

Modellbildung der mentalen Repräsentation von Plänen

Andreas Hasselberg
Institut für Flugführung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Braunschweig
Email: Andreas.Hasselberg@dlr.de

Dirk Söffker
Lehrstuhl Steuerung Regelung und Systemdynamik,
Universität Duisburg-Essen,
Duisburg
Email: soeffker@uni-due.de

Zusammenfassung—In vielen Fällen müssen Bedienerinnen und Bediener komplexer dynamischer Systeme geeignete Maßnahmen planen, um zukünftige Systemzustände in gewünschter Weise beeinflussen zu können. Der menschliche Bediener kann dabei verschiedene Methoden anwenden, um mit Unsicherheiten umzugehen. Eine Übertragung dieser Methode auf technische Systeme könnte zu Assistenzsystemen führen, die besser mit Unsicherheit umgehen und besser mit dem Menschen kooperieren können. In diesem Beitrag wird für in der Literatur beschriebenen Eigenschaften mentaler Pläne eine Modellierung vorgeschlagen, die ein erster Schritt zu einem besseres Verständnis der mentalen Repräsentation von Plänen sein soll und somit auch bessere Assistenzsysteme ermöglichen soll. Insbesondere werden der Detaillierungsgrad der Pläne, der zu berücksichtigenden Planungshorizont, im Plan enthaltene Alternativen und der Zusammenhang der Elemente eines Plans, diskutiert und Modellierungsmöglichkeiten mit Hilfe der Situations-Operator-Modellbildung vorgeschlagen. Des Weiteren werden die möglichen Einflüsse von Unsicherheiten und Arbeitsbelastung erörtert. Abschließend wird eine geplante Versuchskampagne zur Untersuchung der Planung vorgestellt, in der eine neu entwickelte Mikrowelt eingesetzt wird, deren Ansatz über bekannte ältere inhaltlich hinaus geht.

I. EINLEITUNG

Beim Umgang mit komplexen dynamischen Systemen ist es sinnvoll, dass der Bediener oder die Bedienerin die zukünftigen Systemzustände vorhersagen und die Konsequenzen seiner/ihrer Aktionen abschätzen kann, um sichere und gute Entscheidungen treffen zu können. Häufig kann es hierbei aus unterschiedlichen Gründen möglich sein, dass zukünftige Systemzustände nur mit begrenzter Genauigkeit vorhergesagt werden können. Die Erstellung eines Plans und das Treffen von Entscheidungen erfolgt dann unter Unsicherheiten. Menschen können aber Strategien entwickeln, um bei Vorliegen von Unsicherheiten gute Entscheidungen zu treffen, konkret sind dies beispielsweise Überlegungen zu Maßnahmen, die bei der Realisierung eines Risikos ergriffen werden können, wie auch unkonkrete bzw. flexible Planung, die Möglichkeiten für situative Anpassungen bietet.

Um bei verschiedenen Aufgaben beim Umgang mit komplexen Systemen zu unterstützen, wurden Assistenzsysteme entwickelt, die den künftigen Verlauf des Systems sowie geeignete Aktionen vorausberechnen und anzeigen können. In vielen Fällen wird von Assistenzsystemen ein exakter Plan vorgegeben. Treten Störungen auf, so kann dies dazu

führen, dass ein Verwerfen des Planes und eine Neuerstellung notwendig werden. Häufige Umplanungen erschweren aber das Verständnis des vorgeschlagenen Plans. Ein technisches System, das der menschlichen Planung nachempfunden ist und eine flexible und anpassbare Planung vorschlägt, könnte dazu führen, dass die vorgeschlagenen Pläne besser nachvollziehbar werden und damit besser umsetzbar werden.

Voraussetzung für die Entwicklung eines derartigen Systems ist das Verständnis des menschlichen Planungsprozesses sowie der mentalen Repräsentation eines Planes. Hierbei kommt insbesondere der Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Repräsentation eine besondere Bedeutung zu, welche entsprechend mit Hilfe eines geeigneten Modellbildungsansatzes beschrieben werden müssen. Dieser Beitrag gliedert sich wie folgt. In Abschnitt II werden zunächst die Inhalte von Plänen erörtert und verschiedene Modelle des Planungsprozesses vorgestellt. Der Abschnitt IV widmet sich anschließend ausgewählten Eigenschaften von mentalen Plänen, während der Abschnitt V auf Faktoren eingeht, die die Ausprägung der Eigenschaften bestimmen können. Der Beitrag schließt in Abschnitt VI mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf eine geplante Studie, mit der einige Aspekte von Plänen untersucht werden sollen.

II. PLÄNE UND PLANUNGSPROZESSE

Pläne werden in verschiedenen Bereichen erstellt und ausgeführt. In diesem Beitrag sollen insbesondere Pläne im Kontext der Bedienung eines komplexen dynamischen Systems betrachtet werden. Beispiele sind die Überwachung von Industrieanlagen und Kraftwerken, die Flugführung oder auch die Anästhesie. Somit erfolgen die Erstellung und die Ausführung eines Plans von ein und demselben kognitiven System, dem Bediener. Weiter zu Berücksichtigen ist, dass im Umgang mit komplexen Systemen keine vollständigen Informationen über den aktuellen Systemzustand vorhanden sein können und Prognosen über zukünftige Zustände weiteres Potential für Unsicherheiten bieten. Darüber hinaus steht nur eine begrenzte Zeit für die Planung und Ausführung zur Verfügung, so dass ein zeitlicher Druck entsteht.

A. Inhalt von Plänen

Pläne können ein Ziel haben, einen Handlungsablauf festzulegen, der zu einem erwünschten zukünftigen Zustand führt [1]. Ebenso kann ein Plan auch nur die zu erreichenden Ziele beinhalten. Dies kann beispielweise der Fall sein, wenn der Plan von unterschiedlichen Systemen erstellt und ausgeführt wird. Dem ausführenden System, welches den Plan weiter ausarbeitet, wird dann die Festlegung der Handlungen überlassen. Da in diesem Beitrag das erstellende und ausführende System als identisch angenommen wird, erfolgt auch die Identifikation der Ziele und die Ausarbeitung der Handlungen von ein und demselben System.

Es wird angenommen, dass alle intelligenten Systeme Antizipation zur Erstellung eines Planes verwenden [2]. Um zur Antizipation fähig zu sein, muss das planende System ein internes Modell seiner Umwelt und seiner selbst besitzen. Nach der Definition von [1] beinhaltet Planen die Entscheidungen über zukünftige Aktionen, aber nicht deren Ausführung. Da im Umgang mit komplexen dynamischen Systemen aber die Entscheidung über zukünftige Aktionen und die Ausführung von Aktionen zeitlich überlagert sind und keine gute Trennung zwischen Plan Erstellung und Umsetzung möglich ist [2], soll in diesem Beitrag auch die Effekte der Ausführung auf den Plan angesprochen werden.

B. Modelle des Planungsprozesses

Für das Verständnis der Repräsentation mentaler Pläne ist es hilfreich, eine Vorstellung der Prozesse, durch die diese Pläne erzeugt werden, zu haben. In der Literatur wurden verschiedene Modelle des Planungsprozesses vorgestellt, von denen hier eine Auswahl erläutert wird.

Nach dem Modell von Mumford [3] kann das mentale Planen von Menschen in mehrere Phasen eingeteilt werden. In einer ersten Phase, der *Erstellungsphase*, wird ein Plan generiert, der auch noch prototypenhaft sein kann. Dieser Plan wird in einer weiteren Phase, der *Verfeinerungsphase* überarbeitet und ergänzt und Details des Plans werden ausgearbeitet. In der dritten Phase, der *Ausführungsphase* wird der Plan ausgeführt. Je nach Aufgabenstellung können sich die Phasen zeitlich überlagern. Insbesondere beim der Bedienung dynamischer Systemen treten die Verfeinerungsphase und die Ausführungsphase häufig gleichzeitig auf, da mit Fortschreiten in der Planausführung sich neue Möglichkeiten ergeben und bisher berücksichtigte Alternativen wegfallen. Entscheidend ist hierbei die Prozessgeschwindigkeit, von der abhängt, wie viel Zeit für eine Verfeinerung der Planung verwendet werden kann.

In dem Modell von Hayes-Roth und Hayes-Roth [4] wird dagegen ein opportunistischer Ansatz verfolgt. Hier wird der Plan nicht, wie in dem Modell von Mumford, strukturiert erzeugt, sondern in einem gemischten Prozess, der auch ein scheinbar unstrukturiertes Vorgehen zulässt. Nach diesem Ansatz wird ein mentaler Plan von verschiedenen sogenannten *Spezialisten* erstellt, die zusammen einen Plan erstellen. Die Spezialisten greifen dabei auf ein gemeinsames Wissen und aktuellen Plan zu, welches zusammen im

Modell als *Blackboard* bezeichnet wird. Sind die von einem Spezialisten geforderten Voraussetzungen erfüllt, d. h. sind die von ihm benötigten Informationen vorhanden, so kann er seine Aktion ausführen und dem aktuellen Plan weitere Elemente hinzufügen. Mit diesem Modell kann das Springen im Planungsprozess an verschiedene Stellen des Plans erklärt werden. Außerdem kann dieses Modell auch ein Wechsel zwischen verschiedenen Abstraktions- oder Detaillierungsgraden beschreiben, so sind beispielsweise Detailplanungen, die vor einer größeren Planung erfolgen, erklärbar.

Ein weiterer Ansatz ist das „case-based planning“ von Hammond [5]. Dieser Ansatz geht davon aus, dass Pläne auf der Grundlage von vorher angewendeten und erinnerten Plänen erstellt werden. Dabei werden Pläne zusammen mit den erreichbaren Zielen und den vermeidbaren Problemen im Gedächtnis hinterlegt. In einer Situation müssen zuerst die zu erreichenden Ziele definiert werden, sowie die zu erwartenden Probleme vorhergesagt werden, bevor anschließend ein Plan erinnert wird, der möglichst viele der gewünschten Ziele erreichen und die vorhergesagten Probleme vermeiden kann. Falls sich herausstellt, dass der Plan einen Fehler enthält, wird eine Korrektur des Plans durchgeführt. Wenn eine falsche Vorhersage zu dem Fehler führte, wird neben dem verbesserten Plan auch eine verbesserte Regel zur Vorhersage von Problemen gespeichert.

Auch das Stufen-Modell von Rasmussens [6] wurde häufiger verwendet, um Diagnose und Planung in dynamischen Situationen zu beschreiben (s. Abbildung 1). Dieses Modell beschreibt ein prozedurales Verhalten, beginnend mit einer Aktivierung durch die Entdeckung eines Problems (untern links) und endend mit einer Ausführung einer Aktion (untern rechts). Zwischen diesen beiden Schritten liegen die Beobachtung, die Identifikation, die Bewertung der Konsequenzen und die Wahl der Aufgaben und Prozeduren. In dem Modell sind auch Abkürzungen möglich (s. Abbildung 1), so dass einige Schritte auch übersprungen werden können. Das Modell von Rasmussen wird von Hoc et al. [2] und Bainbridge [7] als zu prozedural kritisiert. Sie kritisieren besonders, dass in dem Modell kein Feedback der Umgebung berücksichtigt wird, dass das kognitive System vor allem auf einer reaktiven Basis arbeitet und, dass das in dem Modell keine Zeit berücksichtigt wird. Hoc et al. schlagen dagegen ein Modell vor, dessen Kern aus einer inneren Repräsentation der Situation besteht, welche ähnliche Module wie in Rasmussens Modell vorhanden aktiviert. Die Schritte in diesem Modell sind somit weniger prozedural und werden von einem mentalen Modell geführt.

III. SITUATIONS-OPERATOR-MODELLBILDUNG (SOM)

Bevor im nächsten Abschnitt Modelle der mentalen Repräsentation von Plänen mit Hilfe der Situations-Operator-Modellbildung (SOM) beschrieben werden, werden zunächst in diesem Abschnitt die Grundlagen der SOM [8], [9] erläutert.

In dieser Modellierungstechnik wird die reale Welt als eine Abfolge von ereignisdiskreten *Szenen* aufgefasst. Eine Szene wird unter Konzentration auf systemrelevante Aspekte

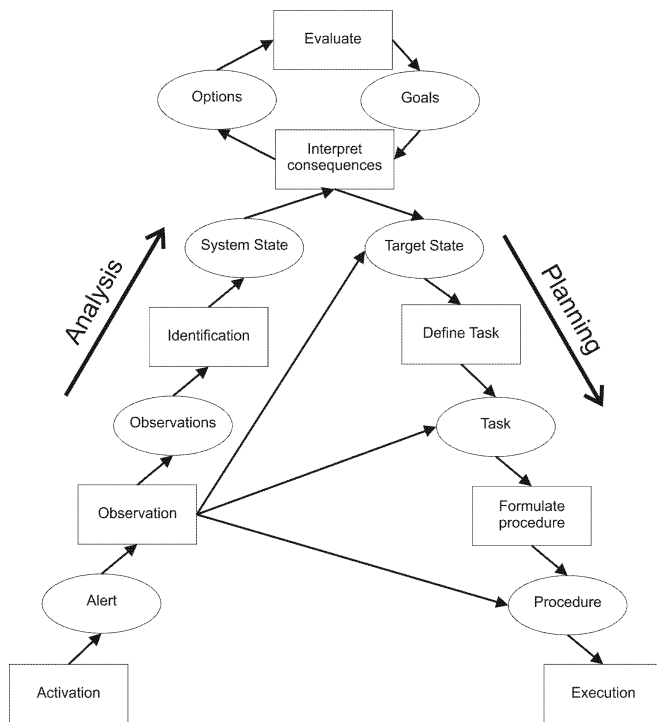


Abbildung 1. Das Stufenmodell nach Rasmussen [6] (vereinfacht)

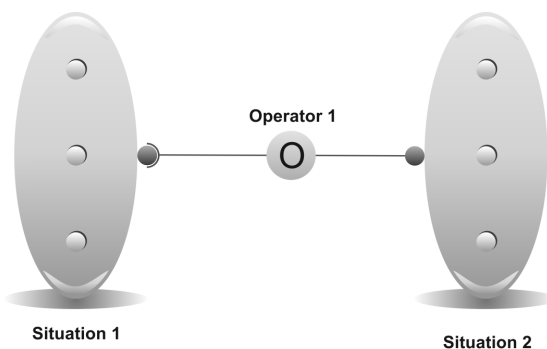


Abbildung 2. Operator überführt eine Anfangssituation in eine neue Situation

der Umwelt durch eine *Situation* modelliert, die aus Merkmalen besteht. Jedem Merkmal wird ein *Parameter* eines festgelegten Datentyps zugewiesen.

Eine *Aktion* überführt eine Szene in eine neue, sich von der ersten unterscheidende Szene und wird als *Operator* modelliert. Die Ausführung eines Operators bewirkt eine Änderung der Merkmale einer Situation.

Situationen werden als ovale graue Flächen und Operatoren als Kreise illustriert. Abbildung 2 zeigt zwei Situationen (Situation 1 und Situation 2). Ein Operator (Operator 1) überführt die erste in die zweite Situation. Dabei besteht jede Situation aus drei Merkmalen (dargestellt als kleine graue Kreise). Durch die Ausführung des Operators kann sich die Anzahl der Merkmale ändern, ebenso wie deren Datentyp und deren Parameter.

IV. REPRÄSENTATION MENTALE PLÄNE

Die vorgestellten Modelle von Planungsprozessen können jeweils die Erstellung eines Plans beschreiben, der die Ausführung der Handlungen leiten kann. Bei allen Unterschieden sind auch viele Gemeinsamkeiten der Modelle zu finden. Beispielsweise ist allen Modellen gemeinsam, dass Pläne in verschiedenen Abstraktionsgrade oder Detaillierungsgrade möglich sind. Neben diesen Detaillierungsgraden werden in diesem Abschnitt der Planungshorizont, die im Plan berücksichtigten Alternativen sowie der Zusammenhang der Elemente eines Plans genauer betrachtet. Für diese Eigenschaften wird jeweils eine Beschreibung mit Hilfe der Situations-Operator-Modellbildung vorgeschlagen (beispielsweise [9]). Außerdem diskutiert der Abschnitt ebenfalls die Messung der Qualität mentaler Pläne.

A. Detaillierungsgrad

Mentale Pläne können mit einem unterschiedlichen Detaillierungsgrad ausgearbeitet sein. Beispielsweise wird in dem Modell von Mumford angenommen, dass zuerst in der Planerstellungphase ein unspezifischer Plan erstellt wird, der später detaillierter ausgearbeitet wird. Der Vorteil eines unspezifischen Plans liegt in seiner einfachen Anpassbarkeit. Kann der Verlauf der Umgebung nur ungenau vorhergesagt werden, kann mit steigendem Planungshorizont und damit sinkender Vorhersagbarkeit auch der Detaillierungsgrad abnehmen. Ist nach einer teilweisen Ausführung des Plans die Vorhersagegenauigkeit für die bisher nur grob ausgearbeiteten Aspekte des Plans gestiegen, so kann aufgrund der vorher nur abstrakten Planung eine Detaillierung stattfinden. Durch einen anpassbaren Plan wird zusätzlicher Aufwand für die Neuerstellung nicht mehr anwendbarer Pläne vermieden.

Auch in dem Modell von Hayes-Roth und Hayes-Roth [4] wird zwischen vier Abstraktionslevels unterschieden, die hierarchisch angeordnet sind. Auf dem obersten Level werden die Ziele („outcomes“) definiert. Auf dem nächst niedrigeren Level werden mit den Mustern („desings“) die allgemeine Herangehensweise („general behavioral approaches“) festgelegt. Auf dem dritten Level folgen die Prozeduren („procedures“), die Sequenzen von groben Handlungen festlegen, während auf dem untersten Level detaillierte Handlungssequenzen zu finden sind. Dabei können in diesem Modell Elemente auf jedem dieser Levels erstellt werden, ohne dass ein allgemeineres Element auf der höheren Ebene notwendig ist. Es ist nicht erforderlich, dass zuerst ein abstrakter Plan erstellt wird, der später detailliert wird. Diese vier Levels sind im Modell zu einer Ebene Planen zusammengefasst. Neben dieser Ebene existieren weitere Ebenen beispielsweise zum Meta-Planen, so dass sich insgesamt eine heterarchische Struktur ergibt [4].

Verschiedene Detaillierungsgrade werden ebenfalls in dem Modell von Hammond [5] berücksichtigt. Pläne werden als Prototypen erinnert und anschließend, wenn notwendig, an die aktuelle Situation angepasst. In einigen Studien wurde beschrieben, dass Pläne auch abstrakt bleiben können. Sie leiten dann das Handeln in einer Situation, ohne die genauen Aktionen festzulegen. In einer Studie von Amalberti und Deblo [10]

wurde beispielsweise beschrieben, dass sich Kampffjetpiloten vor dem Flug einen Plan überlegen, der die Route inklusive Überflugzeitpunkt aber keine exakten Handlungen beinhaltet. Die Piloten versuchen bei Abweichungen im Flug wieder den vorher erstellten Plan einzuhalten.

Anhand des Beispiels einer Rundreise mit einem Auto, bei der mehrere Städte in einer beliebigen Reihenfolge besucht werden, sollen Modellierungen der verschiedenen Aspekte eines mentalen Plans vorgeschlagen werden. Zuerst könnte ein Plan erstellt werden, um von der Ausgangslage in die nächste Stadt zu kommen. Die Ausgangslage und das Ziel würden dabei jeweils als eine Situation beschrieben. Die Charakteristiken der Zielsituation müssen dabei den Detailgrad zu dem dieses Ziel festgelegt ist, widerspiegeln. Dieser erste Schritt, das festlegen des nächsten Ziels, hätte schon den ersten, noch sehr groben und unvollständigen, mentalen Plan zur Folge, wie er in Abbildung 3 oben dargestellt ist. Durch weitere Überlegungen zur Wahl des genauen Weges könnte der Plan anschließend verfeinert werden und der genaue Weg festgelegt werden. Im Modell des Planes kann zum einen das Ziel weiter Detailliert werden. Im Beispiel wird das Ziel präzisiert und die genaue Straße festgelegt, die erreicht werden soll. Des Weiteren wird der Operator *Fahre nach Stadt B* schrittweise durch mehrere Operatoren ersetzt (s. Abbildung 3 unten). Die neuen zwischen Ausgangssituation und Zielsituation entstehenden Situationen können dabei Zwischenziele definieren. Die hinzugefügten Operatoren bilden die einzelnen Handlungsschritte des mentalen Plans ab. Dieser Plan ist dabei weiter teilweise abstrakt, da er nicht die genauen Handlungen (Bremsen, Beschleunigen, Lenken oder Schalten) festlegt und nur die Abbiegevorgänge beinhaltet. Der Plan leitet somit den Fahrer, der während der Fahrt die jeweiligen Operatoren, ohne dies vorher festzulegen, durch Handlungssequenzen ersetzt.

Unterschiedliche Detaillierungsgraden können auch mit Meta-Operatoren modelliert werden, die mehrere hintereinander ausgeführte Operatoren zusammenfassen. Meta-Operatoren beinhalten aber weiterhin die Details der Operatoren, aus denen sie bestehen, und verstecken diese nach außen. Die Details sind somit in den Meta-Operatoren vorhanden, aber nicht sichtbar. Diese Art der Modellierung ist nicht zutreffend, wenn in einem mentalen Plan bisher keine Details ausgearbeitet wurden.

B. Planungshorizont

Pläne können unterschiedlich weit in die Zukunft reichen und eine verschiedene Anzahl an hintereinander liegenden Einzelschritten einhalten. Dieser Aspekt von Plänen soll als Planungshorizont betrachtet werden. Eine Schwierigkeit ist, eine Größe für den Planungshorizont anzugeben. Eine Möglichkeit wäre, die Anzahl der hintereinander auszuführenden Handlungen als Maßzahl zu verwenden. Ein Problem hierbei ist, dass ein Plan nicht immer konkrete Handlungen enthalten muss, sondern auch aus Zielen und Zwischenzielen bestehen kann. Werden einem Plan weitere Details hinzugefügt, so ändert sich zwar die Anzahl der Handlungen, die letzte im Plan erreicht Situation kann aber unverändert bleiben. Bei

der Rundreise kann beispielweise einfach die nächste Stadt festgelegt sein oder auch ein genauer Weg ausgesucht sein (vgl. Abbildung 3). In beiden Fällen ist der Planungshorizont (Stadt B) identisch. Der Planungshorizont kann somit durch das Ergänzen eines groben weiteren Schrittes durch eine kleine Änderung des Plans stark verschoben werden. Um dieses Problem zu umgehen, kann ein Detaillierungsgrad festgelegt werden, der für die Bestimmung des Planungshorizontes eingehalten werden muss.

Des Weiteren wäre es möglich, die Zeitspanne zwischen der Ausgangssituation und der Zielsituation als Maßzahl zu verwenden. Die benötigte Zeit muss aber nicht in einem Plan vorhanden sein. Falls die Zeit im Plan berücksichtigt ist, so ist sie eine geschätzt und fehlerbehaftete Größe und ihre Verwendung als Maßzahl ebenfalls problematisch.

Der Planungshorizont kann auch anhand der im Plan enthaltenen Ziele bestimmt werden. Da die Ziele von der Aufgabe und gegebenenfalls von der aktuellen Situation abhängen, ist ein Vergleich des Planungshorizontes nur zwischen Plänen für die gleiche Ausgangssituation möglich. In dem Beispiel der Rundfahrt könnte der Planungshorizont in der Anzahl der berücksichtigten Städte gemessen werden. In einigen Fällen besteht die Aufgabe nicht darin, eine bestimmte Situation zu erreichen, sondern unerwünschte Situationen zu verhindern. Da hier keine konkreten Zielsituationen erreicht werden sollen, kann in diesen Fällen der Planungshorizont auch nicht mit Hilfe der erreichten Ziele gemessen werden.

In Abbildung 4 ist beispielsweise die Modellbeschreibung eines Plans gezeigt, der von Stadt A nach B führen würde. Dabei nimmt der Detaillierungsgrad mit jedem weiteren Schritt ab. Der erste Schritt ist noch sehr detailliert (*rechts abbiegen*) Auch die genaue Position ist in Form der Straße festgelegt. Der nächste Schritt ist etwas abstrakter und legt zumindest die Methode fest (*Fahrt über Autobahn*), mit der die nächste Stadt erreicht werden soll. Aber auch das Ziel enthält nur noch die Stadt und keine weiteren Details. Der dritte Operator legt nur das nächste Ziel fest, der Weg zu Zielerreichung wird offen gelassen. Der Planungshorizont des Planes würde bei zwei besuchten Städten liegen. Würde als Mindestdetailgrad jeder Abbiegevorgang gefordert werden, so läge der Planungshorizont nur bei einem Schritt. Der Planungshorizont kann je nach Planungsphase verschieden sein. In der ersten Phase des Modell nach Mumford [3] steigt während der Erstellung eines Planes der Planungshorizont an. In der Ausführungsphase verringert sich der Planungshorizont anschließend wieder, da zwar die Zielsituation identisch bleibt, sich aber die Ausgangssituation verändert. In der Verfeinerungsphase kann sich der Planungshorizont wieder erhöhen, wenn weitere Ziele dem Plan hinzugefügt werden.

C. Alternativen

Eine weitere Eigenschaft von Plänen, ist die Anzahl der berücksichtigten Alternativen. Alternativen in einem Plan sind insbesondere im Umgang mit Unsicherheiten von Bedeutung. Da gegebenenfalls externe Entwicklungen oder auch die Resultate eigener Handlungen nicht exakt vorhergesagt

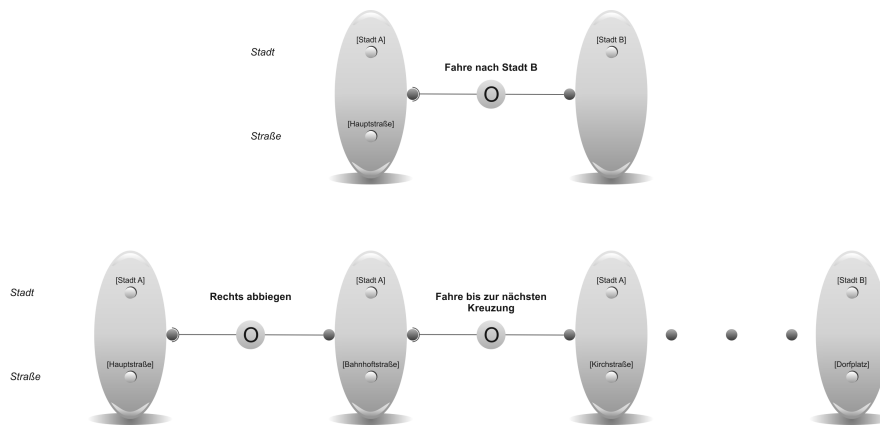


Abbildung 3. Unterschiedlicher Detaillierungsgrad eines Plans

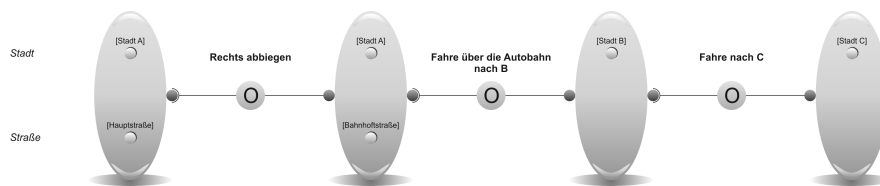


Abbildung 4. Plan mit abnehmendem Detaillierungsgrad

werden können, ist es sinnvoll, auf verschiedene Situationen vorbereitet zu sein und gegebenenfalls weitere Schritte überlegt zu haben. Das hat unter anderem den Vorteil, auf die berücksichtigten Ereignisse schneller reagieren zu können.

In einigen Bereichen können die Schritte zur Erreichung eines Ziels nach verschiedenen Kriterien optimiert werden. In der Flugführung beispielsweise muss der Plan in erste Linie sicher sein, wenn möglich aber auch eine effiziente Abwicklung des Flugverkehrs ermöglichen. Das Planen mit Alternativen ermöglicht es, eine effizientere Lösung zu wählen, bei der sichergestellt ist, dass im Falle, dass ein Risiko identifiziert wird, ein Wechsel auf eine weniger effiziente aber sichere Alternative möglich ist (Backup-Plan). Diese Arbeitsweise von Fluglotsen wird beispielsweise in [11] beschrieben. In einer anderen Studie [12] wird beschrieben, dass Anästhesisten vor der Operation mögliche Komplikationen suchen und sich Gegenmaßnahmen überlegen und diese vorbereiten.

Im Abbildung 5 ist ein Beispiel für einen Plan angegeben der Alternativen berücksichtigt. Der Plan sieht zwei Alternativen vor, um zur Stadt B zu kommen. Zuerst sieht der Plan vor, bis zur Autobahnauffahrt zu fahren. Ist dort Stau auf der Autobahn erkennbar, so soll statt der Autobahn ein Alternativer Weg in die zweite Stadt genommen werden. Entscheidend hierbei ist, dass auch das Merkmal, welches über die Wahl des nächsten Schrittes entscheidet (kein Stau), in den Plan aufgenommen wurde und so die Aufmerksamkeit leiten kann.

D. Zusammenhang

Der Zusammenhang der Elemente eines Planes ist ein weiterer Aspekt. So können Pläne nicht nur aus einem Gesamtplan bestehen, der eine Ausgangssituation in eine Zielsituation

überführt. Das zu lösende Problem kann auch in kleinere voneinander unabhängige Probleme unterteilt werden und für jeden diese Teilaspekte können ebenfalls mehrere voneinander unabhängige Pläne erstellt werden. In einigen Bereichen müssen die Teilpläne nicht vor ihrer Ausführung zu einem Gesamtplan zusammengefügt werden. Sollen beispielsweise in einem Prozess mehrere Variablen auf einen Soll-Wert gebracht werden, so kann für jede Variable ein anderer Plan erstellt und umgesetzt werden, ohne dass beide miteinander in Verbindung stehen müssen. In einigen Fällen kann der Zusammenhang zu einem späteren Zeitpunkt hergestellt werden.

Abbildung 6 verdeutlicht diesen Aspekt am Beispiel der bereits erwähnten Rundreise. In der Phase der Planerstellung könnten beispielsweise nahe beieinander liegende Städte identifiziert werden und geplant werden, diese direkt nacheinander zu besuchen. Dabei muss die Reihenfolge der Städte nicht komplett festgelegt werden. Es könnte beispielsweise geplant werden, sowohl von Stadt A nach B zu fahren, als auch von Stadt D nach E zu reisen, und diese Teile des Planes erst später zu einer Rundreise zusammenfügen.

E. Messung und Qualität von mentalen Plänen

Es stellt sich die Frage, ob auch die Qualität eines Planes angegeben werden kann. Es existieren zwei unterschiedliche Ansätze zur Bewertung der Qualität von mentalen Plänen. Zum einen der Plan-Prozess-Ansatz sowie der Plan-Charakteristika-Ansatz. [3]

Der erstgenannte Ansatz versucht die an der Erstellung eines Planes beteiligten kognitiven Prozesse zu identifizieren, zu bewerten und anschließend eine Bewertung des Prozesses der Planung vorzunehmen. Beim Plan-Charakteristika-Ansatz

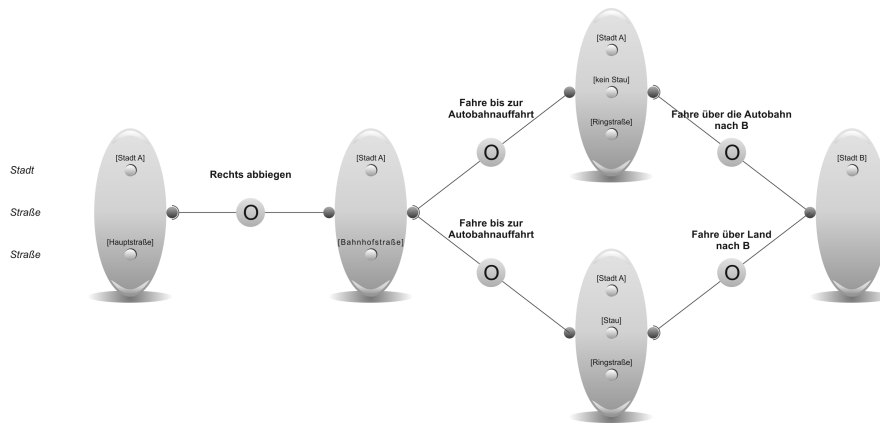


Abbildung 5. Ein Plan mit mehreren Alternativen

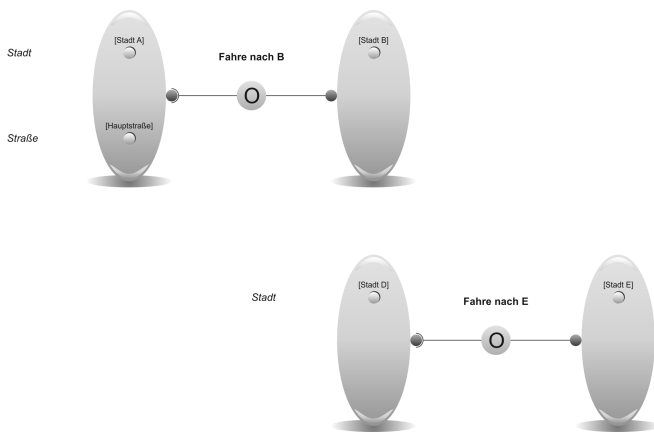


Abbildung 6. Nicht zusammenhängende Teile eines Plans

hingegen werden die objektiven Eigenschaften von Plänen gemessen, um an diesen die Qualität abzuleiten. Das Problem liegt hierbei zum einen in der Erfassung dieser Eigenschaften. Die Pläne sind nur mental vorhanden und müssen auf irgendeinem Weg messbar gemacht werden, wie beispielsweise durch die Verbalisierung. Hierbei ist aber nicht gewährleistet, dass der komplette Plan wiedergegeben wird. Ein weiteres Problem liegt in der Bewertung der einzelnen Eigenschaften. So kann ein Detailplan zwar besser sein als ein grober Plan, ist aber insbesondere in dynamischen Umgebungen aufgrund der mangelnden Flexibilität hinderlich.

V. MÖGLICHE EINFLUSSFAKTOREN AUF MENTALE PLÄNE

In unterschiedlichen Aufgabenstellungen sind auch unterschiedliche Ausprägungen von mentalen Plänen sinnvoll oder auch hinderlich. Die Erstellung und auch Ausarbeitung eines Planes bedeuten Aufwand, während ein vorhandener Plan die Ausführung von Aktionen vereinfachen kann und auch die auftretenden Belastungen besser verteilen kann. Somit ist anzunehmen, dass die Aufgabenstellung einen großen Einfluss, auf die Intensität des Planes hat. Beispielsweise wurde in [13] gezeigt, wie die Gestaltung der Aufgabe dem Umfang der Planungen und damit auch die Effizienz beeinflussen kann.

Ebenso werden die vorgestellten Eigenschaften mentaler Pläne stark von der Aufgabenstellung abhängen. Beispielsweise muss die Aufgabenstellung in mehrere Teilaufgaben zerlegbar sein, damit voneinander unabhängige Teilpläne erstellt werden können.

Im Folgenden sollen die beiden Faktoren Unsicherheit und Arbeitsbelastung und ihre Auswirkungen auf die genannten Eigenschaften mentaler Pläne näher betrachtet werden, mit denen sich auch verschiedene Aufgabenstellungen vergleichen lassen.

A. Unsicherheit

Die Unsicherheit mit denen der Operator eines technischen Systems konfrontiert ist, kann Einfluss auf sein Planungsverhalten und seine mentalen Pläne haben. Die Unsicherheit kann dabei verschiedene Ursachen haben. Wie in Abbildung 7 dargestellt steigt die Unsicherheit vom System zum Bediener an. Unsicherheit kann auf der Systemseite liegen, durch die Schnittstelle zwischen System und Bediener verursacht werden oder durch den Bediener selbst entstehen. Unsicherheiten auf der Systemseite könne hervorgerufen werden, wenn das System Störgrößen ausgesetzt ist. Störgrößen können beispielsweise Reibungen aber auch äußere Einflüsse sein, z. B. hängt die Trajektorie eines Flugzeugs von den Windverhältnissen ab. Des Weiteren kann eine Unsicherheit durch die Schnittstelle entstehen, wenn nicht alle benötigten Informationen zugänglich sind und angezeigt werden. Sehr häufig tritt die Unsicherheit auch beim Bediener selbst auf, der bei dynamischen Systemen aufgrund der Komplexität und Dynamik des Systems Schwierigkeiten bei der Vorhersage von Systemzuständen hat. Die Qualität der Vorhersagen wird dabei maßgeblich vom mentalen Modell des Prozesses bestimmt. Aus diesem Grund können auch erfahrene Bediener, die mit der Zeit ihr mentales Modell verbessert haben, im Allgemeinen bessere Vorhersagen treffen. Sind zukünftige Zustände nur schwer abschätzbar, so kann sich dies auf die Planung auswirken. So wird es mit steigender Unsicherheit schwieriger korrekte detaillierte Vorhersagen zu machen. Es ergibt somit Sinn, flexibel zu Planen und eine Detaillierung erst spät

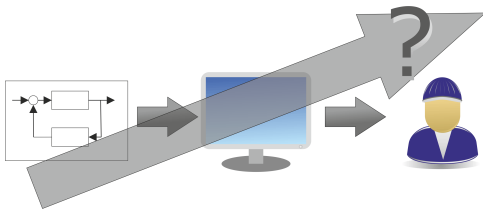


Abbildung 7. Steigende Unsicherheit vom System zum Bediener

durchzuführen. Üblicherweise steigt die Schwierigkeit der Vorhersage mit steigendem Planungshorizont, aus diesem Grund könnte bei hoher Unsicherheit der Planungshorizont verringert werden, weil ein weiter reichender Planungshorizont häufigere Umplanungen zur Folge hätte. Somit kann höhere Unsicherheit zu einer Verringerung des Planens führen. Im Extremfall kann es auch zu einem Verzicht auf das Planen führen und zu einer reinen Reaktion auf Ereignisse. Durch dieses Verhalten können weiterhin existierende Probleme gelöst werden, unerwünschte Situationen können aber nicht verhindert werden. Ist eine Aufgabe mit sehr wenig Unsicherheit verbunden und der Verlauf sehr leicht absehbar, so kann das ebenfalls dazu führen, dass der Aufwand für das Planen verringert wird, weil keine Alternativen berücksichtigt werden müssen.

Eine interessante Untersuchung zur Auswirkung der Unsicherheit auf die Planung wurde in [14] beschrieben. Dabei mussten Fluglotsen zum einen Flugzeuge zum Landeanflug in eine Reihenfolge bringen (Sequencing) und in einem anderen Szenario den Abstand von Flugzeugen mit sich kreuzenden Routen sicherstellen (Crossing). Bei den gut vorhersagbaren Sequencing Problemen fand nach Analyse der Umgebung in der Anfangsphase nur wenig weitere Umgebungsanalyse statt, was darauf schließen lässt, dass ein gutes Verständnis der Situation vorlag. Der erstellte Plan war zusammenhängend und weitere Planung wurde durch das Erkennen von Lücken im Plan ausgelöst. Der Planungsprozess war in diesem Fall vom der mentalen Repräsentation des Plans geleitet. In der Crossing Variante hingegen bestand aufgrund der schlechteren Vorhersagbarkeit ein größerer Bedarf, sich der Situation anzupassen. Weitere Planung wurde durch das Identifizieren von Problemen in der Umgebung ausgelöst. Diese Probleme wurden mit jeweils eigenen Plänen gelöst, ein zusammenhängender Plan existierte nicht. Der Planungsprozess war in diesem Fall von der Analyse der Umgebung geleitet.

B. Arbeitsbelastung

Da Planen mit der Aufgabenausführung um die begrenzten kognitiven Ressourcen konkurriert, ist davon auszugehen, dass eine veränderte Arbeitsbelastung zu einem veränderten Planungsprozess führt. Wird beispielsweise die Belastung erhöht so könnten die vorhandenen Ressourcen nicht ausreichend sein, um mit einer unveränderten Strategie fortzufahren.

Eine veränderte Arbeitsbelastung kann dabei zu gegensätzlichen Effekten auf den Planungsprozess führen. Auf der einen Seite könnte die Ausführung der Planung bevorzugt werden. Dies würde zu einem reduzierten Planungshorizont,

weniger berücksichtigter Alternativen oder einem reduzierten Detaillierungsgrad führt. Auf der anderen Seite aber könnte Planen als Strategie verwendet werden, um einer hohen Belastung entgegenzuwirken. Beispielsweise kann ein frühzeitiges Planen genutzt werden, um hohe Belastungsspitzen zu vermeiden, indem die anfallenden Aufgaben zeitlich besser verteilt werden.

In [15] wird ein durch eine Studie mit Fluglotsen unterstütztes Modell vorgestellt, das den Zusammenhang zwischen Belastung, Beanspruchung und Arbeitsweise beschreibt. Im Gegensatz zu anderen Modellen wird hier kein linearer Zusammenhang, der durch die Arbeitsweise und die Erfahrung bestimmt wird, zwischen der äußeren Arbeitsbelastung und der inneren Arbeitsbelastung angenommen. In dem Modell wird stattdessen angenommen, dass die Arbeitsweise mit veränderter Arbeitsweise ebenfalls variiert wird und somit einen ausgleichenden Effekt auf die Beanspruchung hat. Zum anderen bestimmt die erzeugte Beanspruchung wiederum die Wahl der Arbeitsweise. Dieses Modell wird beispielsweise in [16] aufgegriffen und erweitert. In diesem erweiterten Modell haben sowohl die Beanspruchung als auch aktuelle und zukünftige Belastung Einfluss auf die Wahl der Arbeitsweise. Ein mentaler Plan, der die beabsichtigte Arbeitsweise beinhaltet, würde somit ebenfalls von der aktuellen und erwarteten Belastung abhängen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Für vier Eigenschaften mentaler Pläne wurde eine Beschreibung mit Hilfe Situation-Operator-Modellbildung vorgestellt. Dabei wurde auf den Detaillierungsgrad, den Planungshorizont, die berücksichtigten Alternativen und den Zusammenhang eingegangen. Diese Modellierung kann dazu verwendet werden, Pläne zu beschreiben. Dies ist ein erster Schritt, der zu einem besseren Verständnis von Plänen und schließlich zu kognitiven Assistenzsystemen führen kann, die den Menschen bei der Planung seiner Handlungen besser unterstützen.

In einer geplanten Studie sollen in einem nächsten Schritt ein Teil der in diesem Beitrag beschriebenen Zusammenhänge genauer untersucht werden. Dazu wurde eine Mikrowelt erstellt, deren Problematik an die Aufgabe von Fluglotsen angelehnt ist. Fluglotsen müssen sich konkrete Handlungen überlegen, um die Flugzeuge in ihrem Sektor sicher und effizient zu führen, und diese Handlungen zu einem bestimmten Zeitpunkt umsetzen. In der Mikrowelt, bei der die Problematik auf eine Aufgabe im Straßenverkehr übertragen wurde, können die geplanten Handlungen schon eingegeben werden, bevor sie Auswirkungen haben. Ein Teil des Planes der Bediener wird somit sichtbar gemacht. Durch eine Veränderung des Verhaltens von zu umfahrenden Hindernissen kann sowohl die Arbeitsbelastung als auch die Unsicherheit, unter der Entscheidungen getroffen werden müssen, variiert werden. Durch die Art der technischen Realisierung der Mikrowelt kann nachträglich der Handlungsraum zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden und mit der erfolgten Planung verglichen werden.

LITERATUR

- [1] W. van Wezel, R. Jorna, and A. M. Meystel, Eds., *Planning in Intelligent Systems: Aspects, Motivations, and Methods*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [2] J.-M. Hoc, "Planning in dynamic situations: Some findings in complex supervisory control," in *Planning in Intelligent Systems: Aspects, Motivations, and Methods*, W. van Wezel, R. Jorna, and A. M. Meystel, Eds. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [3] M. D. Mumford, R. A. Schultz, and J. R. van Doorn, "Performance in planning: Processes, requirements, and errors," *Review of General Psychology*, vol. 5, no. 3, pp. 213–240, 2001.
- [4] B. Hayes-Roth and F. Hayes-Roth, "A cognitive model of planning," *Cognitive Science*, vol. 3, no. 4, pp. 275–310, 1979.
- [5] K. Hammond, "Case-based planning: A framework for planning from experience," *Cognitive Science*, vol. 14, no. 3, pp. 385–443, 1990.
- [6] J. Rasmussen, "A framework for cognitive task analysis in system design," in *Intelligent decision support in process environments*, ser. NATO ASI series, E. Hollnagel, G. Mancini, and D. D. Woods, Eds. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer, 1986, vol. 21.
- [7] L. Bainbridge, "The change in concepts needed to account for human behavior in complex dynamic tasks," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 27, no. 3, pp. 351–359, 1997.
- [8] D. Söffker, *Systemtheoretische Modellbildung der wissengeleiteten Mensch- Maschine-Interaktion*. Berlin: Logos Wissenschaftsverlag, 2003.
- [9] —, "Interaction of intelligent and autonomous systems - part i: qualitative structuring of interaction," *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 303–318, 2008.
- [10] R. D. F. Amalberti, "Cognitive modelling of fighter aircraft process control: a step towards an intelligent on-board assistance system," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 36, no. 5, pp. 639–671, 1992.
- [11] K. W. Kallus, D. van Damme, and A. Dittmann, "Integrated task and job analysis of air traffic controllers - phase 2: Task analysis of en-route controllers," 1999. [Online]. Available: <http://www.eurocontrol.int/humanfactors/gallery/content/public/docs/DELIVERABLES/HF14%20\%28HUM.ET1.ST01.1000-REP-04\%29\%20Released.pdf>
- [12] Y. Xiao, P. Milgram, and D. Doyle, "Planning behavior and its functional role in interactions with complex systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 27, no. 3, pp. 313–324, 1997.
- [13] S. M. Waldron, J. Patrick, A. Howes, and G. B. Duggan, "Planning with information access costs in mind," in *Proceedings: CogSci 2006: The 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 2006, pp. 2335–2340. [Online]. Available: <http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/proceedings/2006/docs/p2335.pdf>
- [14] S. Gronlund, M. Dougherty, F. Durso, J. Canning, and S. Mills, "Planning in air traffic control: Impact of problem type," *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 269–293, 2005.
- [15] J.-C. Sperandio, "Variation of operator's strategies and regulating effects on workload," *Ergonomics*, vol. 14, no. 5, pp. 571–577, 1971.
- [16] S. Loft, P. Sanderson, A. Neal, and M. Mooij, "Modeling and predicting mental workload in en route air traffic control: Critical review and broader implications," *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 49, no. 3, pp. 376–399, 2007.