

Shared knowledge in complex teams

Citation for published version (APA):

Sander, P. C. (2016). *Shared knowledge in complex teams: an investigation of the shared mental model construct*. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20160331ps>

Document status and date:

Published: 01/01/2016

DOI:

[10.26481/dis.20160331ps](https://doi.org/10.26481/dis.20160331ps)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

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

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

Air traffic control and other highly dynamic and complex work environments require team members who effectively work together. Specifically, shared knowledge between team members helps air traffic controllers to jointly work towards a common goal. This shared knowledge is also referred to as a shared mental model, which is the common knowledge between members of a team that help them to coordinate their actions and work together effectively. This dissertation aims to increase our knowledge of shared mental models in complex teams and specifically teams of air traffic controllers to better understand how teamwork can be improved. Specifically, this dissertation addresses three research aims, namely (1) refine the shared mental model construct in the context of air traffic control, (2) reveal the role of knowledge sharing in developing shared mental models and (3) investigating the relationship between shared mental models, communication and adaptive team performance in response to an unforeseen change.

Chapter 2 contributes to the first research aim and refines the shared mental model construct in air traffic control. By means of a cognitive task analysis the shared knowledge structures of air traffic controllers are analysed. This analysis includes qualitative data collection methods (interviews and observations) that result in a framework of shared mental models of air traffic controllers. The framework comprises of five shared mental model types, namely equipment, task, team, team interaction and situation. A number of knowledge elements that specify the content of these shared mental models describe each type in more detail. Particularly the situation model constitutes an important difference to existing mental model typologies and emphasizes the dynamic nature of the task of air traffic controllers. This first study demonstrates the need to refine shared mental models within a specific domain. The framework developed constitutes the basis for the subsequent study.

Chapter 3 elaborates on the first research aim by testing the validity of the framework for 100 controllers. In addition, this study compares the similarity of the shared mental models identified between controllers who work for separate organizations and with different levels of work experience. Air traffic controllers conduct a card sorting task during which they categorize knowledge elements (cards) into predefined categories (shared mental model types). Multi dimensional scaling reveals a marked deviation from the proposed five types of shared mental models of the framework. Air traffic controllers distinguish three types of knowledge, namely related to the equipment, the task, and the team. Subsequent permutation tests shows that mental model similarity of task-related and equipment knowledge varies as a function of organizational context and work experience. It appears that the organizational context affects the similarity of air traffic controllers' mental models, but that this effect diminishes with increasing work experience. This study highlights that team members categorize knowledge in meaningful chunks and that a theoretical supported framework, as often presented in the

Summary

literature, as well as suggested in this dissertation, is not directly applicable in the field. In addition, the findings contribute to the literature as it shows that both external (organization) and internal (work experience) aspects can influence team members' shared mental models.

Chapter 4 addresses the second research aim, which regards the role of knowledge sharing in developing shared mental models⁷. To test this, three-person teams carry out a dynamic team task – *TeamTris* – that have been developed to simulate the main principles of complex and dynamic environments. Half of the teams receive guided and off-task opportunities for knowledge sharing through (a) exchanging information about each other's tasks and (b) a team discussion. Results show that knowledge sharing positively influences mental model accuracy and the similarity of team-related mental models. Mental model accuracy in turn predicts team performance. In addition, knowledge sharing positively correlates with the amount of task- and team-related communication during task performance and this further improves shared mental model development.

Chapter 5 further elaborates on the second research aim and investigates the development of shared mental models in a datalink setting. Datalink is increasingly prevalent in air traffic control and other complex environments. It allows exchanging big amounts of data but also reduces information exchange to predefined messages, which may hamper the development of shared mental models. This study therefore tests the effects of knowledge sharing opportunities on shared mental model development and on team behaviours associated with shared mental models. Knowledge sharing is operationalized as (a) information exchange about each other's tasks, (b) a team discussion and (c) hands-on experience with the tasks of other team members. Results demonstrate that knowledge sharing positively influences the team behaviour closed-loop communication, as well as mental model accuracy and the similarity of team-related mental models. In line with the outcomes of the previous study, mental model accuracy predicts team performance.

Chapter 4 and *Chapter 5* show that off-task opportunities for the mutual exchange of information contribute to converge individual knowledge into shared knowledge among team members. Consequently, knowledge sharing is a potential means for organizations to support team members in the development of effective shared mental models. The two studies also confirm the close relationship between shared mental models and communication. Communication both reinforces shared mental models and indicates their presence.

Chapter 6 establishes insights on the third research aim by studying the relationship between shared mental models, communication and adaptive team performance. Adaptive team performance is particularly critical in dynamic environments such as air traffic control as situations frequently change and team members need to adapt to these changes. This study investigates how team members perform in response to an unforeseen change (partial system breakdown) and whether shared mental models

⁷ Based on the results of the first two studies subsequent studies focused on task-related and team-related shared mental models. The equipment model type was excluded because the equipment of the studied task environment was rather simple so that little need for team members to share knowledge of the equipment was expected.

and standardized communication help teams to adapt to the change. Results of discontinuous growth modelling analysis show that team performance drops immediately after the change and then slowly increases again to the initial level. This performance pattern is the same for all teams irrespective of whether they are trained in standardized communication protocols, or whether they have more similar and accurate mental models. However, team members with highly accurate mental models perform generally better before and after the change. This study implies that unforeseen changes disrupt team members' shared mental models and developed communication patterns. The shared mental models and communication patterns that team members develop in a given situation become useless in a new situation that requires different task- and cooperation strategies.

Based on the results of this research it can be concluded that team members in the field share multiple types of mental models. In addition to general shared mental model types of aspects of task and team, shared mental models of the situation and equipment are critical in dynamic and system-driven environments. Additionally, this research shows that organizations can support team members in the development of shared mental model through providing additional opportunities for knowledge sharing. Knowledge sharing improves team members' shared knowledge structures and particularly accurate knowledge structures between team members contribute to team performance. These shared knowledge structures, however, do not help teams to adapt to an unforeseen change.

Samenvatting

Luchtverkeersleiding en andere zeer dynamische en complexe werkomgevingen hebben teamleden nodig die effectief samenwerken. Vooral de gedeelde kennis tussen teamleden helpt luchtverkeersleiders om gezamenlijk naar één doel toe te werken. Deze gedeelde kennis is ook bekend als ‘shared mental model’ of gedeelde mentale model, gedefinieerd als de gemeenschappelijke kennis tussen leden van een team, die hun helpt om acties te coördineren en om effectief samen te werken. Dit proefschrift heeft als doel om de kennis over gedeelde mentale modellen in complexe teams en vooral in teams van luchtverkeersleiders te vergroten om zodoende beter te kunnen begrijpen hoe teamwerk verbeterd kan worden. Specifiek behandelt dit proefschrift drie onderzoeksdoelen: (1) het construct van gedeelde mentale modellen in de context van luchtverkeersleiding verfijnen, (2) de rol van kennisdeling bij het ontwikkelen van gedeelde mentale modellen te achterhalen en (3) de samenhang tussen gedeelde mentale modellen, communicatie en adaptieve teamprestatie na een onverwachte verandering in de taakomgeving te onderzoeken.

Hoofdstuk 2 draag bij aan het eerste onderzoeksdoel en verfijnt het construct van gedeelde mentale modellen in luchtverkeersleiding. Door middel van een cognitieve taakanalyse worden de gedeelde kennisstructuren van luchtverkeersleiders geanalyseerd. Deze analyse omvat methoden van kwalitatieve datacollectie, zoals interviews en observaties, en resulteert in een raamwerk voor gedeelde mentale modellen van luchtverkeersleiders. Het raamwerk bevat vijf types gedeelde mentale modellen, namelijk apparatuur, taak, team, team interactie en situatie. Elk type wordt beschreven door een aantal kenniselementen dat de inhoud van deze gedeelde mentale modellen specificeert. Voornamelijk het situatie model is een belangrijk verschil met bestaande typologieën en benadrukt de dynamische aard van het werk van luchtverkeersleiders. Deze eerste studie laat daarom de noodzaak zien om gedeelde mentale modellen in een specifiek domein te onderzoeken. Het ontwikkelde raamwerk vormt de basis voor de volgende studie.

Hoofdstuk 3 gaat verder op het eerste onderzoeksdoel in door de validiteit van het raamwerk voor 100 luchtverkeersleiders te testen. Daarnaast vergelijkt dit hoofdstuk de overeenkomsten tussen de geïdentificeerde gedeelde mentale modellen van luchtverkeersleiders, die voor verschillende organisaties werken en die verschillend niveau van werkervaring hebben. Luchtverkeersleiders voeren een ‘card sorting’ taak uit waarbij ze kenniselementen (kaarten) in vooraf gedefinieerde categorieën moeten verdelen (types gedeelde mentale modellen). Multi-dimensional scaling laat een markant verschil van de eerder geïdentificeerde types gedeelde mentale modellen zien. Luchtverkeersleiders onderscheiden drie types van kennis die gerelateerd zijn met apparatuur, de taak, en het team. Daaropvolgende permutatietests tonen aan dat overeenkomsten tussen taak-gerelateerde kennis en kennis over apparatuur verschillen met betrekking tot organisatie en werkervaring. De

organisatiecontext beïnvloedt de overeenkomst tussen mentale modellen van luchtverkeersleiders, maar dit effect neemt met toenemende werkervaring af. Deze studie laat zien dat teamleden hun kennis in betekenisvolle ‘chunks’ categoriseren en dat een theoretisch beschreven raamwerk, zo als vaak in de literatuur, als ook in dit proefschrift, in de praktijk niet direct toepasbaar is. Daarnaast dragen deze bevindingen bij aan de literatuur door aan te tonen dat externe (organisatie) en interne (werkervaring) factoren de overeenkomsten van mentale modellen tussen teamleden kunnen beïnvloeden.

Hoofdstuk 4 pakt het tweede onderzoeksdoel aan, dat de rol van kennisdeling bij de ontwikkeling van gedeelde mentale modellen⁸ onderzoekt. Hiervoor voeren teams van drie personen een dynamische taak uit – *TeamTris* – welke ontwikkeld is om de hoofdprincipes van complexe en dynamische taakomgevingen te simuleren. De helft van de teams krijgt voorafgaand aan de taakuitvoering de mogelijkheid voor kennisdeling door (a) informatie over elkaars taken uit te wisselen en (b) een teamdiscussie te voeren. De resultaten laten zien dat kennisdeling de accuraatheid van mentale modellen en de overeenkomsten van team-gerelateerde mentale modellen positief beïnvloedt. De accuraatheid van mentale modellen is vervolgens voorspellend voor teamprestatie. Daarnaast correleert kennisdeling positief met de hoeveelheid communicatie over taak- en teamaspecten tijdens de taakuitvoering. Dit verbetert vervolgens weer de ontwikkeling van de gedeelde mentale modellen.

Hoofdstuk 5 gaat nog verder in op het tweede onderzoeksdoel en onderzoekt de ontwikkeling van gedeelde mentale modellen in een datalink omgeving. Datalink komt steeds meer voor bij de luchtverkeersleiding en andere complexe werkomgevingen. Door middel van datalink kunnen grote hoeveelheden data uitgewisseld worden. Datalink reduceert echter informatie-uitwisseling tot vooraf gedefinieerde berichten en dit kan de ontwikkeling van gedeelde mentale modellen mogelijk belemmeren. Deze studie test daarom het effect van de mogelijkheid tot kennisdeling op de ontwikkeling van gedeelde mentale modellen en op teamgedrag dat met gedeelde mentale modellen geassocieerd is. Kennisdeling vindt plaats door middel van (a) informatie over elkaars taken uit te wisselen, (b) een teamdiscussie te voeren en (c) praktische ervaring met elkaars taken op te doen. De resultaten demonstreren dat kennisdeling het teamgedrag ‘closed-loop communication’, zoals de accuraatheid van mentale modellen en de overeenkomsten van team-gerelateerde mentale modellen positief beïnvloedt. In overeenstemming met de vorige studie voorspelt de accuraatheid van mentale modellen teamprestatie.

Hoofdstuk 4 en *Hoofdstuk 5* laten zien dat additionele mogelijkheden voor wederzijds informatie-uitwisseling helpen om individuele kennis te convergeren naar gedeelde kennis tussen teamleden. Kennisdeling is derhalve een potentieel middel voor organisaties om teamleden bij de ontwikkeling van effectieve gedeelde mentale modellen te ondersteunen. Daarnaast bevestigen de

⁸ Gebaseerd op de resultaten van de eerste twee studies onderzoeken de volgende studies taak- en team-gerelateerde gedeelde mentale modellen. Het apparaat model wordt niet verder beschouwd omdat de taakomgeving in de studies een versimpelde form van de realiteit is en uitgebreide kennis over de apparaat daarbij niet nodig is.

twee studies de nauwe relatie tussen gedeelde mentale modellen en communicatie. Communicatie versterkt zowel gedeelde mentale modellen als kenmerkt diens aanwezigheid.

Hoofdstuk 6 verzamelt inzichten omtrent het derde onderzoeksdoel door de relatie tussen gedeelde mentale modellen, communicatie en adaptieve teamprestatie te bestuderen. Adaptieve teamprestatie is vooral in dynamische omgevingen zoals de luchtverkeersleiding belangrijk, omdat situaties vaak veranderen en teamleden hierop efficiënt moeten reageren. Deze studie onderzoekt hoe teamleden in reactie op een onverwachte verandering (een partiële systeemstoring) reageren en of gedeelde mentale modellen en gestandaardiseerde communicatie ervoor kunnen zorgen dat teams zich beter kunnen aanpassen aan de verandering. De resultaten van de discontinuous growth modelling analyse tonen aan dat teamprestatie meteen na de verandering daalt en dan langzaam weer tot het initiële niveau stijgt. Dit patroon van teamprestatie is gelijk voor alle teams, onafhankelijk of deze teams getraind zijn in het gebruik van gestandaardiseerde communicatie en of deze teams gedeelde en accurate mentale modellen hebben. Wel presteren teams met accurate mentale modellen over het algemeen beter, voor en na de verandering. Deze studie impliceert dat onverwachte veranderingen de gedeelde mentale modellen van teamleden en hun communicatiepatronen verstoort. De gedeelde mentale modellen en de communicatie patronen die teamleden in een bepaalde situatie ontwikkelen worden onbruikbaar in een nieuwe situatie welke andere taak- en coöperatiestrategieën vergt.

Gebaseerd op de resultaten van dit onderzoek kan men concluderen dat teamleden in de praktijk verscheidene mentale modellen delen. Naast de algemene types gedeelde mentale modellen over de taak en het team, zijn in dynamische en systeem-georiënteerde omgevingen gedeelde mentale modellen over de situatie en het equipment belangrijk. Daarnaast laat dit onderzoek zien dat organisaties teamleden in de ontwikkeling van gedeelde mentale modellen kunnen ondersteunen door mogelijkheden voor kennisdeling te creëren. Kennisdeling verbetert de gedeelde kennisstructuren van teamleden en voornamelijk accurate kennisstructuren tussen teamleden dragen bij tot teamprestatie. Deze gedeelde mentale modellen helpen teams echter niet om zich beter aan een onverwachte verandering aan te passen.

