, the average power over the frontal and parietal channels was extracted per participant and per condition Constraint (HC, MC, LC) x Group (high predictive validity, low predictive validity) separately, in a time window of -540 ms to 0 ms relative to target word onset. The relevant time-window and the respective channel selection are based on a previous report on the effects of sentence context constraints on alpha power from (Terporten et al., 2019). Statistical analyses were performed in the R software (Core Team, 2019) by fitting a linear mixed effect model (lmer) to the interaction of the conditions (Constraint: HC, MC, LC; Group: high predictive validity, low predictive validity) with participant as random effect, separately for the data of the frontal and parietal channel selection. The estimates of the model were interpreted using R's type II anova() function. Correction for multiple comparisons was performed using the Tukey meth-

od (Tukey, 1949). P-values below $\alpha = 0.05$ were considered significant

RESULTS

Behavioral performance

The accuracy of the answered questions confirmed that participants were paying attention to the content of the presented sentences. The overall accuracy measures show a mean performance of 83%, 91% and 84% for the HC, MC and LC sentences respectively for the high predictive validity group. The means of the low predictive validity group were 72%, 98% and 87% for the HC, MC and LC sentences respectively. Accuracy did differ as a function of Constraint ($F(2, 62) = 4.8, p = .01$) but not as a function of Group ($F(1, 62) = 2.33, p = .13$). A significant interaction was found between the factors Constraint and Group ($F(2, 62) = 4.8, p = .01$). Post-hoc contrasts reveal that this interaction is driven by a significant difference in accuracy between MC and LC sentences for the low predictive validity group ($p = .003$). These results confirm that participants paid attention to the content of the sentences.

N400 amplitude modulation after target word onset

In this study we were interested in dissociating the effect of predictive validity and context constraint on the N400 amplitude. The predictive validity was manipulated by altering the percentage of occurrences of (in)congruent target words. This was expected to influence the validity of the sentence context constraints and therefore the degree to which the target word will be predicted. From previous literature, we expected a gradual decrease in N400 amplitude with an increase in sentence context constraints (Kutas & Federmeier, 2011; Terporten et al., 2019). Consistent with our expectations, the N400 amplitude within the time window of 250 ms to 600 ms after target onset was reduced for congruent target words as compared to incongruent (Fig. 3, shown as averaged over groups). For congruent target words, the N400 amplitude was further gradually reduced with an increase in context constraints. HC displayed the strongest reduction in N400 amplitude, followed by MC and LC. The gradual decrease with the degree of constraint for congruent target words was not apparent for

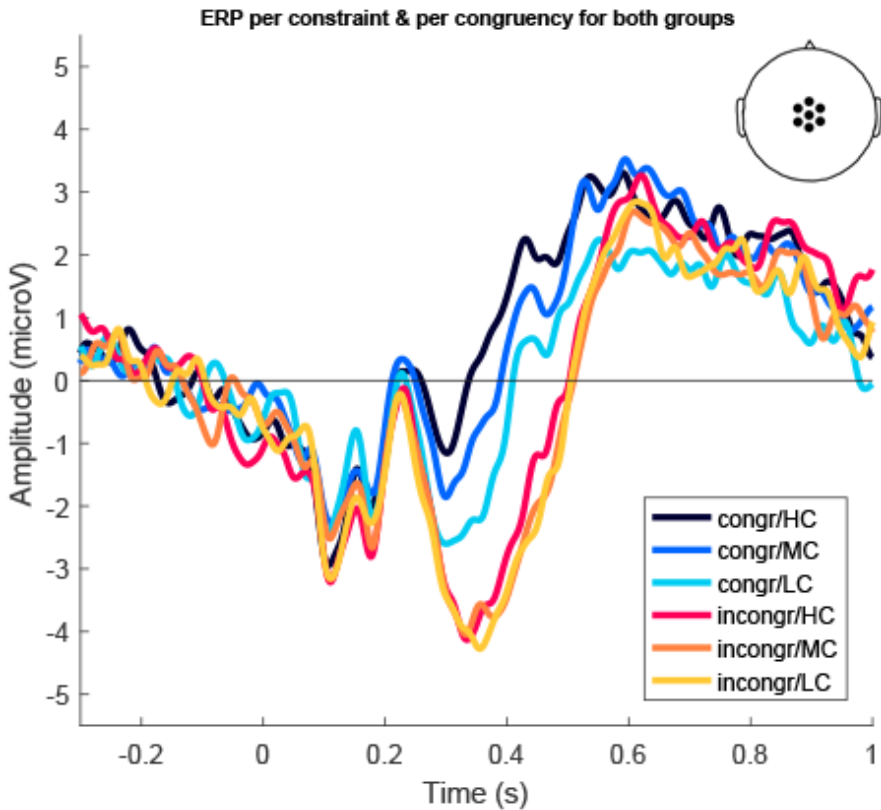


Figure 3: ERP amplitude modulations averaged over groups. Incongruent target words (red/yellow colors) resulted in a stronger N400 amplitude than congruent target words (black/blue colors), within a time-window of 250 ms and 600 ms after target word onset. The effect of context constraints was only observed for congruent target words. Stronger sentence context constraints resulted in a decreased N400 amplitude.

incongruent target words. The overall patterns of the N400 amplitude modulations as a function of Constraint and Congruency are similar across groups (Fig. 4 & 5). The ANOVA statistics revealed no significant three-way interaction between Constraint x Congruency x Group ($F(2, 335) = .933, p = .39$) and indicated no main effect for the factor Group ($F(1, 67) = 3.16, p = .08$). The manipulation of the predictive validity therefore had no effect on the N400 amplitude. The ANOVA statistics indicated a significant interaction between the factors Constraint x Congruency ($F(2,335) = 3.15, p = .04$) and significant main effects of Constraint ($F(2, 335) = 7.53, p < .001$) and Congruency ($F(2, 335) = 110.74, p < .001$). Pairwise comparison of the Constraint x Congruen-

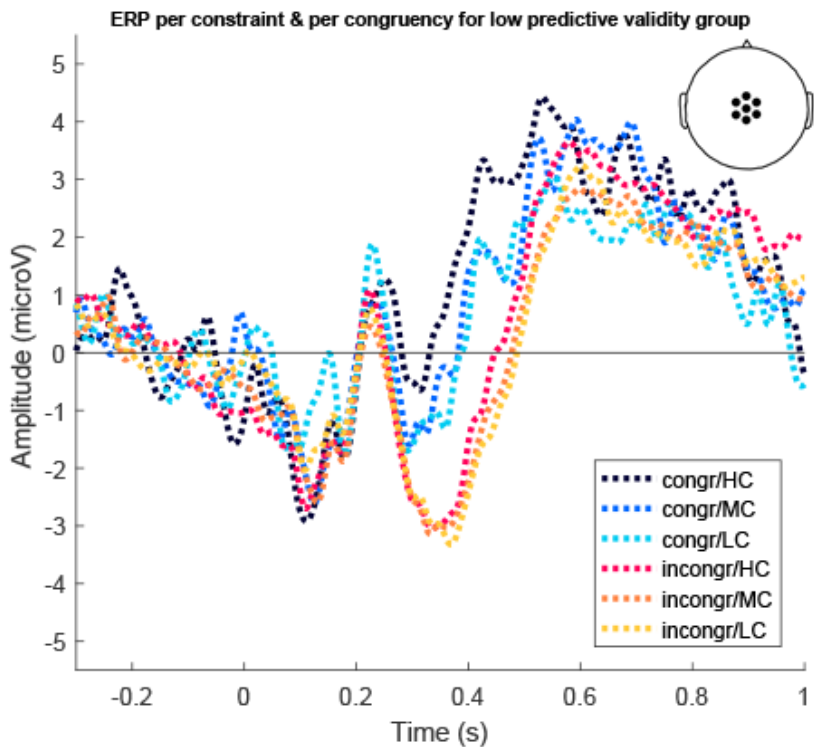
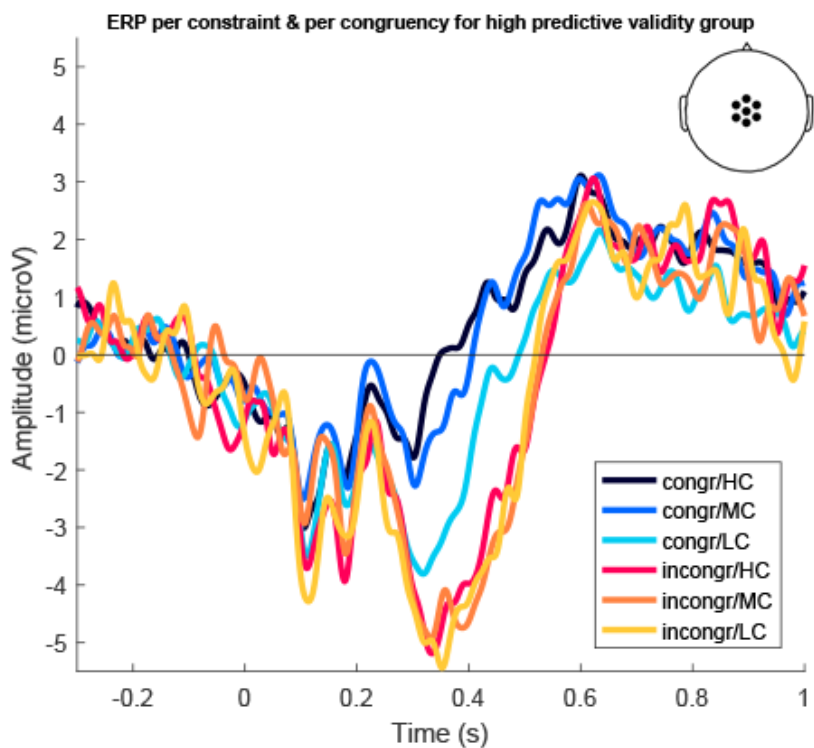


Figure 4: ERP amplitude modulations split by group. Per group, incongruent target words (red colors) resulted in a stronger N400 amplitude than congruent target words (blue colors), within a time-window of 250 ms and 600 ms after target word onset. The effect of context constraints was only observed for congruent target words, for both groups. The overall effects of congruency and constraints onto the N400 amplitude are similar across groups.

cy interaction revealed that the effect was driven by a significant difference between LC vs HC ($P < .001$) and LC vs. MC ($p = .034$) for congruent target words. The results are in line with the current literature showing that the N400 amplitude is modulated by the congruency of the target word, as a function of the constraints of the preceding sentence context (Kutas & Federmeier, 2011).

Alpha power modulations before target word onset

Alpha (8-12 Hz) power modulations before target word onset were investigated to study the influence of context constraint and predictive validity on brain states before the occurrence of the target word. We expected alpha power to be modulated by context constraints (Piai et al., 2014; Rommers et al., 2017; Terporten et al., 2019; Wang et al., 2017), but did not expect a linear relationship between context constraint and alpha power (Terporten et al., 2019). From Terporten et al. (Terporten et al., 2019) we further expected to observe this effect to be strongest over fronto-parietal electrodes.

With respect to the data extracted from frontal electrodes, the ANOVA statistics for the time-window -540 ms to 0 ms relative to target word onset indicate no significant interaction between the factors Constraint x Group ($F(2, 136) = 0.83, p = .439$) and no main effect of Group ($F(1, 68) = 0.99, p = .322$). The main effect of Constraint onto alpha power is significant ($F(2, 136) = 4.0, p = .02$) and in line with our hypothesis that context constraints influence alpha power before target word onset (Fig. 6). Pairwise comparisons revealed that the effect of Constraint was driven by a significant difference between the levels MC vs. HC ($p = .025$), whereas alpha power for the levels LC vs. HC ($p = .054$) and LC vs. MC ($p = .954$) did not significantly differ from each other. The alpha power decrease was found to be stronger for HC, followed by LC and MC. The analysis of data extracted

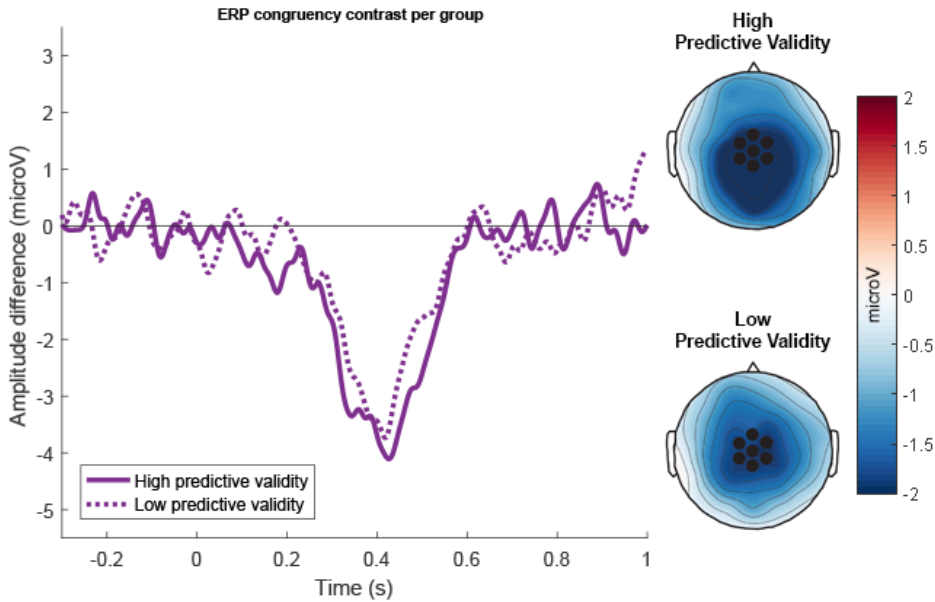


Figure 5: N400 effect comparison between groups, averaged over constraints. Left) The N400 effect for the time window 250 ms to 600 ms is similar between groups, as averaged over sentence context constraints. Right) The topography of the N400 effect matches with the preselected central channels.

from parietal electrodes revealed no significant main effects of constraint or group on alpha power, and no significant Constraint x Group interaction.

DISCUSSION

The current study addressed the issue of whether semantic predictions generated from the previous sentential context could be affected by the predictive validity of contextual information, for sentences with three degrees of contextual constraints. The validity of these predictions was manipulated group-wise, by changing the proportion of sentence final (target) words that were congruent to the previously established sentence context. Pre-target alpha oscillatory power, and post-target N400 amplitude modulations were investigated as functional markers for the interaction between context constraint and predictive validity.

N400 amplitude modulations indicated that, while factors like congruency

and sentential context constraints do have an influence (Fig. 3), these modulations did not differ between groups (Fig. 4, Fig. 5). For both groups, incongruent target words resulted in a stronger (more negative) N400 amplitude than congruent target words, which is in line with classic N400 findings (Kutas & Federmeier, 2011). A graded difference in N400 amplitude as a function of sentence context constraints was only found for congruent target words, which also confirms our expectations (Kutas & Federmeier, 2011) and replicates earlier investigations of this stimulus material (Terporten et al., 2019). While the statistics suggested a trend towards a main effect of group, figure 4 and figure 5 illustrate high similarity across groups. The effects of context constraints and target word congruency on N400 amplitude were therefore robust to different proportions of valid predictions within the task setting.

The robustness of the observed N400 effects across groups speaks against a strategic top-down modulation of linguistic prediction as a function of predictive validity and stands in contrast to previous evidence of an influence of strategic predictive processes on the N400 amplitude (Brothers et al., 2017, 2019; E. F. Lau et al., 2012). While Brothers et al. (2019) used sentence context constraints to influence target word predictability, the strong context constraints were held constant as predictive validity changed. In contrast, we introduced a finer granularity of context constraints, and orthogonalized the effect of linguistic prediction and predictive validity. These differences in experimental design could have led to differences in how explicit the manipulation of predictive validity is to the participants. In Brothers et al. (2019) variations in predictive validity might have been more explicit than in our current approach. This in turn could have influenced the strategic approach participants applied to achieve the task's goal.

Current results are additionally inconsistent with findings from previous semantic priming paradigms (Lau et al., 2012), which demonstrated that the proportion of valid predictions modulated the N400 amplitude for highly predictable word pairs. We speculate that the process underlying linguistic predictions created in semantic priming paradigms is inherently different from the underlying process required for the current exper-

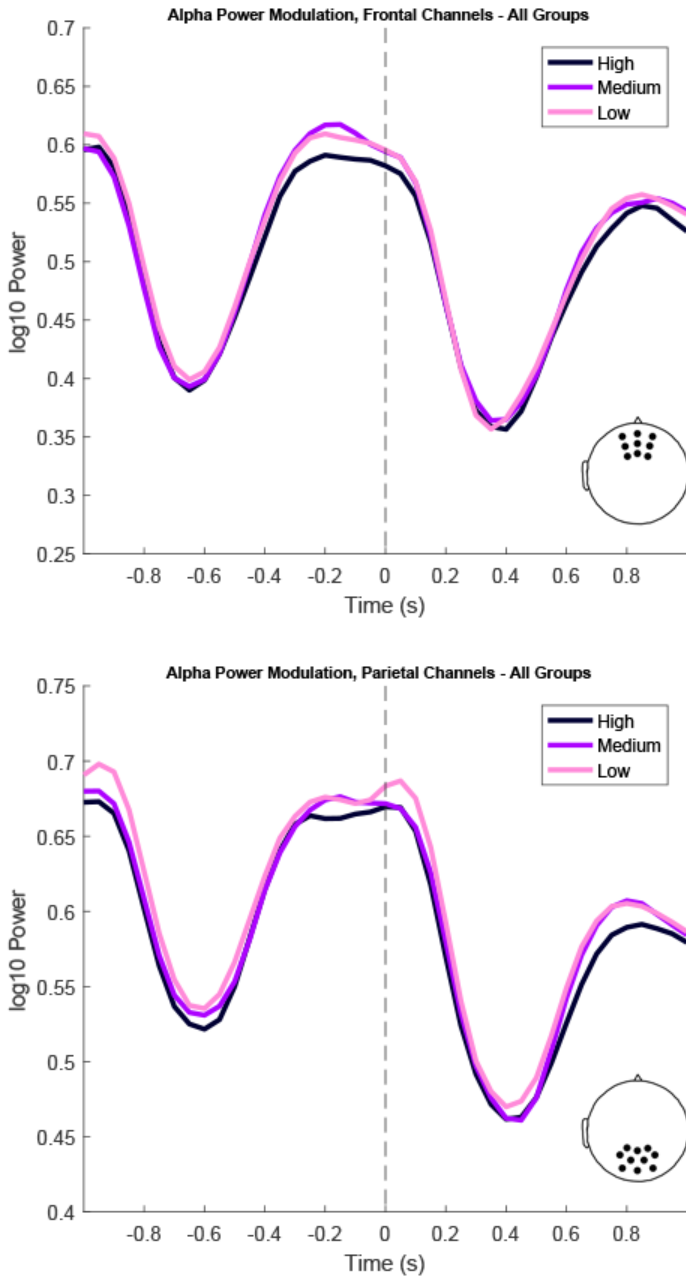


Figure 6: Alpha power modulations as a function of context constraints averaged across groups. Pre-target word (-540 ms to 0 ms) alpha power is modulated by sentence context constraints. HC contexts induce a stronger alpha power decrease than MC or LC sentence contexts. This effect is most pronounced over frontal electrodes.

iment. While semantic priming may rely on associations (Boudewyn et al., 2012; Brothers et al., 2017; Kuperberg et al., 2010; Lau et al., 2012), the predictions generated in the current experiment would originate from the combinatorial operation of individual word meanings in a sentence.

Before target word onset, alpha power was modulated as a function of context constraints, but not as a function of group. The main effect of sentential context constraints was only found for frontal electrode sites, for the time window -540 ms to 0 ms relative to target word onset as pre-defined from Terporten et al. (2019) (Fig. 6). The post-hoc contrast for the levels of context constraints revealed stronger power decreases for HC than for MC or

LC. While the stronger power decrease for high constraints compared to lower constraints is in line with earlier findings (Piai et al., 2017, 2017; Wang et al., 2017), the current results only partially replicate our previous work that used a fine-grained constraint modulation (Terporten et al., 2019). Based on Terporten et al. (2019), we expected the alpha power decrease to be strongest for MC, followed by the other conditions. In line with our previous findings, alpha desynchronization was non-monotonically related to context constraints (power decreases for LC and MC did not differ significantly), but this time alpha desynchronization was strongest for HC instead for MC. This again speaks against a direct link between pre-target alpha activity and target word predictability as suggested by Terporten and colleagues (Terporten et al., 2019). Altogether we collected evidence that pre-target word alpha activity is sensitive to context constraints and that such effects remain robust to manipulations of the overall proportions of predictive validity.

Both electrophysiological markers show sensitivity to the sentential context constraints (and congruency) but stay unaffected by the proportion of validated predictions per group. As pre-target word alpha activity cannot directly be linked to the predictability of a lexical item, it remains an open question whether alpha activity marks processes underlying linguistic prediction. Differences in the encoding of contextual information could also lead to a complex engagement of cognitive processes from other domains, including cognitive control (Fedorenko, 2014), working memory (Bastiaansen et al.,

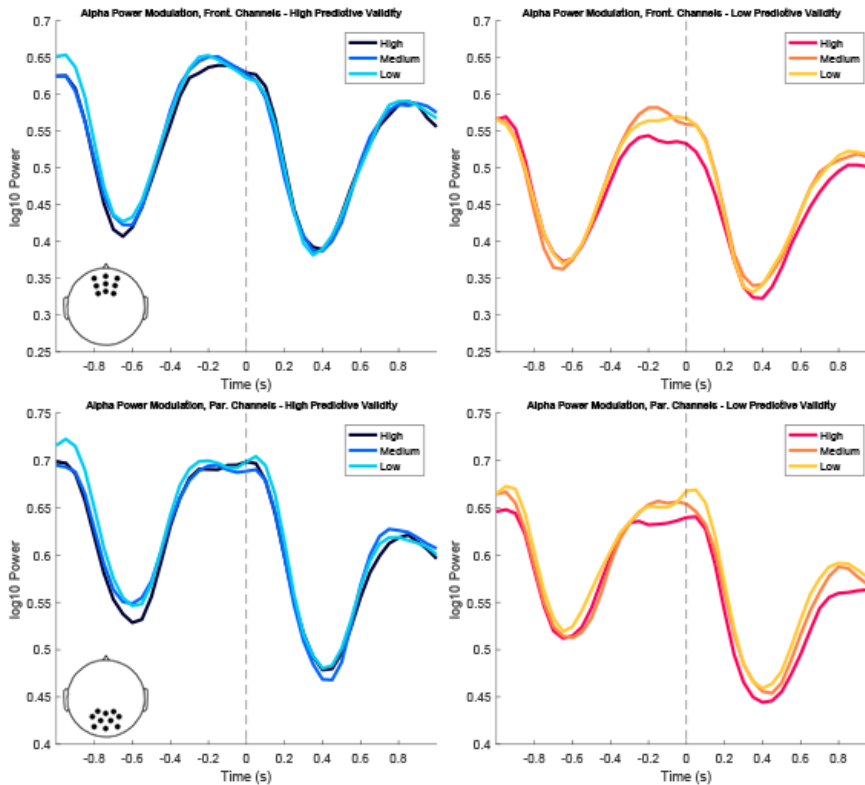


Figure 7: Alpha power modulations as a function of sentence context constraints, split by group. The pre-target (-540 ms to 0 ms) word alpha power modulations suggest an interaction between group and context constraints, as the effect of constraints appears to be stronger for the incongruent group. This interaction however does not reach significance.

2002; Piai & Roelofs, 2013; Sauseng et al., 2005) or attention (Boudewyn & Carter, 2018; Keitel et al., 2019; Kristensen et al., 2013). If the modulations in pre-target alpha power do reflect processes underlying linguistic prediction, then the results point to the possibility that these processes are equally engaged following strong contextual constraints, irrespective of their predictive validity. Predictive processes are thought to be metabolically costly (Kuperberg & Jaeger, 2016), and the pre-target alpha power results suggest that the processes underlying linguistic prediction, benefit from these strong contextual constraints. This potentially outweighs the costs of falsifying the prediction. Indeed, it remains an ongoing debate whether strong, automatically generated linguistic predictions are sensitive to changes in predictive

validity (Luke & Christianson, 2016). In terms of a two system approach to language prediction (Huettig, 2015; Kuperberg & Jaeger, 2016), strong and automatic predictions are less costly than weaker predictions and strategic top-down processes could potentially be more involved as uncertainty increases. Compared to Terporten et al. (2019), even the high predictability group for the current study was confronted with a degree of incongruency (20%). The stronger alpha power decrease for MC conditions in Terporten et al. (2019) as compared to the current study, could mean that strategic approaches to language prediction are facilitated for less constraining conditions in scenarios that guarantee predictive validity. As the validity of linguistic prediction decreases, automatic responses to sentential context constraints are potentially favored, marked by a stronger alpha power decrease for HC conditions. Yet, these conclusions can only be preliminary, as the current evidence is not in favor of pre-target alpha activity directly indexing linguistic prediction.

It needs to be highlighted that the current design potentially facilitates (automatic) linguistic predictions. The long inter-stimulus interval for the individual word presentation could motivate participants to actively engage in linguistic prediction. A more naturalistic approach to explore linguistic predictions during language comprehension (i.e. narrative reading (Hasson et al., 2018; Willems et al., 2016)) would therefore be beneficial for the field. Furthermore, the current study was strongly hypothesis driven based on Terporten et al. (2019). This constrains the choice of the time and frequency windows for the pre-target word period, as well as the channel selection. As the current task setting was slightly different from Terporten et al. (2019), it could be worth exploring a wider frequency range, including e.g. the beta (16-20 Hz) and theta (4-8 Hz) frequency bands. Beta (Lam et al., 2016; Lewis & Bastiaansen, 2015; Wang et al., 2017) as well as the theta (Molinaro et al., 2013; Rommers et al., 2017) frequency bands have been linked to linguistic prediction before. Next to an extended exploration of the pre-target word period, the post-N400 positivity (like the P600) has also been shown to be sensitive for contextual constraints (Brothers et al., 2017; DeLong et al., 2011; Federmeier et al., 2007; Van Petten & Luka, 2012). Modulations of the post-N400 activity could be linked to the metabolic costs of revising an invalid linguistic prediction.

In conclusion, the current study investigated whether an interaction between sentential context constraints and linguistic predictive validity on pre-target alpha power or N400 amplitude. The results indicate that both N400 after target word occurrence, and pre-stimulus alpha power are sensitive to semantic context constraints. However, alterations of predictive validity did not result in a difference of alpha power or N400 amplitude. The findings suggest that the processes underlying strong predictions are robust to the predictive validity of the environment. Future studies should investigate at which degree of sentence level context constraints the influence of predictive validity becomes observable.



Chapter 5

General Discussion

Successful language comprehension is achieved by combining lexical items with a context representation that gets updated on a moment to moment basis as the language input unfolds (Hagoort, 2013, 2019). This representation of language context has an influence on how new language input is integrated and how subsequent linguistic input can be predicted (Hasson et al., 2018; Huettig, 2015; Kuperberg & Jaeger, 2016; Van Berkum, 2008). Language context contains information at distinct linguistic levels (e.g. semantic, syntactic, phonological) and therefore biases ongoing language processing at multiple levels as well (Kuperberg & Jaeger, 2016). Contextual linguistic information has an influence on how target words are integrated with their preceding context as classically marked by modulations in N400 amplitude (Kutas & Federmeier, 2011). The N400 findings also imply that the modulations are a consequence of context induced linguistic predictions. Yet, processes linked to linguistic predictions are thought to occur before the linguistic target is encoded. As the N400 is often measured upon target word occurrence, the amplitude modulations are most likely a mixture of various factors that might include both integration and prediction (Kutas & Federmeier, 2011). Other neural markers like neuronal oscillations can be used to study the influence of contextual information onto language processing before target word occurrence.

In this thesis, I have demonstrated that neuronal oscillations in the alpha and beta frequency range are a sensitive marker for differences in sentence level context constraints. I have shown that even though alpha/beta oscillations are sensitive to the degree of context constraints, modulations in alpha/beta power cannot be functionally linked to the predictability of a target word. Instead I have argued that alpha/beta oscillation reflect the involvement of domain general networks that are differently engaged during encoding of sentential context constraints. This claim is supported by connectivity analyses which provide evidence for a functional network that goes beyond a left perisylvian core areas for language processing in the human brain and includes bilateral frontal and parietal areas as well. I have also shown that these findings are robust to the task environment in which participants encode different levels of sentence context constraints. In fact, even though the expected validity of the linguistic predictions differs between groups, oscillatory activity before and

N400 amplitude modulations after target word occurrence stay robust to these differences. Together these results emphasize that alpha/beta oscillatory activity robustly reflects the changes of brain states as a function of sentence level context constraints, while not being directly linked to predictability. Hereafter I will provide summaries of these findings and subsequently relate those to the current literature. Finally, I will provide suggestions for how studying the encoding of contextual linguistic information can advance in the future.

Summary of findings

In chapter two I built upon earlier experiments in which the effect of sentence context constraints on linguistic processing was investigated by measuring fluctuations in oscillatory activity and N400 amplitude (Bastiaansen & Hagoort, 2006; Lewis & Bastiaansen, 2015; Piai et al., 2014; Rommers et al., 2012, 2017; Wang et al., 2017). I extended these approaches by including multiple (high, medium & low) degrees of sentence context constraints, induced by a linguistically matched stimulus set that attempts to exclude linguistic influential factors like word length and frequency. In an MEG experiment, participants read a word by word representation of these sentence stimuli on the screen. I showed that oscillatory alpha/beta activity before, and the N400 amplitude after target word onset, were modulated by the degree of sentence context constraints. Unlike the N400 amplitude modulation, the oscillatory modulations in power were not linearly related to the degree of predictability of the respective target word. The effect of the oscillatory modulations in power was most pronounced over a set of frontal and parietal areas. This led to the conclusion that the context induced changes in brain states as marked by the alpha/beta frequency band, do not indicate predictability but rather suggest the involvement of domain general areas (Duncan, 2010) during encoding of sentence context constraints.

In chapter three I explored the possibility that different levels of sentence context constraints lead to observable changes in interareal functional connectivity. To this end, I defined a seed region over left parietal areas that showed the strongest difference in alpha power in the study from chapter two. Alpha power was correlated between this parietal seed region and all other voxels of

the brain, for each context constraining condition separately. The condition specific correlation maps were statistically compared. The resulting topographic differences were matched with parcels of a volumetric atlas. The overlapping parcels were used as additional ROIs, between which Granger causality was estimated. With these approaches, I investigated both the functional network that is influenced by the degree of context constraints and the information flow between nodes of this network. I provided evidence that the functional architecture for encoding sentence context constraints was widespread, indicating that not only left ‘core’ language areas are involved, but bilateral frontal and parietal areas as well. Importantly, the architecture of these functional networks was modulated by contextual constraints (high, medium and low constraints) that preceded target word occurrence. Contrasting high and low context constraining conditions revealed widespread frontal, temporal and parietal areas. Contrasting high and medium context constraining conditions revealed largely bilateral frontal areas. Yet, directional flow of information between these areas did not significantly differ as a function of sentence context constraints.

In chapter four, I investigated whether the effect of sentence context constraints onto language processing is modulated by the environment in which these sentences are encoded. The stimulus set from chapter one got extended and next to the sentences with congruent target words, an additional stimulus set was created with incongruent target words instead. Participants were split into two groups. While for each group the degree of sentence context constraints was distributed equally (same amount of high, medium and low constraining sentences), the distribution of (in)congruent target words differed. One group of participants read mainly congruent target words (80%), while the other group read mainly sentences ending with incongruent target words (80%). With this approach I investigated the interaction of predictive validity and sentence context constraints, and I observed modulations of both alpha oscillatory activity before target word onset, and N400 amplitude modulations after target word onset. As there was no difference between groups, I showed that the effect of linguistic predictions generated from sentential context constraints is robust to the environment in which they are encoded. Furthermore, I showed again that the modulation of alpha power as a function of sentence con-

text constraints cannot be directly linked to the predictability of the target word.

Alpha/beta power modulations relate to language context, not predictability

In chapter two and four, I provided evidence that alpha/beta power modulations are affected by sentence context constraints but cannot be directly linked to the predictability of the target word. This argumentation is based on the non-monotony of the alpha power differences across the three sentence context constraining conditions. The expression of this non-monotony however is different between the two studies. While in chapter two I showed the strongest alpha power decrease for medium context constraints, in chapter four I showed that the strongest alpha power decrease is found for high context constraints. The non-monotony in chapter four follows from the contrast between medium and low constraining contexts which did not significantly differ from each other. While chapter four therefore did not replicate the results of chapter two, it was again highlighted that pre-target word alpha oscillatory activity during sentence context encoding does not directly relate to predictability. The differences in experimental setup between those two studies have been highlighted in chapter four.

The results in chapter two and four are in line with earlier research on this topic (Piai et al., 2014; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017), showing that high context constraints lead to a stronger alpha power decrease than low context constraints. Yet, the inclusion of an intermediate context constraining condition changes the functional interpretation of the data. Contrasting extreme ends of language prediction (strongly predictable vs. weakly predictable) taps into the situational difference of being able to predict one specific lexical item versus not being able to predict any lexical item at all. Such results suggest that the language processing machinery prior to target word occurrence, is more strongly engaged when reading a strongly context constraining sentence, as compared to when reading a weakly context constraining sentence (Wang et al., 2017). This would explain why the effects in these studies were found over areas that are typically associated with language processing (Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2013). In

chapter two and with the inclusion of an additional contrast (the intermediate context constraining condition), the biggest conditional difference does not concern whether pre-target word language processing is engaged or not. This is because it is possible to predict a lexical item from an intermediate context constraining sentence. The biggest conditional difference here concerns the cognitive effort that needs to be spent to arrive at a probable lexical prediction (discussed more deeply in chapter two). This explanation would fit with the topographic differences shown in chapter two, including frontal and parietal areas, probably relating to domain general cognitive functions being involved (Duncan, 2010; Fedorenko, 2014; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014). Subtle differences in experimental contrasts thus potentially lead to functional differences in the signature of pre-target word alpha oscillatory activity.

Both, the findings from chapter two and four and previous findings from the literature (Piai et al., 2014; Rommers et al., 2017; Wang et al., 2017), can be reconciled under the mechanistic umbrella of alpha indicating neuronal engagement (Jensen & Mazaheri, 2010). The alpha power differences found in these studies and shown in this dissertation, highlight which areas are differently engaged based on contextual constraints. Differences in alpha activity during context encoding still mark the effect of linguistic prediction on language processing, in terms of the respective areas that are engaged. However, because linguistic prediction is a hierarchical phenomenon, the effect of linguistic prediction can take place at different layers of the language processing hierarchy in the brain. Depending on the task specific manipulation and the respective contrasts that are investigated, the effect of linguistic prediction possibly reveals different cognitive contributions.

The utility and robustness of linguistic predictions

In chapter four I provided evidence that the influence of contextual constraints onto pre-target alpha power and post-target N400 amplitude modulations, are robust to the influence of the experimental environment in which the contextual information is encoded. The experimental environment was altered by changing the proportion of plausible target words within a set of sentences. The idea was that if contextual information induces

linguistic predictions of the target words, the validity of these predictions is strongly affected by the proportional changes in plausibility. Over the course of the experiment, participants were thought to learn that context induced predictions can be expected to be valid or not. The results indicated that even though this predictive validity is different for different proportions of plausible target words, the effect of sentential context constraints onto language processing is independent of the overall predictive validity.

By comparing the three levels of sentence context constraints, only for high constraining contexts the decrease in alpha power was strongest. This result can be potentially explained in terms of how context-induced linguistic predictions are utilized during language processing. If the predictive validity for a specific experimental environment is very low, linguistic predictions are likely to be invalid. In other words, the utility of these predictions in these scenarios is low (Kuperberg & Jaeger, 2016). Regarding the current results and in terms of prediction utility, this would mean that even though a linguistic prediction is very likely to be invalid, this prediction is still utilized if it remains metabolically cheap. A high constraining sentence context allows for an effortless generation of a linguistic prediction such that the net metabolic costs of being wrong will potentially stay considerably low. Indeed, I provided evidence that after target word occurrence, the overall semantic processing and integration of the target word, as expressed by the N400 amplitude modulations, remains similar across environment with different degrees of predictive validity.

Strong linguistic predictions that can be effortlessly generated as the language input unfolds, are thus robust to different levels of predictive validity. As more effort is needed to generate linguistic predictions based on the sentential context, predictive validity is likely to have a bigger impact on the effect of linguistic prediction onto language processing. A comparison of the results of chapter two and chapter four serves as indirect evidence that can contribute to this discussion. Despite the methodological differences, the design in chapter four was also altered in comparison to chapter two. While in chapter two only congruent target words were presented, the congruent group of chapter four was also confronted with a set (20%) of incongruent target words.

The presence of these additional incongruent target words could have led to the different patterns in pre-target alpha power modulation. This would mean that the effort of predicting from an intermediate sentence context is worth its metabolic costs, if the contextual environment guarantees valid linguistic input for these contexts. As soon as the predictive validity of linguistic input from its context cannot be guaranteed anymore, the effect of linguistic prediction onto language processing changes and a pattern as shown in chapter four emerges. This admittedly post-hoc argumentation assumes that a gradient in the utility of linguistic predictions exists and that along this gradient the underlying process of linguistic prediction is affected differently. Future studies could aim to explore where along the axis of this gradient the effect of linguistic predictions onto language processing changes, by employing a parametric approach to the proportion of (in)congruent linguistic items in a stimulus set.

Contextual constraints influence widespread functional networks

In chapter two and chapter three I have provided evidence that the encoding of sentence context constraints requires widespread dedicated brain networks that go beyond a left perisylvian view of language processing (Federmeier et al., 2007; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2019). The different neuronal engagement patterns of these networks are observable by using alpha oscillatory activity as functional marker during sentence context encoding. The frontal and parietal functional networks that were highlighted in chapter three, together with the findings on the alpha power modulations in chapter two, led to the conclusion that domain general cognitive control functions are involved during the encoding process. The involvement of domain general cognitive control areas during language processing is in line with previous research (Fedorenko, 2014; Fedorenko et al., 2012; Fedorenko & Thompson-Schill, 2014; Hagoort, 2013, 2019). With my dissertation I contributed further information on how sentence context constraints can affect the contribution of these domain general areas. Below I argue that these domain general cognitive control areas support the selection of linguistic predictions and provide an estimation of their predictive utility.

Whether cognitive control functions are needed for linguistic prediction

has already been discussed elsewhere (Ryskin et al., 2020). The authors summarize the literature on populations with different levels of cognitive control, focusing on differences between age groups. They conclude that differences in cognitive control potentially lead to differences in language processing abilities. The evidence I have shown throughout the chapters leads to the suggestion that it should not be a question of whether cognitive control is needed for the encoding of contextual linguistic information or not. Domain general mechanisms like cognitive control form an integral part of the language processing machinery (Hagoort, 2019). These domain general mechanisms such as attention or working memory, might support the selection and facilitation of linguistic predictions. It has already been proposed that the utility of linguistic predictions is potentially determined by matching the probability of linguistic predictions with what should be expected given the current task environment and task goals (Kuperberg & Jaeger, 2016). Linguistic predictions high in utility could be selected and their propagation along the language processing hierarchy could be facilitated.

The necessity of linguistic predictions for language processing

The results of chapter four lead to the question whether linguistic predictions are ubiquitous to the encoding of contextual information. While different degrees of context constraints influenced the neural markers before and after target word occurrence, predictive validity did not modulate this effect. If the generation of predictions is ubiquitous to the encoding of contextual information, and if the generation of linguistic predictions is thought to be metabolically costly, then it should be expected that factors like predictive validity do have a strong influence on predictive processes. Furthermore, chapter two and chapter four both indicated that neural markers that are suitable to explore the effect of contextual information prior to target word occurrence, cannot be linked to predictability. These results question the importance of linguistic predictions in language processing.

Recent literature already points to discussions about the necessity of predictions for language processing. Huettig and Mani (2016) argue that the evidence for the necessity of linguistic predictions for language processing is

sparse. Predictive mechanisms rather provide a ‘helping hand’ for language processing. This argument is based amongst others on the claim that in natural language processing, the information in the input itself is often not rich enough or too noisy to engage in sophisticated predictive processes. In a study by Brouwer and colleagues (Brouwer et al., 2013) they were able to show that participants engaged in target word prediction only after encoding spoken discourse contexts with well-articulated speech as compared to phonologically degraded input. Similarly, in an eye-tracking study, Huettig and Guerra (Huettig & Guerra, 2019) let participants listen to sentences while objects were displayed on a screen. The sentences were created in such a way that participants were theoretically able to predict the target noun, which was also amongst the objects on the screen. Anticipatory eye-movements were only recorded when participants were given enough preview time of the objects or when the presentation rate of the sentence was slow. In other words, only in scenarios in which participants had enough time to engage in prediction, sentence-induced predictive effects were observed. Together, these results imply that in natural language processing language prediction potentially plays a minor role.

The context in which predictions can potentially be generated is thus highly influential. If the environmental context (i.e. the experimental setting) does not exploit prediction encouraging paradigms (e.g. slow speech), the effects of predictions can disappear. In chapter two and chapter four I made use of paradigms that could indeed be interpreted as prediction encouraging, based on the slow presentation rate of the individual words. Yet, while I was able to provide evidence for the effect of contextual information onto language processing, linguistic predictability and predictive validity were not reconcilable with these results.

If context-induced linguistic predictions are not ubiquitous in language processing, it does not mean that contextual information has no influence on language processing that is observable prior to the occurrence of a lexical item. The influence might not directly relate to linguistic prediction in the sense of the preselection of a lexical item (i.e. a word). Yet, brain dynamics adapt to contextual information, potentially leading to a cascade of modulations, involving also other cognitive functions that are domain general (e.g.

working memory, cognitive control or attention). I already discussed above that the utility of predictions could be a defining factor that modulates whether the brain commits to predictive processes or less so. This selection in turn could be modulated by cognitive control components of the language network.

I provided evidence that language context influences the way how the brain adapts during language processing, prior to occurrence of the target lexical item. These prior adaptations however do not necessarily reflect linguistic prediction which implies the preselection of lexical items. The adaptations in turn could reflect the involvement of domain general factors like attention or working memory during sentence reading. An adaption of domain general resources to the sentence context might support the ease of processing upon encoding of the target word. While the sentence stimuli used for the purpose of this thesis are relatively simple, future studies could increase the linguistic complexity to increase the demands put upon domain general factors. If domain general factors are modulated by contextual information, additional demands put upon these cognitive factors should interact with this modulation. The same hypothesis could also be tested by comparing participant populations that are thought to differ in the amount of domain general resources as discussed by Ryskin and colleagues (Ryskin et al., 2020).

A critical view and future directions

While throughout the dissertation domain general contributions to language processing are discussed extensively, domain general factors have not been manipulated directly in the individual experiments. The suggestions of a probable contribution of e.g. cognitive control during the encoding of sentence context constraints, is largely based on reversed inference of the topographic maps revealed by differences in alpha oscillatory activity. Because frontal and parietal areas have often been linked to domain general cognitive control functions (Duncan, 2010; Fedorenko et al., 2012), the connection has been made here as well. Yet, reversed inference based on topographic maps alone can potentially be misleading (Hasson et al., 2018; Poldrack, 2006). Future investigations of the contribution of domain general areas in language processing could potentially manipulate the contri-

bution of fronto-parietal areas. These areas could be directly influenced by e.g. a pharmacological manipulation or transcranial magnetic stimulation.

The word-by-word presentation design for chapter two and four presents some limitations. The slow inter stimulus interval of the word presentation and the blank screen intermissions supported the analyses of pre-target word oscillatory activity. However, the slow presentation design might have pushed participants to actively predict the target word, even in conditions in which a linguistic prediction cannot be easily generated. Yet, because of the differences in oscillatory activity between chapter two and chapter four, it can be argued that the slow presentation time only had a minor effect on the differences in linguistic prediction across conditions. To improve the ecological validity of experiments investigating linguistic prediction, future studies could make use of either a listening paradigm or narrative reading. By modeling the language input of such a narrative along different dimensional scales, including linguistic dimensions like word frequency or length, and dimension that relate to the predictability (e.g. surprisal), brain responses could be directly related to that model.

Conclusion

Different degrees of sentence context constraints have an influence on how the brain adapts to language input. Alpha/beta oscillations provide a sensitive marker for the influence of contextual linguistic information on ongoing language processing, but do not directly link to linguistic predictability. Instead, it is suggested that modulations in alpha/beta power reflect the involvement of domain general cognitive functions. Modulations in pre-target alpha/beta power are most pronounced over bilateral frontal and parietal areas, possibly reflecting the engagement of domain general, cognitive control networks. Strong sentential context constraints are robust to differences in predictive validity, as alpha power and N400 amplitude did not differ between different probabilities of predictive validity.

References

- Aarts, E., & Roelofs, A. (2010). Attentional Control in Anterior Cingulate Cortex Based on Probabilistic Cueing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(3), 716–727. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21435>
- Ardila, A., Bernal, B., & Rosselli, M. (2014). Participation of the insula in language revisited: A meta-analytic connectivity study. *Journal of Neurolinguistics*, 29, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2014.02.001>
- Arnal, L. H., & Giraud, A.-L. (2012). Cortical oscillations and sensory predictions. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(7), 390–398. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.05.003>
- Attwell, D., & Laughlin, S. B. (2001). An Energy Budget for Signaling in the Grey Matter of the Brain. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 21(10), 1133–1145. <https://doi.org/10.1097/00004647-200110000-00001>
- Baggio, G., & Hagoort, P. (2011). The balance between memory and unification in semantics: A dynamic account of the N400. *Language and Cognitive Processes*, 26(9), 1338–1367. <https://doi.org/10.1080/01690965.2010.542671>
- Bar, M. (2007). The proactive brain: Using analogies and associations to generate predictions. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(7), 280–289. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.05.005>
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral Prefrontal Contributions to Human Working Memory. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 49(5), 1195–1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
- Bastiaansen, M. C. M., & Knösche, T. R. (2000). Tangential derivative mapping of axial MEG applied to event-related desynchronization research. *Clinical Neurophysiology*, 111(7), 1300–1305. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00272-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00272-8)
- Bastiaansen, M. C. M., Posthuma, D., Groot, P. F. C., & de Geus, E. J. C. (2002). Event-related alpha and theta responses in a visuo-spatial working memory task. *Clinical Neurophysiology*, 113(12), 1882–1893. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00303-6](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00303-6)
- Bastiaansen, M., & Hagoort, P. (2006). Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension. In C. Neuper & W. Klimesch (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 159, pp. 179–196). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59012-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59012-0)
- Bastiaansen, M., & Hagoort, P. (2015). Frequency-based Segregation of Syntactic and Semantic Unification during Online Sentence Level Language Comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(11), 2095–

2107. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00829
- Bastos, A. M., & Schoffelen, J.-M. (2016). A Tutorial Review of Functional Connectivity Analysis Methods and Their Interpretational Pitfalls. *Frontiers in Systems Neuroscience, 9*. <https://doi.org/10.3389/fn-sys.2015.00175>
- Bastos, André Moraes, Vezoli, J., Bosman, C. A., Schoffelen, J.-M., Oostenveld, R., Dowdall, J. R., De Weerd, P., Kennedy, H., & Fries, P. (2015). Visual Areas Exert Feed-forward and Feedback Influences through Distinct Frequency Channels. *Neuron, 85*(2), 390–401. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.12.018>
- Bonnefond, M., Kastner, S., & Jensen, O. (2017). Communication between Brain Areas Based on Nested Oscillations. *ENeuro, 4*(2). <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0153-16.2017>
- Boudewyn, M. A., & Carter, C. S. (2018). I must have missed that: Alpha-band oscillations track attention to spoken language. *Neuropsychologia, 117*, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.05.024>
- Boudewyn, M. A., Gordon, P. C., Long, D., Polse, L., & Swaab, T. Y. (2012). Does discourse congruence influence spoken language comprehension before lexical association? Evidence from event-related potentials. *Language and Cognitive Processes, 27*(5), 698–733. <https://doi.org/10.1080/01690965.2011.577980>
- Boudewyn, M. A., Long, D. L., Traxler, M. J., Lesh, T. A., Dave, S., Mangun, G. R., Carter, C. S., & Swaab, T. Y. (2015). Sensitivity to Referential Ambiguity in Discourse: The Role of Attention, Working Memory, and Verbal Ability. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(12), 2309–2323. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00837
- Brothers, T., Dave, S., Hoversten, L. J., Traxler, M. J., & Swaab, T. Y. (2019). Flexible predictions during listening comprehension: Speaker reliability affects anticipatory processes. *Neuropsychologia, 135*, 107225. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107225>
- Brothers, T., Swaab, T. Y., & Traxler, M. J. (2017). Goals and strategies influence lexical prediction during sentence comprehension. *Journal of Memory and Language, 93*, 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2016.10.002>
- Brouwer, S., Mitterer, H., & Huettig, F. (2013). Discourse context and the recognition of reduced and canonical spoken words. *Applied Psycholinguistics, 34*(3), 519–539. <https://doi.org/10.1017/S0142716411000853>
- Brown, C. M., Hagoort, P., & Chwilla, D. J. (2000). An Event-Related Brain Potential Analysis of Visual Word Priming Effects.

Brain and Language, 72(2), 158–190. <https://doi.org/10.1006/brln.1999.2284>

Busch, N. A., & VanRullen, R. (2010). Spontaneous EEG oscillations reveal periodic sampling of visual attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(37), 16048–16053. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004801107>

Cairns, H. S., Cowart, W., & Jablon, A. D. (1981). Effects of prior context upon the integration of lexical information during sentence processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(4), 445–453. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(81\)90551-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(81)90551-X)

Chai, L. R., Mattar, M. G., Blank, I. A., Fedorenko, E., & Bassett, D. S. (2016). Functional Network Dynamics of the Language System. *Cerebral Cortex*, 26(11), 4148–4159. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw238>

Clifton, C., Staub, A., & Rayner, K. (2007). Chapter 15—Eye movements in reading words and sentences. In R. P. G. Van Gompel, M. H. Fischer, W. S. Murray, & R. L. Hill (Eds.), *Eye Movements* (pp. 341–371). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044980-7/50017-3>

Core Team, R. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. <https://www.R-project.org/>

Crittenden, B. M., & Duncan, J. (2014).

Task Difficulty Manipulation Reveals Multiple Demand Activity but no Frontal Lobe Hierarchy. *Cerebral Cortex*, 24(2), 532–540. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs333>

DeLong, K. A., Urbach, T. P., Groppe, D. M., & Kutas, M. (2011). Overlapping dual ERP responses to low cloze probability sentence continuations. *Psychophysiology*, 48(9), 1203–1207. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01199.x>

DeLong, K. A., Urbach, T. P., & Kutas, M. (2005). Probabilistic word pre-activation during language comprehension inferred from electrical brain activity. *Nature Neuroscience*, 8(8), 1117. <https://doi.org/10.1038/nm1504>

Dhamala, M., Rangarajan, G., & Ding, M. (2008). Analyzing information flow in brain networks with nonparametric Granger causality. *NeuroImage*, 41(2), 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.020>

Diaz, M. T., & Swaab, T. Y. (2007). Electrophysiological differentiation of phonological and semantic integration in word and sentence contexts. *Brain Research*, 1146, 85–100. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.07.034>

Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: Mental programs for intelligent behaviour. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(4), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.08.001>

doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.004

Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, *23*(10), 475–483. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01633-7](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01633-7)

Federmeier, K. D. (2007). Thinking ahead: The role and roots of prediction in language comprehension. *Psychophysiology*, *44*(4), 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00531.x>

Federmeier, K. D., Wlotko, E. W., De Ochoa-Dewald, E., & Kutas, M. (2007). Multiple effects of sentential constraint on word processing. *Brain Research*, *1146*, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.06.101>

Fedorenko, E. (2014). The role of domain-general cognitive control in language comprehension. *Frontiers in Psychology*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00335>

Fedorenko, E., Duncan, J., & Kanwisher, N. (2012). Language-Selective and Domain-General Regions Lie Side by Side within Broca's Area. *Current Biology*, *22*(21), 2059–2062. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.09.011>

Fedorenko, E., & Thompson-Schill, S. L. (2014). Reworking the language network. *Trends in Cognitive Sciences*, *18*(3), 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.006>

Frank, S. L., Otten, L. J., Galli, G., & Vigliocco, G. (2015). The ERP response to the amount of information conveyed by words in sentences. *Brain and Language*, *140*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.10.006>

Frank, S. L., & Willems, R. M. (2017). Word predictability and semantic similarity show distinct patterns of brain activity during language comprehension. *Language, Cognition and Neuroscience*, *32*(9), 1192–1203. <https://doi.org/10.1080/23273798.2017.1323109>

Freunberger, D., & Roehm, D. (2017). The costs of being certain: Brain potential evidence for linguistic preactivation in sentence processing. *Psychophysiology*, *54*(6), 824–832. <https://doi.org/10.1111/psyp.12848>

Fries, P. (2015). Rhythms For Cognition: Communication Through Coherence. *Neuron*, *88*(1), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.034>

Fries, P., Reynolds, J. H., Rorie, A. E., & Desimone, R. (2001). Modulation of Oscillatory Neuronal Synchronization by Selective Visual Attention. *Science*, *291*(5508), 1560–1563. <https://doi.org/10.1126/science.1055465>

Gerrig, R. J., & McKoon, G. (1998). The readiness is all: The functionality of memory-based text processing. *Discourse Processes*, *26*(2–3), 67–86. <https://doi.org/10.1016/j.dps.1998.05.001>

org/10.1080/01638539809545039

Glucksberg, S., Kreuz, R. J., & Rho, S. H. (1986). Context can constrain lexical access: Implications for models of language comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *12*(3), 323. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.12.3.323>

Gratton, G., Cooper, P., Fabiani, M., Carter, C. S., & Karayanidis, F. (2018). Dynamics of cognitive control: Theoretical bases, paradigms, and a view for the future. *Psychophysiology*, *55*(3), e13016. <https://doi.org/10.1111/psyp.13016>

Gross, J., Kujala, J., Hämäläinen, M., Timmermann, L., Schnitzler, A., & Salmelin, R. (2001). Dynamic imaging of coherent sources: Studying neural interactions in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(2), 694–699. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.694>

Hagoort, P. (2013). MUC (Memory, Unification, Control) and beyond. *Frontiers in Psychology*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00416>

Hagoort, P. (2016). Chapter 28 - MUC (Memory, Unification, Control): A Model on the Neurobiology of Language Beyond Single Word Processing. In G. Hickok & S. L. Small (Eds.), *Neurobiology of Language* (pp. 339–347). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00028-6>

org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00028-6

Hagoort, P. (2019). The neurobiology of language beyond single-word processing. *Science*, *366*(6461), 55–58. <https://doi.org/10.1126/science.aax0289>

Hagoort, P., Baggio, G., & Willems, R. M. (2009). *Semantic unification*. MIT Press. https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_64579

Hagoort, P., & van Berkum, J. (2007). Beyond the sentence given. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*(1481), 801–811. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2089>

Halgren, E., Dhond, R. P., Christensen, N., Van Petten, C., Marinkovic, K., Lewine, J. D., & Dale, A. M. (2002). N400-like Magnetoencephalography Responses Modulated by Semantic Context, Word Frequency, and Lexical Class in Sentences. *NeuroImage*, *17*(3), 1101–1116. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1268>

Hanslmayr, S., Staudigl, T., & Fellner, M.-C. (2012). Oscillatory power decreases and long-term memory: The information via desynchronization hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00074>

Hanslmayr, S., Volberg, G., Wimber, M., Dalal, S. S., & Greenlee, M. W. (2013). Pre-stimulus Oscillatory Phase at 7 Hz Gates Cor-

- tical Information Flow and Visual Perception. *Current Biology*, 23(22), 2273–2278. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.09.020>
- Hartsuiker, R. (2014). Monitoring and Control of the Production System. *The Oxford Handbook of Language Production*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199735471.013.007>
- Hasson, U., Egidi, G., Marelli, M., & Willems, R. M. (2018). Grounding the neurobiology of language in first principles: The necessity of non-language-centric explanations for language comprehension. *Cognition*, 180, 135–157. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.06.018>
- Holcomb, P. J. (1988). Automatic and attentional processing: An event-related brain potential analysis of semantic priming. *Brain and Language*, 35(1), 66–85. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(88\)90101-0](https://doi.org/10.1016/0093-934X(88)90101-0)
- Howes, A., Lewis, R. L., & Vera, A. (2009). Rational adaptation under task and processing constraints: Implications for testing theories of cognition and action. *Psychological Review*, 116(4), 717–751. <https://doi.org/10.1037/a0017187>
- Huettig, F. (2015). Four central questions about prediction in language processing. *Brain Research*, 1626, 118–135. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.02.014>
- Huettig, F., & Guerra, E. (2019). Effects of speech rate, preview time of visual context, and participant instructions reveal strong limits on prediction in language processing. *Brain Research*, 1706, 196–208. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2018.11.013>
- Huettig, F., & Mani, N. (2016). Is prediction necessary to understand language? Probably not. *Language, Cognition and Neuroscience*, 31(1), 19–31. <https://doi.org/10.1080/23273798.2015.1072223>
- Humphries, C., Willard, K., Buchsbaum, B., & Hickok, G. (2001). Role of anterior temporal cortex in auditory sentence comprehension: An fMRI study. *NeuroReport*, 12(8), 1749.
- Hyvärinen, A., & Oja, E. (2000). Independent component analysis: Algorithms and applications. *Neural Networks*, 13(4), 411–430. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- Ito, A., Corley, M., Pickering, M. J., Martin, A. E., & Nieuwland, M. S. (2016). Predicting form and meaning: Evidence from brain potentials. *Journal of Memory and Language*, 86, 157–171. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.10.007>
- Janssen, E. M., van der Ven, S. H. G., van Hoogmoed, A. H., & Leseman, P. P. M. (2017). The effect of anticipated achievement feedback on students' semantic processing as indicated by the N400 cloze effect. *Learn-*

ing and Instruction, 47, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2016.10.003>

Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping Functional Architecture by Oscillatory Alpha Activity: Gating by Inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>

Jensen, O., & Tesche, C. D. (2002). Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. *European Journal of Neuroscience*, 15(8), 1395–1399. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2002.01975.x>

Johnson, J. D., McDuff, S. G. R., Rugg, M. D., & Norman, K. A. (2009). Recollection, Familiarity, and Cortical Reinstatement: A Multivoxel Pattern Analysis. *Neuron*, 63(5), 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.08.011>

Keitel, C., Keitel, A., Benwell, C. S. Y., Daube, C., Thut, G., & Gross, J. (2019). Stimulus-Driven Brain Rhythms within the Alpha Band: The Attentional-Modulation Conundrum. *Journal of Neuroscience*, 39(16), 3119–3129. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1633-18.2019>

Keuleers, E., Brysbaert, M., & New, B. (2010). SUBTLEX-NL: A new measure for Dutch word frequency based on film subtitles. *Behavior Research Methods*, 42(3), 643–650. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.3.643>

Klaus, J., & Schutter, D. J. L. G. (2018). The Role of Left Dorsolateral Prefrontal Cortex in Language Processing. *Neuroscience*, 377, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.03.002>

Kristensen, L. B., Engberg-Pedersen, E., & Wallentin, M. (2014). Context Predicts Word Order Processing in Broca's Region. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(12), 2762–2777. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00681

Kristensen, L. B., Wang, L., Petersson, K. M., & Hagoort, P. (2013). The Interface Between Language and Attention: Prosodic Focus Marking Recruits a General Attention Network in Spoken Language Comprehension. *Cerebral Cortex*, 23(8), 1836–1848. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs164>

Kuperberg, G. R., & Jaeger, T. F. (2016). What do we mean by prediction in language comprehension? *Language, Cognition and Neuroscience*, 31(1), 32–59. <https://doi.org/10.1080/23273798.2015.1102299>

Kuperberg, G. R., Paczynski, M., & Ditman, T. (2010). Establishing Causal Coherence across Sentences: An ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(5), 1230–1246. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21452>

Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding mean-

- ing in the N400 component of the event related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621–647. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.131123>
- Lam, N. H. L., Schoffelen, J.-M., Uddén, J., Hultén, A., & Hagoort, P. (2016). Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations. *NeuroImage*, *142*, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.007>
- Lau, E., Almeida, D., Hines, P. C., & Poeppel, D. (2009). A lexical basis for N400 context effects: Evidence from MEG. *Brain and Language*, *111*(3), 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.08.007>
- Lau, E. F., Holcomb, P. J., & Kuperberg, G. R. (2012). Dissociating N400 Effects of Prediction from Association in Single-word Contexts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25*(3), 484–502. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00328
- Lau, E. F., Phillips, C., & Poeppel, D. (2008). A cortical network for semantics: (De)constructing the N400. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*(12), 920–933. <https://doi.org/10.1038/nrn2532>
- Levelt, W. J. M. (1993). *Speaking: From Intention to Articulation*. MIT Press.
- Lewis, A. G., & Bastiaansen, M. (2015). A predictive coding framework for rapid neural dynamics during sentence-level language comprehension. *Cortex*, *68*, 155–168. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.02.014>
- Lewis, A. G., Schoffelen, J.-M., Schriefers, H., & Bastiaansen, M. (2016). A Predictive Coding Perspective on Beta Oscillations during Sentence-Level Language Comprehension. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00085>
- Lewis, A. G., Wang, L., & Bastiaansen, M. (2015). Fast oscillatory dynamics during language comprehension: Unification versus maintenance and prediction? *Brain and Language*, *148*, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2015.01.003>
- Luke, S. G., & Christianson, K. (2016). Limits on lexical prediction during reading. *Cognitive Psychology*, *88*, 22–60. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2016.06.002>
- Mamashli, F., Khan, S., Obleser, J., Friederici, A. D., & Maess, B. (2019). Oscillatory dynamics of cortical functional connections in semantic prediction. *Human Brain Mapping*, *40*(6), 1856–1866. <https://doi.org/10.1002/hbm.24495>
- Mantegna, F., Hintz, F., Ostarek, M., Al-day, P. M., & Huettig, F. (2019). Distinguishing integration and prediction accounts of ERP N400 modulations in language processing through experimental design. *Neuropsychologia*, *134*, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107199>

neuropsychologia.2019.107199

Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, 164(1), 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2007.03.024>

Markov, N. T., Ercsey-Ravasz, M., Van Essen, D. C., Knoblauch, K., Toroczkai, Z., & Kennedy, H. (2013). Cortical High-Density Counterstream Architectures. *Science (New York, N.Y.)*, 342(6158), 1238406. <https://doi.org/10.1126/science.1238406>

Mathewson, K. E., Gratton, G., Fabiani, M., Beck, D. M., & Ro, T. (2009). To See or Not to See: Prestimulus α Phase Predicts Visual Awareness. *Journal of Neuroscience*, 29(9), 2725–2732. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3963-08.2009>

Molinaro, N., Barraza, P., & Carreiras, M. (2013). Long-range neural synchronization supports fast and efficient reading: EEG correlates of processing expected words in sentences. *NeuroImage*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.01.031>

Molinaro, N., Monsalve, I. F., & Lizarazu, M. (2016). Is there a common oscillatory brain mechanism for producing and predicting language? *Language, Cognition and Neuroscience*, 31(1), 145–158. <https://doi.org/10.1080/23273798.2015.1077978>

Monsalve, I. F., Frank, S. L., & Viglioc-

co, G. (2012). Lexical surprisal as a general predictor of reading time. *Proceedings of the 13th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, 398–408.

Morris, R. K. (1994). Lexical and message-level sentence context effects on fixation times in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(1), 92–103. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.1.92>

Moss, H. E., & Marslen-Wilson, W. D. (1993). Access to word meanings during spoken language comprehension: Effects of sentential semantic context. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1254–1276. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.6.1254>

Nelson, S. M., Dosenbach, N. U. F., Cohen, A. L., Wheeler, M. E., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2010). Role of the anterior insula in task-level control and focal attention. *Brain Structure and Function*, 214(5–6), 669–680. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0260-2>

Nieuwland, M., Barr, D., Bartolozzi, F., Busch-Moreno, S., Donaldson, D., Ferguson, H. J., Fu, X., Heyselaar, E., Huettig, F., Husband, M., Ito, A., Kazanina, N., Kogan, V., Kohut, Z., Kulakova, E., Meziere, D., Politzer-Ahles, S., Rousset, G., Rueschmeyer, S.-A., ... Von Grebmer Zu Wolfsturn, S.

- (2019). Dissociable effects of prediction and integration during language comprehension: Evidence from a large-scale study using brain potentials. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1101/267815>
- Nieuwland, M. S., Coopmans, C. W., & Sommers, R. S. (2019). *Distinguishing Old From New Referents During Discourse Comprehension: Evidence From ERPs and Oscillations - ProQuest*. <https://search.proquest.com/openview/9daba2a771d210c9b0ef-f37a8a8f5b3b/1?cbl=4424408&pq-orig-site=gscholar>
- Nieuwland, M. S., Politzer-Ahles, S., Heyselaar, E., Segaert, K., Darley, E., Kazanina, N., Von Grebmer Zu Wolfsturn, S., Bartolozzi, F., Kogan, V., Ito, A., Mézière, D., Barr, D. J., Rousselet, G. A., Ferguson, H. J., Busch-Moreno, S., Fu, X., Tuomainen, J., Kulakova, E., Husband, E. M., ... Huettig, F. (2018). Large-scale replication study reveals a limit on probabilistic prediction in language comprehension. *ELife*, 7, e33468. <https://doi.org/10.7554/eLife.33468>
- Nolte, G. (2003). The magnetic lead field theorem in the quasi-static approximation and its use for magnetoencephalography forward calculation in realistic volume conductors. *Physics in Medicine and Biology*, 48(22), 3637–3652.
- Oh, A., Duerden, E. G., & Pang, E. W. (2014). The role of the insula in speech and language processing. *Brain and Language*, 135, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.06.003>
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J.-M. (2011). FieldTrip: Open Source Software for Advanced Analysis of MEG, EEG, and Invasive Electrophysiological Data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/156869>
- Peelen, M. V., & Caramazza, A. (2012). Conceptual Object Representations in Human Anterior Temporal Cortex. *Journal of Neuroscience*, 32(45), 15728–15736. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1953-12.2012>
- Peelle, J. E., Troiani, V., Wingfield, A., & Grossman, M. (2010). Neural Processing during Older Adults' Comprehension of Spoken Sentences: Age Differences in Resource Allocation and Connectivity. *Cerebral Cortex*, 20(4), 773–782. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp142>
- Piai, V. (2019, July 6). *Speaking waves: Neuronal oscillations in language production*. Vitória Piai. http://vitoriapiai.ruhosting.nl/publication/piai_speaking_2019/
- Piai, V., Anderson, K. L., Lin, J. J., Dewar, C., Parvizi, J., Dronkers, N. F., & Knight, R. T. (2016). Direct brain recordings reveal hippocampal rhythm underpinnings of language

processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(40), 11366–11371. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603312113>

Piai, V., & Roelofs, A. (2013). Working memory capacity and dual-task interference in picture naming. *Acta Psychologica*, 142(3), 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.01.006>

Piai, V., Roelofs, A., & Maris, E. (2014). Oscillatory brain responses in spoken word production reflect lexical frequency and sentential constraint. *Neuropsychologia*, 53, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.11.014>

Piai, V., Roelofs, A., Rommers, J., & Maris, E. (2015). Beta oscillations reflect memory and motor aspects of spoken word production. *Human Brain Mapping*, 36(7), 2767–2780. <https://doi.org/10.1002/hbm.22806>

Piai, V., Rommers, J., & Knight, R. T. (2017). Evidence for a causal link between left posterior alpha-beta power decreases and context-driven word production. *BioRxiv*, 150748. <https://doi.org/10.1101/150748>

Poldrack, R. (2006). Can cognitive processes be inferred from neuroimaging data? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(2), 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.12.004>

Rice, G. E., Lambon Ralph, M. A., & Hoffman, P. (2015). The Roles of Left Versus

Right Anterior Temporal Lobes in Conceptual Knowledge: An ALE Meta-analysis of 97 Functional Neuroimaging Studies. *Cerebral Cortex*, 25(11), 4374–4391. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv024>

Röhm, D., Klimesch, W., Haider, H., & Doppelmayr, M. (2001). The role of theta and alpha oscillations for language comprehension in the human electroencephalogram. *Neuroscience Letters*, 310(2), 137–140. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02106-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02106-1)

Rommers, J., Dickson, D. S., Norton, J. J. S., Wlotko, E. W., & Federmeier, K. D. (2017). Alpha and theta band dynamics related to sentential constraint and word expectancy. *Language, Cognition and Neuroscience*, 32(5), 576–589. <https://doi.org/10.1080/023273798.2016.1183799>

Rommers, J., Dijkstra, T., & Bastiaansen, M. (2012). Context-dependent Semantic Processing in the Human Brain: Evidence from Idiom Comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(5), 762–776. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00337

Roux, F., & Uhlhaas, P. J. (2014). Working memory and neural oscillations: Alpha-gamma versus theta-gamma codes for distinct WM information? *Trends in Cognitive Sciences*, 18(1), 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.10.010>

- Ryskin, R., Levy, R. P., & Fedorenko, E. (2020). Do domain-general executive resources play a role in linguistic prediction? Re-evaluation of the evidence and a path forward. *Neuropsychologia*, *136*, 107258. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107258>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, *57*(2), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018>
- Schoffelen, J.-M., & Gross, J. (2011). Improving the interpretability of all-to-all pairwise source connectivity analysis in MEG with nonhomogeneous smoothing. *Human Brain Mapping*, *32*(3), 426–437. <https://doi.org/10.1002/hbm.21031>
- Schoffelen, J.-M., Hultén, A., Lam, N., Marquand, A. F., Uddén, J., & Hagoort, P. (2017). Frequency-specific directed interactions in the human brain network for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(30), 8083–8088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703155114>
- Stolk, A., Todorovic, A., Schoffelen, J.-M., & Oostenveld, R. (2013). Online and offline tools for head movement compensation in MEG. *NeuroImage*, *68*, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.047>
- Tanenhaus, M. K., & Trueswell, J. C. (2006). Chapter 22—Eye Movements and Spoken Language Comprehension. In M. J. Traxler & M. A. Gernsbacher (Eds.), *Handbook of Psycholinguistics (Second Edition)* (pp. 863–900). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012369374-7/50023-7>
- Terporten, R., Schoffelen, J.-M., Dai, B., Hagoort, P., & Kösem, A. (2019). The Relation between Alpha/Beta Oscillations and the Encoding of Sentence induced Contextual Information. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56600-x>
- Tromp, J., Peeters, D., Meyer, A. S., & Hagoort, P. (2018). The combined use of virtual reality and EEG to study language processing in naturalistic environments. *Behavior Research Methods*, *50*(2), 862–869. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0911-9>
- Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, *5*(2), 99–114.
- Van Berkum, J. J. A. (2008). Understanding Sentences in Context: What Brain Waves Can Tell Us. *Current Directions in Psychological Science*, *17*(6), 376–380. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00609.x>
- Van Berkum, J. J. A., Brown, C. M., Zwitserlood, P., Kooijman, V., & Hagoort, P. (2005). Anticipating Upcoming Words in Discourse: Evidence From ERPs and Reading

- Times. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(3), 443–467. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.3.443>
- Van Petten, C., & Luka, B. J. (2012). Prediction during language comprehension: Benefits, costs, and ERP components. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.015>
- Wang, L., Bastiaansen, M., Yang, Y., & Hagoort, P. (2011). The influence of information structure on the depth of semantic processing: How focus and pitch accent determine the size of the N400 effect. *Neuropsychologia*, 49(5), 813–820. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.035>
- Wang, L., Hagoort, P., & Jensen, O. (2017). Language Prediction Is Reflected by Coupling between Frontal Gamma and Posterior Alpha Oscillations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(3), 432–447. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01190
- Wang, L., Jensen, O., Brink, D. van den, Weder, N., Schoffelen, J.-M., Magyari, L., Hagoort, P., & Bastiaansen, M. (2012). Beta oscillations relate to the N400m during language comprehension. *Human Brain Mapping*, 33(12), 2898–2912. <https://doi.org/10.1002/hbm.21410>
- Wang, L., Zhu, Z., & Bastiaansen, M. (2012). Integration or Predictability? A Further Specification of the Functional Role of Gamma Oscillations in Language Comprehension. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00187>
- Weiss, S., & Mueller, H. M. (2012). “Too Many betas do not Spoil the Broth”: The Role of Beta Brain Oscillations in Language Processing. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00201>
- Willems, R. M., Frank, S. L., Nijhof, A. D., Hagoort, P., & van den Bosch, A. (2016). Prediction During Natural Language Comprehension. *Cerebral Cortex*, 26(6), 2506–2516. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv075>
- Willems, R. M., Oostenveld, R., & Hagoort, P. (2008). Early decreases in alpha and gamma band power distinguish linguistic from visual information during spoken sentence comprehension. *Brain Research*, 1219, 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.04.065>
- Xu, J., Kemeny, S., Park, G., Frattali, C., & Braun, A. (2005). Language in context: Emergent features of word, sentence, and narrative comprehension. *NeuroImage*, 25(3), 1002–1015. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.013>
- Yoon, J. H., Grandelis, A., & Maddock, R. J. (2016). Dorsolateral Prefrontal Cortex GABA Concentration in Humans Predicts

Working Memory Load Processing Capacity. *Journal of Neuroscience*, 36(46), 11788–11794. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1970-16.2016>

Zekveld, A. A., Heslenfeld, D. J., Festen, J. M., & Schoonhoven, R. van. (2006). Top-down and bottom-up processes in speech comprehension. *NeuroImage*, 32(4), 1826–1836. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.04.199>

Appendices

Appendix A

Stimulus Material Chapter 2 Critical Sentences

Item Nr.	Constraint	Sentence
1	HC	Hij denkt na over de opwarming van onze mooie aarde.
2	MC	Hij denkt na over het klimaat van onze mooie aarde.
3	LC	Hij denkt na over de eigenschappen van onze mooie aarde.
4	HC	Van te veel knoflook krijg ik een slechte adem.
5	MC	Van te veel uien krijg ik een slechte adem.
6	LC	Van te veel voedsel krijg ik een slechte adem.
7	HC	Ze won de rechtszaak dankzij haar dure advocaat.
8	MC	Ze won de discussie dankzij haar dure advocaat.
9	LC	Ze won het conflict dankzij haar dure advocaat.
10	HC	Sinds de aanslagen hebben veel mensen angst.
11	MC	Sinds de voorvallen hebben veel mensen angst.
12	LC	Sinds de aankondigingen hebben veel mensen angst.
13	HC	Deze medicijnen koop je bij een apotheek.
14	MC	Deze pillen koop je bij een apotheek.
15	LC	Deze spullen koop je bij een apotheek.
16	HC	Gerard koopt nieuwe velgen voor zijn snelle auto.
17	MC	Gerard koopt nieuw materiaal voor zijn snelle auto.
18	LC	Gerard koopt nieuwe hoezen voor zijn snelle auto.
19	HC	Dankzij mijn gehaalde rijbewijs bestuur ik zelf een auto.
20	MC	Dankzij mijn gehaalde legitimatie bestuur ik zelf een auto.
21	LC	Dankzij mijn gehaalde papiertje bestuur ik zelf een auto.
22	HC	Het grote kruispunt staat helemaal vol met auto's.
23	MC	De grote garage staat helemaal vol met auto's.
24	LC	De grote loods staat helemaal vol met auto's.
25	HC	In de wieg zag ze de slapende baby.
26	MC	In de kinderkamer zag ze de slapende baby.
27	LC	In de kamer zag ze de slapende baby.
28	HC	Om wat vers brood te kopen ging hij naar een bakker.

29	MC	Om wat verse croissants te kopen ging hij naar een bakker.
30	LC	Om wat verse deegwaren te kopen ging hij naar een bakker.
31	HC	De aap had honger en at daarom een banaan.
32	MC	De bruid had honger en at daarom een banaan.
33	LC	De olifant had honger en at daarom een banaan.
34	HC	Joop heeft vuil op zijn hand vanwege zijn lekke band.
35	MC	Joop heeft veranderingen op zijn hand vanwege zijn lekke band.
36	LC	Joop heeft vlekken op zijn hand vanwege zijn lekke band.
37	HC	Peter ligt op het matras van zijn nieuwe bed.
38	MC	Peter ligt op het kussen van zijn nieuwe bed.
39	LC	Peter ligt op de stof van zijn nieuwe bed.
40	HC	De vermoeide actievelingen liggen allemaal in hun bed.
41	MC	De vermoeide reizigers liggen allemaal in hun bed.
42	LC	De vermoeide groepen liggen allemaal in hun bed.
43	HC	De Efteling trekt ieder jaar veel bezoekers.
44	MC	De stad trekt ieder jaar veel bezoekers.
45	LC	Het bedrijf trekt ieder jaar veel bezoekers.
46	HC	Het bedrijf brouwt jaarlijks duizenden liters bier.
47	MC	Het bedrijf produceert jaarlijks duizenden liters bier.
48	LC	Het bedrijf vervoert jaarlijks duizenden liters bier.
49	HC	Hij hakte het hout met een bijl.
50	MC	Hij verkleint het hout met een bijl.
51	LC	Hij bewerkte het hout met een bijl.
52	HC	De beroemde schrijfster promootte haar nieuwe boek.
53	MC	De beroemde auteur promootte haar nieuwe boek.
54	LC	De beroemde vrouw promootte haar nieuwe boek.
55	HC	Ze hebben veel vee op deze grote boerderij.
56	MC	Ze hebben veel koeien op deze grote boerderij.
57	LC	Ze hebben veel lekkers op deze grote boerderij.
58	HC	Deze koffie wordt gemaakt van de allerbeste bonen.
59	MC	Deze drank wordt gemaakt van de allerbeste bonen.
60	LC	Deze cappuccino wordt gemaakt van de allerbeste bonen.
61	HC	De oude bast valt al van de boom.

62	MC	De oude laag valt al van de boom.
63	LC	Het oude hout valt al van de boom.
64	HC	De grote noot valt uit een boom.
65	MC	De grote eekhoorn valt uit een boom.
66	LC	Het grote object valt uit een boom.
67	HC	Om over het water te komen gebruiken zij de boot.
68	MC	Om over de rivier te komen gebruiken zij de boot.
69	LC	Om over de versperring te komen gebruiken zij de boot.
70	HC	Hij kon niet goed zien en pakte daarom zijn bril.
71	MC	Hij kon niet goed focussen en pakte daarom zijn bril.
72	LC	Hij kon niet goed meedoen en pakte daarom zijn bril.
73	HC	David kiest voor de lenzen in plaats van een bril.
74	MC	David kiest voor de loep in plaats van een bril.
75	LC	David kiest voor de middelen in plaats van een bril.
76	HC	Ina houdt niet van halvarine op haar eigen brood.
77	MC	Ina houdt niet van beleg op haar eigen brood.
78	LC	Ina houdt niet van vet op haar eigen brood.
79	HC	Mijn collega zit aan zijn grote bureau.
80	MC	Mijn baas zit aan zijn grote bureau.
81	LC	Mijn kennis zit aan zijn grote bureau.
82	HC	Kijk eens naar de paparazzi met hun dure camera's.
83	MC	Kijk eens naar de fotografen met hun dure camera's.
84	LC	Kijk eens naar de deelnemers met hun dure camera's.
85	HC	De acrobaat speelde gisteren in het nieuwe circus.
86	MC	De clown speelde gisteren in het nieuwe circus.
87	LC	De artiest speelde gisteren in het nieuwe circus.
88	HC	De oude docent geeft een interessant college.
89	MC	De oude professor geeft een interessant college.
90	LC	De oude denker geeft een interessant college.
91	HC	De ICT'ers zitten meestal voor een computer.
92	MC	De nerds zitten meestal voor een computer.
93	LC	De ambtenaren zitten meestal voor een computer.
94	HC	De USB komt terecht in de ingang van een computer.
95	MC	De diskette komt terecht in de ingang van een computer.
96	LC	Het voorwerp komt terecht in de ingang van een computer.
97	HC	De gentleman opent voor haar een deur.
98	MC	De geleerde opent voor haar een deur.

99	LC	De romanticus opent voor haar een deur.
100	HC	Op de boerderij zijn veel soorten dieren.
101	MC	Op het hof zijn veel soorten dieren.
102	LC	In het park zijn veel soorten dieren.
103	HC	In het theater opent het rode doek.
104	MC	In de bioscoop opent het rode doek.
105	LC	In het complex opent het rode doek.
106	HC	Vanwege zijn slechte situatie moet hij vaak naar de dokter.
107	MC	Vanwege zijn slechte controle moet hij vaak naar de dokter.
108	LC	Vanwege zijn slechte concentratie moet hij vaak naar de dokter.
109	HC	Na al dat zweten neem ik altijd een douche.
110	MC	Na al dat zwemmen neem ik altijd een douche.
111	LC	Na al dat werken neem ik altijd een douche.
112	HC	Deze wijn wordt gemaakt van de beste druiven.
113	MC	Dit product wordt gemaakt van de beste druiven.
114	LC	Dit sap wordt gemaakt van de beste druiven.
115	HC	Ze deed de brief in een witte envelop.
116	MC	Ze deed het testament in een witte envelop.
117	LC	Ze deed het portret in een witte envelop.
118	HC	De bak zit vol met resten van eten.
119	MC	De pot zit vol met resten van eten.
120	LC	De kast zit vol met resten van eten.
121	HC	De jarige plande de voorbereidingen voor een feest.
122	MC	Het jongetje plande de voorbereidingen voor een feest.
123	LC	De eventmanager plande de voorbereidingen voor een feest.
124	HC	De wielrenner is erg gehecht aan zijn fiets.
125	MC	De postbode is erg gehecht aan zijn fiets.
126	LC	De ambtenaar is erg gehecht aan zijn fiets.
127	HC	Aan deze balie geven ze Piet een formulier.
128	MC	Aan dat loket geven ze Piet een formulier.
129	LC	Aan dat portaal geven ze Piet een formulier.
130	HC	Met zijn mobiel maakte hij veel mooie foto's.
131	MC	Met zijn apparaat maakte hij veel mooie foto's.
132	LC	Met zijn techniek maakte hij veel mooie foto's.

133	HC	De herbergier zorgt goed voor alle gasten.
134	MC	De barman zorgt goed voor alle gasten.
135	LC	Deze meneer zorgt goed voor alle gasten.
136	HC	Vanwege de evacuatie is er niemand meer in het gebouw.
137	MC	Vanwege de omstandigheden is er niemand meer in het gebouw.
138	LC	Vanwege de vakantie is er niemand meer in het gebouw.
139	HC	Bij de snelle attractie hoor je meestal gegil.
140	MC	Bij de snelle achtbaan hoor je meestal gegil.
141	LC	Bij het snelle gevaarte hoor je meestal gegil.
142	HC	In mijn verborgen dagboek staan al mijn geheimen.
143	MC	In mijn verborgen boek staan al mijn geheimen.
144	LC	In mijn verborgen papiertje staan al mijn geheimen.
145	HC	Op mijn creditkaart staat helaas geen geld.
146	HC	Aan het casino verloor ik al mijn geld.
147	MC	Op mijn pas staat helaas geen geld.
148	MC	Aan de verkoopster verloor ik al mijn geld.
149	LC	Op mijn kaart staat helaas geen geld.
150	LC	Aan de tegenstander verloor ik al mijn geld.
151	HC	Ik stop niet met die gebeden op grond van mijn geloof.
152	MC	Ik stop niet met die spellen op grond van mijn geloof.
153	LC	Ik stop niet met dit gedrag op grond van mijn geloof.
154	HC	Sara heeft een wezen en dat maakt iedere dag een geluid.
155	MC	Sara heeft een dier en dat maakt iedere dag een geluid.
156	LC	Sara heeft een vogel en die maakt iedere dag een geluid.
157	HC	In het dure restaurant eet ik meerdere gerechten.
158	MC	In het dure hotel eet ik meerdere gerechten.
159	LC	In het dure vertrek eet ik meerdere gerechten.
160	HC	Morgen komt de crimineel eindelijk terecht in een gevangenis.
161	MC	Morgen komt de dief eindelijk terecht in een gevangenis.
162	LC	Morgen komt de partner eindelijk terecht in een gevangenis.
163	HC	Tijdens de activiteit had ik een goed gevoel.
164	MC	Tijdens de ballonvaart had ik een goed gevoel.

165	LC	Tijdens de rondvaart had ik een goed gevoel.
166	HC	Om het water te geven aan de plantjes gebruik je een gieter.
167	MC	Om de vloeistof te geven aan de plantjes gebruik je een gieter.
168	LC	Om de oppepper te geven aan de plantjes gebruik je een gieter.
169	HC	In het gebed staan verhalen over god.
170	MC	In de tekst staan verhalen over god.
171	LC	In de parabel staan verhalen over god.
172	HC	Hij verklapte de trucs van de fantastische goochelaar.
173	MC	Hij verklapte de magie van de fantastische goochelaar.
174	LC	Hij verklapte het dilemma van de fantastische goochelaar.
175	HC	De cabaretier maakte de hele avond grappen.
176	MC	De acteur maakte de hele avond grappen.
177	LC	Het zusje maakte de hele avond grappen.
178	HC	In de strijd valt iedereen op de grond.
179	MC	In de dom valt iedereen op de grond.
180	LC	In het bouwwerk valt iedereen op de grond.
181	HC	Hij sloeg op zijn duim met een zware hamer.
182	HC	Aan het einde van de veiling hoor je het slaan van een hamer.
183	MC	Aan het einde van de rechtszaak hoor je het slaan van een hamer.
184	MC	Hij sloeg op zijn arm met een zware hamer.
185	LC	Hij sloeg op zijn ledemaat met een zware hamer.
186	LC	Aan het einde van de gelegenheid hoor je het slaan van een hamer.
187	HC	De liefdesbrief had de vorm van een hart.
188	MC	De chocolaatjes hebben de vorm van een hart.
189	LC	Het geschrift had de vorm van een hart.
190	HC	De mijnwerkers dragen natuurlijk allemaal een helm.
191	MC	De fietsers dragen natuurlijk allemaal een helm.
192	LC	De gebruikers dragen natuurlijk allemaal een helm.
193	HC	Er liggen bladeren op de stoep want het is herfst.
194	MC	Er ligt warboel op de stoep want het is herfst.
195	LC	Er liggen klompen op de stoep want het is herfst.

196	HC	Hans staat niet te dicht bij de lava vanwege de enorme hitte.
197	MC	Hans staat niet te dicht bij het fenomeen vanwege de enorme hitte.
198	LC	Hans staat niet te dicht bij de smid vanwege de enorme hitte.
199	HC	De fantastische tovenaars haalde een konijn uit zijn hoed.
200	MC	De fantastische kunstenaar haalde een konijn uit zijn hoed.
201	LC	De fantastische boer haalde een konijn uit zijn hoed.
202	HC	Het lieve baasje gaat elke dag wandelen met de hond.
203	MC	De lieve vader gaat elke dag wandelen met de hond.
204	LC	De lieve oppasser gaat elke dag wandelen met de hond.
205	HC	Door de beul verliest hij zijn hoofd.
206	MC	Door de regeling verliest hij zijn hoofd.
207	LC	Door de bijl verliest hij zijn hoofd.
208	HC	Ik houd niet van die bruggen vanwege de verschrikkelijke hoogte.
209	MC	Ik houd niet van die panden vanwege de verschrikkelijke hoogte.
210	LC	Ik houd niet van die achtbaan vanwege de verschrikkelijke hoogte.
211	HC	In die stad verbleven we in een heel mooi hotel.
212	MC	In die stad ontspanden we in een heel mooi hotel.
213	LC	In die stad spraken we in een heel mooi hotel.
214	HC	Deze oude kast is gemaakt van echt hout.
215	MC	Dit oude materiaal is gemaakt van echt hout.
216	LC	Dit oude meubel is gemaakt van echt hout.
217	HC	Een makelaar adviseerde ons bij de aankoop van een huis.
218	MC	Een bouwer adviseerde ons bij de aankoop van een huis.
219	LC	Een kameraad adviseerde ons bij de aankoop van een huis.
220	HC	De eskimo testte eerst het ijs.
221	MC	De schaatser testte eerst het ijs.
222	LC	De schoondochter testte eerst het ijs.
223	HC	Die arts draagt een witte jas.
224	MC	Die wetenschapper draagt een witte jas.

225	LC	Die madam draagt een witte jas.
226	HC	Bij de gelegenheid dragen dames vaak een jurk.
227	MC	Bij het dansen dragen dames vaak een jurk.
228	LC	Bij de activiteit dragen dames vaak een jurk.
229	HC	De atlas bevat heel veel uitvoerige kaarten.
230	MC	Het navigatiesysteem bevat veel uitvoerige kaarten.
231	LC	De bladzijde bevat heel veel uitvoerige kaarten.
232	HC	Haar aanhoudende heesheid veroorzaakt pijn in haar keel.
233	MC	Haar aanhoudende verkoudheid veroorzaakt pijn in haar keel.
234	LC	Haar aanhoudende gedoe veroorzaakt pijn in haar keel.
235	HC	De christenen zijn op weg naar een kerk.
236	MC	De misdienaars zijn op weg naar een kerk.
237	LC	De massa is op weg naar een kerk.
238	HC	Morgen geeft de priester een toespraak in een kerk.
239	MC	Morgen geeft de weduwe een toespraak in een kerk.
240	LC	Morgen geeft de enthousiasteling een toespraak in een kerk.
241	HC	Tijdens de paasdagen waren all mensen in de kerk.
242	MC	Tijdens de uitvaart waren alle mensen in de kerk.
243	LC	Tijdens de situatie waren alle mensen in de kerk.
244	HC	Piet zoekt een pan in zijn nieuwe keuken.
245	MC	Piet zoekt een voorwerp in zijn nieuwe keuken.
246	LC	Piet zoekt een vork in zijn nieuwe keuken.
247	HC	Hij is bezig met koken in de nieuwe keuken.
248	MC	Hij is bezig met poetsen in de nieuwe keuken.
249	LC	Hij is bezig met opruimen in de nieuwe keuken.
250	HC	Hij moet naar die tandarts vanwege een ontstoken kies.
251	MC	Hij moet naar die persoon vanwege een ontstoken kies.
252	LC	Hij moet naar die heelmeeester vanwege een ontstoken kies.
253	HC	Het kristal verandert het licht in een andere kleur.
254	MC	Het scherm verandert het licht in een andere kleur.
255	LC	De spiegel verandert het licht in een andere kleur.
256	HC	Moeder zette de vleeswaren terug in de koelkast.
257	MC	Moeder zette het voedsel terug in de koelkast.
258	LC	Moeder zette de spullen terug in de koelkast.

259	HC	In dat café geniet ik 'sochtends van de beste koffie.
260	MC	In die ruimte geniet ik 'sochtends van de beste koffie.
261	LC	In die bar geniet ik 'sochtends van de beste koffie.
262	HC	Onze Maxima is sinds een paar jaar onze koningin.
263	MC	Onze prinses is sinds een paar jaar onze koningin.
264	LC	Ons nichtje is sinds een paar jaar onze koningin.
265	HC	Tijdens carnaval dragen veel mensen een grappig kostuum.
266	MC	Tijdens gala's dragen veel mensen een grappig kostuum.
267	LC	Tijdens evenementen dragen veel mensen een grappig kostuum.
268	HC	Mijn vader koopt iedere ochtend een krant.
269	MC	Mijn vader bekijkt iedere ochtend een krant.
270	LC	Mijn vader grijpt iedere ochtend een krant.
271	HC	De koningin droeg op haar hoofd een gouden kroon.
272	MC	De aristocraat droeg op haar hoofd een gouden kroon.
273	LC	De vrouw droeg op haar hoofd een gouden kroon.
274	HC	De koning van alle dieren is de leeuw.
275	MC	De edelste van alle dieren is de leeuw.
276	LC	De mooiste van alle dieren is de leeuw.
277	HC	Hij werd generaal bij het Nederlandse leger.
278	MC	Hij werd leider bij het Nederlandse leger.
279	LC	Hij werd lid van het Nederlandse leger.
280	HC	Marie heeft tattoos over haar hele lichaam.
281	MC	Marie heeft verrekkingen over haar hele lichaam.
282	LC	Marie heeft afbeeldingen over haar hele lichaam.
283	HC	In de steeg was heel weinig licht.
284	MC	In de catacomben was heel weinig licht.
285	LC	In de constructie was heel weinig licht.
286	HC	Haar nieuwe lippenstift zorgde voor mooie rode lippen.
287	MC	Haar nieuwe aankoop zorgde voor mooie rode lippen.
288	LC	Haar nieuw gebruiksvoorwerp zorgde voor mooie rode lippen.
289	HC	Vanwege mijn verstopte wc bel ik een loodgieter.
290	MC	Vanwege mijn kapotte wc bel ik een loodgieter.
291	LC	Vanwege mijn scheve wc bel ik een loodgieter.
292	HC	Alle beroemde acteurs staan op de rode loper.
293	MC	Alle beroemde kunstenaars staan op de rode loper.

294	LC	Alle beroemde nakomelingen staan op de rode loper.
295	HC	Met behulp van propellers blijft het voorwerp in de lucht.
296	MC	Met behulp van wind blijft het voorwerp in de lucht.
297	LC	Met behulp van apparaten blijft het voorwerp in de lucht.
298	HC	Hier op die mesthoop hangt een erg vieze lucht.
299	MC	Hier op die belt hangt een erg vieze lucht.
300	LC	Hier op die heuvel hangt een erg vieze lucht.
301	HC	De jonggehuwde werd afgebeeld met haar man.
302	MC	De echtgenote werd afgebeeld met haar man.
303	LC	De meid werd afgebeeld met haar man.
304	HC	Omdat zij allergisch is gebruikt zij veel medicijnen.
305	MC	Omdat zij verkouden is gebruikt zij veel medicijnen.
306	LC	Omdat zij bedroefd is gebruikt zij veel medicijnen.
307	HC	Deze nieuwe robot lijkt heel erg op een mens.
308	MC	Dit nieuwe standbeeld lijkt heel erg op een mens.
309	LC	Deze nieuwe techniek lijkt heel erg op een mens.
310	HC	Op de stoep lopen best veel mensen.
311	MC	Op de straat lopen best veel mensen.
312	LC	Op dit veld lopen best veel mensen.
313	HC	Om de cellen te kunnen zien gebruikte hij een microscoop.
314	MC	Om de zandkorrels te kunnen zien gebruikte hij een microscoop.
315	LC	Om de objecten te kunnen zien gebruikte hij een microscoop.
316	HC	Het varken neemt een bad in de modder.
317	MC	De koe neemt een bad in de modder.
318	LC	Het dier neemt een bad in de modder.
319	HC	Ik werd vannacht gestoken door een irritante mug.
320	MC	Ik werd vannacht wakker door een irritante mug.
321	LC	Ik werd vannacht bekeken door een irritante mug.
322	HC	De grote vesting wordt beschermd door sterke muren.
323	MC	De grote gevangenis wordt beschermd door sterke muren.
324	LC	De grote architectuur wordt beschermd door sterke muren.
325	HC	Die spullen uit de ruïne komen terecht in een museum.

326	MC	Die spullen uit de schatkamer komen terecht in een museum.
327	LC	Die spullen uit het gewelf komen terecht in een museum.
328	HC	Mijn plastic kabouters hebben allemaal een rode muts.
329	MC	Mijn plastic figuren hebben allemaal een rode muts.
330	LC	Mijn plastic mannetjes hebben allemaal een rode muts.
331	HC	Naast de naaidoos zag zij een scherpe naald.
332	MC	Naast de draden zag zij een scherpe naald.
333	LC	Naast de commode zag zij een scherpe naald.
334	HC	Zonder haar knuffel heeft Lisa geen goede nachtrust.
335	HC	Vanwege zijn nachtmerries heeft hij geen goede nachtrust.
336	MC	Zonder haar valeriaan heeft Lisa geen goede nachtrust.
337	MC	Vanwegen zijn zorgen heeft hij geen goede nachtrust.
338	LC	Zonder haar artikel heeft Lisa geen goede nachtrust.
339	LC	Vanwege zijn toestand heeft hij geen goede nachtrust.
340	HC	De giraf is bekend vanwege zijn lange nek.
341	MC	De lama is bekend vanwege zijn lange nek.
342	LC	Dit schepsel is bekend vanwege zijn lange nek.
343	HC	De eenden zitten in hun nest.
344	MC	De kuikens zitten in hun nest.
345	LC	De beesten zitten in hun nest.
346	HC	Vroeger was die Pinocchio een jongen met een lange neus.
347	MC	Vroeger was die marionet een jongen met een lange neus.
348	LC	Vroeger was die Hein een jongen met een lange neus.
349	HC	In de krant staat alleen maar slecht nieuws.
350	MC	In het blad staat alleen maar slecht nieuws.
351	LC	In de samenvatting staat alleen maar slecht nieuws.
352	HC	Ik eet die cornflakes vaak bij het ontbijt.
353	MC	Ik eet dat brood vaak bij het ontbijt.
354	LC	Ik eet die voorraad vaak bij het ontbijt.
355	HC	De chirurg voltooide met goed gevolg een operatie.
356	MC	De internist voltooide met goed gevolg een operatie.
357	LC	De expert voltooide met goed gevolg een operatie.
358	HC	Voor een goede bril ga ik naar een opticien.

359	MC	Voor een goede lens ga ik naar een opticien.
360	LC	Voor een goed advies ga ik naar een opticien.
361	HC	De oude schildknaap zit op een prachtig paard.
362	MC	De oude jongen zit op een prachtig paard.
363	LC	De oude indiaan zit op een prachtig paard.
364	HC	Op die manege hebben ze veel paarden.
365	MC	Op dat circus hebben ze veel paarden.
366	LC	Op die club hebben ze veel paarden.
367	HC	Deze verkoper is gekleed in een mooi pak.
368	MC	Deze advocaat is gekleed in een mooi pak.
369	LC	Deze excentriekeling is gekleed in een mooi pak.
370	HC	De oude zegel is gemaakt van papier.
371	MC	De oude kaart is gemaakt van papier.
372	LC	Het oude teken is gemaakt van papier.
373	HC	In de regen lopen mensen vaak met een paraplu.
374	MC	In de storm lopen mensen vaak met een paraplu.
375	LC	In de buurt lopen mensen vaak met een paraplu.
376	HC	Om de Eiffeltoren te bekijken ging ze naar Parijs.
377	MC	Om de Seine te bekijken ging ze naar Parijs.
378	LC	Om de stad te bekijken ging ze naar Parijs.
379	HC	De dokters zorgen goed voor alle patienten.
380	MC	De verplegers zorgen goed voor alle patienten.
381	LC	De personeelsleden zorgen goed voor alle patienten.
382	HC	Die prik doet best veel pijn.
383	MC	Die plek doet best veel pijn.
384	LC	Die omstandigheid doet best veel pijn.
385	HC	Ze verwijdert de splinter met een kleine pincet.
386	MC	Ze verwijdert de stekels met een kleine pincet.
387	LC	Ze verwijdert de irritatie met een kleine pincet.
388	HC	Piet houdt niet van ansjovis op zijn bestelde pizza.
389	MC	Piet houdt niet van groentes op zijn bestelde pizza.
390	LC	Piet houdt niet van zout op zijn bestelde pizza.
391	HC	Mijn sprankelende kroonluchter hangt aan het witte plafond.
392	MC	Mijn sprankelende lamp hangt aan het witte plafond.
393	LC	Mijn sprankelende eyecatcher hangt aan het witte plafond.
394	HC	In de bioscoop eet ik altijd een grote bak popcorn.

395	MC	In het circus eet ik altijd een grote bak popcorn.
396	LC	In de zaal eet ik altijd een grote bak popcorn.
397	HC	Ik doe het wisselgeld terug in mijn portemonnee.
398	MC	Ik doe het materieel terug in mijn portemonnee.
399	LC	Ik doe het rijbewijs terug in mijn portemonnee.
400	HC	Tijdens het schetsen gebruik ik mijn favoriete potlood.
401	MC	Tijdens het kleuren gebruik ik mijn favoriete potlood.
402	LC	Tijdens de actie gebruik ik mijn favoriete potlood.
403	HC	Hij gaf haar een oorkonde voor haar mooie prestatie.
404	MC	Hij gaf haar een cadeau voor haar mooie prestatie.
405	LC	Hij gaf haar een pakket voor haar mooie prestatie.
406	HC	De Egyptenaren bouwden een hele grote pyramide.
407	MC	De slaven bouwden een hele grote pyramide.
408	LC	Het volk bouwde een hele grote pyramide.
409	HC	De actieve tennisser slaat met zijn nieuwe racket.
410	MC	De actieve buitensporter slaat met zijn nieuwe racket.
411	LC	De actieve knul slaat met zijn nieuwe racket.
412	HC	Morgen gaat de ober werken in het nieuwe restaurant.
413	MC	Morgen gaat de kok werken in het nieuwe restaurant.
414	LC	Morgen gaat de kerel werken in het nieuwe restaurant.
415	HC	Die man in dat harnas is duidelijk een ridder.
416	MC	Die man in dit pantser is duidelijk een ridder.
417	LC	Die man in dat hemd is duidelijk een ridder.
418	HC	Tijdens het aanzoek gaf hij zijn vriendin een ring.
419	MC	Tijdens de maaltijd gaf hij zijn vriendin een ring.
420	LC	Tijdens de verrassing gaf hij zijn vriendin een ring.
421	HC	De diamant zit op de glanzende ring.
422	MC	Het juweel zit op de glanzende ring.
423	LC	Het puntje zit op de glanzende ring.
424	HC	De invalide man zat in een rolstoel.
425	MC	De aangereden man zat in een rolstoel.
426	LC	De dromerige man zat in een rolstoel.
427	HC	Bij de barbecue ontstaat plotseling zwarte rook.
428	MC	Bij de bijeenkomst ontstaat plotseling zwarte rook.
429	LC	Bij de opname ontstaat plotseling zwarte rook.
430	HC	Na het slepen had ik last van mijn rug.
431	MC	Na de verhuizing had ik last van mijn rug.
432	LC	Na de inspanning had ik last van mijn rug.

433	HC	We zagen leeuwen tijdens de leuke safari.
434	MC	We zagen dieren tijdens de leuke safari.
435	LC	We zagen slangen tijdens de leuke safari.
436	HC	Met deze huid blijf ik liever in de schaduw.
437	MC	Met deze hitte blijf ik liever in de schaduw.
438	LC	Met deze toestand blijf ik liever in de schaduw.
439	HC	Ze ging naar het museum vanwege het beroemde schilderij.
440	MC	Ze ging naar het atelier vanwege het beroemde schilderij.
441	LC	Ze ging naar het gebouw vanwege het beroemde schilderij.
442	HC	Hij maakte een tekening van het bekende schilderij.
443	MC	Hij maakte een vervalsing van het bekende schilderij.
444	LC	Hij maakte een plaatje van het bekende schilderij.
445	HC	Alle kinderen moeten natuurlijk naar school.
446	MC	Alle studenten moeten natuurlijk naar school.
447	LC	Alle aanwezigen moeten natuurlijk naar school.
448	HC	Voor het tuinwerk plaats ik alles in de schuur.
449	MC	Voor de opzet plaats ik alles in de schuur.
450	LC	Voor de renovatie plaats ik alles in de schuur.
451	HC	Marvin rookt iedere dag een pakje sigaretten.
452	MC	Marvin consumeert iedere dag een pakje sigaretten.
453	LC	Marvin bekijkt iedere dag een pakje sigaretten.
454	HC	Tijdens de narcose viel de man in slaap.
455	MC	Tijdens de behandeling viel de man in slaap.
456	LC	Tijdens het voorval viel de man in slaap.
457	HC	Hij kijkt naar het slijmspoor van een langzame slak.
458	MC	Hij kijkt naar het huisje van een langzame slak.
459	LC	Hij kijkt naar de restanten van een langzame slak.
460	HC	Laura hoorde het gesis van een gevaarlijke slang.
461	MC	Laura hoorde het ratelen van een gevaarlijke slang.
462	LC	Laura hoorde het geluid van een gevaarlijke slang.
463	HC	Hij kon het slot niet openen zonder een sleutel.
464	MC	Hij kon de deur niet openen zonder een sleutel.
465	LC	Hij kon het voorwerp niet openen zonder een sleutel.
466	HC	De olifant heeft een hele grote slurf.
467	MC	De tapir heeft een hele grote slurf.

468	LC	Het scheepsel heeft een hele grote slurf.
469	HC	Ik houd van snoepjes door de zoete smaak.
470	MC	Ik houd van lekkers door de zoete smaak.
471	LC	Ik houd van heerlijkheden door de zoete smaak.
472	HC	Deze zeldzame ingrediënten zorgen voor een bijzondere smaak.
473	MC	Deze zeldzame zouten zorgen voor een bijzondere smaak.
474	LC	Deze zeldzame gewassen zorgen voor een bijzondere smaak.
475	HC	De gitarist vervangt een van zijn snaren.
476	MC	De muzikant vervangt een van zijn snaren.
477	LC	De achterneef vervangt een van zijn snaren.
478	HC	Die winter was er heel veel sneeuw.
479	MC	Die kerst was er heel veel sneeuw.
480	LC	Dat seizoen was er heel veel sneeuw.
481	HC	Op het slagveld liggen veel dode soldaten.
482	MC	In de sloot liggen veel dode soldaten.
483	LC	Op het veld liggen veel dode soldaten.
484	HC	Julia zit op de glijbaan in de oude speeltuin.
485	MC	Julia zit op de wipwap in de oude speeltuin.
486	LC	Julia zit op de constructie in de oude speeltuin.
487	HC	In haar kelder zitten helaas veel spinnen.
488	MC	In haar schuur zitten helaas veel spinnen.
489	LC	In haar buurt zitten helaas veel spinnen.
490	HC	Bij de discussie luistert iedereen naar een spreker.
491	MC	Bij de rede luistert iedereen naar een spreker.
492	LC	Bij de belevenis luistert iedereen naar een spreker.
493	HC	Jon zag een reptiel met een groene staart.
494	MC	Jon zag een krokodil met een groene staart.
495	LC	Jon zag een organisme met een groene staart.
496	HC	Het beestje kwispelt uitgelaten met zijn staart.
497	MC	Het beestje wiebelt uitgelaten met zijn staart.
498	LC	Het beestje speelt uitgelaten met zijn staart.
499	HC	Bij die vismarkt heb je last van de stank.
500	MC	Bij die kraam heb je last van de stank.
501	LC	Bij die stallingen heb je last van de stank.
502	HC	De egel beschermt zichzelf met zijn stekels.

503	MC	De roos beschermt zichzelf met zijn stekels.
504	LC	Het gewas beschermt zichzelf met zijn stekels.
505	HC	Deze kleine cactus heeft erg veel stekels.
506	MC	Deze kleine plant heeft erg veel stekels.
507	LC	Dit kleine toestel heeft erg veel stekels.
508	HC	De astronoom bestudeert heel aandachtig de vele sterren.
509	MC	De astronaut bestudeert heel aandachtig de vele sterren.
510	LC	De werknemer bestudeert heel aandachtig de vele sterren.
511	HC	In de bibliotheek heerst altijd absolute stilte.
512	MC	In de klas heerst altijd absolute stilte.
513	LC	In het milieu heerst altijd absolute stilte.
514	HC	Dit vergif is een gevaarlijke stof.
515	MC	Deze substantie is een gevaarlijke stof.
516	LC	Deze chemie is een gevaarlijke stof.
517	HC	Het verkeer stond te wachten voor een stoplicht.
518	MC	De auto stond te wachten voor een stoplicht.
519	LC	Het jongetje stond te wachten voor een stoplicht.
520	HC	Mike bouwt een zandkasteel tijdens zijn bezoek aan het strand.
521	MC	Mike bouwt een sculptuur tijdens zijn bezoek aan het strand.
522	LC	Mike bouwt een bouwsel tijdens zijn bezoek aan het strand.
523	HC	Lilli draagt haar bikini voor haar uitje naar het strand.
524	MC	Lilli draagt haar zonnebril voor haar uitje naar het strand.
525	LC	Lilli draagt haar kleding voor haar uitje naar het strand.
526	HC	Een zebra heeft een heleboel strepen.
527	MC	Een tijger heeft een heleboel strepen.
528	LC	Een dier heeft een heleboel strepen.
529	HC	Om hem te kunnen contacteren pakte het meisje haar telefoon.
530	MC	Om hem te kunnen bellen pakte het meisje haar telefoon.
531	LC	Om hem te kunnen signaleren pakte het meisje haar telefoon.
532	HC	Sinds gisteren is het glad vanwege de lage temperatuur.

533	MC	Sinds gisteren is het fris vanwege de lage temperatuur.
534	LC	Sinds gisteren is het anders vanwege de lage temperatuur.
535	HC	Mijn ogen tranen bij het snijden van een oude ui.
536	MC	Mijn ogen tranen bij het klaarmaken van een oude ui.
537	LC	Mijn ogen tranen bij het waarnemen van een oude ui.
538	HC	Op dit gebouw heb je een goed uitzicht.
539	MC	Op deze toren heb je een goed uitzicht.
540	LC	In deze wijk heb je een goed uitzicht.
541	HC	Sam deed de bloemen in de witte vaas.
542	MC	Sam deed het water in de witte vaas.
543	LC	Sam deed de planten in de witte vaas.
544	HC	Dankzij de lift ben ik nu op een hogere verdieping.
545	MC	Dankzij de trap ben ik nu op een hogere verdieping.
546	LC	Dankzij de techniek ben ik nu op een hogere verdieping.
547	HC	Die vogel daar heeft mooie witte veren.
548	MC	Die zwaan daar heeft mooie witte veren.
549	LC	Dat dier daar heeft mooie witte veren.
550	HC	De dappere soldaat vecht tegen de verschrikkelijke vijand.
551	MC	De dappere ridder vecht tegen de verschrikkelijke vijand.
552	LC	De dappere strijder vecht tegen de verschrikkelijke vijand.
553	HC	Gisteren bij de slager kocht ik best veel vlees.
554	MC	Gisteren bij de veehandelaar kocht ik best veel vlees.
555	LC	Gisteren bij de buurman kocht ik best veel vlees.
556	HC	Piet kijkt naar de uitbarsting van de grote vulkaan.
557	MC	Piet kijkt naar de lava van de grote vulkaan.
558	LC	Piet kijkt naar het silhouet van de grote vulkaan.
559	HC	Dit zwaard is een verschrikkelijk wapen.
560	MC	Die vlammenwerper is een verschrikkelijk wapen.
561	LC	Dit item is een verschrikkelijk wapen.
562	HC	Dichtbij mijn haar voel ik de warmte.
563	MC	Dichtbij mijn keuken voel ik de warmte.
564	LC	Dichtbij mijn plaats voel ik de warmte.
565	HC	Wellicht vindt men op de Mars nog steeds wat water.
566	MC	Wellicht vindt men op de planeet nog steeds wat water.

567	LC	Wellicht vindt men op de locatie nog steeds wat water.
568	HC	De mie zat te lang in het water.
569	MC	De rijst zat te lang in het water.
570	LC	Het object zat te lang in het water.
571	HC	Na het kanoën spring ik in het water.
572	MC	Na de afsluiting spring ik in het water.
573	LC	Na het sporten spring ik in het water.
574	HC	Bij die bron haalde zij vers water.
575	MC	Bij die wel haalde zij vers water.
576	LC	Bij die locatie haalde zij vers water.
577	HC	De spin zat in het midden van zijn web.
578	MC	De zijdeworm zat in het midden van zijn web.
579	LC	Het beestje zat in het midden van zijn web.
580	HC	Op de bijeenkomst drinken de gasten een fles wijn.
581	MC	Op de bruiloft drinken de gasten een fles wijn.
582	LC	Op de viering drinken de gasten een fles wijn.
583	HC	De kameel is zeer belangrijk voor mensen in een woestijn.
584	MC	Het water is zeer belangrijk voor mensen in een woestijn.
585	LC	Het dier is zeer belangrijk voor mensen in een woestijn.
586	HC	Het schaap levert ieder jaar heel veel wol.
587	MC	Het dier levert ieder jaar heel veel wol.
588	LC	Het lam levert ieder jaar heel veel wol.
589	HC	Mijn konijn kauwde lekker op een wortel.
590	MC	Mijn huisdier kauwde lekker op een wortel.
591	LC	Mijn knaagdier kauwde lekker op een wortel.
592	HC	De grote duinen zie je vaak aan zee.
593	MC	De grote golven zie je vaak aan zee.
594	LC	De grote heuvels zie je vaak aan zee.
595	HC	Anna raakte een kwal aan tijdens haar dagje aan zee.
596	MC	Anna raakte een wezen aan tijdens haar dagje aan zee.
597	LC	Anna raakte een schepsel aan tijdens haar dagje aan zee.
598	HC	De meeste vissen leven in de zee.
599	MC	De meeste haaien leven in de zee.
600	LC	De meeste kevers leven in de zee.
601	HC	Zijn huid was verbrand door de intense zon.
602	MC	Zijn huid was veranderd door de intense zon.

603	LC	Zijn huid was rood door de intense zon.
604	HC	In de Noordzee bevat het water veel zout.
605	MC	In de zee bevat het water veel zout.
606	LC	Op die plek bevat het water veel zout.
607	HC	De kinderen oefenen de borstcrawl in het oude zwembad.
608	MC	De kinderen oefenen het roeien in het oude zwembad.
609	LC	De kinderen oefenen de bewegingen in het oude zwembad.

Filler Sentences

Item Nr.	Sentence
1	Het warme water stroomt uit de kraan.
2	Het puntige projectiel suisde langs de soldaat.
3	Het saaie boek staat vol slordige fouten.
4	Het satirische programma is door velen bekeken.
5	Het droge hooi is op tijd geoogst.
6	Het exclusieve restaurant is iedere avond volgeboekt.
7	Het eentonige geluid dreunde door de zaal.
8	Het driftige ventje kreeg een pak slaag.
9	De keurige parken zijn zeer fraai aangelegd.
10	De intieme filmopnames irriteren de beroemde popzanger.
11	De gehoorzame jongens veegden netjes hun voeten.
12	De kruimige aardappels hebben te lang gekookt.
13	De massale stakingen doen de prijzen stijgen.
14	De mooie koningin leest de troonrede voor.
15	De paarse lamp geeft een bijzonder licht.
16	De virtuoze violist speelt een prachtige solo.
17	De banale uitingen vallen goed bij de pubers.
18	De zuinige ministers halveren de subsidies aan clubs.
19	Het zeldzame plantje bloeit alleen in de Alpen.
20	Het verliefde stel heeft alleen oog voor elkaar.
21	Het nette meisje veegt de rommel bij elkaar.
22	Het gouden horloge ligt in een afgesloten vitrine.
23	Het oprechte kind gaf het gevonden wisselgeld terug.
24	Het zware werk eiste al snel zijn tol.

25	Het kolossale schip is met veel moeite geborgen.
26	Het plastic etiket past niet op de fles.
27	Het aftandse schip zonk in een zware storm.
28	De dode dolfijnen spoelen aan op het strand.
29	De bonte koeien staan iedere nacht op stal.
30	De kleverige snoepjes blijven aan de handen plakken.
31	De griezelige dieren zitten in een aparte kooi.
32	De stoere agenten sluiten de dronken man op.
33	De gulzige leeuwen jagen de bezoekers angst aan.
34	De vreemde muntstukken zijn moeilijk in te wisselen.
35	De vervelende leerlingen uit de klas krijgen strafwerk.
36	De uitbundige artiesten bezorgen de feestgangers een prettige avond.
37	De aardige schilders verven de muren van het huis.
38	De slimme studenten geven een lezing op het congres.
39	De agressieve honden zorgen voor overlast in de buurt.
40	De zwarte vogels bevuilen de toren van het kasteel.
41	De trotse ouders geven het kind een elektrische trein.
42	De uitheemse vogels zijn te bezichtigen in de dierentuin.
43	Het zwakke konijn is een prooi voor de tijger.
44	Het eerste team is al lang niet meer verslagen.
45	Het lauwe bier sloeg snel dood in het glas.
46	Het eenmalige concert van de bekende violist is afgelast.
47	Het tamme konijn mag los door de kamer lopen.
48	Het voordelige wasmiddel krijgt de vlekken er niet uit.
49	Het grappige aapje in de dierentuin amuseert de bezoekers.
50	Het verlegen meisje ontwijkt de vragen van de leraar.

Appendix B

Stimulus Material Chapter 4 Critical Sentences

Item Nr.	Cond.	Sentence	Congr. Target	Incongr. Target
1	HC	Met behulp van propellers blijft het voorwerp in de	lucht	tarwe
2	MC	Met behulp van wind blijft het voorwerp in de	lucht	tarwe
3	LC	Met behulp van apparaten blijft het voorwerp in de	lucht	tarwe
4	HC	Morgen geeft de priester een toespraak in een	kerk	bal
5	MC	Morgen geeft de weduwe een toespraak in een	kerk	bal
6	LC	Morgen geeft de enthousiasteling een toespraak in een	kerk	bal
7	HC	Dankzij de lift ben ik nu op een hogere	verdieping	beker
8	MC	Dankzij de trap ben ik nu op een hogere	verdieping	beker
9	LC	Dankzij de techniek ben ik nu op een hogere	verdieping	beker
10	HC	Mike bouwt een zandkasteel tijdens zijn bezoek aan het	strand	geweten
11	MC	Mike bouwt een sculptuur tijdens zijn bezoek aan het	strand	geweten
12	LC	Mike bouwt een bouwsel tijdens zijn bezoek aan het	strand	geweten
13	HC	Mijn sprankelende kroonluchter hangt aan het witte	plafond	mobieltje
14	MC	Mijn sprankelende lamp hangt aan het witte	plafond	mobieltje
15	LC	Mijn sprankelende eyecatcher hangt aan het witte	plafond	mobieltje
16	HC	Ze ging naar het museum vanwege het beroemde	schilderij	geheim
17	MC	Ze ging naar het atelier vanwege het beroemde	schilderij	geheim

18	LC	Ze ging naar het gebouw vanwege het beroemde	schilderij	geheim
19	HC	De bak zit vol met resten van	eten	vijanden
20	MC	De pot zit vol met resten van	eten	vijanden
21	LC	De kast zit vol met resten van	eten	vijanden
22	HC	In de steeg was heel weinig	licht	bijgeloof
23	MC	In de catacomben was heel weinig	licht	bijgeloof
24	LC	In de constructie was heel weinig	licht	bijgeloof
25	HC	Dit vergif is een gevaarlijke	stof	vertekening
26	MC	Deze substantie is een gevaarlijke	stof	vertekening
27	LC	Deze chemie is een gevaarlijke	stof	vertekening
28	HC	Laura hoorde het gesis van een gevaarlijke	slang	bank
29	MC	Laura hoorde het ratelen van een gevaarlijke	slang	bank
30	LC	Laura hoorde het geluid van een gevaarlijke	slang	bank
31	HC	Met zijn mobiel maakte hij veel mooie	foto's	geiten
32	MC	Met zijn apparaat maakte hij veel mooie	foto's	geiten
33	LC	Met zijn techniek maakte hij veel mooie	foto's	geiten
34	HC	Dichtbij mijn haard voel ik de	warmte	pauze
35	MC	Dichtbij mijn keuken voel ik de	warmte	pauze
36	LC	Dichtbij mijn plaats voel ik de	warmte	pauze
37	HC	Die prik doet best veel	pijn	reclame
38	MC	Die plek doet best veel	pijn	reclame
39	LC	Die omstandigheid doet best veel	pijn	reclame
40	HC	Sara heeft een wezen en dat maakt iedere dag een	geluid	baan
41	MC	Sara heeft een dier en dat maakt iedere dag een	geluid	baan
42	LC	Sara heeft een vogel en die maakt iedere dag een	geluid	baan
43	HC	Bij de discussie luistert iedereen naar een	spreker	voet
44	MC	Bij de rede luistert iedereen naar een	spreker	voet

45	LC	Bij de belevenis luistert iedereen naar een	spreker	voet
46	HC	Het beestje kwispelt uitgelaten met zijn	staart	broek
47	MC	Het beestje wiebelt uitgelaten met zijn	staart	broek
48	LC	Het beestje speelt uitgelaten met zijn	staart	broek
49	HC	De gentleman opent voor haar een	deur	discussie
50	MC	De geleerde opent voor haar een	deur	discussie
51	LC	De romanticus opent voor haar een	deur	discussie
52	HC	Hij sloeg op zijn duim met een zware	hamer	boer
53	MC	Hij sloeg op zijn arm met een zware	hamer	boer
54	LC	Hij sloeg op zijn ledemaat met een zware	hamer	boer
55	HC	Alle beroemde acteurs staan op de rode	loper	broer
56	MC	Alle beroemde kunstenaars staan op de rode	loper	broer
57	LC	Alle beroemde nakomelingen staan op de rode	loper	broer
58	HC	In het theater opent het rode	doek	exorcisme
59	MC	In de bioscoop opent het rode	doek	exorcisme
60	LC	In het complex opent het rode	doek	exorcisme
61	HC	Sinds gisteren is het glad vanwege de lage	temperatuur	afstand
62	MC	Sinds gisteren is het fris vanwege de lage	temperatuur	afstand
63	LC	Sinds gisteren is het anders vanwege de lage	temperatuur	afstand
64	HC	De dappere soldaat vecht tegen de verschrikkelijke	vijand	kunst
65	MC	De dappere ridder vecht tegen de verschrikkelijke	vijand	kunst
66	LC	De dappere strijder vecht tegen de verschrikkelijke	vijand	kunst
67	HC	Die spullen uit de ruïne komen terecht in een	museum	gong
68	MC	Die spullen uit de schatkamer komen terecht in een	museum	gong
69	LC	Die spullen uit het gewelf komen terecht in een	museum	gong
70	HC	Morgen komt de crimineel eindelijk terecht in een	gevangenis	kapsel

71	MC	Morgen komt de dief eindelijk terecht in een	gevangenis	kapsel
72	LC	Morgen komt de partner eindelijk terecht in een	gevangenis	kapsel
73	HC	De Efteling trekt ieder jaar veel	bezoekers	vormen
74	MC	De stad trekt ieder jaar veel	bezoekers	vormen
75	LC	Het bedrijf trekt ieder jaar veel	bezoekers	vormen
76	HC	De olifant heeft een hele grote	slurf	les
77	MC	De tapir heeft een hele grote	slurf	les
78	LC	Het schepsel heeft een hele grote	slurf	les
79	HC	De Egyptenaren bouwden een hele grote	pyramide	lever
80	MC	De slaven bouwden een hele grote	pyramide	lever
81	LC	Het volk bouwde een hele grote	pyramide	lever
82	HC	Tijdens de activiteit had ik een goed	gevoel	besef
83	MC	Tijdens de ballonvaart had ik een goed	gevoel	besef
84	LC	Tijdens de rondvaart had ik een goed	gevoel	besef
85	HC	In haar kelder zitten helaas veel	spinnen	woorden
86	MC	In haar schuur zitten helaas veel	spinnen	woorden
87	LC	In haar buurt zitten helaas veel	spinnen	woorden
88	HC	Deze wijn wordt gemaakt van de beste	druiven	zender
89	MC	Dit product wordt gemaakt van de beste	druiven	zender
90	LC	Dit sap wordt gemaakt van de beste	druiven	zender
91	HC	In dat café geniet ik 's ochtends van de beste	koffie	vleugeltjes
92	MC	In die ruimte geniet ik 's ochtends van de beste	koffie	vleugeltjes
93	LC	In die bar geniet ik 's ochtends van de beste	koffie	vleugeltjes
94	HC	Op die manege hebben ze veel	paarden	gedachten
95	MC	Op dat circus hebben ze veel	paarden	gedachten
96	LC	Op die club hebben ze veel	paarden	gedachten
97	HC	Hij verklapte de trucs van de fantastische	goochelaar	keuze
98	MC	Hij verklapte de magie van de fantastische	goochelaar	keuze
99	LC	Hij verklapte het dilemma van de fantastische	goochelaar	keuze
100	HC	De grote noot valt uit een	boom	straf
101	MC	De grote eekhoorn valt uit een	boom	straf

102	LC	Het grote object valt uit een	boom	straf
103	HC	De koningin droeg op haar hoofd een gouden	kroon	kleur
104	MC	De aristocraat droeg op haar hoofd een gouden	kroon	kleur
105	LC	De vrouw droeg op haar hoofd een gouden	kroon	kleur
106	HC	Het lieve baasje gaat elke dag wandelen met de	hond	zegen
107	MC	De lieve vader gaat elke dag wandelen met de	hond	zegen
108	LC	De lieve oppasser gaat elke dag wandelen met de	hond	zegen
109	HC	Op dit gebouw heb je een goed	uitzicht	dier
110	MC	Op deze toren heb je een goed	uitzicht	dier
111	LC	In deze wijk heb je een goed	uitzicht	dier
112	HC	Om over het water te komen gebruiken zij de	boot	zin
113	MC	Om over de rivier te komen gebruiken zij de	boot	zin
114	LC	Om over de versperring te komen gebruiken zij de	boot	zin
115	HC	De jarige plande de voorbereidingen voor een	feest	stoel
116	MC	Het jongetje plande de voorbereidingen voor een	feest	stoel
117	LC	De eventmanager plande de voorbereidingen voor een	feest	stoel
118	HC	Aan het einde van de veiling hoor je het slaan van een	hamer	spel
119	MC	Aan het einde van de rechtszaak hoor je het slaan van een	hamer	spel
120	LC	Aan het einde van de gelegenheid hoor je het slaan van een	hamer	spel
121	HC	David kiest voor de lenzen in plaats van een	bril	opluchting
122	MC	David kiest voor de loep in plaats van een	bril	opluchting
123	LC	David kiest voor de middelen in plaats van een	bril	opluchting

124	HC	Tijdens carnaval dragen veel mensen een grappig	kostuum	kantoor
125	MC	Tijdens gala's dragen veel mensen een grappig	kostuum	kantoor
126	LC	Tijdens evenementen dragen veel mensen een grappig	kostuum	kantoor
127	HC	De wielrenner is erg gehecht aan zijn	fiets	ethiek
128	MC	De postbode is erg gehecht aan zijn	fiets	ethiek
129	LC	De ambtenaar is erg gehecht aan zijn	fiets	ethiek
130	HC	De christenen zijn op weg naar een	kerk	burger
131	MC	De misdienaars zijn op weg naar een	kerk	burger
132	LC	De massa is op weg naar een	kerk	burger
133	HC	Deze medicijnen koop je bij een	apotheek	olifant
134	MC	Deze pillen koop je bij een	apotheek	olifant
135	LC	Deze spullen koop je bij een	apotheek	olifant
136	HC	Piet zoekt een pan in zijn nieuwe	keuken	hemel
137	MC	Piet zoekt een voorwerp in zijn nieuwe	keuken	hemel
138	LC	Piet zoekt een vork in zijn nieuwe	keuken	hemel
139	HC	De actieve tennisser slaat met zijn nieuwe	racket	zuurstof
140	MC	De actieve buitensporter slaat met zijn nieuwe	racket	zuurstof
141	LC	De actieve knul slaat met zijn nieuwe	racket	zuurstof
142	HC	Peter ligt op het matras van zijn nieuwe	bed	dessert
143	MC	Peter ligt op het kussen van zijn nieuwe	bed	dessert
144	LC	Peter ligt op de stof van zijn nieuwe	bed	dessert
145	HC	Hij denkt na over de opwarming van onze mooie	aarde	positie
146	MC	Hij denkt na over het klimaat van onze mooie	aarde	positie
147	LC	Hij denkt na over de eigenschappen van onze mooie	aarde	positie
148	HC	Dankzij mijn gehaalde rijbewijs bestuur ik zelf een	auto	vis
149	MC	Dankzij mijn gehaalde legitimatie bestuur ik zelf een	auto	vis
150	LC	Dankzij mijn gehaalde papiertje bestuur ik zelf een	auto	vis

151	HC	Het grote kruispunt staat helemaal vol met	auto's	planeten
152	MC	De grote garage staat helemaal vol met	auto's	planeten
153	LC	De grote loods staat helemaal vol met	auto's	planeten
154	HC	Alle kinderen moeten natuurlijk naar	school	Mars
155	MC	Alle studenten moeten natuurlijk naar	school	Mars
156	LC	Alle aanwezigen moeten natuurlijk naar	school	Mars
157	HC	Ik houd niet van die bruggen vanwege de verschrikkelijke	hoogte	ademhaling
158	MC	Ik houd niet van die panden vanwege de verschrikkelijke	hoogte	ademhaling
159	LC	Ik houd niet van die achtbaan vanwege de verschrikkelijke	hoogte	ademhaling
160	HC	Hij hakte het hout met een	bijl	stem
161	MC	Hij verkleint het hout met een	bijl	stem
162	LC	Hij bewerkte het hout met een	bijl	stem
163	HC	De meeste vissen leven in de	zee	viool
164	MC	De meeste haaien leven in de	zee	viool
165	LC	De meeste kevers leven in de	zee	viool
166	HC	Mijn collega zit aan zijn grote	bureau	selectie
167	MC	Mijn baas zit aan zijn grote	bureau	selectie
168	LC	Mijn kennis zit aan zijn grote	bureau	selectie
169	HC	In mijn verborgen dagboek staan al mijn	geheimen	druppels
170	MC	In mijn verborgen boek staan al mijn	geheimen	druppels
171	LC	In mijn verborgen papiertje staan al mijn	geheimen	druppels
172	HC	Om de cellen te kunnen zien gebruikte hij een	microscop	huwelijk
173	MC	Om de zandkorrels te kunnen zien gebruikte hij een	microscop	huwelijk
174	LC	Om de objecten te kunnen zien gebruikte hij een	microscop	huwelijk
175	HC	Ina houdt niet van halvarine op haar eigen	brood	kat
176	MC	Ina houdt niet van beleg op haar eigen	brood	kat
177	LC	Ina houdt niet van vet op haar eigen	brood	kat
178	HC	Mijn vader koopt iedere ochtend een	krant	folklore
179	MC	Mijn vader bekijkt iedere ochtend een	krant	folklore
180	LC	Mijn vader grijpt iedere ochtend een	krant	folklore
181	HC	De egel beschermt zichzelf met zijn	stekels	wolken

182	MC	De roos beschermt zichzelf met zijn	stekels	wolken
183	LC	Het gewas beschermt zichzelf met zijn	stekels	wolken
184	HC	De fantastische tovenaars haalde een konijn uit zijn	hoed	nummer
185	MC	De fantastische kunstenaar haalde een konijn uit zijn	hoed	nummer
186	LC	De fantastische boer haalde een konijn uit zijn	hoed	nummer
187	HC	In de krant staat alleen maar slecht	nieuws	gas
188	MC	In het blad staat alleen maar slecht	nieuws	gas
189	LC	In de samenvatting staat alleen maar slecht	nieuws	gas
190	HC	De USB komt terecht in de ingang van een	computer	nachtmerrie
191	MC	De diskette komt terecht in de ingang van een	computer	nachtmerrie
192	LC	Het voorwerp komt terecht in de ingang van een	computer	nachtmerrie
193	HC	Op de boerderij zijn veel soorten	dieren	angsten
194	MC	Op het hof zijn veel soorten	dieren	angsten
195	LC	In het park zijn veel soorten	dieren	angsten
196	HC	De grote vesting wordt beschermd door sterke	muren	documenten
197	MC	De grote gevangenis wordt beschermd door sterke	muren	documenten
198	LC	De grote architectuur wordt beschermd door sterke	muren	documenten
199	HC	Hij kon niet goed zien en pakte daarom zijn	bril	taart
200	MC	Hij kon niet goed focussen en pakte daarom zijn	bril	taart
201	LC	Hij kon niet goed meedoen en pakte daarom zijn	bril	taart
202	HC	Zijn huid was verbrand door de intense	zon	lunch
203	MC	Zijn huid was veranderd door de intense	zon	lunch
204	LC	Zijn huid was rood door de intense	zon	lunch
205	HC	De herbergier zorgt goed voor alle	gasten	ringen
206	MC	De barman zorgt goed voor alle	gasten	ringen
207	LC	Deze meneer zorgt goed voor alle	gasten	ringen
208	HC	De dokters zorgen goed voor alle	patienten	geluiden

209	MC	De verplegers zorgen goed voor alle	patienten	geluiden
210	LC	De personeelsleden zorgen goed voor alle	patienten	geluiden
211	HC	Hij kijkt naar het slijmspoor van een langzame	slak	snelheid
212	MC	Hij kijkt naar het huisje van een langzame	slak	snelheid
213	LC	Hij kijkt naar de restanten van een langzame	slak	snelheid
214	HC	Bij die vismarkt heb je last van de	stank	ogen
215	MC	Bij die kraam heb je last van de	stank	ogen
216	LC	Bij die stallingen heb je last van de	stank	ogen
217	HC	Lilli draagt haar bikini voor haar uitje naar het	strand	accent
218	MC	Lilli draagt haar zonnebril voor haar uitje naar het	strand	accent
219	LC	Lilli draagt haar kleding voor haar uitje naar het	strand	accent
220	HC	Morgen gaat de ober werken in het nieuwe	restaurant	raam
221	MC	Morgen gaat de kok werken in het nieuwe	restaurant	raam
222	LC	Morgen gaat de kerel werken in het nieuwe	restaurant	raam
223	HC	Hij is bezig met koken in de nieuwe	keuken	vogel
224	MC	Hij is bezig met poetsen in de nieuwe	keuken	vogel
225	LC	Hij is bezig met opruimen in de nieuwe	keuken	vogel
226	HC	De acrobaat speelde gisteren in het nieuwe	circus	recht
227	MC	De clown speelde gisteren in het nieuwe	circus	recht
228	LC	De artiest speelde gisteren in het nieuwe	circus	recht
229	HC	De ICT'ers zitten meestal voor een	computer	maan
230	MC	De nerds zitten meestal voor een	computer	maan
231	LC	De ambtenaren zitten meestal voor een	computer	maan
232	HC	De chirurg voltooide met goed gevolg een	operatie	spin
233	MC	De internist voltooide met goed gevolg een	operatie	spin
234	LC	De expert voltooide met goed gevolg een	operatie	spin

235	HC	De jonggehuwde werd afgebeeld met haar	man	landing
236	MC	De echtgenote werd afgebeeld met haar	man	landing
237	LC	De meid werd afgebeeld met haar	man	landing
238	HC	Sam deed de bloemen in de witte	vaas	schouder
239	MC	Sam deed het water in de witte	vaas	schouder
240	LC	Sam deed de planten in de witte	vaas	schouder
241	HC	Ze deed de brief in een witte	envelop	spiegel
242	MC	Ze deed het testament in een witte	envelop	spiegel
243	LC	Ze deed het portret in een witte	envelop	spiegel
244	HC	Gerard koopt nieuwe velgen voor zijn snelle	auto	wind
245	MC	Gerard koopt nieuw materiaal voor zijn snelle	auto	wind
246	LC	Gerard koopt nieuwe hoezen voor zijn snelle	auto	wind
247	HC	Ik werd vannacht gestoken door een irritante	mug	huid
248	MC	Ik werd vannacht wakker door een irritante	mug	huid
249	LC	Ik werd vannacht bekeken door een irritante	mug	huid
250	HC	In de regen lopen mensen vaak met een	paraplu	getal
251	MC	In de storm lopen mensen vaak met een	paraplu	getal
252	LC	In de buurt lopen mensen vaak met een	paraplu	getal
253	HC	De oude bast valt al van de	boom	huur
254	MC	De oude laag valt al van de	boom	huur
255	LC	Het oude hout valt al van de	boom	huur
256	HC	Marie heeft tattoos over haar hele	lichaam	ziel
257	MC	Marie heeft verrekkingen over haar hele	lichaam	ziel
258	LC	Marie heeft afbeeldingen over haar hele	lichaam	ziel
259	HC	De beroemde schrijfster promootte haar nieuwe	boek	jaar
260	MC	De beroemde auteur promootte haar nieuwe	boek	jaar
261	LC	De beroemde vrouw promootte haar nieuwe	boek	jaar
262	HC	Bij de gelegenheid dragen dames vaak een	jurk	avond

263	MC	Bij het dansen dragen dames vaak een	jurk	avond
264	LC	Bij de activiteit dragen dames vaak een	jurk	avond
265	HC	De invalide man zat in een	rolstoel	moord
266	MC	De aangereden man zat in een	rolstoel	moord
267	LC	De dromerige man zat in een	rolstoel	moord
268	HC	Ik houd van snoepjes door de zoete	smaak	poster
269	MC	Ik houd van lekkers door de zoete	smaak	poster
270	LC	Ik houd van heerlijkheden door de zoete	smaak	poster
271	HC	Deze koffie wordt gemaakt van de allerbeste	bonen	stenen
272	MC	Deze drank wordt gemaakt van de allerbeste	bonen	stenen
273	LC	Deze cappuccino wordt gemaakt van de allerbeste	bonen	stenen
274	HC	Om het water te geven aan de plantjes gebruik je een	gieter	ster
275	MC	Om de vloeistof te geven aan de plantjes gebruik je een	gieter	ster
276	LC	Om de oppepper te geven aan de plantjes gebruik je een	gieter	ster
277	HC	Dit zwaard is een verschrikkelijk	wapen	been
278	MC	Die vlammenwerper is een verschrikkelijk	wapen	been
279	LC	Dit item is een verschrikkelijk	wapen	been
280	HC	Hij maakte een tekening van het bekende	schilderij	uur
281	MC	Hij maakte een vervalsing van het bekende	schilderij	uur
282	LC	Hij maakte een plaatje van het bekende	schilderij	uur
283	HC	De aap had honger en at daarom een	banaan	seconde
284	MC	De bruit had honger en at daarom een	banaan	seconde
285	LC	De olifant had honger en at daarom een	banaan	seconde
286	HC	Het bedrijf brouwt jaarlijks duizenden liters	bier	hoop
287	MC	Het bedrijf produceert jaarlijks duizenden liters	bier	hoop
288	LC	Het bedrijf vervoert jaarlijks duizenden liters	bier	hoop
289	HC	Bij de barbecue ontstaat plotseling zwarte	rook	tijger

290	MC	Bij de bijeenkomst ontstaat plotseling zwarte	rook	tijger
291	LC	Bij de opname ontstaat plotseling zwarte	rook	tijger
292	HC	Aan het casino verloor ik al mijn	geld	tekens
293	MC	Aan de verkoopster verloor ik al mijn	geld	tekens
294	LC	Aan de tegenstander verloor ik al mijn	geld	tekens
295	HC	De koning van alle dieren is de	leeuw	schaar
296	MC	De edelste van alle dieren is de	leeuw	schaar
297	LC	De mooiste van alle dieren is de	leeuw	schaar
298	HC	Deze oude kast is gemaakt van echt	hout	bewijs
299	MC	Dit oude materiaal is gemaakt van echt	hout	bewijs
300	LC	Dit oude meubel is gemaakt van echt	hout	bewijs
301	HC	Na al dat zweten neem ik altijd een	douche	sofa
302	MC	Na al dat zwemmen neem ik altijd een	douche	sofa
303	LC	Na al dat werken neem ik altijd een	douche	sofa
304	HC	Zonder haar knuffel heeft Lisa geen goede	nachtrust	spijker
305	MC	Zonder haar valeriaan heeft Lisa geen goede	nachtrust	spijker
306	LC	Zonder haar artikel heeft Lisa geen goede	nachtrust	spijker
307	HC	Moeder zette de vleeswaren terug in de	koelkast	zaag
308	MC	Moeder zette het voedsel terug in de	koelkast	zaag
309	LC	Moeder zette de spullen terug in de	koelkast	zaag
310	HC	Bij de snelle attractie hoor je meestal	gegil	koeien
311	MC	Bij de snelle achtbaan hoor je meestal	gegil	koeien
312	LC	Bij het snelle gevaarte hoor je meestal	gegil	koeien
313	HC	De cabaretier maakte de hele avond	grappen	vluchten
314	MC	De acteur maakte de hele avond	grappen	vluchten
315	LC	Het zusje maakte de hele avond	grappen	vluchten
316	HC	De eskimo testte eerst het	ijs	einde
317	MC	De schaatser testte eerst het	ijs	einde
318	LC	De schoondochter testte eerst het	ijs	einde
319	HC	De grote duinen zie je vaak aan	zee	kaas
320	MC	De grote golven zie je vaak aan	zee	kass
321	LC	De grote heuvels zie je vaak aan	zee	kaas
322	HC	Een zebra heeft een heleboel	strepen	lichtjes
323	MC	Een tijger heeft een heleboel	strepen	lichtjes

324	LC	Een dier heeft een heleboel	strepen	lichtjes
325	HC	Mijn ogen tranen bij het snijden van een oude	ui	mop
326	MC	Mijn ogen tranen bij het klaarmaken van een oude	ui	mop
327	LC	Mijn ogen tranen bij het waarnemen van een oude	ui	mop
328	HC	Een makelaar adviseerde ons bij de aankoop van een	huis	traan
329	MC	Een bouwer adviseerde ons bij de aankoop van een	huis	traan
330	LC	Een kameraad adviseerde ons bij de aankoop van een	huis	traan
331	HC	In het gebed staan verhalen over	god	blauw
332	MC	In de tekst staan verhalen over	god	blauw
333	LC	In de parabel staan verhalen over	god	blauw
334	HC	Op de bijeenkomst drinken de gasten een fles	wijn	bijen
335	MC	Op de bruiloft drinken de gasten een fles	wijn	bijen
336	LC	Op de viering drinken de gasten een fles	wijn	bijen
337	HC	Mijn konijn kauwde lekker op een	wortel	schreeuw
338	MC	Mijn huisdier kauwde lekker op een	wortel	schreeuw
339	LC	Mijn knaagdier kauwde lekker op een	wortel	schreeuw
340	HC	Wellicht vindt men op de Mars nog steeds wat	water	emoties
341	MC	Wellicht vindt men op de planeet nog steeds wat	water	emoties
342	LC	Wellicht vindt men op de locatie nog steeds wat	water	emoties
343	HC	Deze nieuwe robot lijkt heel erg op een	mens	minuut
344	MC	Dit nieuwe standbeeld lijkt heel erg op een	mens	minuut
345	LC	Deze nieuwe techniek lijkt heel erg op een	mens	minuut
346	HC	Mijn plastic kabouters hebben allemaal een rode	muts	reis
347	MC	Mijn plastic figuren hebben allemaal een rode	muts	reis
348	LC	Mijn plastic mannetjes hebben allemaal een rode	muts	reis

349	HC	Er liggen bladeren op de stoep want het is	herfst	metaal
350	MC	Er ligt warboel op de stoep want het is	herfst	metaal
351	LC	Er liggen klompen op de stoep want het is	herfst	metaal
352	HC	Hij gaf haar een oorkonde voor haar mooie	prestatie	ruzie
353	MC	Hij gaf haar een cadeau voor haar mooie	prestatie	ruzie
354	LC	Hij gaf haar een pakket voor haar mooie	prestatie	ruzie
355	HC	Die vogel daar heeft mooie witte	veren	leiders
356	MC	Die zwaan daar heeft mooie witte	veren	leiders
357	LC	Dat dier daar heeft mooie witte	veren	leiders
358	HC	Piet kijkt naar de uitbarsting van de grote	vulkaan	legende
359	MC	Piet kijkt naar de lava van de grote	vulkaan	legende
360	LC	Piet kijkt naar het silhouet van de grote	vulkaan	legende
361	HC	We zagen leeuwen tijdens de leuke	safari	zinnen
362	MC	We zagen dieren tijdens de leuke	safari	zinnen
363	LC	We zagen slangen tijdens de leuke	safari	zinnen
364	HC	In die stad verbleven we in een heel mooi	hotel	koekje
365	MC	In die stad ontspanden we in een heel mooi	hotel	koekje
366	LC	In die stad spraken we in een heel mooi	hotel	koekje
367	HC	Voor het tuinwerk plaats ik alles in de	schuur	baard
368	MC	Voor de opzet plaats ik alles in de	schuur	baard
369	LC	Voor de renovatie plaats ik alles in de	schuur	baard
370	HC	Met deze huid blijf ik liever in de	schaduw	gesprekken
371	MC	Met deze hitte blijf ik liever in de	schaduw	gesprekken
372	LC	Met deze toestand blijf ik liever in de	schaduw	gesprekken
373	HC	Het varken neemt een bad in de	modder	raket
374	MC	De koe neemt een bad in de	modder	raket
375	LC	Het dier neemt een bad in de	modder	raket
376	HC	De kameel is zeer belangrijk voor mensen in een	woestijn	toon

377	MC	Het water is zeer belangrijk voor mensen in een	woestijn	toon
378	LC	Het dier is zeer belangrijk voor mensen in een	woestijn	toon
379	HC	Tijdens de paasdagen waren alle mensen in de	kerk	plant
380	MC	Tijdens de uitvaart waren alle mensen in de	kerk	plant
381	LC	Tijdens de situatie waren alle mensen in de	kerk	plant
382	HC	Tijdens het aanzoek gaf hij zijn vriendin een	ring	rekening
383	MC	Tijdens de maaltijd gaf hij zijn vriendin een	ring	rekening
384	LC	Tijdens de verrassing gaf hij zijn vriendin een	ring	rekening
385	HC	Van te veel knoflook krijg ik een slechte	adem	wereld
386	MC	Van te veel uien krijg ik een slechte	adem	wereld
387	LC	Van te veel voedsel krijg ik een slechte	adem	wereld
388	HC	Deze kleine cactus heeft erg veel	stekels	dromen
389	MC	Deze kleine plant heeft erg veel	stekels	dromen
390	LC	Dit kleine toestel heeft erg veel	stekels	dromen
391	HC	De mie zat te lang in het	water	gedicht
392	MC	De rijst zat te lang in het	water	gedicht
393	LC	Het object zat te lang in het	water	gedicht
394	HC	Haar nieuwe lippenstift zorgde voor mooie rode	lippen	leugens
395	MC	Haar nieuwe aankoop zorgde voor mooie rode	lippen	leugens
396	LC	Haar nieuw gebruiksvoorwerp zorgde voor mooie rode	lippen	leugens
397	HC	Na het kanoën spring ik in het	water	verschil
398	MC	Na de afsluiting spring ik in het	water	verschil
399	LC	Na het sporten spring ik in het	water	verschil
400	HC	De mijnwerkers dragen natuurlijk allemaal een	helm	doel
401	MC	De fietsers dragen natuurlijk allemaal een	helm	doel
402	LC	De gebruikers dragen natuurlijk allemaal een	helm	doel

403	HC	In de Noordzee bevat het water veel	zout	vlinders
404	MC	In de zee bevat het water veel	zout	vlinders
405	LC	Op die plek bevat het water veel	zout	vlinders
406	HC	De oude docent geeft een interessant	college	oor
407	MC	De oude professor geeft een interessant	college	oor
408	LC	De oude denker geeft een interessant	college	oor
409	HC	In de bibliotheek heerst altijd absolute	stilte	leeftijd
410	MC	In de klas heerst altijd absolute	stilte	leeftijd
411	LC	In het milieu heerst altijd absolute	stilte	leeftijd
412	HC	Die man in dat harnas is duidelijk een	ridder	haak
413	MC	Die man in dit pantser is duidelijk een	ridder	haak
414	LC	Die man in dat hemd is duidelijk een	ridder	haak
415	HC	De liefdesbrief had de vorm van een	hart	vraag
416	MC	De chocolaatjes hebben de vorm van een	hart	vraag
417	LC	Het geschrift had de vorm van een	hart	vraag
418	HC	Vanwege de evacuatie is er niemand meer in het	gebouw	gebed
419	MC	Vanwege de omstandigheden is er niemand meer in het	gebouw	gebed
420	LC	Vanwege de vakantie is er niemand meer in het	gebouw	gebed
421	HC	Op het slagveld liggen veel dode	soldaten	vruchten
422	MC	In de sloot liggen veel dode	soldaten	vruchten
423	LC	Op het veld liggen veel dode	soldaten	vruchten
424	HC	Piet houdt niet van ansjovis op zijn bestelde	pizza	meter
425	MC	Piet houdt niet van groentes op zijn bestelde	pizza	meter
426	LC	Piet houdt niet van zout op zijn bestelde	pizza	meter
427	HC	Die winter was er heel veel	sneeuw	slagroom
428	MC	Die kerst was er heel veel	sneeuw	slagroom
429	LC	Dat seizoen was er heel veel	sneeuw	slagroom
430	HC	De giraf is bekend vanwege zijn lange	nek	opstel
431	MC	De lama is bekend vanwege zijn lange	nek	opstel
432	LC	Dit schepsel is bekend vanwege zijn lange	nek	opstel
433	HC	Joop heeft vuil op zijn hand vanwege zijn lekke	band	lezing

434	MC	Joop heeft veranderingen op zijn hand vanwege zijn lekke	band	lezing
435	LC	Joop heeft vlekken op zijn hand vanwege zijn lekke	band	lezing
436	HC	Om de Eiffeltoren te bekijken ging ze naar	Parijs	geneeskunde
437	MC	Om de Seine te bekijken ging ze naar	Parijs	geneeskunde
438	LC	Om de stad te bekijken ging ze naar	Parijs	geneeskunde
439	HC	De diamant zit op de glanzende	ring	troost
440	MC	Het juweel zit op de glanzende	ring	troost
441	LC	Het puntje zit op de glanzende	ring	troost
442	HC	Deze zeldzame ingrediënten zorgen voor een bijzondere	smaak	verzekering
443	MC	Deze zeldzame zouten zorgen voor een bijzondere	smaak	verzekering
444	LC	Deze zeldzame gewassen zorgen voor een bijzondere	smaak	verzekering
445	HC	Bij die bron haalde zij vers	water	staal
446	MC	Bij die wel haalde zij vers	water	staal
447	LC	Bij die locatie haalde zij vers	water	staal
448	HC	Vanwege zijn nachtmerries heeft hij geen goede	nachtrust	gezinnen
449	MC	Vanwegen zijn zorgen heeft hij geen goede	nachtrust	gezinnen
450	LC	Vanwege zijn toestand heeft hij geen goede	nachtrust	gezinnen
451	HC	Kijk eens naar de paparazzi met hun dure	camera's	vragen
452	MC	Kijk eens naar de fotografen met hun dure	camera's	vragen
453	LC	Kijk eens naar de deelnemers met hun dure	camera's	vragen
454	HC	Haar aanhoudende heesheid veroorzaakt pijn in haar	keel	lijst
455	MC	Haar aanhoudende verkoudheid veroorzaakt pijn in haar	keel	lijst
456	LC	Haar aanhoudende gedoe veroorzaakt pijn in haar	keel	lijst

457	HC	Het kristal verandert het licht in een andere	kleur	student
458	MC	Het scherm verandert het licht in een andere	kleur	student
459	LC	De spiegel verandert het licht in een andere	kleur	student
460	HC	Hij moet naar die tandarts vanwege een ontstoken	kies	gitaar
461	MC	Hij moet naar die persoon vanwege een ontstoken	kies	gitaar
462	LC	Hij moet naar die heelmester vanwege een ontstoken	kies	gitaar
463	HC	Omdat zij allergisch is gebruikt zij veel	medicijnen	wortels
464	MC	Omdat zij verkouden is gebruikt zij veel	medicijnen	wortels
465	LC	Omdat zij bedroefd is gebruikt zij veel	medicijnen	wortels
466	HC	Hij werd generaal bij het Nederlandse	leger	wiel
467	MC	Hij werd leider bij het Nederlandse	leger	wiel
468	LC	Hij werd lid van het Nederlandse	leger	wiel
469	HC	In de wieg zag ze de slapende	baby	ontspanning
470	MC	In de kinderkamer zag ze de slapende	baby	ontspanning
471	LC	In de kamer zag ze de slapende	baby	ontspanning
472	HC	Ik stop niet met die gebeden op grond van mijn	geloof	teen
473	MC	Ik stop niet met die spellen op grond van mijn	geloof	teen
474	LC	Ik stop niet met dit gedrag op grond van mijn	geloof	teen
475	HC	Aan deze balie geven ze Piet een	formulier	uitgang
476	MC	Aan dat loket geven ze Piet een	formulier	uitgang
477	LC	Aan dat portaal geven ze Piet een	formulier	uitgang
478	HC	Voor een goede bril ga ik naar een	opticien	kameel
479	MC	Voor een goede lens ga ik naar een	opticien	kameel
480	LC	Voor een goed advies ga ik naar een	opticien	kameel

481	HC	Ik doe het wisselgeld terug in mijn	portemon- nee	recept
482	MC	Ik doe het materieel terug in mijn	portemon- nee	recept
483	LC	Ik doe het rijbewijs terug in mijn	portemon- nee	recept
484	HC	Ze hebben veel vee op deze grote	boerderij	lippenstift
485	MC	Ze hebben veel koeien op deze grote	boerderij	lippenstift
486	LC	Ze hebben veel lekkers op deze grote	boerderij	lippenstift
487	HC	De oude schildknaap zit op een prachtig	paard	leven
488	MC	De oude jongen zit op een prachtig	paard	leven
489	LC	De oude indiaan zit op een prachtig	paard	leven
490	HC	Hans staat niet te dicht bij de lava van- wege de enorme	hitte	bocht
491	MC	Hans staat niet te dicht bij het fenomeen vanwege de enorme	hitte	bocht
492	LC	Hans staat niet te dicht bij de smid van- wege de enorme	hitte	bocht
493	HC	De astronoom bestudeert heel aan- dachtig de vele	sterren	agenten
494	MC	De astronaut bestudeert heel aandachtig de vele	sterren	agenten
495	LC	De werknemer bestudeert heel aan- dachtig de vele	sterren	agenten
496	HC	De oude zegel is gemaakt van	papier	problemen
497	MC	De oude kaart is gemaakt van	papier	problemen
498	LC	Het oude teken is gemaakt van	papier	problemen
499	HC	Ze won de rechtszaak dankzij haar dure	advocaat	kikker
500	MC	Ze won de discussie dankzij haar dure	advocaat	kikker
501	LC	Ze won het conflict dankzij haar dure	advocaat	kikker
502	HC	Hier op die mesthoop hangt een erg vieze	lucht	verbinding
503	MC	Hier op die belt hangt een erg vieze	lucht	verbinding
504	LC	Hier op die heuvel hangt een erg vieze	lucht	verbinding
505	HC	Anna raakte een kwal aan tijdens haar dagje aan	zee	tafel
506	MC	Anna raakte een wezen aan tijdens haar dagje aan	zee	tafel
507	LC	Anna raakte een schepsel aan tijdens haar dagje aan	zee	tafel

508	HC	Julia zit op de glijbaan in de oude	speeltuin	steun
509	MC	Julia zit op de wipwap in de oude	speeltuin	steun
510	LC	Julia zit op de constructie in de oude	speeltuin	steun
511	HC	De kinderen oefenen de borstcrawl in het oude	zwembad	verhaal
512	MC	De kinderen oefenen het roeien in het oude	zwembad	verhaal
513	LC	De kinderen oefenen de bewegingen in het oude	zwembad	verhaal
514	HC	In de strijd valt iedereen op de	grond	arbeid
515	MC	In de dom valt iedereen op de	grond	arbeid
516	LC	In het bouwwerk valt iedereen op de	grond	arbeid
517	HC	Na het slepen had ik last van mijn	rug	pen
518	MC	Na de verhuizing had ik last van mijn	rug	pen
519	LC	Na de inspanning had ik last van mijn	rug	pen
520	HC	Marvin rookt iedere dag een pakje	sigaretten	munten
521	MC	Marvin consumeert iedere dag een pakje	sigaretten	munten
522	LC	Marvin bekijkt iedere dag een pakje	sigaretten	munten
523	HC	In het dure restaurant eet ik meerdere	gerechten	schoenen
524	MC	In het dure hotel eet ik meerdere	gerechten	schoenen
525	LC	In het dure vertrek eet ik meerdere	gerechten	schoenen
526	HC	Gisteren bij de slager kocht ik best veel	vlees	gebied
527	MC	Gisteren bij de veehandelaar kocht ik best veel	vlees	gebied
528	LC	Gisteren bij de buurman kocht ik best veel	vlees	gebied
529	HC	Vroeger was die Pinocchio een jongen met een lange	neus	pagina
530	MC	Vroeger was die marionet een jongen met een lange	neus	pagina
531	LC	Vroeger was die Hein een jongen met een lange	neus	pagina
532	HC	De eenden zitten in hun	nest	agressie
533	MC	De kuikens zitten in hun	nest	agressie
534	LC	De beesten zitten in hun	nest	agressie
535	HC	Ze verwijdert de splinter met een kleine	pincet	trui
536	MC	Ze verwijdert de stekels met een kleine	pincet	trui
537	LC	Ze verwijdert de irritatie met een kleine	pincet	trui
538	HC	Deze verkoper is gekleed in een mooi	pak	veld

539	MC	Deze advocaat is gekleed in een mooi	pak	veld
540	LC	Deze excentriekeling is gekleed in een mooi	pak	veld
541	HC	Het verkeer stond te wachten voor een	stoplicht	vlieg
542	MC	De auto stond te wachten voor een	stoplicht	vlieg
543	LC	Het jongetje stond te wachten voor een	stoplicht	vlieg
544	HC	Jon zag een reptiel met een groene	staart	stem
545	MC	Jon zag een krokodil met een groene	staart	stem
546	LC	Jon zag een organisme met een groene	staart	stem
547	HC	Vanwege zijn slechte situatie moet hij vaak naar de	dokter	eend
548	MC	Vanwege zijn slechte controle moet hij vaak naar de	dokter	eend
549	LC	Vanwege zijn slechte concentratie moet hij vaak naar de	dokter	eend
550	HC	Tijdens de narcose viel de man in	slaap	Amsterdam
551	MC	Tijdens de behandeling viel de man in	slaap	Amsterdam
552	LC	Tijdens het voorval viel de man in	slaap	Amsterdam
553	HC	De vermoeide actievelingen liggen allemaal in hun	bed	salade
554	MC	De vermoeide reizigers liggen allemaal in hun	bed	salade
555	LC	De vermoeide groepen liggen allemaal in hun	bed	salade
556	HC	Vanwege mijn verstopte wc bel ik een	loodgieter	clown
557	MC	Vanwege mijn kapotte wc bel ik een	loodgieter	clown
558	LC	Vanwege mijn scheve wc bel ik een	loodgieter	clown
559	HC	Hij kon het slot niet openen zonder een	sleutel	eekhoorn
560	MC	Hij kon de deur niet openen zonder een	sleutel	eekhoorn
561	LC	Hij kon het voorwerp niet openen zonder een	sleutel	eekhoorn
562	HC	Om hem te kunnen contacteren pakte het meisje haar	telefoon	maat
563	MC	Om hem te kunnen bellen pakte het meisje haar	telefoon	maat
564	LC	Om hem te kunnen signaleren pakte het meisje haar	telefoon	maat

565	HC	Op de stoep lopen best veel	mensen	gordijnen
566	MC	Op de straat lopen best veel	mensen	gordijnen
567	LC	Op dit veld lopen best veel	mensen	gordijnen
568	HC	De atlas bevat heel veel uitvoerige	kaarten	wensen
569	MC	Het navigatiesysteem bevat veel uitvoerige	kaarten	wensen
570	LC	De bladzijde bevat heel veel uitvoerige	kaarten	wensen
571	HC	De spin zat in het midden van zijn	web	tijd
572	MC	De zijde worm zat in het midden van zijn	web	tijd
573	LC	Het beestje zat in het midden van zijn	web	tijd
574	HC	Ik eet die cornflakes vaak bij het	ontbijt	kruipen
575	MC	Ik eet dat brood vaak bij het	ontbijt	kruipen
576	LC	Ik eet die voorraad vaak bij het	ontbijt	kruipen
577	HC	Om wat vers brood te kopen ging hij naar een	bakker	glas
578	MC	Om wat verse croissants te kopen ging hij naar een	bakker	glas
579	LC	Om wat verse deegwaren te kopen ging hij naar een	bakker	glas
580	HC	Door de beul verliest hij zijn	hoofd	geval
581	MC	Door de regeling verliest hij zijn	hoofd	geval
582	LC	Door de bijl verliest hij zijn	hoofd	geval
583	HC	In de bioscoop eet ik altijd een grote bak	popcorn	cultuur
584	MC	In het circus eet ik altijd een grote bak	popcorn	cultuur
585	LC	In de zaal eet ik altijd een grote bak	popcorn	cultuur
586	HC	Die arts draagt een witte	jas	winkel
587	MC	Die wetenschapper draagt een witte	jas	winkel
588	LC	Die madam draagt een witte	jas	winkel
589	HC	Tijdens het schetsen gebruik ik mijn favoriete	potlood	tekst
590	MC	Tijdens het kleuren gebruik ik mijn favoriete	potlood	tekst
591	LC	Tijdens de actie gebruik ik mijn favoriete	potlood	tekst
592	HC	Op mijn creditkaart staat helaas geen	geld	zicht
593	MC	Op mijn pas staat helaas geen	geld	zicht
594	LC	Op mijn kaart staat helaas geen	geld	zicht
595	HC	Naast de naaidoos zag zij een scherpe	naald	dienst
596	MC	Naast de draden zag zij een scherpe	naald	dienst

597	LC	Naast de commode zag zij een scherpe	naald	dienst
598	HC	De gitarist vervangt een van zijn	snaren	bergen
599	MC	De muzikant vervangt een van zijn	snaren	bergen
600	LC	De achterneef vervangt een van zijn	snaren	bergen
601	HC	Onze Maxima is sinds een paar jaar onze	koningin	zomer
602	MC	Onze prinses is sinds een paar jaar onze	koningin	zomer
603	LC	Ons nichtje is sinds een paar jaar onze	koningin	zomer
604	HC	Het schaap levert ieder jaar heel veel	wol	zorgen
605	MC	Het dier levert ieder jaar heel veel	wol	zorgen
606	LC	Het lam levert ieder jaar heel veel	wol	zorgen
607	HC	Sinds de aanslagen hebben veel mensen	angst	ouders
608	MC	Sinds de voorvallen hebben veel mensen	angst	ouders
609	LC	Sinds de aankondigingen hebben veel mensen	angst	ouders

Training Sentences

Item Nr.	Cond.	Sentence	Congr. Target	Incongr. Target
1	HC	De man smeerde vanmorgen een	boterham	grondwet
2	LC	De man kocht vanmorgen een	boterham	grondwet
3	HC	Hij maakte veel mooie foto's met zijn	camera	hoek
4	LC	Hij maakte veel mooie creaties met zijn	camera	hoek
5	HC	Ze bedekte het plekje op haar vinger met een	pleister	kamertje
6	LC	Ze bedekte het plekje op haar tas met een	pleister	kamertje
7	HC	Samen met de verhuurder tekende ze het	contract	verstand
8	LC	Samen met de leraar tekende ze het	contract	verstand
9	HC	Om fit te blijven gaat ze vaak	sporten	gronden
10	LC	Om gelukkig te blijven gaat ze vaak	sporten	gronden
11	HC	In de oceaan is het grootste dier een	walvis	majoer
12	LC	In de oceaan is het zwaarste dier een	walvis	majoer
13	HC	De visser trok hard aan zijn	hengel	peer
14	LC	De man trok hard aan zijn	hengel	peer

15	HC	Bij de parkvijver voerden de kinderen de	eendjes	coureurs
16	LC	Bij de scouting voerden de kinderen de	eendjes	coureurs
17	HC	De vreetzak hield zich met moeite aan het	dieet	raadsel
18	LC	Mijn vriend hield zich met moeite aan het	dieet	raadsel
19	HC	De verhuizers doen alle spullen in	dozen	rotsen
20	LC	De assistenten doen alle spullen in	dozen	rotsen
21	HC	In het kookboek staan veel leuke	recepten	flodders
22	LC	In het tijdschrift staan veel leuke	recepten	flodders
23	HC	Johan kijkt geboeid naar de wieken van de	molen	puree
24	LC	Johan kijkt geboeid naar de deur van de	molen	puree
25	HC	Ik ben niet zo goed in rekenen dus ik haal altijd slechte cijfers voor	wiskunde	winter
26	LC	Ik ben niet zo goed in leren dus ik haal altijd slechte cijfers voor	wiskunde	winter
27	HC	Volgens mijn broertje wonen Eskimo's graag in een	iglo	knol
28	LC	Volgens mijn broertje wonen mensen graag in een	iglo	knol
29	HC	Mijn moeder ergert zich aan het gekukel van de	haan	rups
30	LC	Mijn moeder ergert zich aan het geluid van de	haan	rups
31	HC	Om een rechte lijn te maken, gebruik ik een	liniaal	deurmat
32	LC	Om een mooie afbeelding te maken, gebruik ik een	liniaal	deurmat
33	HC	Voor de ontspanning neem ik graag een warm	bad	pad
34	LC	Voor de maaltijd neem ik graag een warm	bad	pad
35	HC	Het vliegtuig ontplofte vanwege een verborgen	bom	bek
36	LC	Het vliegtuig had vertraging vanwege een verborgen	bom	bek
37	HC	Ik doe meestal teveel eten op mijn	bord	kilo

38	LC	Ik doe meestal teveel dingen op mijn	bord	kilo
39	HC	Ze kunnen de rivier niet over vanwege een reparatie aan de	brug	melk
40	LC	Ze kunnen het spoor niet over vanwege een reparatie aan de	brug	melk
41	HC	De matroos werkt al jaren op het	schip	gezicht
42	LC	De kok werkt al jaren op het	schip	gezicht
43	HC	Die strepen in de lucht komen zeker van een	vliegtuig	ziekenhuis
44	LC	Die strepen in de loods komen zeker van een	vliegtuig	ziekenhuis
45	HC	Ik was mijn haar altijd met dure	shampoo	kratten
46	LC	Ik verzorg mijn lichaam altijd met dure	shampoo	kratten
47	HC	De beer stak zijn hoofd in de pot met	honing	robots
48	LC	De bengel stak zijn hoofd in de pot met	honing	robots
49	HC	Volgens mij heeft deze spin acht	poten	bossen
50	LC	Volgens mij heeft deze machine acht	poten	bossen
51	HC	Dit wasmiddel werkt goed tegen	vlekken	klokken
52	LC	Dit product werkt goed tegen	vlekken	klokken
53	HC	Die machine die op een mens lijkt is een	robot	kudde
54	LC	Die machine die op een doos lijkt is een	robot	kudde
55	HC	Omdat ze veel kippen heeft, eet mijn oma iedere dag een	ei	tape
56	LC	Omdat ze veel honger heeft, eet mijn oma iedere dag een	ei	tape
57	HC	Een kameel heeft volgens mij altijd twee	bulten	zetels
58	LC	Dat dier heeft volgens mij altijd twee	bulten	zetels
59	HC	Die plant met stekels is een	cactus	akte
60	LC	Die plant met bloemen is een	cactus	akte
61	HC	Mijn oma heeft veel plastic kabouters in haar	tuin	touw
62	LC	Mijn oma heeft veel plastic troep in haar	tuin	touw
63	HC	Hij doet de resten van zijn sigaret in de	asbak	vlieger
64	LC	Hij doet de resten van zijn eten in de	asbak	vlieger
65	HC	Hij veegt de vloer met een	bezem	bacon

66	LC	Hij schrobt de vloer met een	bezem	bacon
67	HC	Het ballet bestaat uit hele goede	dansers	kippen
68	LC	De groep bestaat uit hele goede	dansers	kippen
69	HC	De honkballer raakt de bal hard met zijn knuppel.	knuppel	piano
70	LC	De sporter raakt de bal hard met zijn	knuppel	piano
71	HC	Sinterklaas komt weer naar Nederland met de	stoomboot	nagels
72	LC	Frank komt weer naar Nederland met de	stoomboot	nagels
73	HC	In het weekend kreeg hij eindelijk een beetje	rust	nacht
74	LC	In het zwembad kreeg hij eindelijk een beetje	rust	nacht
75	HC	Opa keek naar de dieren in zijn	tuin	zwaard
76	LC	Opa keek naar de vissen in zijn	tuin	zwaard
77	HC	De jongens spelen tikkertje op het	plein	eitje
78	LC	De jongens spelen gezellig op het	plein	eitje
79	HC	De mystieke man verbergt zijn gezicht achter een	masker	storm
80	LC	De mystieke man verbergt zijn hand achter een	masker	storm
81	HC	De passagier zeulde een zware	tas	klas
82	LC	De passagier kocht een zware	tas	klas
83	HC	Voor de picknick pakken we alles in een	mand	mouw
84	LC	Voor de bruiloft pakken we alles in een	mand	mouw
85	HC	Je ziet niet dat ze kaal is, want ze draagt een	pruik	batterij
86	LC	Je ziet niet dat ze oud is, want ze draagt een	pruik	batterij
87	HC	Na drie jaar studeren kreeg hij eindelijk zijn	diploma	heuvel
88	LC	Na drie jaar werken kreeg hij eindelijk zijn	diploma	heuvel
89	HC	Ik eet de soep met een	lepel	matras
90	LC	Ik maak de soep met een	lepel	matras
91	HC	De filosoof genoot van het roken van zijn ouderwetse	pijp	kanaal

92	LC	De filosoof genoot van de aanblik van zijn ouderwetse	pijp	kanaal
93	HC	De clown maakte een tekkel van de langwerpige	ballon	haven
94	LC	De kunstenaar maakte een tekkel van de langwerpige	ballon	haven
95	HC	Hij verfde de wand met een	kwast	cello
96	LC	Hij herstelde de wand met een	kwast	cello
97	HC	Het opperhoofd bindt de gevangene aan de	paal	hint
98	LC	De leider bindt de gevangene aan de	paal	hint
99	HC	De trein was laat vanwege een probleem op het	spoor	lied
100	LC	De meeting was verlaat vanwege een probleem op het	spoor	lied

Nederlandse Samenvatting

Stel je voor, je staat op een verjaardag en sluit je aan bij een groep mensen die al met elkaar in gesprek zijn. Op het moment dat jij erbij komt staan, hoor je hoe de verteller zijn verhaal afmaakt: “[...] Dan pak je dus de container, die wordt vervolgens gevuld met alleen maar de beste ingrediënten, zodat het product achteraf de beste kwaliteit heeft. Terug in de machine daarmee, je drukt op de knop en het is klaar. Heel makkelijk dus!”.

Waar gaat dit over? Het is erg lastig om te begrijpen wat de verteller precies bedoelt wanneer je de context van het verhaal niet kent. Maar op het moment dat je weet dat het om het maken van een espresso gaat, en de context dus opeens duidelijk wordt, is het voor jou ook heel makkelijk om te begrijpen wat de verteller bedoelt. In deze thesis heb ik onderzocht hoe context invloed heeft op de verwerking van taal en het maken van voorspellingen tijdens het verwerken van zinnen. Om te begrijpen wat de onderliggende neurale processen hiervan zijn, heb ik de hersenactiviteit van mensen onderzocht terwijl ze taal verwerkten in contexten die verschilden in hoe informatief ze waren.

Het uitgangspunt van mijn thesis was dat eerder onderzoek naar de effecten van de context op taalverwerking zich richtten op extreme vormen van hoe informatief of ‘sterk’ een context is. In deze eerdere onderzoeken werd er bijvoorbeeld een hele informatieve of sterke context vergeleken met een hele onduidelijke of zwakke context van een zin. Een dergelijk contrast in context komen we echter in het dagelijks leven niet zo sterk tegen wanneer we taal verwerken. In mijn proefschrift heb ik hierop ingespeeld door verschillende contexten te creëren die verschilden in hoe informatief of sterk ze waren. Ik heb daarom niet alleen een hele informatieve of hele onduidelijke context onderzocht, zoals in eerder onderzoek is gedaan, maar juist een ‘gemiddeld’ niveau van context toegevoegd. Specifiek heb ik onderzocht hoe deze verschillende niveaus van contextsterkte van een zin invloed hebben op de voorspelbaarheid van de woorden aan het einde van een zin, en hoe dit verwerkt wordt in de hersenen. Ik heb de effecten van deze verschillende niveaus van contextsterkte gemeten door gebruik te maken van magnetoencefalografie (MEG). Hierdoor kon ik de hersengolven van participanten onderzoeken terwijl zij zinnen lazen. Door te kijken naar langzame hersengolven in de alpha en beta

frequentieband heb ik onderzocht in hoeverre hersengebieden betrokken zijn bij het verwerken van taal in verschillende contextsterktes.

In dit proefschrift rapporteer ik de resultaten van drie experimenten die kijken naar de invloed van verschillende niveaus van contextsterkte op het verwerken van een zin en het maken van voorspellingen van een woord op basis van de zinscontext.

In **hoofdstuk twee** heb ik de effecten van zinscontext op taalverwerking onderzocht door te kijken naar veranderingen in de sterkte van alpha en beta hersengolven van proefpersonen. Dit heb ik gedaan door gebruik te maken van magnetoencephalografie, en door aan proefpersonen te vragen of zij zinnen woord voor woord op een scherm konden lezen. Deze proefpersonen kregen zinscontexten te zien die verschillende niveaus van voorspelbaarheid hadden (een hoge, gemiddelde en lage voorspelbaarheid). Voor het laatste woord op het scherm verscheen, zag ik dat de sterkte van langzame hersengolven in de alpha/beta band afhing van de voorspelbaarheid van de zinscontext. Ongeveer 400 milliseconden nadat het laatste woord van de zin verscheen, zag ik dat de sterkte van een piek in een hersensignaal (de ‘N400’) ook afhankelijk was van de voorspelbaarheid van de zinscontext. In tegenstelling tot de sterkte van de N400 piek, was de sterkte van de alpha/beta hersengolven niet lineair gerelateerd aan de voorspelbaarheid van het laatste woord van een zin. Daarnaast lieten de resultaten zien dat het effect van de zinscontext op de sterkte van de alpha/beta hersengolven het meest duidelijk waarneembaar was in frontale en pariëtale hersengebieden. Hierdoor kon ik uiteindelijk concluderen dat het verschil in hersenactiviteit tijdens het verwerken van zinnen in verschillende contextsterktes niet de voorspelbaarheid van een woord in de zin aangeeft, maar dat verschillen in de sterkte van alpha/beta hersengolven aantonen dat hersengebieden betrokken zijn bij algemene cognitieve (controle) taken tijdens het verwerken van de semantische context van een zin.

In **hoofdstuk drie** heb ik onderzocht of verschillende niveaus van voorspelbaarheid leiden tot veranderingen in connectiviteit tussen netwerken van hersengebieden. Ik heb hierbij gebruik gemaakt van een ‘seed region’ in de

pariëtale cortex die het sterkste verschil in alpha activiteit liet zien, zoals beschreven in hoofdstuk twee. Ik heb de alpha activiteit van deze seed region vervolgens gecorreleerd met de alpha activiteit van de rest van de hersenen. Dit heb ik voor ieder niveau van voorspelbaarheid apart gedaan, en statistisch vergeleken. Hersengebieden die een grote overlap lieten zien in de verschillende niveaus van voorspelbaarheid werden vervolgens gedefinieerd als ‘knooppunten’ die deel uitmaakten van een groter netwerk in de hersenen. Vervolgens heb ik het effect van verschillende niveaus van voorspelbaarheid van een zinscontext op de connectiviteit tussen deze knooppunten en de seed region onderzocht. Ik heb aangetoond dat de functionele samenstelling (de positie van de knooppunten) van dit netwerk heel erg wijd verspreid is in de hersenen, en dat er frontale en pariëtale gebieden betrokken worden bij het taalverwerkingsproces. Bij het verwerken van taalcontext zijn dus niet alleen hersengebieden betrokken die ‘puur’ te maken hebben met taalverwerking. Daarnaast heb ik aangetoond dat de samenstelling van deze breinnetwerken werd veranderd door de mate van voorspelbaarheid van een woord gegeven de zinscontext (hoge, gemiddelde en lage voorspelbaarheid). Een vergelijking tussen hoge en lage voorspelbaarheid liet een verspreid netwerk zien bestaande uit frontale, temporale en pariëtale hersengebieden. De vergelijking tussen hoge en gemiddelde voorspelbaarheid heeft een netwerk van hersengebieden aangetoond dat vooral frontale gebieden bevatte. De mate van voorspelbaarheid had echter geen invloed op de richting waarin er informatie tussen knooppunten werd opgestuurd. Dit betekent dat contextsterkte een invloed heeft op welke hersengebieden en welke cognitieve functies betrokken zijn tijdens het verwerken van taal. Afhankelijk van hoe informatief een zinscontext is, zijn er ook frontale hersengebieden betrokken bij het taalverwerkingsproces die waarschijnlijk te maken hebben met cognitieve controle. De verschillen in connectiviteit tussen frontale en temporale hersengebieden geeft aan dat afhankelijk van de contextsterkte ook de bijdrage van deze functies aan taalverwerking verschilt. De resultaten uit hoofdstuk twee en drie leiden tot de aanname, dat de bijdrage van cognitieve controlefuncties groter is tijdens taalverwerking voor zinnen met een gemiddelde contextsterkte, dan voor zinnen met een hele sterke of zwakke informatieve context.

In **hoofdstuk vier** heb ik onderzocht in hoeverre de effecten van zinscontext op taalverwerking beïnvloed worden door wat de proefpersoon al eerder gelezen hebben tijdens het experiment. Dit heb ik gedaan door de onderzoeksmaterialen te gebruiken uit hoofdstuk twee, en deze materialen uit te breiden met zinnen die met een woord eindigden dat niet in de context paste. Voor dit onderzoek heb ik de proefpersonen opgedeeld in twee groepen. Beide groepen kregen zinnen te lezen met hoge, gemiddelde en lage voorspelbaarheid, maar de verdeling van (in)congruente woorden aan het einde van de zin verschilde per groep. De ene groep kreeg eerst 50 zinnen te lezen die eindigden op vooral congruente woorden (in 80% van de zinnen) en de andere groep kreeg eerst 50 zinnen te lezen die eindigden op vooral incongruente woorden (in 80% van de zinnen). Tijdens de experimentele taak werden deze verhoudingen opnieuw gebruikt. Met deze aanpak heb ik geprobeerd om de interactie te onderzoeken tussen de waarde van voorspelbaarheid (congruent vs. incongruent) en de mate van voorspelbaarheid (hoog, laag, gemiddeld) van een zinscontext. Net als in hoofdstuk twee, heb ik aangetoond dat de sterkte van alpha hersengolven vóór, en de sterkte van de N400 piek ná het verschijnen van het laatste woord van een zin gerelateerd waren aan de contextsterkte van de zinnen. Ik vond echter geen significant verschil tussen de twee groepen. Uit dit onderzoek kon ik dus concluderen dat de voorspelling van individuele woorden, gebaseerd op een zinscontext, robuust blijft en de proefpersonen dus vertrouwen op hun voorspellingen die gebaseerd zijn op wat zij al eerder hebben gelezen. Bovendien heb ik net als in hoofdstuk twee laten zien dat niet-lineaire veranderingen in alpha activiteit door zinscontext niet zomaar gekoppeld kunnen worden aan de mate van voorspelbaarheid van een woord.

Gebaseerd op deze inzichten concludeer ik in mijn proefschrift dat verschillen in contextsterkte invloed hebben op hoe het brein zich aanpast aan de taalinput. Hersengolven in de alpha en beta frequentiebanden zijn geschikt om deze verschillen in de hersenen te detecteren. Mijn onderzoek laat zien dat alpha en beta hersengolven niet lineair gerelateerd zijn aan de voorspelbaarheid van enkele woorden in een zin. Daarnaast suggereren de resultaten dat verschillen in de sterkte van alpha en beta hersengolven gerelateerd zijn aan

cognitieve controlefuncties tijdens taalverwerking. Deze suggestie wordt bevestigd door de bilaterale bijdrage van frontale en pariëtale hersengebieden aan dit proces. Deze frontale en pariëtale hersengebieden maken mogelijk deel uit van een algemeen hersennetwerk dat gerelateerd kan worden aan cognitieve controle. De sterkte van alpha en beta hersengolven en de sterkte van de piek van de N400 veranderen niet door de verhoudingen van het type zinnen (vooral congruent/vooral incongruent) dat proefpersonen al eerder hebben gelezen tijdens een experiment. Taalcontext heeft dus een enorme invloed op hoe de hersenen taal verwerken. Er worden niet alleen netwerken geactiveerd die ‘puur’ met taalverwerking te maken hebben, maar er vindt ook een flexibele aanpassing van de interactie tussen cognitieve controle gebieden en taalverwerkingsgebieden plaats.

Curriculum Vitae

René Terporten was born on November 23, 1988, in Viersen, Germany. He obtained his bachelor's degree in Psychology and a research master's degree in Cognitive Neuroscience from the Radboud University in Nijmegen. Under the supervision of prof. dr. Ole Jensen René investigated the role of neuronal oscillations in cognition for his bachelor's and master's thesis. His bachelor's thesis focused on the effect of covert attention shifts on posterior alpha power topographic distributions, measured with electroencephalography (EEG). During his master's thesis, René explored the influence of gestural prediction induced by word reading on oscillatory activity, before and during gestural movement observation, measured with magnetoencephalography (MEG). René continued his academic career by joining the IMPRS fellowship program in the Neurobiology of Language department at the Max Planck Institute for Psycholinguistics in Nijmegen. Supervised by prof. dr. Peter Hagoort and dr. Anne Kösem, René focused his work during his PhD on the effect of language context onto ongoing brain dynamics during sentence processing. By measuring MEEG activity, René's research highlighted the role of neuronal oscillations and inter-areal connectivity as modulated by sentence context constraints. During his time as PhD, René was involved in various public outreach activities, amongst others he was the editor of the Dutch website 'Het Talige Brein' which translates scientific work regarding language processing to a broader audience. In March 2020, René joined the Language in Interaction Consortium to work with dr. Branka Milivojevic and prof. dr. Roshan Cools to bring insights from spatial navigation to narrative processing, by making use of a theoretical framework concerning cognitive maps.

Author Publications

Terporten, R., Schoffelen, J. M., Dai, B., Hagoort, P., & Kösem, A. (2019). the Relation between Alpha/Beta oscillations and the encoding of Sentence induced contextual information. *Scientific Reports*, 9(1), 1-12.

Acknowledgements

Without the tremendous support of my promotors, supervisors, colleagues, friends and family, I would have never been able to complete this dissertation. I think, completing a PhD is a very challenging task that can shoot you up sky-high, but that can also make you fall back down to rock bottom. Thanks to the support of all the people mentioned below, I kept moving on.

First, I want to thank my promotor **Peter** for giving me the opportunity to work in your lab. I remember our first meeting with me as your new PhD student in your studio at your home. With only a few printed slides in my hand and some vague ideas, I was sitting in front of this giant desk, which was covered in numerous papers and manuscripts. I was scared as hell. How could someone with such poor knowledge about language processing like me, say anything of interest to you? But you made clear throughout the years that there was nothing to be afraid of. Our meetings were insightful and fun. You always managed to condense my broad ideas into crisp research questions, which were relevant for the current state of the art. Aside from research related topics, you always had an open ear for problems related to my academic career. You were understanding in times in which I was doubting my place in academia, and you gave me extra time to work on my projects when the workload was piling up too much. Thank you for that! Now that I decided to pursue an academic career, I am certain that we will stay in contact, and I am grateful for that.

Any PhD project needs supervision and I can say that with no doubt I benefited from the best supervision one could hope for! **Anne**, I do not know where to begin, I feel like I could write a book about how truly awesome you were. From the start of my PhD and up to the very end, you were always there for me. I was always able to knock on your door, ask the stupidest questions and find the most intriguing answers. Somehow you knew it all and if you did not know the answer, you knew where to ask for it. You taught me how to break

challenging problems into their parts and how to solve those. You were not only keeping track of the progress of my work, but you were also sensitive to the status of my mental health. You knew exactly when taking a break was necessary and when I had to persevere. I was never afraid to tell you about the problems or the worries I had. In fact, whenever I felt depressed you somehow managed to show me the fun in doing science again. I am very thankful for that! I was sad when you left the Netherlands and went back to France, but that did not stop you from being an amazing supervisor. Truth be told, at the very end of my PhD and when everything got intense, you called me by phone to make sure I am fine. Every! Single! Day! If that does not shout awesomeness, I do not know what else does. I wish you only the best for your life and your career, I am certain I will hear a lot from you in the future.

Thank you **Jan-Mathijs** for your supervision on all the methodological challenges I had to face. I can imagine it must not have been always easy to jump on and off a project and still be committed for top-notch methodological execution. I was looking forward to every meeting with you as I knew that it will significantly improve my understanding of connectivity analyses and source reconstruction! The most valuable lesson I got from you was to let the data speak instead of biasing myself by my own interpretations, but not without being really careful about how meaningful the data really are in light of the analyses. Thank you for that! I hope you are still interested in working on our project, as I am keen to learn so much more from you.

Ellie and **Karin**, I had so much fun working with you throughout the final stage of my PhD. I enjoyed being able to walk into your offices at any time, whenever something was on my mind. You always gave me the feeling that I could come up with most vague ideas and you still were interested in discussing those. You are both wonderful scientists and wonderful people. I learned a lot from our scientific discussions, and I enjoyed our light-weighted talks during lunch.

Completing my PhD required a lot of administrative care. I want to thank **Kevin** for his tremendous support throughout the four years. I loved how easy

it was to tailor my PhD around my preferences and interests. Without you, my PhD would have been only half as interesting! Thank you, **Ina** and **Carolyn**, for your administrative support! I hate filling in forms for administrative purposes, but you made it so much easier for me. Nothing has ever been a problem and you were totally fine with me asking for a hundred times how to fill in the reimbursement form correctly. Thank you!

Yingying, I want to thank you for all the nice discussions, talks and pancakes we had. It was always a joy having you around. You introduced me to pharmacological research and the topic of cognitive control which greatly shaped the way how I see language processing in the brain. I know your time with me was not always easy, especially when we both were pushed to our limits due to hard deadlines. But I really hope that you still benefited from our collaboration as much as I did. I wish you all the best for your next steps in academia, I am certain that you will do great. **Monique** and **Geertje**, I want to thank you for your great ideas during my PhD. You never minded spending that extra time on thinking about my research, even when you were not directly involved. I wish there were a lot more Moniques and Geertjes in this world to bring some fun to the workplace. Thank you! **Bohan**, thank you for being my research buddy for some time. It was great to take a look at each others research and to improve whenever necessary, I really enjoyed that. I want to thank you **Ashley** for the interesting discussions we had about prediction. These discussions already started during my Bachelor at the DCCN and have greatly influenced my way in academia. Let's also not forget the thousands of miles we walked in Helsinki to find an appropriate restaurant which was funny as hell! **Birgit**, **Eva** and **Iris**, thank you for being wonderful research assistants. You took a lot of work from me and without you I would probably still be testing participants.

I had the honor of working in a lab full of brilliant people. Thanks to the whole **Neurobiology of Language department**: **Peter**, **Carolyn**, **Monique**, **Mante**, **Karl-Magnus**, **Fenna**, **Jana**, **Hartmut**, **Hanna**, **Karin**, **Eleanor**, **Ashley**, **Xin**, **Natalia**, **Branka**, **Guillermo**, **Markus**, **David**, **Daniel**, **Yingying**, **Kirsten**, **Sophie**, **Kristijan**, **Cas**, **Bohan**, **Micha**, **Nienke**, **Laura**, **Teun**,

Margot, Julie, Ksenija, Rowan, Alessio, Marvin, Birgit, Dick, Maarten, Iris and Eva. Thank you for your feedback and your immense support.

Valeria, I want to thank you for being such an awesome office mate and friend. For me it was the greatest thing to be able to complain about stupid errors in Matlab with you. I enjoyed the numerous coffee breaks we had, which ultimately made me a bit more Italian. I hope we will see each other again in the future, after you come back from all your exciting travels. **Sara**, thank you for being such a cheerful person. You were never tired of pointing me to the fun part of life and you pushed me to finally commit to some awesome vacation. I think I do not have to tell you how awesome you are, please never change! **Rowan and Marvin**, I am proud to have had the privilege of being your office made. You both filled my days with joy and I never got tired of talking to you about anything! You always had that relaxed attitude, which certainly calmed me down whenever the seas got rough. **David**, I never got tired of your jokes, I guess we have the same kind of weird (I mean great) humor that brought life to the daily lunch. I want to thank you **Dan** for being such a joyful person to me. I always knew that if there was a social event and if I want to have a good time, I only need to drink a beer with you and I will have a blast. Thank you, **Laura** for sharing your secret pizza recipe with me. Still up to date this recipe results in the best pizza I can possibly make.

My life would be empty without music. I want to thank The Clitics (**Rick, Lisa, David & Linda**) for joining on this little musical adventure with me. Playing in a band has always been a dream of me and you made it happen! Also, thanks to the Cherry and the Cakes (**Sara, Greta, Tim, Christian, Dan, Fenja & Henri**) for having me as guitarist in your band. I learned and improved so much during our time and every gig was a blast. Thank you **Marc** for being such a great guitar teacher. I hope you and your growing family are doing great.

My fantastic paranymphs, thank you for making my PhD defense possible! **Linda**, I think you should adapt your outfit, wear a cape, and become the next super woman! You are an amazing person, as a friend and as a scientist. I must

make it explicit: you are the reason why I became a PhD student after all. You supervised me during my Masters and you pointed me towards a possible future as a PhD student, and it worked out. Whenever there was trouble ahead, you were there to support me. I loved our coffee breaks, all the chats and funny GIF exchanges via WhatsApp. You gave me advice for my personal and professional life, and I am grateful for this. During the final stage of my PhD I put your thesis on my desk as a reminder of how awesome science should look like. I knew that if I want to shine in my career, I need to approach the level of your work. I knew I could not achieve the same, but the mere attempt would improve my own work. Thank you for being my academic idol and thank you for being such an amazing friend! Thank you, **Lukas** for going through thick and thin with me. I am so lucky to have met you during the second year of my Bachelor. I think we both supported each other during all this time, and you have been an amazing friend. If I look back at my time as student, in every memory you are somehow involved. I can certainly say that I enjoyed every second of it! You are absolutely sharp minded, and your friendly advice guided me through life. Thank you so much for that! I am honored to be your friend! I hope that we will have countless gaming sessions in the future and that we never lose track of one another. **Sophie**, I can already tell that you are a way better PhD student than I would ever be! You are so dedicated to your projects and the way how you deal with scientific problems is extraordinary smart. You often asked me for advice (as me hanging around as PhD student a bit longer), but honestly, I should be the one asking you for advice. You were so kind and caring for your friends and colleagues which I always found admirable. You are a person I could always count on and that is a rare thing to have. I am super grateful to have you as a friend. I do not need to mention how good your baking skills are, do I? I think no one at the institute can compete with your cakes and everybody knows that! I will miss those cakes for sure.

Ich würde wortwörtlich nicht in der Lage sein meine PhD abzurunden, wenn es meine Eltern **Klaudia** und **Roland** nicht geben würde. Ihr seid ohne Zweifel die besten Eltern die man sich wünschen kann. Egal welche Träume und Ideen ich verfolgt habe, ihr habt mich immer unterstützt. Ich musste mir

niemals Sorgen um meinen weiteren Werdegang machen und ich konnte jederzeit auf euch zählen. Ich danke euch für alles was ihr für mich getan habt! Die Familie wäre nicht komplett ohne meinen Bruder **André**. Ich kann mir nicht vorstellen einen besseren Bruder als dich zu haben. Obwohl wir vom Alter her zehn Jahre auseinander liegen, teilen wir dennoch so viele Interessen miteinander. Wir lachen über den selben Blödsinn und verstehen uns wenn wir uns nur ansehen. Wenn wir zusammen gamen oder scherzen, macht mich das zehn Jahre jünger und dafür bin ich dir sehr dankbar!

I want to thank the best dog in this world, **Paula**. Paula if you read this: woof-woof, grrr-woof-woof, aauuuu-woof! [EN: Thank you for showing me that chasing the biggest ball would not make me happy in life. It is about how much we enjoy chasing the many small balls.]

Wie könnte ich es überhaupt soweit gebracht haben, wenn ich nicht meine **Laura** an meiner Seite hätte? Über all die Jahre bist du immer für mich da gewesen. Du hast mich in meinen besten und meinen schlechtesten Zeiten erlebt. Du hast mich aufgebaut wenn es mir nicht gut ging und du hast mich wieder auf den Teppich zurückgeholt wenn ich drohte abzuheben. Über all die Jahre bist du mein Ruhepol gewesen und dafür liebe ich dich so sehr! Du bist fürsorglich, verständnisvoll, liebevoll, ehrlich, klug und witzig. Dich an meiner Seite zu haben macht mich zum glücklichsten Menschen und dafür danke ich dir!

MPI Series in Psycholinguistics

1. The electrophysiology of speaking: Investigations on the time course of semantic, syntactic, and phonological processing. *Miranda van Turenhout*
2. The role of the syllable in speech production: Evidence from lexical statistics, metalinguistics, masked priming, and electromagnetic midsagittal articulography. *Niels O. Schiller*
3. Lexical access in the production of ellipsis and pronouns. *Bernadette M. Schmitt*
4. The open-/closed-class distinction in spoken-word recognition. *Alette Haveman*
5. The acquisition of phonetic categories in young infants: A self-organising artificial neural network approach. *Kay Behnke*
6. Gesture and speech production. *Jan-Peter de Ruiter*
7. Comparative intonational phonology: English and German. *Esther Grabe*
8. Finiteness in adult and child German. *Ingeborg Lasser*
9. Language input for word discovery. *Joost van de Weijer*
10. Inherent complement verbs revisited: Towards an understanding of argument structure in Ewe. *James Essegbey*
11. Producing past and plural inflections. *Dirk Janssen*
12. Valence and transitivity in Saliba: An Oceanic language of Papua New Guinea. *Anna Margetts*
13. From speech to words. *Arie van der Lugt*
14. Simple and complex verbs in Jaminjung: A study of event categorisation in an Australian language. *Eva Schultze-Berndt*
15. Interpreting indefinites: An experimental study of children's language comprehension. *Irene Krämer*
16. Language-specific listening: The case of phonetic sequences. *Andrea Weber*
17. Moving eyes and naming objects. *Femke van der Meulen*
18. Analogy in morphology: The selection of linking elements in Dutch compounds. *Andrea Krott*
19. Morphology in speech comprehension. *Kerstin Mauth*
20. Morphological families in the mental lexicon. *Nivja H. de Jong*
21. Fixed expressions and the production of idioms. *Simone A. Sprenger*

22. The grammatical coding of postural semantics in Goemai (a West Chadic language of Nigeria). *Birgit Hellwig*
23. Paradigmatic structures in morphological processing: Computational and cross-linguistic experimental studies. *Fermín Moscoso del Prado Martín*
24. Contextual influences on spoken-word processing: An electrophysiological approach. *Daniëlle van den Brink*
25. Perceptual relevance of prevoicing in Dutch. *Petra M. van Alphen*
26. Syllables in speech production: Effects of syllable preparation and syllable frequency. *Joana Cholin*
27. Producing complex spoken numerals for time and space. *Marjolein Meeuwissen*
28. Morphology in auditory lexical processing: Sensitivity to fine phonetic detail and insensitivity to suffix reduction. *Rachèl J. J. K. Kemps*
29. At the same time...: The expression of simultaneity in learner varieties. *Barbara Schmiedtová*
30. A grammar of Jalonke argument structure. *Friederike Lüpke*
31. Agrammatic comprehension: An electrophysiological approach. *Marlies Wassenaar*
32. The structure and use of shape-based noun classes in Miraña (North West Amazon). *Frank Seifart*
33. Prosodically-conditioned detail in the recognition of spoken words. *Anne Pier Salverda*
34. Phonetic and lexical processing in a second language. *Mirjam Broersma*
35. Retrieving semantic and syntactic word properties. *Oliver Müller*
36. Lexically-guided perceptual learning in speech processing. *Frank Eisner*
37. Sensitivity to detailed acoustic information in word recognition. *Keren B. Shatzman*
38. The relationship between spoken word production and comprehension. *Rebecca Özdemir*
39. Disfluency: Interrupting speech and gesture. *Mandana Seyfeddinipur*
40. The acquisition of phonological structure: Distinguishing contrastive from non-contrastive variation. *Christiane Dietrich*
41. Cognitive cladistics and the relativity of spatial cognition. *Daniel B.M. Haun*
42. The acquisition of auditory categories. *Martijn Goudbeek*

43. Affix reduction in spoken Dutch. *Mark Pluymaekers*
44. Continuous-speech segmentation at the beginning of language acquisition: Electrophysiological evidence. *Valesca Kooijman*
45. Space and iconicity in German Sign Language (DGS). *Pamela Perniss*
46. On the production of morphologically complex words with special attention to effects of frequency. *Heidrun Bien*
47. Crosslinguistic influence in first and second languages: Convergence in speech and gesture. *Amanda Brown*
48. The acquisition of verb compounding in Mandarin Chinese. *Jidong Chen*
49. Phoneme inventories and patterns of speech sound perception. *Anita Wagner*
50. Lexical processing of morphologically complex words: An information-theoretical perspective. *Victor Kuperman*
51. A grammar of Savosavo, a Papuan language of the Solomon Islands. *Claudia Wegener*
52. Prosodic structure in speech production and perception. *Claudia Kuzla*
53. The acquisition of finiteness by Turkish learners of German and Turkish learners of French: Investigating knowledge of forms and functions in production and comprehension. *Sarah Schimke*
54. Studies on intonation and information structure in child and adult German. *Laura de Ruiter*
55. Processing the fine temporal structure of spoken words. *Eva Reinisch*
56. Semantics and (ir)regular inflection in morphological processing. *Wieke Tabak*
57. Processing strongly reduced forms in casual speech. *Susanne Brouwer*
58. Ambiguous pronoun resolution in L1 and L2 German and Dutch. *Miriam Ellert*
59. Lexical interactions in non-native speech comprehension: Evidence from electroencephalography, eye-tracking, and functional magnetic resonance imaging. *Ian FitzPatrick*
60. Processing casual speech in native and non-native language. *Annelie Tuinman*
61. Split intransitivity in Rotokas, a Papuan language of Bougainville. *Stuart Robinson*
62. Evidentiality and intersubjectivity in Yurakaré: An interactional account. *Sonja Gipper*
63. The influence of information structure on language comprehension: A neurocog-

- nitive perspective. *Lin Wang*
64. The meaning and use of ideophones in Siwu. *Mark Dingemans*
 65. The role of acoustic detail and context in the comprehension of reduced pronunciation variants. *Marco van de Ven*
 66. Speech reduction in spontaneous French and Spanish. *Francisco Torreira*
 67. The relevance of early word recognition: Insights from the infant brain. *Caroline Junge*
 68. Adjusting to different speakers: Extrinsic normalization in vowel perception. *Matthias J. Sjerps*
 69. Structuring language. Contributions to the neurocognition of syntax. *Katrien R. Segaert*
 70. Infants' appreciation of others' mental states in prelinguistic communication: A second person approach to mindreading. *Birgit Knudsen*
 71. Gaze behavior in face-to-face interaction. *Federico Rossano*
 72. Sign-spatiality in Kata Kolok: how a village sign language of Bali inscribes its signing space. *Conny de Vos*
 73. Who is talking? Behavioural and neural evidence for norm-based coding in voice identity learning. *Attila Andics*
 74. Lexical processing of foreign-accented speech: Rapid and flexible adaptation. *Marijt Witteman*
 75. The use of deictic versus representational gestures in infancy. *Daniel Puccini*
 76. Territories of knowledge in Japanese conversation. *Kaoru Hayano*
 77. Family and neighbourhood relations in the mental lexicon: A cross-language perspective. *Kimberley Mulder*
 78. Contributions of executive control to individual differences in word production. *Zeshu Shao*
 79. Hearing speech and seeing speech: Perceptual adjustments in auditory-visual processing. *Patrick van der Zande*
 80. High pitches and thick voices: The role of language in space-pitch associations. *Sarah Dolscheid*
 81. Seeing what's next: Processing and anticipating language referring to objects. *Joost Rommers*
 82. Mental representation and processing of reduced words in casual speech. *Iris*

Hanique

83. The many ways listeners adapt to reductions in casual speech. *Katja Poellmann*
84. Contrasting opposite polarity in Germanic and Romance languages: Verum Focus and affirmative particles in native speakers and advanced L2 learners. *Giuseppina Turco*
85. Morphological processing in younger and older people: Evidence for flexible dual-route access. *Jana Reifegerste*
86. Semantic and syntactic constraints on the production of subject-verb agreement. *Alma Veenstra*
87. The acquisition of morphophonological alternations across languages. *Helen Buckler*
88. The evolutionary dynamics of motion event encoding. *Annemarie Verkerk*
89. Rediscovering a forgotten language. *Jiyoun Choi*
90. The road to native listening: Language-general perception, language-specific input. *Sho Tsuji*
91. Infants' understanding of communication as participants and observers. *Gudmundur Bjarki Thorgrímsson*
92. Information structure in Avatime. *Saskia van Putten*
93. Switch reference in Whitesands. *Jeremy Hammond*
94. Machine learning for gesture recognition from videos. *Binyam Gebrekidan Gebre*
95. Acquisition of spatial language by signing and speaking children: a comparison of Turkish sign language (TID) and Turkish. *Beyza Sümer*
96. An ear for pitch: on the effects of experience and aptitude in processing pitch in language and music. *Salomi Savvatia Asaridou*
97. Incrementality and Flexibility in Sentence Production. *Maartje van de Velde*
98. Social learning dynamics in chimpanzees: Reflections on (nonhuman) animal culture. *Edwin van Leeuwen*
99. The request system in Italian interaction. *Giovanni Rossi*
100. Timing turns in conversation: A temporal preparation account. *Lilla Magyari*
101. Assessing birth language memory in young adoptees. *Wencui Zhou*
102. A social and neurobiological approach to pointing in speech and gesture. *David Peeters*

103. Investigating the genetic basis of reading and language skills. *Alessandro Gialluisi*
104. Conversation Electrified: The Electrophysiology of Spoken Speech Act Recognition. *Rósa Signý Gísladóttir*
105. Modelling Multimodal Language Processing. *Alastair Smith*
106. Predicting language in different contexts: The nature and limits of mechanisms in anticipatory language processing. *Florian Hintz*
107. Situational variation in non-native communication. *Huib Kouwenhoven*
108. Sustained attention in language production. *Suzanne Jongman*
109. Acoustic reduction in spoken-word processing: Distributional, syntactic, morpho-syntactic, and orthographic effects. *Malte Viebahn*
110. Nativeness, dominance, and the flexibility of listening to spoken language. *Laurence Bruggeman*
111. Semantic specificity of perception verbs in Maniq. *Ewelina Wnuk*
112. On the identification of FOXP2 gene enhancers and their role in brain development. *Martin Becker*
113. Events in language and thought: The case of serial verb constructions in Avatime. *Rebecca Defina*
114. Deciphering common and rare genetic effects on reading ability. *Amaia Carrión Castillo*
115. Music and language comprehension in the brain. *Richard Kunert*
116. Comprehending Comprehension: Insights from neuronal oscillations on the neuronal basis of language. *Nietzsche H.L. Lam*
117. The biology of variation in anatomical brain asymmetries. *Tulio Guadalupe*
118. Language processing in a conversation context. *Lotte Schoot*
119. Achieving mutual understanding in Argentine Sign Language. *Elizabeth Manrique*
120. Talking Sense: the behavioural and neural correlates of sound symbolism. *Gwilym Lockwood*
121. Getting under your skin: The role of perspective and simulation of experience in narrative comprehension. *Franziska Hartung*
122. Sensorimotor experience in speech perception. *Will Schuerman*
123. Explorations of beta-band neural oscillations during language comprehension:

- Sentence processing and beyond. *Ashley Lewis*
124. Influences on the magnitude of syntactic priming. *Evelien Heyselaar*
125. Lapse organization in interaction. *Elliott Hoey*
126. The processing of reduced word pronunciation variants by natives and foreign language learners: Evidence from French casual speech. *Sophie Brand*
127. The neighbors will tell you what to expect: Effects of aging and predictability on language processing. *Cornelia Moers*
128. The role of voice and word order in incremental sentence processing. *Sebastian Sauppe*
129. Learning from the (un)expected: Age and individual differences in statistical learning and perceptual learning in speech. *Thordis Neger*
130. Mental representations of Dutch regular morphologically complex neologisms. *Laura de Vaan*
131. Speech production, perception, and input of simultaneous bilingual preschoolers: Evidence from voice onset time. *Antje Stoehr*
132. A holistic approach to understanding pre-history. *Vishnupriya Kolipakam*
133. Characterization of transcription factors in monogenic disorders of speech and language. *Sara Busquets Estruch*
134. Indirect request comprehension in different contexts. *Johanne Tromp*
135. Envisioning Language - An Exploration of Perceptual Processes in Language Comprehension. *Markus Ostarek*
136. Listening for the WHAT and the HOW: Older adults' processing of semantic and affective information in speech. *Juliane Kirsch*
137. Let the agents do the talking: on the influence of vocal tract anatomy on speech during ontogeny and glossogeny. *Rick Janssen*
138. Age and hearing loss effects on speech processing. *Xaver Koch*
139. Vocabulary knowledge and learning: Individual differences in adult native speakers. *Nina Mainz*
140. The face in face-to-face communication: Signals of understanding and non-understanding. *Paul Hömke*
141. Person reference and interaction in Umpila/Kuuku Ya'u narrative. *Clair Hill*
142. Beyond the language given: The neurobiological infrastructure for pragmatic inferencing. *Jana Bašnáková*

143. From Kawapanan to Shawi: Topics in language variation and change. *Luis Miguel Rojas-Berscia*
144. On the oscillatory dynamics underlying speech-gesture integration in clear and adverse listening conditions. *Linda Drijvers*
145. Understanding temporal overlap between production and comprehension. *Amie Fairs*
146. The role of exemplars in speech comprehension. *Annika Nijveld*
147. A network of interacting proteins disrupted in language-related disorders. *Elliot Sollis*
148. Fast speech can sound slow: Effects of contextual speech rate on word recognition. *Merel Maslowski*
149. Reason-giving in everyday activities. *Julija Baranova*
150. Speech planning in dialogue - Psycholinguistic studies of the timing of turn taking. *Mathias Barthel*
151. The role of neural feedback in language unification: How awareness affects combinatorial processing. *Valeria Mongelli*
152. Exploring social biases in language processing. *Sara Iacozza*
153. Vocal learning in the pale spear-nosed bat, *Phyllostomus discolor*. *Ella Lattenkamp*
154. The effect of language contact on speech and gesture: The case of Turkish-Dutch bilinguals in the Netherlands. *Elif Zeynep Azar*
155. Language and society: How social pressures shape grammatical structure. *Limor Raviv*
156. The moment in between: Planning speech while listening. *Svetlana-Lito Gerakaki*
157. How speaking fast is like running: Modelling control of speaking rate. *Joe Rodd*
158. The power of context: How linguistic contextual information shapes brain dynamics during sentence processing. *René Terporten*

