



**Universität Ulm** | 89069 Ulm | Germany

**Fakultät für Ingenieurwissenschaften,  
Informatik und Psychologie**  
Institut für Datenbanken und Informationssysteme

# **Analyse von Mustern der Aufmerksamkeit beim Betrachten von Petri-Netzen**

Bachelor Thesis an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Ayse Güleroglu  
ayse.gueleroglu@uni-ulm.de  
1033291

**Gutachter:**

Prof. Dr. Manfred Reichert

**Betreuer:**

Michael Winter

2022/03

Fassung vom 14. Januar 2022

© 2022/03 Ayse Güleroglu

Satz: PDF- $\LaTeX$ 2 $\epsilon$

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Abschlussarbeit unterstützt haben. An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Manfred Reichert bedanken, für die Begutachtung meiner Arbeit. Des Weiteren will ich mich bei meinem Betreuer Michael Winter bedanken, der mich mit seiner Hilfe immer wieder unterstützt hat und sich für die Beantwortung meiner Fragen Zeit genommen hat. Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken, die mich während des gesamten Studiums und auch während dem Verfassen dieser Arbeit bestärkt haben.

## Zusammenfassung

Petri-Netze sind bedeutend für die Geschäftsprozessmodellierung. Die Betrachtung dieser Netze ruft eine Menge an kognitiven Prozessen hervor. Dabei wird das vorgegebene Petri-Netz zuerst visuell wahrgenommen und somit wird die visuelle Aufmerksamkeit darauf gesteuert für die Informationsverarbeitung. Um diese Prozesse festhalten zu können, werden die Blickbewegungen mithilfe von Eye-Trackern aufgezeichnet. Eine Analyse dieser Daten ermöglicht das Auffinden von Mustern in den Rohdaten, die uns Einblicke in die kognitiven Prozesse und zu der Aufmerksamkeit eines Menschen verschaffen. Die erfassten Daten werden meistens als Scanpaths oder Heatmaps visualisiert. Durch Eye-Tracking und den damit erfassten Daten, kann auch die Analyse der Prozessmodelle verbessert werden. In dieser Bachelorarbeit werden die erfassten Eye-Tracking-Daten analysiert, um Aufmerksamkeitsmuster beim Betrachten von Petri-Netzen herausarbeiten zu können. Dazu werden die Daten in das Visualisierungsframework (Blickshift) importiert und zusammen mit den Stimuli visualisiert. Dadurch können verschiedene Aufmerksamkeitsmodelle erfasst werden und somit Urteile über die Effizienz der verschiedenen Petri-Netze (Stimuli) geschlossen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation . . . . .	2
1.2. Problemstellung und Zielsetzung . . . . .	2
1.3. Struktur der Arbeit . . . . .	3
<b>2. Theoretischer Hintergrund</b>	<b>4</b>
2.1. Petri-Netze . . . . .	4
2.1.1. Grundlagen . . . . .	4
2.1.2. Arten von Petri-Netzen . . . . .	5
2.1.3. Schaltregeln von Petri-Netzen . . . . .	5
2.1.4. Ablaufstrukturen der Petri-Netze . . . . .	6
2.1.5. Analyse von Petri-Netzen . . . . .	7
2.2. Augenbewegungen . . . . .	8
2.2.1. Fixation . . . . .	9
2.2.2. Sakkaden . . . . .	9
2.3. Kognitive Prozesse und das visuelle System . . . . .	10
2.3.1. Visuelle Wahrnehmung . . . . .	10
2.3.2. Visuelle Aufmerksamkeit . . . . .	10
<b>3. Eye-Tracking</b>	<b>12</b>
3.1. Eye-Tracking Daten . . . . .	12
3.1.1. Stimulus . . . . .	13
3.1.2. Scanpath . . . . .	13
3.1.3. Areas of Interest(AOI) . . . . .	13
3.2. Metriken . . . . .	14
3.3. Visualisierung von Eye-Tracking-Daten . . . . .	15
3.3.1. Scanpath Visualisierung . . . . .	16
3.3.2. Heat Maps . . . . .	16
3.3.3. Parallel Scanpath (PSP) . . . . .	17
3.3.4. Transitionsmatrix . . . . .	18
<b>4. Retrospektive Datenauswertung</b>	<b>19</b>
4.1. Datenaufbereitung . . . . .	20
4.2. Deskriptive Statistiken . . . . .	21

4.3. Datenanalyse und Visualisierung . . . . .	22
4.3.1. Prozedur in Blickshift . . . . .	22
4.3.2. Visualisierung der Beispieldaten . . . . .	24
4.3.3. Datenanalyse . . . . .	26
<b>5. Diskussion</b>	<b>34</b>
<b>6. Verwandte Arbeiten</b>	<b>36</b>
<b>7. Fazit</b>	<b>37</b>
7.1. Zusammenfassung . . . . .	37
7.2. Ausblick . . . . .	37
<b>A. Anhang</b>	<b>47</b>
A.1. Aufgabe: Petri-Netze . . . . .	47
A.2. Visualisierungen . . . . .	49
A.2.1. Petri-Netz:Leicht . . . . .	49
A.2.2. Petri-Netz: Mittelschwer . . . . .	54
A.2.3. Petri-Netz: Schwer . . . . .	59
A.3. Zusammenfassung . . . . .	66

# 1. Einleitung

Prozessmodelle fassen die Aufgaben, Entscheidungen und Akteure eines Geschäftsprozesses in einer Ansicht zusammen. Diese bezwecken die Visualisierung komplexer Sachverhalte, sodass eine bessere Kenntnisgewinnung über ein Prozess ermöglicht wird. Auch dienen sie Unternehmen und Organisationen bei der effizienten Gestaltung von geschäftlichen Abläufen. Darüber hinaus ist es mithilfe von Prozessmodellen möglich, auf der Grundlage einer Analyse Prozesse zu identifizieren, die verbesserungsbedürftig sind. Die Prozessmodellierung hat viele Vorteile. Dazu gehört die visuelle Erklärung wichtiger Prozessdetails. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, umfangreiche Erklärungen und Texte für einen Prozess zu verfassen. Die Modellierung von Prozessen kann auf der Grundlage von Petri-Netzen erfolgen. Petri-Netze beschreiben eine Modellierungssprache, zur Darstellung, Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen. Sie haben eine formale Syntax und Semantik und sind bekannt für eine genaue Verhaltensbeschreibung. Nach Oberweis et al. [34] existieren fünf Gründe für den Einsatz von Petri-Netzen bei der Prozessmodellierung. Diese sind, die Fähigkeit Nebenläufigkeit in Prozessen darzustellen, Flexibilität, vorhandene Analysetechniken, Integration von Daten- und Verhaltensaspekten und zuletzt verschiedene Grade der Formalität [34]. Doch auch wenn die Prozessmodelle, somit auch Petri-Netze das Verständnis der Prozesse erleichtern soll, können diese sehr komplex sein. Um die Verständlichkeit dieser Modelle zu untersuchen wurden verschiedene Eye-Tracking Studien durchgeführt [48]. Eye-Tracking ermöglicht ein besseres Verständnis der menschlichen Informationsverarbeitung. Unter Eye-Tracking versteht man die Blickerfassung einer Person. Dadurch sind Auskünfte über die Verarbeitung visueller Informationen zu erhalten und somit können auch Erkenntnisse über die menschliche Kognition und auch über die visuelle Aufmerksamkeit gewonnen werden. Eye-Tracking hilft bei der Identifizierung des Fokus der Aufmerksamkeit und dadurch kann der Nutzer, durch eine Analyse der Daten verschiedene Aufmerksamkeitsmuster bestimmen. Dies ist einer der Gründe, weshalb Eye-Tracking in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund getreten ist. Sei es im Gesundheitswesen, in der Psychologie oder Mensch-Maschine-Interaktion, die Verwendung von Eye-Tracking erfolgt in vielen verschiedenen Bereichen [28]. Für die Durchführung einer Eye-Tracking-Studie sind verschiedene Schritte einzuhalten [43]. Dazu gehören die Studienplanung - und Design, Setup, Durchführung, Datenaufbereitung und Datenanalyse [1]. Für diese Arbeit sind nur die Datenaufbereitung und die Datenanalyse relevant.

## 1.1. Motivation

Petri-Netze können recht komplex sein und somit kann der Prozess, die Informationen darin zu verarbeiten länger dauern. Dabei widmet ein Individuum die Aufmerksamkeit auf verschiedene Bereiche in einem Petri-Netz, um es zu verstehen. In den Blickdaten mehrerer Probanden können Muster entstehen, die zeigen, welche Stellen die meiste Aufmerksamkeit bekommen haben. Dies ist ein kognitiver Prozess und stellt die visuelle Wahrnehmung und visuelle Aufmerksamkeit dar. Diese werden schon seit langer Zeit in vielen Bereichen untersucht. Eye-Tracking ist die wichtigste und auch erfolgreichste Methode bei der Messung der Aufmerksamkeit. Die Blickdatenerfassung liefert Informationen über das *wie* und *wo*, beim Betrachten von einem komplexen Stimulus, in diesem Fall eines Petri-Netzes. Das Verständnis der visuellen Aufmerksamkeit, d.h. der kognitiven Prozesse, ermöglicht es, Informationen über die Effizienz und Verständlichkeit eines Petri-Netzes zu erhalten. Denn wenn die kognitiven Prozesse, somit auch die visuelle Aufmerksamkeit und Wahrnehmung nicht richtig verstanden und interpretiert werden, kann auch das Verständnis der Petri-Netze beeinträchtigt werden. Daraus folgt auch das Missinterpretieren der Petri-Netze. Es gibt bereits vorhandene Arbeiten, die den Einfluss kognitiver Aspekte auf das Verständnis von Prozessmodellen, darunter auch Petri-Netzen untersuchen [40, 37]. Das Verstehen der visuellen Aufmerksamkeit bringt uns näher an das Identifizieren von Mustern in den Daten, bei der Betrachtung von Petri-Netzen. Solche Aufmerksamkeitsmuster können die Entdeckung von Schwierigkeiten erleichtern, die Probanden bei der Betrachtung dieser Petri-Netze hatten. So können diese Schwierigkeiten bei der Modellierung weiterer Petri-Netze berücksichtigt werden. Dies würde die Verbesserung der Petri-Netze hervorrufen, sodass verständlichere und effizientere Petri-Netze entstehen.

## 1.2. Problemstellung und Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit hat den Anspruch, Aufmerksamkeitsmuster beim Betrachten von Petri-Netzen zu erkennen, in dem verschiedene Eye-Tracking Visualisierungsmethoden und auch Analysetechniken verwendet werden. Petri-Netze stellen die formal korrekteste Methode der Prozessmodellierung dar. Sie bieten viele Vorteile, wie die formale Syntax und die vorhandenen Analysemöglichkeiten. Dennoch können Petri-Netze sich schnell zu komplexen und ziemlich großen Modellen entwickeln, sodass sie nur noch schwer zu verstehen sind. Mithilfe von Eye-Tracking kann jedoch die visuelle Aufmerksamkeit untersucht werden und somit ist es möglich Muster zu erkennen. Durch die Analyse solcher Muster kann schlussfolgert werden, wie schwer das Verständnis eines Petri-Netzes ist oder wie effizient oder ineffizient das Lösen der Aufgabe war. Auch zeigen solche Muster, ob bestimmte Ähnlichkeiten zwischen den Probanden beim Betrachten von Petri-Netzen vorhanden sind. Das Entdecken solcher Muster kann beim effizienten Entwurf der Petri-Netze viele Vorteile bieten.

### **1.3. Struktur der Arbeit**

Für die erfolgreiche Beantwortung der Forschungsfrage werden zuerst in Kapitel 2 die theoretischen Hintergründe besprochen. Dabei werden zuerst die Grundlagen, Arten, die Funktionsweise und zum Schluss die Analyse der Petri-Netze erklärt. Anschließend wird die Anatomie des Auges beschrieben, da dieser von Relevanz ist, um die Reizaufnahme zu verstehen. Auch werden die verschiedenen Augenbewegungen erläutert. Der letzte Punkt in diesem Kapitel beschreibt die kognitiven Prozesse, darunter die visuelle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Das dritte Kapitel beschreibt das Eye-Tracking. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Eye-Tracking-Daten und Metriken aufgezählt und die verschiedenen Visualisierungsmethoden von Eye-Tracking-Daten hervorgebracht. Im nächsten Kapitel erfolgt die Datenauswertung und die Datenanalyse. Dabei werden die in dem Visualisierungstool Blickshift visualisierten Daten dargelegt und Schlüsse über Aufmerksamkeitsmuster gezogen. Schließlich folgt eine Diskussion, die den Nutzen dieser Arbeit und Limitationen behandelt. Es werden auch verwandte Arbeiten zur Abgrenzung vorgestellt. Zuletzt runden das Fazit und der Ausblick die Arbeit ab.

## 2. Theoretischer Hintergrund

### 2.1. Petri-Netze

Petri Netze sind gerichtete Graphen und wurden erstmals von Carl Adam Petri entwickelt. Der Gedanke bei der Entwicklung von Petri-Netzen basiert auf die Bearbeitung und der Analyse von nebenläufigen Systemen [41]. Außerdem können durch Petri-Netze, zusätzlich zu der Nebenläufigkeit auch Entscheidungen und Schleifen modelliert werden.

#### 2.1.1. Grundlagen

Ein Petri-Netz ist eine graphische Abbildung von Zuständen eines Prozesses. Diese werden in Form von Kanten und Knoten dargestellt. Sie besteht aus zwei Knoten, Stellen und Transitionen, und einem Marker, der den aktuellen Zustand veranschaulicht [35]. Allgemein können Petri-Netze als Tripel  $PN = (S, T, F)$  mit  $S \cap T = \emptyset$  und  $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$  spezifiziert werden [41]. Dabei sind die in der Menge  $P$  enthaltenen Elemente Stellen und die aus der Menge  $T$  sind Transitionen. In der Menge  $F$  befinden sich die Kanten [41]. Die Transitionen beschreiben Aktionen oder Ereignisse, während die Stellen die Bedingungen oder Zustände veranschaulichen. In einem Petri-Netz sind die Kanten gerichtet und sie dienen der Verbindung zwischen den Stellen und den Transitionen. In folgender Abbildung 2.1 ist ein kleines Beispiel zu den Petri-Netzen zu sehen.

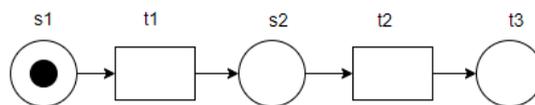


Abbildung 2.1.: Petri-Netz: Transitionen, Stellen und Kanten

Dabei ist zu sehen, dass die Stellen als Kreise dargestellt werden und die Transitionen als Rechtecke. An der Stelle  $s_1$  befindet sich in diesem Beispiel der Marker, d.h. die Stelle  $s_1$  ist der aktuelle Zustand. Ein weiterer wichtiger Punkt der Petri-Netze ist, dass die Transitionen einen Vor- und Nachbereich besitzen. Das sind die Stellen, die direkt vor einer Transition oder nach einer Transition vorkommen. In der Abbildung 2.1 sieht man zum Beispiel, dass die Transition  $t_2$  genau einen Vorbereich  $s_2$  und einen Nachbereich  $s_3$  besitzt. Bei der Modellierung von Petri-Netzen ist es wichtig darauf zu achten, dass keine zwei Transitionen oder zwei Stellen, durch eine Kante miteinander verbunden werden können. Es können nur Verbindungen zwischen Stellen und Transitionen bestehen [41].

### 2.1.2. Arten von Petri-Netzen

Es existieren verschiedene Arten von Petri-Netzen. Im Folgenden werden die Bedingungs-/Ereignis-Netze (B/E-Netze) und die Stellen-/Transitions-Netze (S/T-Netze) erläutert, die zu den klassischen Petri-Netzen gehören. Die B/E-Netze stellen die einfachste Form von Petri-Netzen dar. Dabei werden Stellen als Bedingungen und Transitions als Ereignisse bezeichnet. Die Stellen können maximal eine Marke besitzen. Falls sich die Marke auf einer Stelle befindet, trägt das die Bedeutung, dass die Bedingung erfüllt ist. Das bedeutet, dass an den Stellen, an denen keine Marke vorhanden ist, die Bedingung als nicht erfüllt angesehen wird. Für die Zuordnung von Marken zu Stellen muss die Transition schalten. S/T-Netze können im Gegensatz zu B/E-Netzen mehrere Marken besitzen. Die Anzahl der Marken wird durch die Kapazität bestimmt. Falls kein Wert angegeben wird, bedeutet dies, dass die Kapazität der Stelle unendlich beträgt. Außerdem besitzt jedes S/T-Netz Kanten mit einem Gewicht. Dieses Kantengewicht gibt an, wie viele Marken nach dem Schalten einer Transition im Nachbereich aufgenommen werden sollen. Außer den klassischen Petri-Netzen existieren auch andere Arten von Petri-Netzen. Darunter befinden sich die Workflow-Netze, die eine Erweiterung der S/T-Netze darstellen. Diese Netze beinhalten strukturelle Einschränkungen, um die Analysierbarkeit und Verständlichkeit zu erweitern [41]. Sie besitzen genau einen Start- und Endknoten. Der Startknoten hat keine eingehende Kante und der Endknoten besitzt keine ausgehende Kante. Zudem befinden sich alle Transitions und Stellen auf einem Pfad zwischen dem Start- und Endknoten. Workflow-Netze beinhalten Notationen und Konzepte, durch die das Umgehen der Schwächen der klassischen Petri-Netze ermöglicht wird [41].

### 2.1.3. Schaltregeln von Petri-Netzen

Petri-Netze besitzen bestimmte Schaltregeln für Transitions, durch die der Marker die Stelle und somit den aktuellen Zustand ändern kann. Dieser Vorgang wird Markierung genannt. Die Regeln lauten wie folgt:

1. Damit eine Transition schalten kann, müssen alle Vorbereiche der Transition eine Marke besitzen.
2. Falls mehr als eine Transition schalten kann, schaltet dennoch nur einer dieser Transitions. Dies beschreibt das nicht-deterministische Verhalten eines Petri-Netzes. Je nachdem welche Transition zuerst schaltet können verschiedene Folgemarkierungen entstehen.
3. Nach einem Schaltvorgang einer Transition wird aus dem Vorbereich eine Marke entfernt und zu allen Nachbereichen eine Marke beigefügt.

Die Abbildung 2.2 zeigt den Schaltvorgang einer Transition mit genau einem Vorbereich. Es ist zu sehen, dass nach dem Schaltvorgang beide Nachbereiche eine Marke besitzen. Würde dieser Vorbereich keine Marke besitzen, wäre der Schaltvorgang nicht möglich. Nach diesen Regeln funktioniert ein Petri-Netz und kann somit seinen Zustand ändern [41]. Dabei nennt man eine

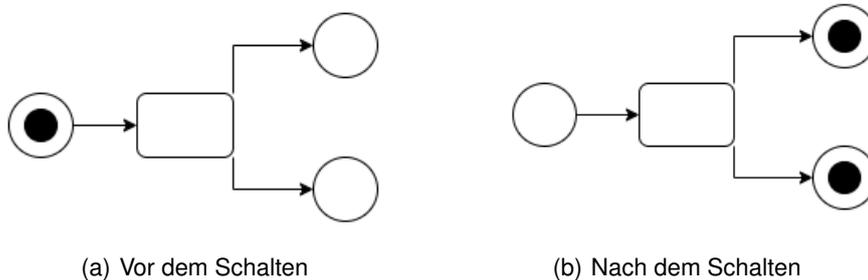


Abbildung 2.2.: Schaltvorgang einer Transition mit einem Vorbereich und zwei Nachbereiche

Transition aktiviert, wenn alle Vorbereiche der Transition mindestens eine Marke besitzen. Beim Feuern der S/T-Netze ist zusätzlich zu beachten, dass eine Transition nur dann schalten kann, wenn genug Marken vorhanden sind. Das heißt, dass bei einer Kantengewichtung von 2 und einem Vorbereich mit einer Marke die Transition nicht feuern kann, siehe Abbildung 2.3. Somit

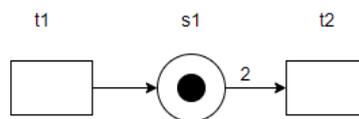


Abbildung 2.3.: Schalten eines S/T-Netzes

ist bei einem S/T-Netz die Belegung mit Marken abhängig von dem Kantengewicht und von der Stellenkapazität.

#### 2.1.4. Ablaufstrukturen der Petri-Netze

Petri-Netze beinhalten folgende Ablaufstrukturen, zur Beschreibung eines Prozesses:

- **Sequenz:** Hierbei handelt es sich um eine Schaltfolge, die kausal abhängig voneinander ist. Das Petri-Netz aus der Abbildung 2.1 besteht also aus einer Sequenz.
- **Alternative:** Bei der Alternative handelt es sich um die Aktivierung mehrerer Transitionen. Dieser findet aber nicht nebenläufig statt.
- **Iteration:** Die Iteration beschreibt die erneute Aktivierung einer Transition.
- **Nebenläufigkeit:** Die Nebenläufigkeit beschreibt die Unabhängigkeit zwischen zwei Transitionen, das heißt zwei Transitionen können parallel ablaufen, müssen aber nicht.
- **Synchronisation:** Die Synchronisation beschreibt das Erzeugen von Abhängigkeiten zwischen zwei Transitionsfolgen. Somit wird die Nebenläufigkeit zwischen zwei Prozessschritten verhindert.

Diese Strukturen sind in Abbildung 2.4 zu sehen.

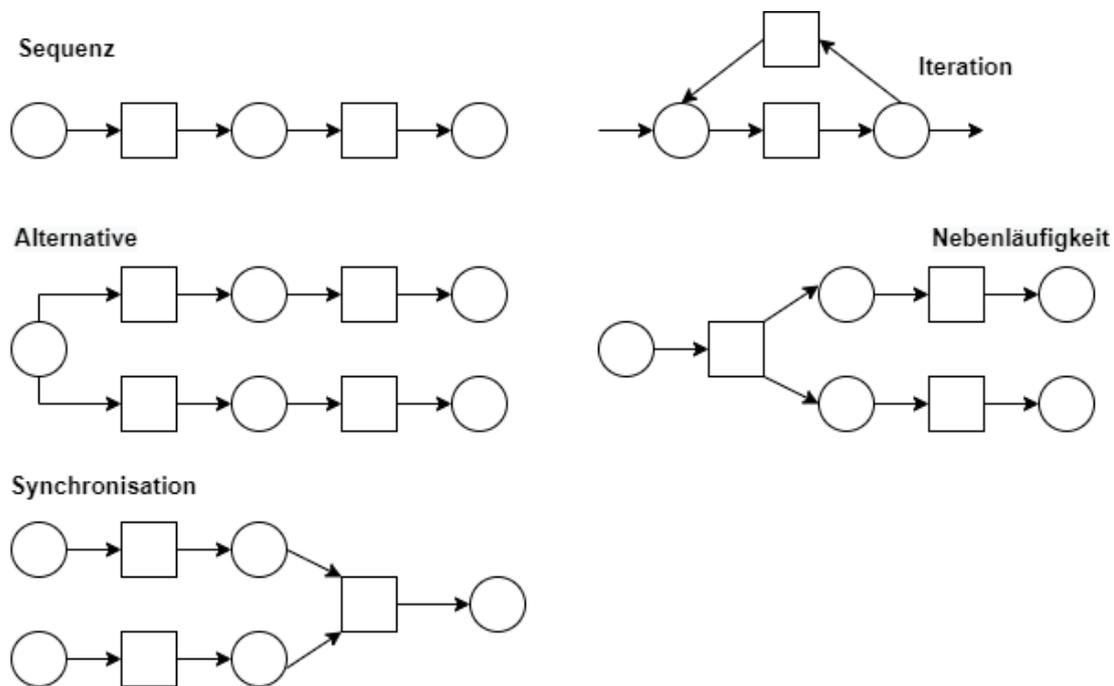


Abbildung 2.4.: Ablaufstrukturen der Petri-Netze

### 2.1.5. Analyse von Petri-Netzen

Bei der Ausführung von Petri-Netzen können bestimmte Probleme auftreten. Dazu gehören Deadlocks, unbeschränkte Stellen in S/T-Netzen und unerreichbare Stellen. Unter einem Deadlock versteht man eine Markierung, die keine weitere Transition aktiviert. In A.3 ist das schwierige Petri-Netz, das in dieser Arbeit behandelt wurde, zu sehen. Dieses Netz beinhaltet Deadlocks. Das Petri-Netz zeigt das sogenannte Philosophenproblem (dining philosophers). Das Philosophenproblem beschreibt ein Fallbeispiel aus der Informatik. Sie zeigt das Problem der Nebenläufigkeit und soll damit die Gefahr von Deadlocks in Prozessen veranschaulichen. Die nähere Betrachtung dieses Petri-Netzes zeigt, dass z.B. Person 1 und Person 4 gleichzeitig dieselbe Gabel nehmen wollen. Deshalb kann keiner der Transitionen aktiviert werden. Unbeschränkte Stellen beschreiben die unendliche Kapazität von Stellen [41]. Bei einer unerreichbaren Stelle handelt es sich um eine Stelle, die unter der gegebenen Anfangsmarkierung nicht erreicht werden kann [41]. Die Analyse dynamischer Eigenschaften von Petri-Netzen hat das Ziel, Aussagen über das Ausführungsverhalten eines Systems/Ablaufs zu gewinnen [41]. Dabei sollen mögliche Probleme, die weiter oben erläutert wurden, schon in der Entwurfsphase erkannt und behoben werden. Zur Vermeidung und Erkennung solcher Probleme eignet sich die Erreichbarkeitsanalyse [41].

### Erreichbarkeitssanalyse

Die Erreichbarkeitsanalyse ermöglicht die Identifizierung von allen erreichbaren Markierungen. Diese wird als Erreichbarkeitsmenge bezeichnet. Um die Erreichbarkeitsmenge zu bestimmen, werden alle nachfolgenden Markierungen, ausgehend von der Anfangsmarkierung, identifiziert. Aus dieser Erreichbarkeitsanalyse resultiert der sogenannte Erreichbarkeitsgraph, der die Markierungen der Erreichbarkeitsmenge und die Übergänge zwischen diesen Markierungen beinhaltet.

### Eigenschaften von Petri-Netzen

Durch eine durchgeführte Erreichbarkeitsanalyse lassen sich bestimmte Eigenschaften von Petri-Netzen identifizieren [41, 27].

- **schwach lebendig:** Wenn für jede Transition  $t$  eine erreichbare Markierung  $M$  existiert, unter der die Transition  $t$  aktiviert wird, wird das Petri-Netz als schwach lebendig bezeichnet.
- **lebendig:** Wenn für alle Transitionen  $t$  und für alle erreichbaren Markierungen  $M$  eine Markierung  $M'$  erreichbar ist, die die Transition  $t$  aktiviert, so wird das Petri-Netz (stark) lebendig genannt.
- **sicher:** Ein Petri-Netz wird als sicher bezeichnet, wenn kein Zustand des Netzes von mehr als einer Marke bei jeder erreichbaren Marke eingenommen werden kann. Ein 1-beschränktes Petri-Netz ist z.B. sicher.
- **k-beschränkt:** Ein Petri-Netz heißt  $k$ -beschränkt für eine Zahl  $k$ , wenn jede Stelle unter der erreichbaren Markierung maximal  $k$ -Marken besitzt.

## 2.2. Augenbewegungen

Das menschliche Auge besitzt sechs Muskeln, die sich am Augapfel befinden. Durch diese Muskeln ist es möglich, dass sich das Auge bewegt. Es gibt verschiedene Arten von Augenbewegungen. Joos et al. [26] vertreten die Meinung, dass die Augenbewegungen in drei Gruppen klassifiziert werden können. Bewegungen, bei dem das Verschieben der Information auf der Retina behindert wird. Diese Augenbewegung wird Fixation genannt. Zielführende Bewegungen zur Adaption der Fovea (Sehgrube) auf neue betrachtbare Objekte. Diese Augenbewegung ist die Sakkade. Zuletzt gibt es noch die Mikrobewegungen: Drift, Tremor, Mikrosakkade [7]. Das Festhalten und die Analyse der Augenbewegungen hat das Ziel, Einblicke in die kognitiven Prozesse eines Menschen zu gewinnen. Es gibt verschiedene Arten von Augenbewegungen, die während des Eye-Trackings festgehalten werden können. Diese sind bedeutend für die Analyse von Eye-Tracking-Daten. Im Folgenden werden diese näher erläutert.

### 2.2.1. Fixation

Die Fixation ist die wichtigste Augenbewegung, bei der Auswertung von Eye-Tracking Daten. Eine Fixation setzt sich aus mehreren aneinandergereihten Blickpunkten auf einer Fläche zusammen, d.h. bei einer Fixation handelt es sich von einer Ansammlung von Blickpunkten [11]. In Abbildung

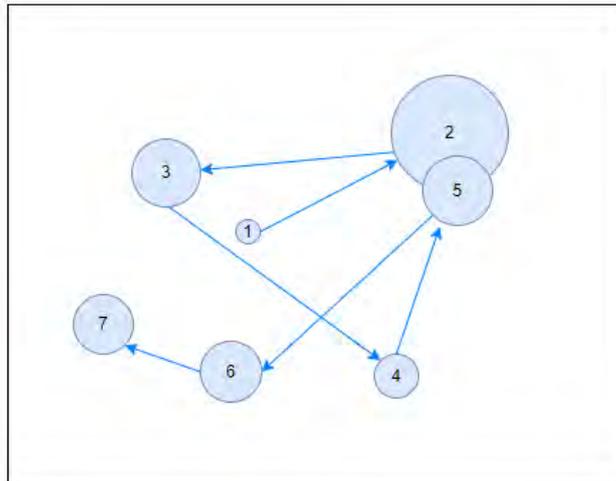


Abbildung 2.5.: Fixationen und Sakkaden

2.5 sind Kreise mit unterschiedlichem Durchmesser zu sehen. Diese Kreise stellen Fixationen dar und je größer die Kreise, desto länger wurde die Stelle betrachtet. Die Zeitspanne einer Fixation beträgt ca. 200-300 ms [6]. Diese Informationen, die von der Retina aufgenommen wurden, werden in dieser Zeit, über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet. Die Fixation durchläuft drei Prozesse. Diese sind zum einen die Verschlüsselung der visuellen Information und zum anderen die Betrachtung des peripheren Sichtfelds und die Planung der nächsten Sakkade [7]. Fixationen sind die Augenbewegungen, die analysiert werden, um Rückschlüsse auf kognitive Prozesse oder Zustände zu ziehen. Während einer Fixation hören unsere Augen im Wesentlichen auf, den Stimulus zu scannen, und halten das zentrale foveale Sehen, also den Blick an dieser Stelle, sodass das visuelle System Informationen über das Betrachtete aufnehmen kann.

### 2.2.2. Sakkaden

In Abbildung 2.5 stellen die Linien zwischen den Fixationen, die Sakkaden dar. Sakkaden sind schnelle, ruckartige Bewegungen zwischen zwei Fixationen. Die Dauer einer Sakkade beträgt ca. 30-80 ms [6]. In dieser Zeitspanne ist die visuelle Wahrnehmung und auch die visuelle Aufmerksamkeit eingeschränkt. Dieser Vorgang wird die sakkadische Suppression genannt [26]. Die Amplitude der Sakkade ist zur Beschreibung einer Sakkade von großer Bedeutung. Dieser beschreibt die Größe einer Sakkade und wird in Winkelgrad gemessen [7].

## 2.3. Kognitive Prozesse und das visuelle System

Petri-Netze können Schwierigkeiten beim Verstehen erzeugen. Um diese Modelle zu verstehen, werden kognitive Prozesse hervorgerufen. Diese beschreiben die geistigen Prozesse eines Individuums. Dabei handelt es sich um die Aufnahme und Weiterverarbeitung von Informationen. Die Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Problemlösen, Erinnerung und auch Lernen gehören zu den wichtigen Fähigkeiten der Kognition. Durch die Kognition wird das Verstehen komplexer Probleme möglich. Bei der Betrachtung von Petri-Netzen ist das visuelle System und die visuelle Kognition bedeutend. Denn Studien zeigen, dass die Verarbeitung von visuellen Stimuli an die Grenzen des visuellen Systems gebunden sind [50]. Das bedeutet also, dass nur die Informationsverarbeitung von wenigen Objekten und die Eigenschaften dieser Objekte stattfinden kann. Es wurde herausgestellt, dass bestimmte Punkte in einem Graphen bedeutend für die Bestimmung der Verarbeitungsreihenfolge sind [50, 33]. Deshalb ist die Identifizierung von Mustern der Aufmerksamkeit, beim Betrachten von Petri-Netzen bedeutend. Somit können die Einschränkungen des visuellen Systems bewältigt werden, denn durch solche Muster können den Mustern angepasste Petri-Netze modelliert werden. Damit wird die Informationsverarbeitung erleichtert.

### 2.3.1. Visuelle Wahrnehmung

Wie funktioniert der Prozess des Verstehens bei Petri-Netzen? Wie werden komplexe Probleme gelöst? Welche Muster treten beim Betrachten von Petri-Netzen auf? Welche Stellen in einem Petri-Netz ziehen die Aufmerksamkeit des Betrachters auf sich? Für die Beantwortung all dieser Fragen ist das visuelle System ein wichtiger Bestandteil. Denn dieser ermöglicht die Verarbeitung kognitiver Prozesse, da es die Aufnahme und Weiterverarbeitung visueller Reize ermöglicht. Sie ist also der Anhaltspunkt für die visuelle Wahrnehmung. Bei der visuellen Wahrnehmung handelt es sich um einen aktiven Prozess der Aufnahme und Verarbeitung visueller Reize. Die Umwandlung dieser Reize in Informationen bezieht sich auf die Wahrnehmungspsychologie und hängt von dem individuellen Lernfortschritt und den Wahrnehmungsgesetzen, also der neurobiologischen Kapazität ab [47]. Die Bearbeitung kognitiver Prozesse, durch die visuelle Stimuli in Informationen verwandelt werden können, wird also als Wahrnehmungspsychologie bezeichnet.

### 2.3.2. Visuelle Aufmerksamkeit

Es fließen jeden Moment Übermengen an Informationen auf die Sinnesorgane ein. Dabei werden infolge der visuellen Aufmerksamkeit, die ein Teil der visuellen Verarbeitung darstellt, eingehende Informationen gefiltert. Das Filtern irrelevanter Aspekte und das Selektieren relevanter Aspekte beschreiben also die Funktionen der visuellen Aufmerksamkeit. Die visuelle Aufmerksamkeit kann in zwei Teile gegliedert werden. Zum einen ist es die offene Aufmerksamkeit, die mithilfe der Augenbewegungen zur Verfügung stehende Informationen bestimmt. Zum anderen ist es

## 2. THEORETISCHER HINTERGRUND

die selektive (verdeckte) Aufmerksamkeit, durch die die Selektion stattfindet. Laut Jürgen et al. kann die Selektion als ein dreidimensionales Konzept angesehen werden [13]. Sie ist für die passende Steuerung von Aufmerksamkeit auf bestimmte Bereiche zuständig. Dieser beinhaltet die Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und kognitive Behaltensleistung [13]. Genauer geht es bei der selektiven Aufmerksamkeit also um das wahrgenommene Stimulus, während die selektive Wahrnehmung die Art der Verarbeitung und das Speichern der Informationen bestimmt [13]. Zuletzt wird durch die kognitive Behaltensleistung, die Erinnerung an die wahrgenommene und verarbeitete Information ermöglicht. Bei der visuellen Aufmerksamkeit ist der Begriff der Kapazität näher zu betrachten. Dieser beschreibt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Wahrnehmungsressourcen und ist abhängig von der physischen und psychischen Verfassung einer Person. Durch die Untersuchung der visuellen Aufmerksamkeit kann entdeckt werden, wie ein Stimulus betrachtet wurde und wo die Betrachtung den Fokus hatte. Aufmerksamkeitsuntersuchungen und auch die Überprüfung der Selektionsprozesse wird durch das Aufzeichnen der Augenbewegungen realisiert. Die aus einer Blickverlaufsmessung erhaltenen Daten erlauben den Begriff der Aufmerksamkeit betreffend auf die Betrachtung des vorgegebenen Stimulus zu erläutern. In dieser Arbeit wird also die Aufmerksamkeit beim Betrachten von Petri-Netzen studiert. Dabei kann je nach Schwierigkeitsgrad des Petri-Netzes unterschieden werden, wie die visuelle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit sich verändert.

## 3. Eye-Tracking

Sei es in den Gesundheitswissenschaften, in der Mensch-Maschine-Interaktion oder in der Industrie, Eye-Tracking hat viele Einsatzbereiche. Durch Eye-Tracking werden Blickbewegungen der Menschen erfasst. Das Ziel bei der Erfassung der Blickbewegungen ist unter anderem die Messung der visuellen Aufmerksamkeit und die Bestimmung der Interessen eines Menschen beim Betrachten eines Stimulus [17]. Um einen verständlichen und guten Überblick über die daraus enthaltenen Daten zu erhalten, werden diese Daten visualisiert und anschließend analysiert. Die Eye-Tracking-Forschung beschäftigt sich mit zwei ausschlaggebenden Annahmen:

- **Unmittelbarkeitshypothese (immediacy assumption):** Diese Hypothese besagt, dass jeder Fixation eine Interpretation vom Betrachter zugeordnet wird.
- **Eye-Mind-Hypothese:** Der Verlauf der Augenbewegungen spiegelt die Komplexität der zugrunde liegenden kognitiven Prozesse wider. Das heißt das Sehen und kognitive Verarbeitung abhängig voneinander sind.

Es existieren viele verschiedene Methoden zur Erfassung der Augenbewegungen. Heutzutage werden vor allem zwischen zwei Methoden, mobile und remote Eye-Tracker, unterschieden [23]. Durch den zeitlichen Fortschritt wurden Eye-Tracker kleiner und auch leichter. Daraus folgt, dass bei der Durchführung einer Studie der Proband mehr Bewegungsfreiheit besitzt. Außerdem sind dafür auch keine speziellen Labore mehr notwendig, die Durchführung einer Studie wird also erleichtert. Doch das Eye-Tracking gelangt an die Grenzen, wenn es um die Frage geht, weshalb eine Person auf bestimmte Stellen in einem Stimulus fokussiert ist und wieso bestimmte Muster auftreten. Um diese Fragen zu beantworten, können die durch Eye-Tracking erfassten Blickdaten mittels verschiedenen Methoden analysiert und interpretiert werden.

### 3.1. Eye-Tracking Daten

Die Rohdaten, die sich aus einer Eye-Tracking-Studie ergeben, enthalten Informationen bezüglich der Fixationskoordinaten, die Fixationsreihenfolge und die Dauer zu den einzelnen Fixationen [16]. Die Erfassung dieser Daten hat einen großen Vorteil, da es somit Antworten auf wichtige Fragen liefert. Wie oft eine Stelle in einem Stimulus betrachtet wurde, welche Stelle als Erstes und welche zuletzt betrachtet wurde und weitere ähnliche Fragen. Diese Fragen sind wichtig, um den Schwierigkeitsgrad einer gegebenen Aufgabe zu bestimmen. Die Erfassung dieser Daten ist die Grundlage für die Visualisierung und Analyse von einer Eye-Tracking-Studie.

### 3.1.1. Stimulus

Der Stimulus beschreibt das Bild bzw. das Material (Video, Benutzeroberfläche, reale Umgebung) [23], das bei einer Eye-Tracking-Studie einem Probanden vorgelegt wird. Es wird zwischen statischem und dynamischem Stimuli unterschieden [6]. Bei statischem Stimuli handelt es sich hauptsächlich um Bilder oder Texte, während das dynamische Stimuli Videomaterial oder reale Umgebungen darstellt [6], d.h. beim dynamischen Stimuli ändert sich die zu betrachtende Szene. Zu einer gegebenen Aufgabe beobachtet der Proband den Stimulus und die Augenbewegungen werden in dieser Zeit festgehalten. Mithilfe der gesammelten Daten kann die Visualisierung und Analyse der Daten durchgeführt werden. In Abbildung 3.1 ist ein simples Beispiel, zu einem Stimulus mit zwei Areas of Interest (kurz AOI), Fixationen und Sakkaden zu sehen.

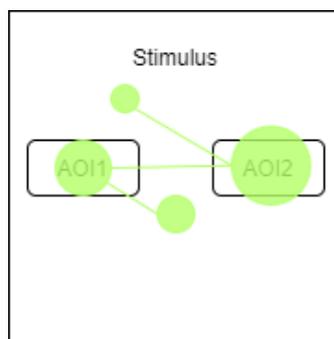


Abbildung 3.1.: Ein Beispiel zu einem Stimulus mit definierten AOIs und Fixationen und Sakkaden

### 3.1.2. Scanpath

Der Scanpath stellt die Reihenfolge von Fixationen und Sakkaden, in einer Eye-Tracking-Studie dar. Um den Scanpath zu visualisieren, müssen zunächst die ganzen Eye-Tracking-Daten erfasst werden. Aus den Daten lässt sich der Scanpath visualisieren. In einem Scanpath sind auch Daten über die Dauer der Fixation enthalten, je größer der Kreis, desto länger hat die Fixation gedauert. Durch den Scanpath wird Auskunft über die Reihenfolge gegeben, in der der Proband den Stimulus betrachtet hat. Dieser kann mit den Scanpaths von anderen Probanden verglichen werden und dadurch können Aufschlüsse über die Aufmerksamkeit gezogen werden.

### 3.1.3. Areas of Interest(AOI)

Aus dem Namen ist bereits zu erkennen, dass es sich bei den Areas of Interest, auch Regions of Interest genannt, um Bereiche im Stimulus handelt, die von Interesse sind. AOIs sind meistens rechteckige Bereiche in einem Stimulus, können aber auch andere Formen haben. In Abbildung 3.1 sind zwei AOIs zu sehen: AOI1 und AOI2. In einem Petri-Netz kann eine Transition oder eine Stelle ein Area of Interest sein. Die Bestimmung von Areas of Interests kann im Voraus erfolgen, falls die Bereiche im Stimulus wichtig für eine Studie sind. Es kann aber auch im Nachhinein

mithilfe des Scanpaths bestimmt werden. Denn die Stellen, die am meisten betrachtet wurden, also die mit der höchsten Anzahl von Fixationen können als Areas of Interest definiert werden. Ob sie bereits im Voraus oder erst im Nachhinein bestimmt werden, hängt von dem gegebenen Stimulus ab [6].

## 3.2. Metriken

Es gibt mehrere Metriken, die bei der Auswertung von Eye-Tracking-Daten relevant sind. Je nachdem wie die Aufgabe der Studie lautet, können verschiedene Metriken von Interesse sein. Jacob et al. haben die am häufigsten verwendeten Metriken aufgezählt [25]. Diese sind:

- **Gesamtanzahl der Fixationen:** Hierbei handelt es sich um die gesamte Anzahl der Fixationen auf einem Stimulus. Die Anzahl der Fixationen sagt voraus, ob eine Aufgabe ineffizient gelöst wurde oder nicht. Je höher die Gesamtanzahl der Fixationen, desto ineffizienter war das Lösen der Aufgabe. Natürlich steht die Gesamtanzahl der Fixationen im Verhältnis zu der Interaktionsdauer.
- **Gaze Duration auf AOI:** Für die AOIs werden auf einem Stimulus Werte berechnet, die angeben, wie lang und von wie vielen Probanden diese AOI betrachtet wurde. Diese Metrik besagt, dass je länger eine Gaze Duration auf einer AOI ist, desto länger hat der Proband gebraucht, die in der AOI enthaltenen Aspekte zu verstehen.
- **Dauer der Fixationen:** Die Dauer einer Fixation sagt aus, ob eine Aufgabe als leicht oder schwer empfunden wurde. Falls eine Fixation länger dauert, kann dies bedeuten, dass der Proband Schwierigkeiten hatte, Informationen aus dem Stimulus zu entnehmen [25]. Daraus folgt also, dass die Fixationsdauer von den kognitiven Prozessen beeinflusst wird.
- **Anzahl Fixationen auf AOI:** Die Anzahl der Fixationen werden auf jedem AOI gezählt. Durch die Anzahl der Fixationen auf einem AOI kann bestimmt werden, wie relevant ein Area of Interest ist. Je mehr Fixationen auf einem AOI, desto wichtiger ist die AOI. Auch kann eine große Anzahl von Fixationen auf einem AOI bedeuten, dass dieser AOI schwer zu verstehen ist.
- **Fixationsrate:** Die Fixationsrate steht in Verbindung mit der Fixationsdauer. Die Fixationsrate gibt die Anzahl der Fixationen pro Sekunde an [7].

Es gibt auch andere Metriken, die betrachtet werden können. In dieser Arbeit werden auch die Sakkadendauer und Sakkadenamplitude betrachtet:

- **Sakkadendauer:** Hierbei handelt es sich um die Dauer einer Sakkade. Diese beträgt zwischen 10 und 100 ms. Die Dauer der Sakkaden gibt Aufschlüsse über das Suchverhalten der Probanden.

- **Sakkadenamplitude:** Die Sakkadenamplitude beschreibt die Höhe bzw. Länge einer Sakkade. Diese ist durch den Stimulus bestimmt und hängt von dem *functional field of view* ab [26]. Denn bei erhöhter Stimuluskomplexität verkleinert sich das Sichtfeld, und somit werden Fixationen in dieser Zeit hauptsächlich auf diesem Sichtfeld durchgeführt [26]. Bei erhöhter Stimuluskomplexität beträgt die Sakkadenamplitude weniger als  $9,5^\circ$  [26]. Das bedeutet, dass größere Sakkadenamplituden auf das effiziente Lösen der Aufgabe deuten.

### 3.3. Visualisierung von Eye-Tracking-Daten

Bei der Erfassung von Daten einer Eye-Tracking-Studie entstehen meistens große Tabellen mit vielen Informationen, sodass es relativ anspruchsvoll sein kann, diese Tabellen nach z.B. Mustern und Zusammenhängen zu untersuchen. Darum ist es von Vorteil, diese Daten zu visualisieren. Die Visualisierung bewirkt die Konstruktion von passenden visuellen Darstellungen, von Daten und Informationen. Das Ziel der Visualisierung ist das Erzeugen von besserem Verständnis. Es ist vorteilhaft, wenn eine Visualisierung möglichst effektiv und nachvollziehbar ist. Der Grund hierfür ist, dass die Visualisierung auch das Ziel verfolgt, eine qualitative Datenanalyse zu ermöglichen. Die Erkennung von Zusammenhängen zwischen den Daten kann durch eine Visualisierung der Daten vereinfacht werden. Somit ist es möglich, verschiedene Interpretationen und Analysen durchzuführen. Eine Entdeckung von Mustern in den zu visualisierenden Daten ist somit auch erreichbar. Um eine erfolgreiche Visualisierung zu erhalten, sind die Schritte der Visualisierungspipeline [22, 7] einzuhalten. In der Abbildung 3.2 ist zu sehen, dass zu den Schritten der Pipeline die Datenerfassung, die Datenaufbereitung (Filtering), das Mapping und

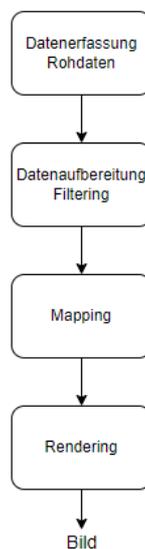


Abbildung 3.2.: Visualisierungspipeline, um aus Rohdaten eine Bilddatei zu erhalten.

schließlich Rendering gehören [7]. Die Datenerfassung liefert die Rohdaten. Bei den Rohdaten

handelt es sich meistens um relativ große Datenmengen, sodass diese im nächsten Schritt vom Benutzer gefiltert werden. Es ist beim Filtern wichtig, die Datensätze zu wählen, die für die Visualisierung von Bedeutung sind. Im nächsten und dem wichtigsten Schritt, also dem Mapping-Schritt, werden den Daten auf geometrische Grundformen abgebildet [44]. Diese sind z.B. Kreise, Linien etc. Die Beeinflussung der Veranschaulichung erfolgt durch das Setzen bestimmter Attribute wie die Position, Größe usw. Der letzte Schritte der Pipeline ist das Rendern, d.h. das Umwandeln der in dem Mapping vorgenommenen Schritten in Bilddaten. Es existieren unterschiedliche Visualisierungsmöglichkeiten von Eye-Tracking-Daten, die bei der Analyse sehr aufschlussreich sind. Dazu gehören die klassischen Visualisierungsmöglichkeiten wie Scanpaths und Heatmaps, aber auch detailliertere wie z.B. Parallel Scanpaths (PSP).

### 3.3.1. Scanpath Visualisierung

Der Scanpath stellt den Pfad der Augenbewegungen dar. Dieser ist die am häufigsten verwendete Visualisierungsmethode, um Eye-Tracking-Daten zu visualisieren. Anhand des Scanpaths kann die Sequenz der Augenbewegungen erkannt werden. Bei einem Scanpath werden die Fixationen (Kreise) mit Sakkaden (Linien) verbunden. Um die Reihenfolge zu erkennen, bieten sich Visualisierungstools, die die Fixationen durchnummerieren. Anhand der Abbildung 3.3 ist zu sehen,



Abbildung 3.3.: Scan-Path mit allen Probanden einer Studie

dass bei aggregierten Scanpaths von mehreren Probanden das Vergleichen anspruchsvoll ist, da bei anwachsender Datenmenge mehr Fixationen und Sakkaden auf dem Stimulus vorhanden sind, sodass es schnell unübersichtlich wird.

### 3.3.2. Heat Maps

Die Abbildung 3.4 zeigt ein Beispiel zu einem Heatmap. Heatmaps bauen auf Fixationen auf. Auf einem Heatmap sind die Bereiche auf dem Stimulus rot, wenn dieser oft betrachtet wurde. Mit einem Heatmap lassen sich die Daten von mehreren Probanden gut vereinen. Die Vereinigung

der Daten kann die wichtigen Bereiche im Stimulus hervorheben. Für die Visualisierung einer Heatmap sind keine Areas of Interest nötig. Heatmaps können sogar bei der Auffindung von AOIs helfen. Denn es ermöglicht eine schnelle Erkennung der am meisten betrachteten Bereiche auf einem Stimulus. Jedoch geht bei einem Heatmap im Gegensatz zu einer Scan-Path die Reihenfolge der Augenbewegungen verloren. Auch ist bei einer Vereinigung nicht zu erkennen, welcher Proband welche Stelle beobachtet hat.

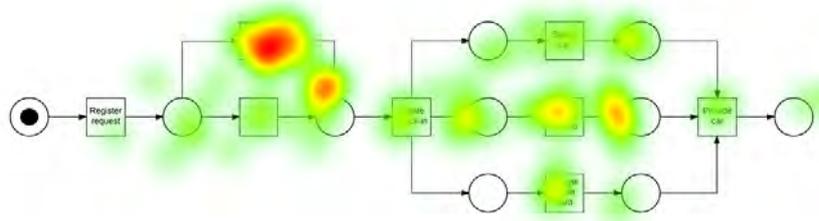


Abbildung 3.4.: Beispiel zu einem Heatmap

### 3.3.3. Parallel Scanpath (PSP)

Nach Raschke et al. gibt es für die Parallel Scanpath Visualisierung drei Möglichkeiten [39]:

- Gaze Duration Sequence Diagramm
- Fixation Point Diagramm
- Gaze Duration Distribution Diagramm

Beim Gaze Duration Sequence Diagramm wird der Scanpath einer Eye-Tracking-Studie als eine Linie dargestellt. Wie in Abbildung 3.5 zu sehen ist, verläuft dieser entlang der vertikalen Achse und je nachdem, welcher AOI von dem Probanden zu dem Zeitpunkt betrachtet wird, findet ein Wechsel zwischen den AOIs statt. Eine durchgehende Linie auf der vertikalen Achse in einem Gaze Duration Sequence Diagramm zeigt die Blickdauer innerhalb der AOI [39]. Das Fixation Point Diagramm ist so ähnlich wie das Gaze Duration Sequence Diagramm, nur hier werden Fixationen als einzelne Punkte dargestellt. Zuletzt kommt noch das Gaze Duration Distribution Diagramm. Hierbei werden Scanpaths innerhalb der AOI ähnlich wie beim Gaze

Duration Sequence Diagramm dargestellt [39]. Für diese Arbeit ist die Gaze Duration Sequence Diagramm von primärer Bedeutung, sodass die anderen Diagramme nicht im Detail diskutiert werden.

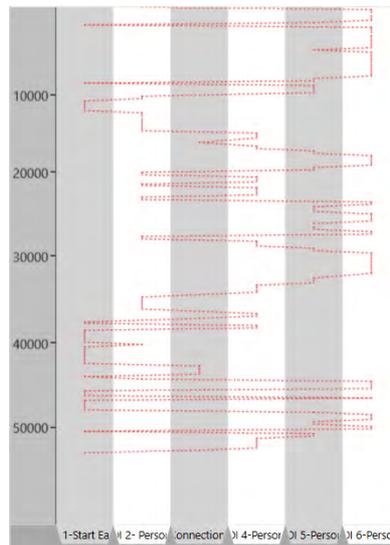


Abbildung 3.5.: Beispiel zu einem PSP

### 3.3.4. Transitionsmatrix

Ein Beispiel zu einer Transitionsmatrix ist in Abbildung 3.6 zu erkennen. Eine Transitionsmatrix ermöglicht die Anordnung von AOIs [22]. Die Transitionsmatrix beschreibt die Häufigkeit der Augenbewegungen zwischen zwei Areas of Interest. Dabei deuten die Werte in den Transitionsmatrizen auf die Effizienz der Suche. Ein niedriger Wert zeigt, dass die Suche effizient war und somit kein großer Wechsel zwischen den AOIs stattgefunden hat. Ein großer Wert zeigt somit die Ineffizienz, das bedeutet es hat ein großer Wechsel zwischen den AOIs stattgefunden.

From	AOI 1-Start Eating	AOI 2- Person 1	AOI 3-Connector	AOI 4-Person 2	AOI 5-Person3	AOI 6-Person 4
AOI 1-Start Eating	0	48	41	35	173	196
AOI 2- Person 1	57	0	54	86	7	82
AOI 3-Connector	47	57	0	69	1	4
AOI 4-Person 2	53	73	77	0	89	12
AOI 5-Person3	167	10	3	104	0	132
AOI 6-Person 4	174	89	3	10	147	0

Abbildung 3.6.: Beispiel zu einer Transitionsmatrix

## 4. Retrospektive Datenauswertung

Petri-Netze sind bei der Prozessmodellierung von großer Relevanz. Diese ermöglichen die Prozessoptimierung, Problembhebung und Entscheidungsfindung [21]. Um das Verständnis eines Petri-Netzes zu untersuchen, können Blickdaten mit Eye-Tracking erfasst werden. Somit können die Areas of Interest identifiziert und analysiert werden. Es gibt mehrere Arbeiten über die Untersuchung der Verständlichkeit von Prozessmodellen, darunter auch Petri-Netzen. Dabei ist es von Vorteil Muster in den Daten zu erkennen und zu interpretieren. Somit ist es möglich verständlichere und effizientere Petri-Netze bei der Prozessmodellierung zu konstruieren. Die Mustererkennung kann auch Informationen über visuelle Verarbeitung mehrerer Probanden liefern. Sie zeigt, welche Gemeinsamkeiten Probanden bei der Betrachtung von Petri-Netzen aufweisen. In dieser Arbeit sollen Muster der Aufmerksamkeit bei der Betrachtung von Petri-Netzen identifiziert und analysiert werden. Dazu wurden drei Petri-Netze unterschiedlicher Komplexität mit den dazugehörigen Rohdaten vorgegeben. Zu jedem Petri-Netz existiert auch eine Zusammenfassung, die die Daten von den Probanden beinhaltet, siehe A.10, A.11, A.12. Die erfassten Daten werden in Blickshift, einer Eye-Tracking-Software, visualisiert. Anschließend werden die Visualisierungen analysiert und interpretiert. Anhand der Visualisierungen und der Analyse können Muster in den Blickbewegungen erkannt werden. Diese Muster sagen womöglich aus, wo der Fokus der Aufmerksamkeit bei der Lösung der Aufgabe lag. Es werden Scanpaths, Heatmaps und Parallel Scanpaths erstellt, die den Fokus der Probanden identifizieren. Daraus können durch Vergleiche der Scanpaths und Heatmaps mehrerer Probanden die ersten Informationen zur Erkennung der Muster gezogen werden. Jedoch wird eine tiefere Analyse durchgeführt. Die Software Blickshift bietet die Möglichkeit anhand sogenannter Sequence Search und Analysis, Sequenzen innerhalb AOI Bereiche, die bei mehreren Probanden vorkommen, zu erkennen. Außerdem zeigen die Gaze Duration Statistiken, welche AOIs am meisten Aufmerksamkeit bekommen haben. Mit diesen Daten wird eine genaue Analyse durchgeführt, die zeigen soll, ob bestimmte Muster bei der Betrachtung der Petri-Netze auftauchen und warum diese Muster von Bedeutung sein könnten. Es existieren nur sehr wenige Arbeiten über Mustererkennung bei der Betrachtung von Prozessmodellen, somit auch von Petri-Netzen. Die Erforschung dieses Themenbereichs ist jedoch sehr wichtig, da dadurch das Verständnis der Petri-Netze erweitert werden kann. Zudem kann dadurch eine effizientere Methode der Prozessmodellierung mit Petri-Netzen entwickelt werden. Außerdem bieten diese auch die Gelegenheit der Untersuchung der Faktoren, die das Verstehen von Prozessmodellen, also auch Petri-Netzen beeinflussen [50].

### 4.1. Datenaufbereitung

Die in dieser Arbeit behandelten Beispieldaten wurden vorgelegt zur Analyse, damit Muster in den Daten ausgearbeitet und interpretiert werden können. Bei den vorliegenden Daten handelt es sich um Rohdaten, siehe Abbildung 4.1. Die markierten Spalten verdeutlichen die wichtigsten Spalten für die Visualisierung.

Stimulus	Export Start	Export End	Participant	Color	Tracking Rate	Index	Event Start T	Event End T	Event Start R	Event End R	Event Duration	Fixation	Position X	Position Y	Fixation Average	Fixation Average	Fixation Disp	Fixation D
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	1.0.0	298.3	3412088.2	3412386.5	298.3	944.0	442.3	57.9	52.3	7.0	5.7	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	1.298.3	344.6	3412386.5	3412432.8	46.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	2.355.6	504.2	3412453.9	3412592.4	138.7	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	2.504.2	550.5	3412592.4	3412638.7	46.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	3.550.5	701.7	3412638.7	3412789.9	151.3	742.2	389.6	49.2	44.6	2.7	9.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	3.701.7	769.0	3412789.9	3412857.2	67.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	4.769.0	920.3	3412857.2	3413008.5	151.3	108.2	502.4	45.9	42.0	14.8	4.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	4.920.3	959.1	3413008.5	3413040.3	31.8	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	5.958.1	1046.3	3413040.3	3413134.5	88.2	82.9	510.0	45.1	41.1	5.5	3.5	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	6.1046.3	1206.0	3413134.5	3413294.2	159.7	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	6.1206.0	1323.7	3413294.2	3413411.9	117.7	131.2	498.0	45.4	40.6	16.4	28.3	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	5.1323.7	1353.1	3413411.9	3413441.3	29.4	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	7.1353.1	2546.5	3413441.3	3414634.7	1193.4	174.3	528.9	44.5	39.8	25.9	15.0	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	6.2546.5	2613.7	3414634.7	3414701.9	67.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	8.2613.7	2874.3	3414701.9	3414962.5	260.5	455.8	529.1	44.3	38.9	12.1	8.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	7.2874.3	2920.5	3414962.5	3415008.7	46.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	9.2920.5	3071.8	3415008.7	3415160.0	151.3	813.1	610.4	44.3	39.1	21.6	15.6	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	8.3071.8	3109.6	3415160.0	3415197.8	37.8	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	10.3109.6	3265.1	3415197.8	3415353.3	155.5	719.9	606.9	44.2	38.9	8.5	8.6	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	2.3265.1	3395.3	3415353.3	3415483.5	130.3	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	11.3395.3	3563.4	3415483.5	3415651.6	168.1	1498.7	598.2	42.2	39.0	10.5	11.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	9.3563.4	3592.8	3415651.6	3415681.0	29.4	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	12.3592.8	3723.1	3415681.0	3415811.3	130.3	1476.3	619.6	43.1	39.8	3.6	12.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	9.3723.1	3874.4	3415811.3	3415962.6	151.3	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	13.3874.4	3996.2	3415962.6	3416094.4	121.9	1271.0	559.3	44.8	39.6	6.4	3.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	10.3996.2	4034.1	3416094.4	3416122.3	27.8	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	14.4034.1	4227.4	3416122.3	3416315.6	193.3	1193.6	553.0	46.8	41.4	10.7	18.2	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	4.4227.4	4311.4	3416315.6	3416399.6	84.0	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	5.4311.4	4433.3	3416399.6	3416521.5	121.9	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	15.4433.3	4740.0	3416521.5	3416828.2	306.7	154.6	506.5	49.6	44.2	13.1	49.4	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	11.4740.0	4815.7	3416828.2	3416903.9	75.6	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	16.4815.7	4988.5	3416903.9	3417046.7	142.9	713.4	493.0	51.0	45.0	26.4	13.8	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	12.4988.5	5000.6	3417046.7	3417088.8	42.0	-	-	-	-	-	-	-	-
20.png	0.0	4455.5	2P5FOKON7I	Crimson	90.9	17.5000.6	5277.3	3417088.8	3417366.1	277.3	707.9	344.7	48.8	42.8	9.2	10.7	-	-

Abbildung 4.1.: Rohdaten einer Eye-Tracking-Studie

Dabei zeigt die Spalte Stimulus, welcher Petri-Netz vorliegt. Participant gibt wieder, zu welchem Probanden diese Daten gehören. Die Farbe ist dazu da, damit bei aggregierten Visualisierungen zwischen den Daten unterschieden werden kann. Event-Duration gibt dabei die Dauer der durchgeführten Augenbewegung an, in diesem Fall Fixationen oder Sakkaden. Dieser stellt für die Analyse eine wichtige Metrik dar. Die Position der Fixationen sind in den Spalten Fixation Position X [px] und Fixation Position Y [px] definiert. In den Rohdaten sind auch die Spalten Saccade Position X und Saccade Position Y enthalten, die die Sakkaden Position ermittelt. Diese Daten sind für die qualitative Datenauswertung und Analyse von großer Relevanz. Die Beispieldaten stammen von 36 Probanden (20 Studenten, 12 Berufstätige und 4 Akademiker). Diese wurden in zwei Gruppen eingeteilt: Anfänger und Fortgeschrittene. Es wurden jedoch die Daten mancher Probanden verworfen, da diese Messfehler aufwiesen und die Visualisierungen nicht korrekt waren. In der eigentlichen Studie wurden vier Modellierungssprachen untersucht, in dieser Arbeit werden aber nur die Daten der Petri-Netze analysiert. Die betrachteten Petri-Netze unterlagen drei Komplexitätsklassen: leicht, mittelschwer und schwer. Die Aufgabe bestand darin, die vorgelegten Prozessmodelle zu untersuchen.

## 4.2. Deskriptive Statistiken

Für die Auswertung der Daten wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen mancher Metriken berechnet. Die Abbildung 4.2 zeigt diese Werte. Dabei wurde bei der Fixationsdauer und Sakkadendauer der Mittelwert der durchschnittlichen Fixationsdauer und auch der durchschnittlichen Sakkadendauer berechnet. An den Daten ist zu sehen, dass das Petri-Netz mit der leichten Komplexität die niedrigste Anzahl an Fixationen hat und Petri-Netz mit der höchsten Komplexitätsstufe die meisten. Daraus lässt sich folgern, dass je komplexer das Petri-Netz, desto höher die Zahlen bei Fixationsanzahl. Die Anzahl der Fixationen gibt Einblicke in die Effizienz des Petri-Netzes. Eine hohe Anzahl der Fixationen gibt die Ineffizienz beim Lösen einer Aufgabe wieder, in diesem Fall beim Betrachten und Verstehen eines Petri-Netzes. Das bedeutet, dass die Probanden Schwierigkeiten hatten, Informationen aus diesem Petri-Netz zu extrahieren. Wird die Fixationsdauer betrachtet, sind keine großen Unterschiede zwischen den drei Komplexitätsklassen zu erkennen. Die höchste durchschnittliche Fixationsdauer besitzt das Petri-Netz 1 (Leicht). Auch kann in der Tabelle abgelesen werden, dass es keine großen Unterschiede zwischen den Petri-Netzen in Bezug auf die Sakkadendauer und Sakkadenamplitude existieren. Der wesentliche Unterschied zwischen den Komplexitätsklassen ist bei der

Petri-Netz	Fixationsanzahl		Fixationsdauer [ms]		Sakkaden Dauer [ms]		Sakkadenampl. [°]		Scanpath [px]	
	M	SA	M	SA	M	SA	M	SA	M	SA
Leicht	106,78	41,96	278,47	82,86	45,47	8,46	6,83	6,58	21688,78	9561,70
Mittelschwer	145,05	56,16	273,28	73,13	42,58	6,26	5,76	4,92	23361,89	11862,85
Schwer	261,36	134,08	223,48	39,48	46,12	5,11	6,92	5,11	54448,19	28463,26

Abbildung 4.2.: Statistiken über die drei Petri-Netze unterschiedlicher Komplexitätsklassen

Länge des Scanpaths zu erkennen. Werden die Werte in Abbildung 4.2 bezüglich der Scanpath Länge verglichen, fällt auf, dass die Differenz zwischen dem leichten und dem mittelschweren Petri-Netz nicht sehr groß ist. Bei dem schwierigen Petri-Netz verdoppelt sich die Zahl jedoch. Somit wird klar, dass das Verstehen des schwierigen Petri-Netzes länger gedauert hat und mehr Schritte benötigt wurden. Daraus kann schlussfolgert werden, dass das Lösen des Petri-Netzes, mit der höchsten Komplexitätsstufe, ineffizient war. Die Gründe dafür können persönliche Eigenschaften der Probanden oder die visuellen Eigenschaften des Petri-Netzes sein. Wird nun die Abbildung 4.3 angeschaut, wird offensichtlich, dass auch hier ein großer Unterschied zwischen den ersten zwei Petri-Netzen und dem schwierigen Petri-Netz existiert. Sowohl die Anzahl der Sakkaden, als auch die der Fixationen sind bei dem schwierigen Petri-Netz deutlich höher. An dieser Abbildung 4.3 ist jedoch auch der Unterschied zwischen den einzelnen Probanden zu betrachten, denn es gibt bei allen drei Diagrammen auch kleinere Säulen, die auf eine niedrige Anzahl an Fixationen und Sakkaden deuten. Daraus folgt, dass die Informationsverarbeitung bei den Probanden unterschiedlich erfolgte. Dies kann verschiedene Gründe haben, die kulturell- oder erfahrungsbedingt sind. Die Abbildung 4.3 (c) zeigt, dass zum dritten Petri-Netz sowohl sehr kleine, als auch sehr große Säulen zu betrachten sind. Das liegt vielleicht daran, dass hier

## 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

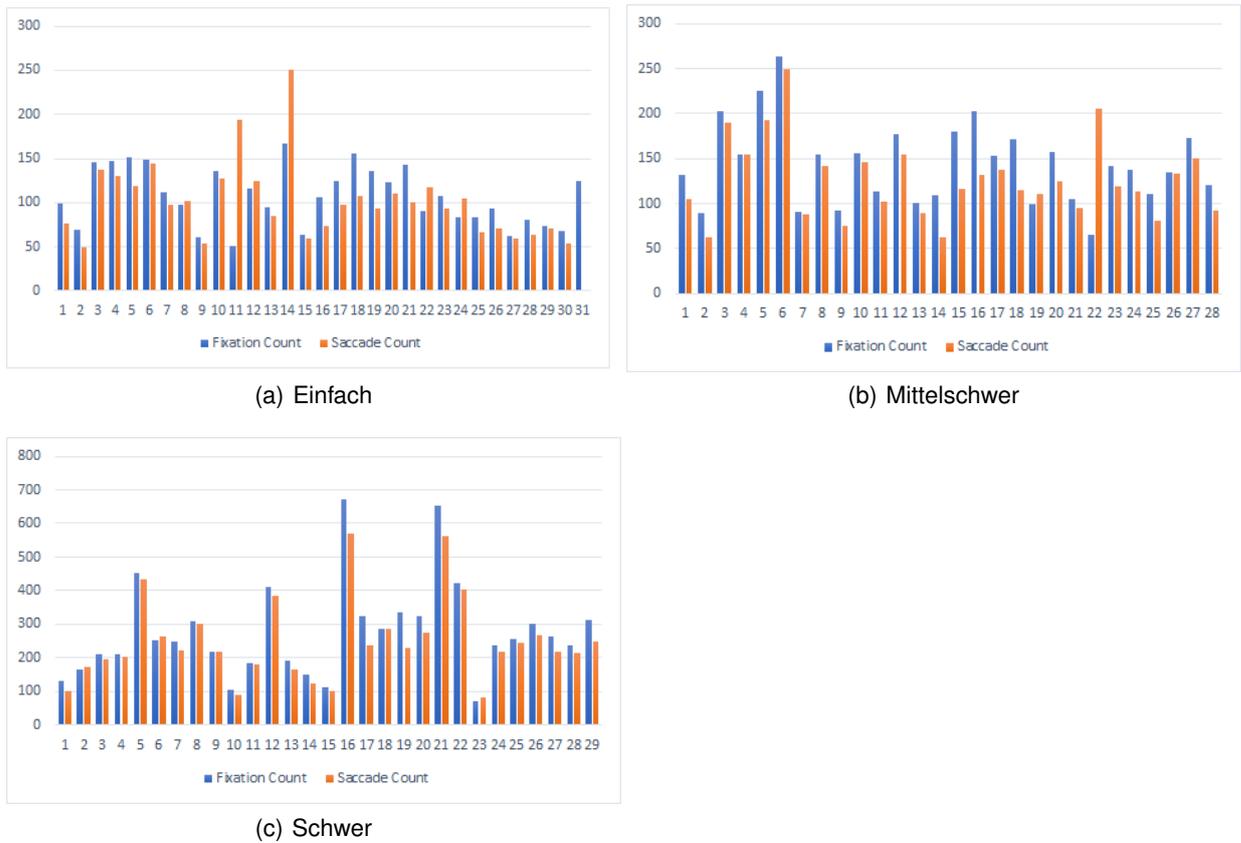


Abbildung 4.3.: Anzahl der Fixationen und Sakkaden der drei Petri-Netze unterschiedlicher Komplexitätsklassen als Säulendiagramm.

von den Probanden, mit niedrigerer Anzahl an Fixationen erkannt wurde, dass es sich um das Philosophenproblem handelt. Es wird also verdeutlicht, dass Erfahrung die kognitiven Prozesse beeinflusst. Im Großen und Ganzen wird jedoch erkannt, dass je komplexer das Petri-Netz, desto höher die Scanpath-Länge und die Anzahl der Fixationen und Sakkaden.

### 4.3. Datenanalyse und Visualisierung

In diesem Kapitel wird die Prozedur der Visualisierung und Analyse erläutert. Anschließend werden die visualisierten Daten interpretiert und eine umfassende Analyse durchgeführt.

#### 4.3.1. Prozedur in Blickshift

Blickshift Analytics ist eine Software, zur Visualisierung und Analyse von Eye-Tracking-Daten. Dazu werden die Rohdaten zunächst angepasst und mit den zugehörigen Stimuli importiert.

#### 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

In Abbildung 4.4 ist die Übersicht zu sehen. Links befinden sich die enthaltenen Szenarios. In diesem Fall ist der Stimulus, das schwierige Petri-Netz: 40.png. Darunter befinden sich die Probanden mit der zugehörigen Farbe. Die Farbe dient zur Unterscheidung der Probanden. Ganz unten befindet sich der Workflow-Explorer. Dieser zeigt an, wie die verschiedenen Knoten den Workflow bilden [9]. Ganz links ist die Spalte Data Sources erkennbar. Hierbei handelt es sich meistens nur um einen Knoten, der die importierten Daten beinhaltet. Anhand dieser können dann mithilfe verschiedener Techniken, die Visualisierungen und Analyse durchgeführt werden. Die mittlere Spalte im Workflow Explorer beinhaltet die Markings. Das heißt, sie geben einen Verweis auf bestimmte Bereiche in den Daten [9]. Die wichtigsten zwei Spalten sind Analyses

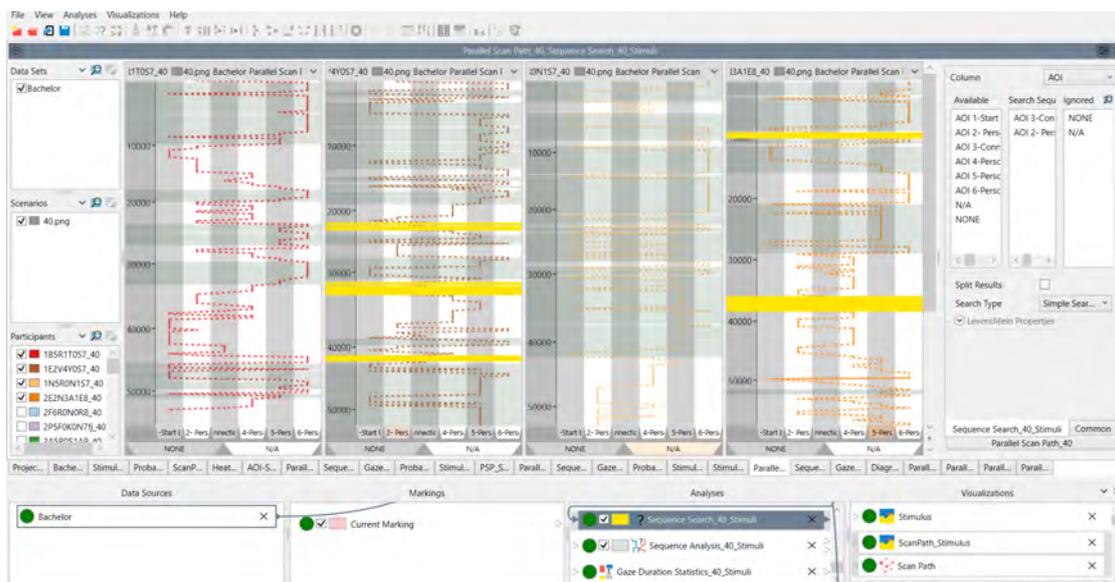


Abbildung 4.4.: Blickshift Analytics: Übersicht der Datenauswertung

und Visualizations. In dieser Arbeit wurden die Heatmaps, Scanpaths und Parallel Scanpaths visualisiert. Für die Analyse wurden folgende Methoden in Blickshift verwendet:

- **AOI Editor:** Mithilfe des AOI-Editors wurden die Areas of Interest festgelegt, die zur weiteren Analyse notwendig sind.
- **Parallel Scanpath:** Der Parallel Scanpath wird anhand der festgelegten AOIs visualisiert. Sie zeigt den zeitlichen Verlauf einer AOI.
- **Sequence Search:** Dieser ist in der Lage, die Stellen zu finden, in denen bestimmte Sequenzen auftreten. Sequence Search ist eine AOI basierte Methode.
- **Sequence Analysis:** Mithilfe der Sequenzanalyse werden Sequenzen gefunden, die mehreren Teilnehmern zugeordnet werden können. Sequence Analysis ist ebenfalls eine AOI basierte Methode.

- **Gaze Duration Statistics:** Gaze Duration Statistics berechnet Statistiken der Blicke auf den AOIs. Dieser kann mit den Statistiken aller Probanden aggregiert werden, sodass ein Überblick über ein Area of Interest gewonnen werden kann.

### 4.3.2. Visualisierung der Beispieldaten

Die Visualisierung dieser Daten hat das Ziel, Muster in den Blickbewegungen zu finden. Daraus folgt, dass erkannt wird, wo die Aufmerksamkeit eines Probanden beim Betrachten von Petri-Netzen liegt. Die Visualisierung erfolgt hauptsächlich als Heatmaps und Scanpaths. Diese werden aggregiert, sodass die Blickpfade aller Probanden in einer Ansicht zu sehen sind. Dabei sind die Scanpaths unübersichtlicher als die Heatmaps. In den Abbildungen 4.5, 4.6 und 4.7 sind die Scanpaths und Heatmaps zu den Petri-Netzen mit steigender Komplexität zu sehen. Es wird sofort deutlich, dass die Probanden alle die gleichen Stellen betrachtet haben, da eine große



Abbildung 4.5.: Petri-Netz 1: Scanpath und Heatmap aller Probanden

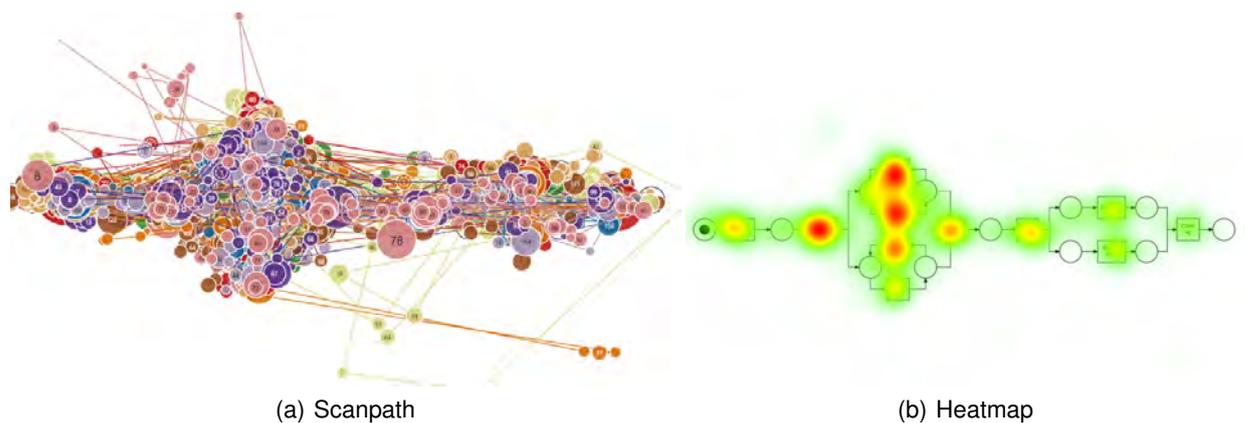


Abbildung 4.6.: Petri-Netz 2: Scanpath und Heatmap aller Probanden

Ansammlung der Fixationen auf den Stimuli hauptsächlich an den gleichen Stellen zu erkennen

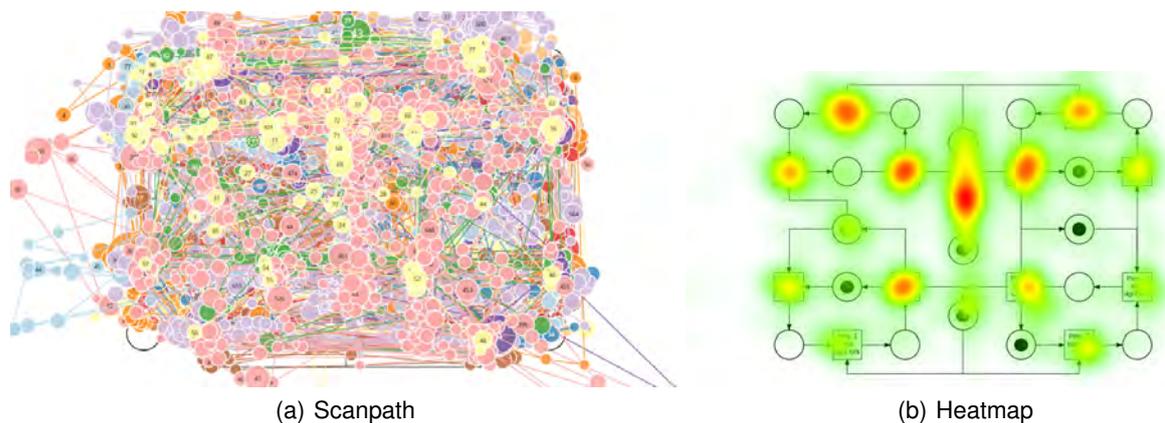


Abbildung 4.7.: Petri-Netz 3: Scanpath und Heatmap aller Probanden

sind. Auf dem Heatmap ist der Fokus der Aufmerksamkeit zu erkennen. Der Farbverlauf zeigt, wie stark eine Stelle betrachtet wurde. Dabei bedeuten rote Stellen, dass eine hohe Aufmerksamkeit an diesen Stellen liegt und grün bedeutet, dass diese Stellen weniger betrachtet wurden. Die Visualisierungen zeigen, dass nach steigender Komplexität auch die Anzahl der Fixationen steigen. Auch kommen mehr rote Stellen in den Heatmaps vor. Das bedeutet, dass sich der Proband mit zunehmender Komplexität mehr konzentrieren muss. Da die Fixationen in den Scanpaths aufeinanderliegen, sind Blickmuster schwer zu erkennen. Deshalb betrachten wir Abbildung 4.8, das den Blickpfad eines Probanden anzeigt. Es ist zu erkennen, dass sich die erste Fixation am Anfang weiter rechts vom Startpunkt befindet. Vermutlich versucht der Proband sich in dieser Phase zu orientieren, da danach ein Blick nach links folgt, diese zweite Fixation hat einen größeren Radius und befindet sich an der ersten Transition. Dieser Vorgang ist bei allen Probanden in den ersten zwei Petri-Netzen zu betrachten. Durch das nähere betrachten der Scanpaths wird auch deutlich, dass sich mehrere Regressionen im Blickverlauf befinden. Unter einer Regression versteht man, einen Rückwärtssprung der Aufmerksamkeit, um Informationen zu verarbeiten. Diese Rücksprünge sind notwendig, um das Verständnis beizubehalten [19]. Sie ermöglichen die Korrektur von falschen Identifizierungen und Interpretationen [19]. Dies bedeutet, dass sich beim Betrachten von Petri-Netzen Augenbewegungen nicht komplett dem Prozessverlauf anpassen. Das heißt, die Augenbewegungen finden nicht nur vorwärts, sondern auch rückwärts statt. Somit werden vorherige Prozessschritte nochmal betrachtet. Laut Winter et al. steigt die Anzahl der Regressionen mit zunehmender Aktivität [50]. Der Vergleich der Scanpaths mehrerer Probanden und die Aggregationen in den Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen, dass die komplexeren Petri-Netze mehr Regressionen beinhalten. Daraus kann schlussfolgert werden, dass eine Regression auch bei Verständnisschwierigkeiten durchgeführt wird [19]. Die Visualisierungen deuten auf ein Muster, der anhand eines Vergleichs zwischen den drei Petri-Netzen identifiziert wurde. Die Anordnung von Petri-Netz 3 unterscheidet sich von den Anordnungen der anderen zwei Petri-Netze. Während Petri-Netz 1 und Petri-Netz 2 von links nach rechts angeordnet sind und den Startpunkt links auf dem Stimulus haben, hat Petri-Netz

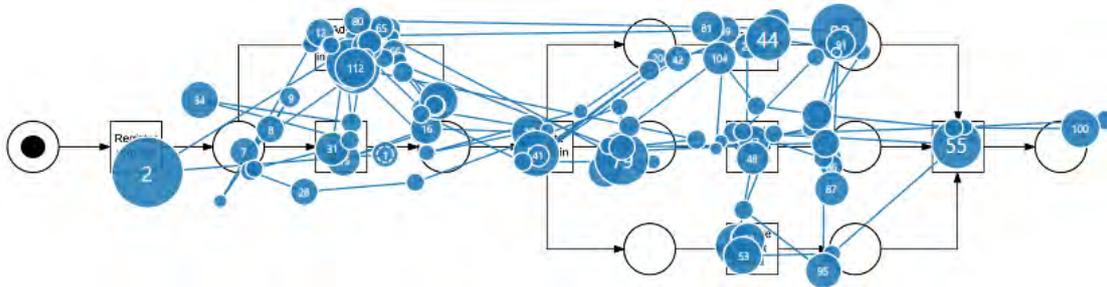


Abbildung 4.8.: Scanpath eines Probanden

drei den Startpunkt in der Mitte. Die Betrachtung der Abbildungen 4.8 und 4.9 zeigt, dass die Probanden den Startpunkt links suchen. Es können zwei verschiedene Gründe dafür existieren, zum einen das kulturbedingte Lesen von links nach rechts und zum anderen die Orientierung an den anderen zwei Petri-Netzen. Die Visualisierung der Daten weisen bereits Muster in allen Petri-Netzen auf. Ein Blickmuster ist, dass die Probanden sich zu Beginn orientieren, das bedeutet sie suchen den Startpunkt des Petri-Netzes. Daraufhin folgt ein Sprung nach rechts. Um das Petri-Netz zu verstehen, führen alle Probanden immer wieder Regressionen durch. Zur Erkennung weiterer Muster werden im Folgenden weitere Analysen durchgeführt.

### 4.3.3. Datenanalyse

Eye-Tracking Daten beinhalten eine Menge von Informationen, die mit der Analyse ausfindig gemacht werden können. Durch die Analyse können Gemeinsamkeiten zwischen den Daten erkannt werden. Für die Mustererkennung stellt die Analyse eine wichtige Rolle dar. Die Analyse erfolgt mittels Gaze Duration Statistics, die Informationen über die Blicke auf den AOIs enthält. Auch werden die Sequence Search und Analysis zur Identifizierung von Sequenzen in den Daten vorgenommen. Dafür müssen die Areas of Interests bestimmt werden. Um diese zu bestimmen, muss zunächst nachvollzogen werden, welche Stellen für das Verständnis eines Petri-Netzes von Bedeutung sind. Nach der Bestimmung der AOIs können daraus die Blickdauer Statistiken (Gaze Duration Statistics) berechnet werden.

#### Gaze Duration Statistiken und Transitionsmatrix

Die Gaze Duration Statistiken geben Informationen über die Dauer der gesamten Fixationen in einem Area of Interest. Die Abbildung 4.10 beinhaltet die definierten Areas of Interests zu dem Petri-Netz mit der leichten Komplexität, die Transitionsmatrizen aller Probanden in einer Matrix und die Gaze Duration Statistiken aller Probanden in einer Tabelle. Die AOIs eines Petri-Netzes sind hauptsächlich Stellen und Transitionen, wie in der Abbildung 4.10 auch zu erkennen ist. Die Gaze Duration Statistik beinhaltet die totale, normale, maximale, minimale und durchschnittliche

#### 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

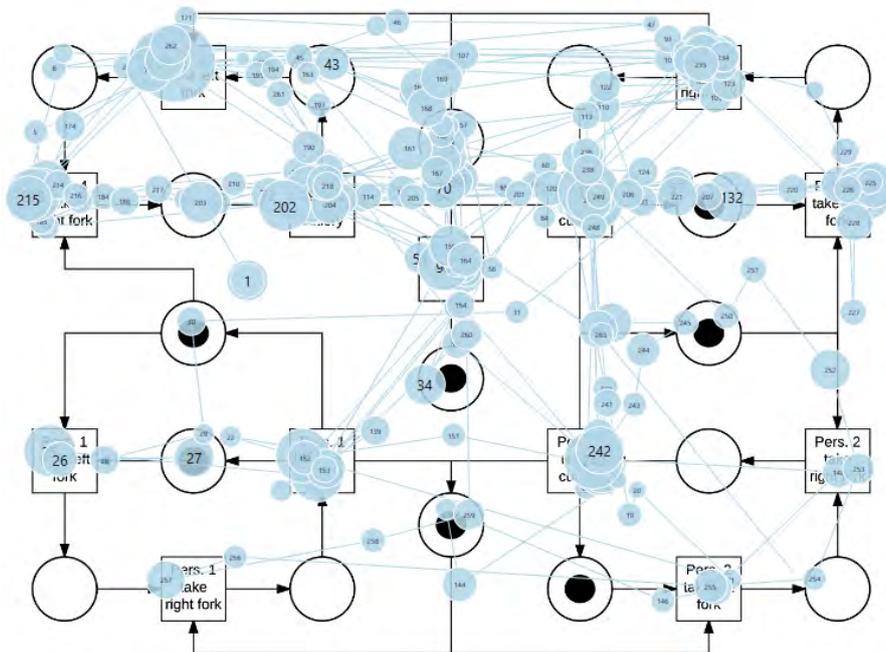


Abbildung 4.9.: Scanpath eines Probanden zu dem komplexen Petri-Netz

Blickdauer in Sekunden auf diesen AOIs. Außerdem zählt es auch die Blicke in diesen Bereichen und die Zeit, in der die erste Fixation an diesen Stellen stattgefunden hat. Gaze Count gibt wieder, wie viele Probanden diese Bereiche angeschaut haben. Im leichten Peri-Netz wurden alle Areas Of Interest von allen Probanden betrachtet. An den Daten ist zu sehen, dass AOI2, AOI5 und AOI1 am längsten und auch am meisten betrachtet wurden. AOI2 hat jedoch eine viel höhere Anzahl an Blicken. Dies könnte bedeuten, dass die Probanden Schwierigkeiten hatten diese Stelle zu verstehen. Die Transitionsmatrix gibt die Anzahl an Übergängen von einer AOI zu einer anderen. Die Betrachtung der Transitionsmatrix zeigt, dass ein Wechsel zwischen AOI1 und AOI2 relativ häufig vorgekommen ist. Außerdem fand auch ein Wechsel von AOI2 auf AOI3 oft statt. Der Grund für diese häufigen Wechsel könnte auf die visuelle Suche deuten. Das bedeutet, dass die Probanden an dieser Stelle Verknüpfungen gesucht haben könnten, um das Petri-Netz besser zu verstehen. Womöglich deutet dies auch auf kognitive Schwierigkeiten, die bei der Verarbeitung dieser Informationen aufgetaucht sind. In den Gaze Duration Statistiken ist zu sehen, dass die Zeit zu der ersten Fixation nicht dem Verlauf des Prozesses folgt, so findet die erste Fixation auf AOI2 statt und nicht auf AOI1. Dies deutet womöglich wieder auf die Orientierung zu Beginn der Betrachtung. Das Anschauen der Abbildung 4.10 zeigt auch, dass AOI5 vor AOI4 betrachtet wird. Der Grund dafür ist womöglich, dass AOI5 sich auf derselben Linie wie AOI3 befindet und die Aufmerksamkeit automatisch dahin gelenkt wird. Es sind keine großen Unterschiede zwischen den Werten des ersten und zweiten Petri-Netzes zu erkennen. Abbildung 4.11 zeigt, dass bei der mittleren Komplexität ebenfalls manche AOIs länger betrachtet wurden als andere. Mit ca. 352 Sekunden wurde AOI3 am längsten betrachtet. Auf

#### 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

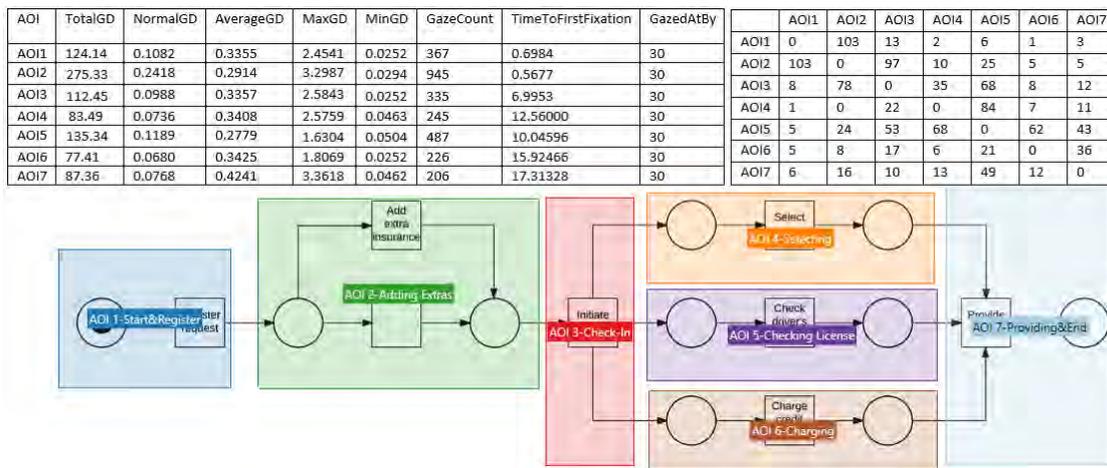


Abbildung 4.10.: Petri-Netz 1 (Einfach): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den definierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration

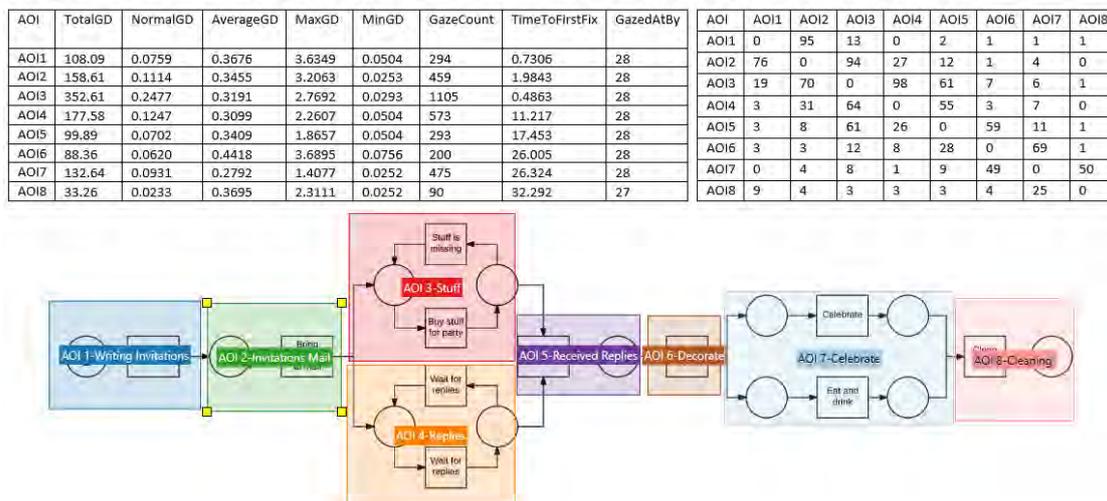


Abbildung 4.11.: Petri-Netz 2 (Mittel): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den definierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration

diesen folgt AOI4 mit ca. 177 Sekunden. Bei diesen AOIs handelt es sich um Iterationen. AOI7 beträgt ebenfalls eine höhere Blickdauer. Bei AOI7 handelt es sich um einen nebenläufigen Schritt. Daraus lässt sich ableiten, dass Probanden bei verschiedenen Ablaufstrukturen die AOIs länger betrachten, als bei einer aufeinanderfolgenden Anordnung der Transitionen. An der Transitionsmatrix lässt sich erkennen, dass ein Wechsel von AOI1 zu AOI2 und von AOI2 zu AOI3 oft vorkommt, sowie ein Wechsel von AOI3 zu AOI4. Die kontinuierlichen Wechsel zwischen den Areas of Interest verdeutlichen noch einmal, dass bei der Beobachtung von Petri-Netzen viele Regressionen stattfinden, die Missverständnisse und Fehlinterpretationen verhindern sollen. In

#### 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

Abbildung 4.12 ist das Petri-Netz der höchsten Komplexitätsstufe zu erkennen. Die Schwierigkeit dieses Petri-Netzes wird auch anhand der Daten offensichtlich. Denn die Dauer und auch die Anzahl der Blicke sind hier deutlich höher als bei den anderen Petri-Netzen. AOI3 hat die niedrigste Anzahl mit 284 Blicken und es besteht eine große Differenz zu den anderen AOIs. Der Grund dafür ist womöglich, dass in diesem Bereich nicht viele Informationen enthalten sind. Hier ist an den Daten auch zu erkennen, dass sich die erste Fixation auf AOI6 befindet. Dieser befindet sich links, das heißt die Probanden haben sich an den früheren Petri-Netzen orientiert und den Startpunkt links gesucht. Die Transitionsmatrix bringt den hohen Wechsel von AOI1 zu AOI5 und AOI6 hervor und umgekehrt findet ebenfalls ein mehrfacher Wechsel statt. Diese Daten verdeutlichen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Petri-Netzen unterschiedlicher Komplexitätsklassen. Es kann abgeleitet werden, dass sich keine großen Unterschiede bei den durchschnittlichen, maximalen und minimalen Blickdauern befindet. Es sind aber Unterschiede bei der Anzahl der Blicke zu erkennen, denn je komplexer das Petri-Netz, desto höher die Anzahl der Blicke und auch die gesamte Blickdauer. Übrigens wird sichtbar, dass sich bei allen Petri-Netzen viele Regressionen befinden, die auch das Verständnis des Petri-Netzes erleichtern. Es wird die Annahme konkludiert, dass bei allen drei Petri-Netzen verschiedene Ablaufstrukturen länger und mehr betrachtet werden. Bei diesen resultieren auch vielmalige Wechsel zwischen den AOIs.

AOI	TotalGD	NormalGD	AverageGD	MaxGD	MinGD	GazeCount	TimeToFirstFix	GazedAtBy
AOI 1	299.11	0.1266	0.2335	2.0759	0.0294	1281	3.2246	29
AOI 2	319.71	0.1354	0.2551	2.5885	0.0504	1253	6.9590	28
AOI 3	58.79	0.0249	0.2070	0.9539	0.0504	284	22.159	28
AOI 4	277.41	0.1175	0.2395	1.8111	0.0504	1158	11.717	29
AOI 5	401.85	0.1701	0.2557	1.7649	0.0336	1571	3.1779	29
AOI 6	454.04	0.1922	0.2590	2.1136	0.0252	1753	0.3648	29

AOI	AOI1	AOI2	AOI3	AOI4	AOI5	AOI6
AOI1	0	48	41	35	173	196
AOI2	57	0	54	86	7	82
AOI3	47	57	0	69	1	4
AOI4	53	73	77	0	89	12
AOI5	167	10	3	104	0	132
AOI6	174	89	3	10	147	0

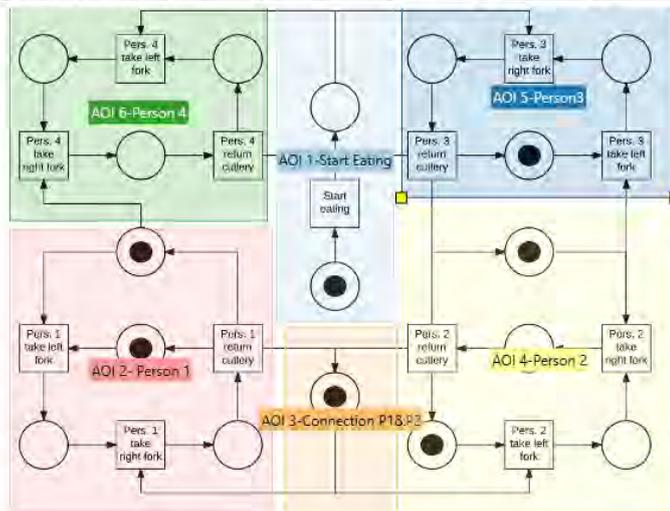


Abbildung 4.12.: Petri-Netz 3 (Schwer): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den definierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration

### Muster der Aufmerksamkeit

Das Finden von Blickmustern und Ähnlichkeiten zwischen den Augenbewegungen verschiedener Probanden ist für das Verständnis bei Strategien der Aufgabenlösung und Hindernissen sehr hilfreich. Zur Erkundung solcher Muster wurde eine Sequenzanalyse durchgeführt. Die Sequenzanalyse ist in der Lage Sequenzen zu finden, die bei allen Teilnehmern erscheinen. Die Resultate zu dem leichten Petri-Netz sind in der Tabelle 4.1 zu erkennen. Anhand dieser Sequenz können

#### Sequenz 0

AOI2  
AOI1  
AOI2

Tabelle 4.1.: Petri-Netz 1 (Leicht): Ergebnisse der Sequenzanalyse

bereits zwei Muster der Aufmerksamkeit extrahiert werden. Abbildung 4.10 zeigt, dass AOI1 den Startpunkt enthält und AOI2 sich weiter rechts von AOI1 befindet. Somit kann schlussfolgert werden, dass es sich hierbei um ein Orientierungsmuster [50] handeln könnte. Das bedeutet, dass eventuell die Probanden zu Beginn den Startpunkt gesucht haben und dann weiter dem Prozessverlauf gefolgt sind. Es könnte sich aber auch um Regressionen handeln, die für das Verständnis von großer Bedeutung sind. Somit kann diese Sequenz auch die Bedeutung tragen, dass Probanden immer wieder Rückwärtssprünge der Aufmerksamkeit durchführen. Solche Rückwärtssprünge können hochrangige Prozesse der visuellen Informationsverarbeitung widerspiegeln. In Tabelle 4.2 sind die Sequenzen des mittelschweren Petri-Netzes zu erkennen. Im Gegensatz zu der Tabelle 4.1 kommen hier fast alle vorhandenen AOIs in den Sequenzen vor. Zusätzlich sollte erläutert werden, dass die in den Sequenzen vorkommenden AOIs keiner sequentiellen Anordnung folgen. Diese beinhalten auch komplexere Ablaufstrukturen. Abbildung 4.9 lässt erkennen, dass bei dem komplexeren Petri-Netz die Suche nach dem Startpunkt länger gedauert hat. Der Grund dafür ist, dass der Proband diesen Links sucht, da es bei den zwei

<u>Sequenz 0</u>	<u>Sequenz 1</u>	<u>Sequenz 2</u>	<u>Sequenz 3</u>
AOI2	AOI1	AOI4	AOI6
AOI3	AOI2	AOI5	AOI7

Tabelle 4.2.: Petri-Netz 2 (Mittel): Ergebnisse der Sequenzanalyse

<u>Sequenz 0</u>	<u>Sequenz 1</u>	<u>Sequenz 2</u>	<u>Sequenz 3</u>
AOI6	AOI5	AOI1	AOI1
AOI5	AOI1	AOI5	AOI6

Tabelle 4.3.: Petri-Netz 3 (Schwer): Ergebnisse der Sequenzanalyse

anderen Petri-Netzen der Fall war. Bei diesem Petri-Netz befindet sich der Startpunkt aber in der Mitte. Somit wird gezeigt, dass Erfahrung und Wiedererkennung bei der Betrachtung von Petri-Netzen wichtig sind und die Probanden sich danach richten. Die Tabelle 4.3 zeigt die

Sequenzen für das komplexe Petri-Netz. Auch hier wird anhand Sequenz 1 und 2 offensichtlich, dass sich Regressionen in den Sequenzen befinden. Die Daten zeigen, dass bei allen Petri-Netzen mindestens einer der Sequenzen das AOI1 beinhaltet. Dieser beinhaltet immer den Startpunkt. Außerdem wird auch deutlich, dass hauptsächlich Sequenzen mit AOIs auftreten, in denen eine Iteration oder Nebenläufigkeit vorkommt. Durch die Auswertung und Analyse dieser Daten lassen sich insgesamt fünf Muster der Aufmerksamkeit ableiten, von denen manche auch in anderen Arbeiten identifiziert wurden [50, 12].

- **Orientierungsmuster:** Dieses Muster beschreibt die Orientierungsphase. In dieser Phase versuchen sich die Teilnehmer zu orientieren, das bedeutet, sie versuchen Anhaltspunkte in dem Petri-Netz zu finden. Die Probanden versuchen in dieser Phase den Startpunkt zu identifizieren, um den Prozess verstehen zu können. Der Startpunkt dient als ein Stützpunkt, an dem die Aufmerksamkeitssteuerung auf weitere Elemente beginnen kann [50]. Die Phase kann mittels langen Sakkaden und kürzeren Fixationen charakterisiert werden. Das bedeutet, dass einige Probanden in dieser Phase das Petri-Netz nur überfliegen, um sich einen groben Überblick zu verschaffen. Dabei handelt es sich um ein schnelles Lesemuster, welches Skimming genannt wird [18]. Das Orientierungsmuster ist bedeutend für das weitere Verständnis der Petri-Netze.
- **Verständnismuster:** Dieses Muster beschreibt den Prozess des Verstehens. Dass der Proband sich näher mit dem Petri-Netz und den darin enthaltenen Informationen beschäftigt, ist an der Fixationsdauer zu erkennen. In Abbildung 4.8 und 4.9 sind Scanpaths zu erkennen. Dabei fällt auf, dass sich darauf sowohl Fixationen mit kleinerem Radius (kurze Fixationsdauer) als auch Fixationen mit größerem Radius (längerer Fixationsdauer) befinden. Die Fixationen mit der längeren Dauer deuten auf die visuelle Aufmerksamkeit in diesem Bereich. Das bedeutet, die kognitiven Prozesse, somit auch die Informationsverarbeitung findet in diesen Bereichen statt. Die kürzeren Fixationen deuten, wie im Orientierungsmuster bereits erwähnt, auf das Überfliegen des Petri-Netzes. Übrigens ist auch ersichtlich, dass die Sakkaden und die Sakkadenamplituden in diesem Muster kürzer sind [50]. Kürzere Sakkadenamplituden in einem Bereich weisen auf erhöhte Komplexität und auch auf die visuelle Aufmerksamkeit in diesem Bereich. In dieser Phase sind auch viele Regressionen zu erkennen, da die Aufmerksamkeit von einem AOI zum anderen gesteuert wird, um das Verständnis zu ermöglichen. Die Steuerung der Aufmerksamkeit innerhalb der AOIs ist auch an den Transitionsmatrizen in den Abbildungen 4.10, 4.11 und 4.12 zu erkennen.
- **Muster der Ablaufstruktur:** Dieses Muster beschreibt hauptsächlich das Auftreten mehrerer und längerer Fixationen auf bestimmten Bereichen. Diese Bereiche beinhalten meistens komplexere Ablaufstrukturen, die die Informationsverarbeitung erschweren. Die Abbildung 4.11 gibt wieder, dass Bereiche mit Iterationen und parallelen Abläufen länger betrachtet werden, als Bereiche mit sequentiellen Abläufen. Dieses Muster ist auch in Abbildung 4.10 zu sehen, denn auch dort wird das AOI 2, das die Ablaufstruktur *Alternative* beinhaltet,

länger betrachtet. An diesen Stellen werden häufig auch Regressionen identifiziert, da der Proband versucht diese Bereiche zu verstehen. Diese sind bedeutend für das Verständnis der Petri-Netze. Anhand dieses Musters ist auch zu erkennen, dass einfache und sequentiell angeordnete Petri-Netze, auch wenn diese Verzweigungen und somit verschiedene Ablaufstrukturen enthalten, einfacher zu verstehen sind, als Petri-Netze mit anderer Anordnung, wie z.B. das in Abbildung 4.12 enthaltene Petri-Netz.

- **Wiedererkennungsmuster:** Hierbei handelt es sich um ein Muster, der sich auf Auffälligkeiten und bereits bekannte Objekte beschränkt. Es wird deutlich, dass in den Petri-Netzen (siehe Abbildung 4.8), die Transitionen öfter und länger betrachtet werden, als Stellen. Das liegt daran, dass die Transitionen mehr Informationen beinhalten. Außerdem ist an dem Scanpath, sowohl in Abbildung 4.8 als auch in 4.9 zu sehen, dass hauptsächlich die Bereiche auf dem Stimulus betrachtet werden, die auch Stellen und Transitionen beinhalten. Das bedeutet der Proband erkennt, dass es sich bei diesem Stimulus um ein Petri-Netz handelt und konzentriert sich nur auf die wichtigen Bereiche. Dieses Muster basiert auf die Scanpath-Theorie von Yarbus, Noton und Stark [17]. Dieser besagt, dass die Augenbewegungen, von den im Gehirn vorhandenen kognitiven Modellen gelenkt werden. Somit werden Sequenzen von Fixationen und Sakkaden erzeugt, die sie als Scanpaths bezeichnen. Diese Sequenzen aus Fixationen und Sakkaden erleichtern die Wiedererkennung des Stimulus und in diesem Fall des Petri-Netzes. Das Wiedererkennungsmuster wird auch an dem Petri-Netz mit der höchsten Komplexitätsstufe erkennbar, denn bei diesem sind große Unterschiede bezüglich der Fixationsanzahl zwischen den Probanden zu erkennen. Wenn die Zusammenfassung in A.12 näher beobachtet wird, wird offensichtlich, dass die maximale Anzahl der Fixationen 673 Fixationen beträgt und die minimale 72 Fixationen. Somit wird deutlich, dass manche Probanden zum Verständnis und Verarbeitung länger gebraucht haben als andere. Das lässt sich dadurch erklären, dass dieses Petri-Netz ein Problem der theoretischen Informatik aufweist, nämlich das Philosophenproblem. Somit ist es möglich, dass der Proband mit 72 Fixationen dieses Problem wiedererkannt hat. Verallgemeinert lässt sich dazu also sagen, dass die niedrige Anzahl an Fixationen ein Faktor für die Wiedererkennung darstellen könnte.
- **Richtungsmuster:** Bei der Betrachtung der Parallel Scanpaths wurden auch Betrachtungsmuster von links nach rechts entdeckt, siehe Abbildung 4.13. Das bedeutet, dass trotz auftretender Regressionen die Aufmerksamkeit hauptsächlich von links nach rechts dem Prozessverlauf folgt und zum Schluss wieder zum Startpunkt zurückkehrt. Die Abbildung 4.13 zeigt die Parallel Scanpaths (PSP) von drei Probanden. Alle haben eine ähnliche Struktur, mit Unterschieden bezüglich des zeitlichen Verlaufs. Der Proband mit dem mittleren PSP hat den niedrigsten zeitlichen Verlauf und der rechte den längsten. Es ist also offensichtlich, dass der in der Mitte das Petri-Netz am kürzesten betrachtet hat, somit wahrscheinlich auch in kürzester Zeit verstanden hat.

#### 4. RETROSPEKTIVE DATENAUSWERTUNG

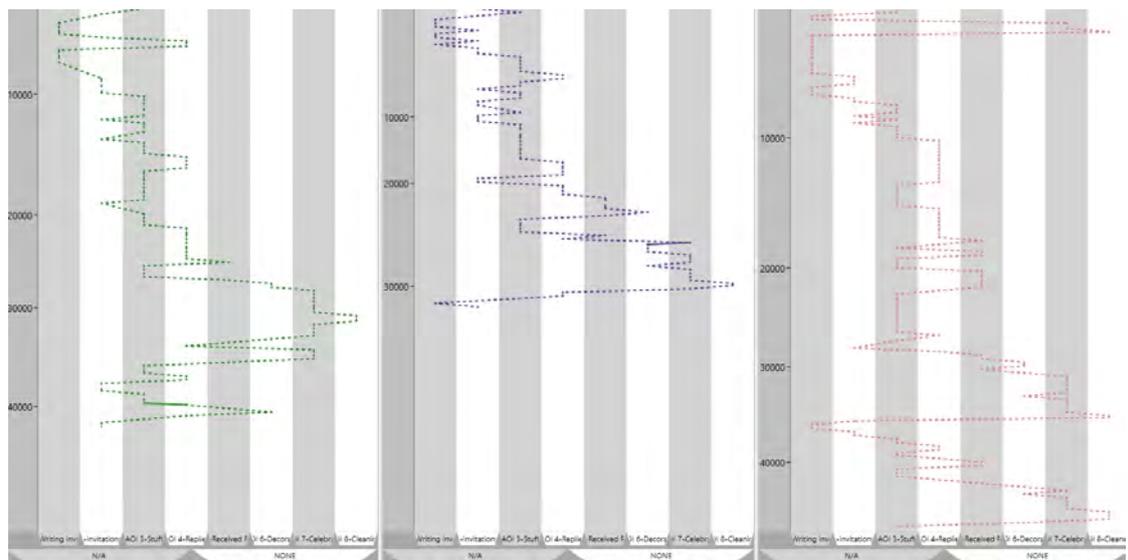


Abbildung 4.13.: Parallel Scanpaths von drei Probanden beim Betrachten des mittelschweren Petri-Netzes

Es sollte aber beachtet werden, dass die Informationsverarbeitung dennoch von Proband zu Proband unterschiedlich ist. Persönliche Eigenschaften einer Person können das Betrachten und Verstehen eines Petri-Netzes beeinflussen. Erfahrene Probanden schneiden bezüglich des Verstehens der Prozessmodelle, somit auch Petri-Netze besser ab als Unerfahrene [54].

## 5. Diskussion

Petri-Netze modellieren Geschäftsprozesse und sind deshalb bedeutend für die Geschäftsprozessmodellierung. Aus diesem Grund sollten Petri-Netze leicht verständlich sein und komplexe Strukturen vermeiden. In dieser Arbeit wurden Muster identifiziert, die beim Betrachten von Petri-Netzen auftauchen können. Anhand dieser Muster wird womöglich eine effizientere Modellierung mittels Petri-Netzen ermöglicht. Die in Kapitel 4.2 durchgeführte Deskriptive Statistik zeigt, dass komplexere Modelle mehr Fixationen und längere Scanpaths hervorrufen als weniger komplexe. Somit wird deutlich, dass die Komplexität eines Stimulus die kognitiven Prozesse einer Person beeinflusst. Anhand der Gaze Duration Statistiken, die in Kapitel 4.3.3 vorgeführt werden, erkennt man, dass die Aufmerksamkeit auf die komplexen Stellen in einem Petri-Netz gesteuert wird. Übrigens sind immer wieder Rücksprünge der Aufmerksamkeit zu erkennen, diese sollen Fehlinterpretationen verhindern und Verstehen des Petri-Netzes erleichtern. Die Auswertung und Analyse zeigte, dass zu Beginn die Aufmerksamkeit auf einen Anhaltspunkt gesteuert wurde. In diesem Fall handelt es sich um den Startpunkt des Petri-Netzes. Ein weiteres Muster wurde infolgedessen entdeckt, nämlich, dass sich die Augen vom Startpunkt aus immer nach rechts bewegten. Die Analyse der Daten zeigte auch verschiedene Modelle der Aufmerksamkeit, wie zum Beispiel Starks, Notons und Yabus Scanpaths-Theory, die sich hier auf die Wiedererkennung der Objekte eines Petri-Netzes bezog. Bei der Betrachtung und Analyse dieser Muster müssen jedoch bestimmte Faktoren betrachtet werden. Denn diese Muster können sich nach den persönlichen Eigenschaften eines Probanden unterscheiden. Kulturelle Hintergründe sorgen zum Beispiel für das Muster der Betrachtung von links nach rechts. Außerdem ist es auch wichtig zu erwähnen, dass die Erfahrung mit Petri-Netzen ein wichtiger Punkt ist. Während zum Beispiel bei Erfahrenen weniger Verständnisprobleme auftreten, haben Anfänger größere Schwierigkeiten. Dabei sind auch die kognitiven Prozesse unterschiedlich. Bei einem erfahrenen Probanden können Informationen aus dem Langzeitgedächtnis hervorgerufen werden, die das Verständnis erleichtern. Dadurch können irrelevante Aspekte ignoriert werden und somit dauert der Prozess des Verstehens um einiges kürzer als bei einem Anfänger. Dennoch ist es von Vorteil solche Muster zu identifizieren, denn somit können, bei der Modellierung von Petri-Netzen, erkannte Strategien angewandt werden. Daraus resultieren dann verständlichere Petri-Netze. Anschließend folgt eine effizientere Bearbeitung der Petri-Netze. Auch können die Schwierigkeiten eines Petri-Netzes identifiziert werden. In dieser Arbeit wurde herausgestellt, dass Ablaufstrukturen, die sich von der sequentiellen Struktur unterscheiden, von Betrachtern eine größere Aufmerksamkeit bekommen. Das deutet darauf hin, dass an solchen Bereichen die Informationsverarbeitung, somit die kognitiven Prozesse länger andauern. Es folgt also, dass in dieser Arbeit 5 Muster der Aufmerksamkeit identifiziert worden sind, die alle stark zusammenhängen. Zu Beginn erscheint

bei allen Probanden dasselbe Muster, nämlich das Orientierungsmuster, die das Finden des Startpunktes als Ziel verfolgt. Danach beginnt das Verstehen der Petri-Netze, in dieser Phase finden viele Regressionen statt. Das Ablaufstruktur-Muster zeigt, wie komplexere Ablaufstrukturen von Probanden wahrgenommen und verarbeitet werden. Also wie die Aufmerksamkeit in diesem Bereich gelenkt wird. Das Wiedererkennungsmuster ermöglicht den Probanden, nur die für das Petri-Netz wichtige Stellen in dem Stimulus zu betrachten. Durch die Betrachtung des schwierigen Petri-Netzes wird verdeutlicht, dass das Wiedererkennungsmuster stark von der Erfahrung der Probanden abhängt. Das schwierige Petri-Netz weist nämlich das Philosophenproblem auf. Die Probanden, die das Problem nicht kennen, werden es in diesem Petri-Netz nicht wiedererkennen können. Dadurch wird sich die Informationsverarbeitung erschweren. Das letzte Muster ist hauptsächlich ein kulturell bedingtes Muster, das Betrachten von links nach rechts. Hier ist aber zu erwähnen, dass nicht kontinuierlich von links nach rechts betrachtet wird, sondern dass auch Rücksprünge der Blicke, also der Aufmerksamkeit erfolgen. Das Herausarbeiten dieser Muster hatte das Ziel, die Aufmerksamkeit einer Person beim Betrachten von Petri-Netzen zu identifizieren und zu analysieren. Diese Muster bringen viele Vorteile mit sich. Zum einen decken sie die kognitiven Prozesse bei der Betrachtung von Petri-Netzen auf und zum anderen sorgen diese für Identifizierung bestimmter Strategien beim Betrachten von Petri-Netzen. Diese können die Prozessmodellierung positiv beeinflussen. Die erkannten Strategien könnten bei der Prozessmodellierung miteinbezogen werden. Zudem könnten die in den Mustern erkannte Schwierigkeiten, beim Verstehen von Petri-Netzen, bei der Prozessmodellierung berücksichtigt und vermieden werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Analyse der Aufmerksamkeitsmuster das Potenzial besitzt, die Modellierung der Petri-Netze und das Verständnis dieser Netze zu verbessern. Es ist wichtig zu erwähnen, dass die Arbeit mit einschränkenden Faktoren konfrontiert ist. Diese sollten in zukünftigen Studien berücksichtigt werden. Zum einen sind keine Informationen zu dem Wissensstand der Probanden über Petri-Netze enthalten. Es sind auch keine Auskünfte über die Stimmung der Probanden enthalten. Dies könnte jedoch die Ergebnisse der Auswertung beeinflussen. Betrachtet zum Beispiel ein Proband einmal das Petri-Netz, wenn er müde ist und ein anderes Mal, wenn er nicht müde ist, werden sich womöglich Unterschiede in den Daten zeigen. Das bedeutet, die Faktoren, die die kognitiven Prozesse einer Person beeinflussen, sollten berücksichtigt werden. Darüber hinaus lassen sich gewisse Muster nicht auf alle Schreib- und Leserichtungen anwenden. In dieser Arbeit wird die rechtsläufige Schreib- und Leserichtung betrachtet. Ebenso sind die in dieser Arbeit vorgelegten Petri-Netze im Gegensatz zu Petri-Netze der realen Welt um einiges einfacher. Somit können die Ergebnisse nur eingeschränkt verallgemeinert werden [50]. Die Ergebnisse dieser Arbeit können anhand weiterer Datenerfassungen mit Betrachtung dieser Einschränkungen erweitert werden. Somit wird ermöglicht präzisere Schlüsse zu ziehen.

## 6. Verwandte Arbeiten

Eye-Tracking, Petri-Netze, Prozessmodelle und visuelle Kognition und die Verknüpfung dieser wird in vielen Arbeiten betrachtet. Dabei behandeln diese Arbeiten verschiedene Schwerpunkte. Während [11, 23, 7, 6, 16] sich auf die Visualisierung, Analyse und Gruppierung von Eye-Tracking Daten konzentriert, behandeln die Autoren der Arbeiten [15, 51, 35] die Petri-Netze. Sydow beschreibt in seiner Arbeit verschiedene Methoden zur Auswertung von Eye-Tracking-Daten [46]. Die Visualisierung von Eye-Tracking-Daten mit Betrachtung der AOIs wird in der Arbeit von Strohmaier behandelt [45]. Die Verknüpfung von Eye-Tracking und Prozessmodellen verfolgt in fast allen Arbeiten dasselbe Ziel: kognitive Prozesse bei Verständnis von Prozessmodellen erkennen. Die Arbeiten [48, 40, 37, 36, 54, 55, 52, 53, 49] beschäftigen sich mit der Kognition beim Prozessmodellverständnis, um aus den erhaltenen Resultaten bessere Prozessmodelle erstellen zu können. [14] untersucht den Prozess der Prozessmodellierung und analysiert die Daten, die sich auf die Blickverfolgung beziehen. Es werden Muster in der Modellierungsphase untersucht. Auch in [38] werden Muster in der Prozessmodellierung durchsucht, um das Verständnis und die Kognition bei der Modellierung festzustellen. Der Hauptbeitrag des Papers [24] beschreibt eine Methode, zur Identifizierung und Visualisierung des Verhaltens einer Person als Lesemuster. Noch dazu behandelt [2] die Augenbewegungsmuster beim Lesen, die aus schnellen horizontalen Sakkaden besteht. Dieser Beitrag analysiert solche Augenbewegungsmuster bei gewöhnlichem Lesen. Der visuelle Vergleich von Blickmustern erfolgt in [8]. In [50] steht die Entwicklung von Blickmustern bei Prozessmodellverständnis und die Entdeckung visueller Routinen in Prozessmodellen mit verschiedenen Mappings im Fokus. Das Ziel dabei ist, das Prozessmodellverständnis zu unterstützen, um somit bessere und verständlichere Prozessmodelle zu erzeugen. Es wird schnell deutlich, dass sich diese Arbeiten hauptsächlich auf die Aufmerksamkeit bei allgemeinen Prozessmodellen oder der Prozessmodellierung beziehen. Es existieren nicht viele Arbeiten, die Aufmerksamkeitsmuster und die dabei entstehenden kognitiven Prozesse bei der Betrachtung von Petri-Netzen untersuchen. Diese Arbeit hebt sich also von den anderen Arbeiten in diesen Punkten ab. In dieser Arbeit werden anhand von Eye-Tracking-Daten, die bei der Betrachtung von Petri-Netzen erfasst wurden, mithilfe verschiedener Methoden analysiert. Durch die Auswertung und Analyse dieser Daten werden Aufmerksamkeitsmuster identifiziert. Dabei werden auch die kognitiven Prozesse berücksichtigt und erläutert, durch die diese Muster entstanden sind. Die erkannten Muster und Strategien können bei der Modellierung an die Petri-Netze angepasst werden. Somit führt diese Arbeit zu einer verbesserten Petri-Netz-Modellierung und somit auch zum besseren Verständnis der Petri-Netze.

# 7. Fazit

## 7.1. Zusammenfassung

Das Thema Petri-Netze verknüpft mit der Aufmerksamkeit umfasst einen sehr großen und wichtigen Bereich. Diese Arbeit soll einen Einblick in diesen Bereich ermöglichen. In dieser Arbeit wurden anhand von Eye-Tracking Daten Muster der Aufmerksamkeit bei der Betrachtung von Petri-Netzen behandelt. Um ein besseres Verständnis zu erhalten, wurden die Grundlagen der Petri-Netze, Augenbewegungen und die kognitiven Prozesse behandelt. Auch wurden die verschiedenen Eye-Tracking-Methoden und Metriken näher erläutert. Eye-Tracking bietet in vielen Bereichen große Vorteile. Anhand von Eye-Tracking können die Blickbewegungen einer Person erfasst werden. Somit wird die Untersuchung der Aufmerksamkeit beim Betrachten von Petri-Netzen ermöglicht. Die erfassten Daten wurden mithilfe verschiedener Techniken visualisiert und anschließend analysiert. Dabei wurden Areas of Interest definiert, die für das Verstehen von den gegebenen Petri-Netzen von großer Relevanz sind. Außerdem beinhalten diese Bereiche die höchste Aufmerksamkeit. Aus dieser Analyse wurden Muster identifiziert, die beim Betrachten von Petri-Netzen auftauchen können. Damit war es möglich, die Aufgabenlösungsstrategien der Beobachter zu identifizieren. Es können anhand der Muster und der Aufmerksamkeitsanalyse die Schwierigkeiten beim Betrachten von Petri-Netzen lokalisiert werden. Die aus der Analyse gewonnenen Resultate ermöglichen die Verbesserung der Petri-Netz-Modellierung. Zudem können die kognitiven Prozesse einer Person bei der Betrachtung von Petri-Netzen nachvollzogen werden. Zum Schluss ist zu erwähnen, dass die Analyse dieser Aufmerksamkeitsmuster viele Vorteile mit sich bringen kann und auch für weitere Arbeiten von Relevanz sein könnte.

## 7.2. Ausblick

In Zukunft können die persönlichen Eigenschaften bei der Analyse von Aufmerksamkeitsmuster mit einbezogen werden. Außerdem können Aufmerksamkeitsmuster anhand verschiedener Fragen zu den Petri-Netzen identifiziert werden. Es wäre auch interessant zu wissen, wie viele Erfahrungen eine Person mit Petri-Netzen hat, da sich dann womöglich Unterschiede in den Aufmerksamkeitsmustern von Erfahrenen und Anfängern erkennen lassen würden. Ebenso könnte diese Forschung weitergeführt werden und zusätzliche Muster identifiziert und analysiert werden. Auch könnten die Muster der Aufmerksamkeit mittels visueller Routinen, wie in der Arbeit von Winter et al. [50] erweitert werden. Diese Arbeit beinhaltet nur die Muster bei der Betrachtung von Petri-Netzen. Die Erweiterung dieser Arbeit auf weitere Prozessmodelle

könnte für das Verbessern der allgemeinen Prozessmodellierung von Bedeutung sein. Somit könnten die kognitiven Prozesse und die Aufmerksamkeitsmuster bei der Betrachtung von verschiedenen Prozessmodellen untersucht werden und mit den Aufmerksamkeitsmustern der Petri-Netze verglichen werden. Ein Vergleich dieser Muster könnte die Unterschiede zwischen den Prozessmodellierungssprachen aufdecken. Es könnten dadurch auch allgemeine Strategien bei der Betrachtung von allen Prozessmodellen herausgearbeitet werden. Daraus würde eine effizientere Prozessmodellierung folgen, die für das bessere Verständnis der Prozessmodelle beitragen würde.

# Literaturverzeichnis

- [1] AB, TOBII PRO: *Tobii Pro Lab*.
- [2] ANDRIESEN, JJ und AH DE VOOGD: *Analysis of eye movement patterns in silent reading*. IPO Annual Progress Report, 8:29–34, 1973.
- [3] BACKER, GERRIET: *Modellierung visueller Aufmerksamkeit im Computer-Sehen: ein zweistufiges Selektionsmodell für ein aktives Sehsystem*. Doktorarbeit, Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky, 2003.
- [4] BECK, FABIAN, MICHAEL BURCH und STEPHAN DIEHL: *Towards an aesthetic dimensions framework for dynamic graph visualisations*. In: *2009 13th international conference information visualisation*, Seiten 592–597. IEEE, 2009.
- [5] BELLEBAUM, CHRISTIAN, PATRIZIA THOMA und IRENE DAUM: *Visuell-räumliche Aufmerksamkeit–selektieren und fokussieren*. In: *Neuropsychologie*, Seiten 47–64. Springer, 2012.
- [6] BLASCHECK, T., K. KURZHALS, M. RASCHKE, M. BURCH, D. WEISKOPF und T. ERTL: *Visualization of Eye Tracking Data: A Taxonomy and Survey*. *Computer Graphics Forum*, 36(8):260–284, 2017.
- [7] BLASCHECK, TANJA: *Eyetracking basiertes Analysekonzept zur Evaluation von Visualisierungen*. Diplomarbeit, 2012.
- [8] BLASCHECK, TANJA, MARKUS SCHWEIZER, FABIAN BECK und THOMAS ERTL: *Visual comparison of eye movement patterns*. 36(3):87–97, 2017.
- [9] BLICKSHIFT GMBH: *Blickshift Analytics*.
- [10] BRANDES, RALF, FLORIAN LANG und ROBERT F. SCHMIDT (Herausgeber): *Physiologie des Menschen*. Springer Berlin Heidelberg, 2019.
- [11] BRUDER, LEONARD MAXIMILIAN: *Visuelle Analyse von Eyetracking-Experimenten mit interaktiven Stimuli*. Diplomarbeit, 2014.
- [12] BUCHER, HANS-JÜRGEN und PETER SCHUMACHER: *The relevance of attention for selecting news content. An eye-tracking study on attention patterns in the reception of print and online media*. 2006.

- [13] BUCHER, HANS-JÜRGEN und PETER SCHUMACHER: *Aufmerksamkeit und Informationsselektion: Blickdaten als Schlüssel zur Aufmerksamkeitssteuerung*. In: *Interaktionale Rezeptionsforschung*, Seiten 83–107. Springer, 2012.
- [14] BURATTIN, ANDREA, MICHAEL KAISER, MANUEL NEURAUTER und BARBARA WEBER: *Eye tracking meets the process of process modeling: a visual analytic approach*. In: *International Conference on Business Process Management*, Seiten 461–473. Springer, 2016.
- [15] CHEN, JIAN-JIA und PETER MARWEDEL: *Petri Nets*. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 2(3):311–319, 1990.
- [16] CHEN, XUEMEI: *Visuelle Analyse von Eye-Tracking-Daten*. Diplomarbeit, 2011.
- [17] DUCHOWSKI, ANDREW T und ANDREW T DUCHOWSKI: *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Springer, 2017.
- [18] DUGGAN, GEOFFREY B und STEPHEN J PAYNE: *Text skimming: The process and effectiveness of foraging through text under time pressure*. *Journal of experimental psychology: Applied*, 15(3):228, 2009.
- [19] ESKENAZI, MICHAEL A und JOCELYN R FOLK: *Regressions during reading: The cost depends on the cause*. *Psychonomic bulletin & review*, 24(4):1211–1216, 2017.
- [20] GRUCZA, SAMBOR: „*Probleme? Nichts weiter als dornige Chancen: Zu Parametern und Maßeinheiten der Eye-Tracking-Translatorik* “. *Studia Translatorica*, 4:11–22, 2013.
- [21] HELBIG, R.: *Neue Methoden der Prozeßoptimierung in der landwirtschaftlichen Betriebslehre*. In: Heißenhuber, A.; Hoffmann, H.; von Urff, W.: *Land- und Ernährungswirtschaft in einer erweiterten EU*. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 34, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1998), S.523-530.
- [22] HERR, DOMINIK: *Neue visualisierungsbasierte Analysetechniken für Eye-Tracking-Daten*. Doktorarbeit, 01 2014.
- [23] HEYEN, FRANK: *Gruppierung von Eye-Tracking-Daten mittels geeigneter Ähnlichkeitsfunktionen*. B.S. thesis, 2015.
- [24] IOANNOU, CONSTANTINA, INDIRA NURDIANI, ANDREA BURATTIN und BARBARA WEBER: *Mining reading patterns from eye-tracking data: method and demonstration*. *Software and Systems Modeling*, 19(2):345–369, 2020.
- [25] JACOB, ROBERT JK und KEITH S KARN: *Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises*. In: *The mind's eye*, Seiten 573–605. Elsevier, 2003.

- [26] JOOS, MARKUS, MATTHIAS RÖTTING und BORIS M VELICHKOVSKY: *Spezielle Verfahren I: Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen*. In: *Psycholinguistik. Psycholinguistics*, Seiten 142–168. De Gruyter Mouton, 2008.
- [27] KELTER, UDO: *Petri-Netze*. In: *Lehrmodul*, Seiten 15–18. Universität Siegen, 2003.
- [28] KRAFKA, KYLE, ADITYA KHOSLA, PETR KELLNHOFER, HARINI KANNAN, SUCHENDRA BHANDARKAR, WOJCIECH MATUSIK und ANTONIO TORRALBA: *Eye Tracking for Everyone*. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, June 2016.
- [29] LEHMANN, DIRK J, GEORGIA ALBUQUERQUE, MARTIN EISEMANN, ANDRADA TATU, DANIEL KEIM, HEIDRUN SCHUMANN, MARCUS MAGNOR und HOLGER THEISEL: *Visualisierung und Analyse multidimensionaler Datensätze*. *Informatik-Spektrum*, 33(6):589–600, 2010.
- [30] LESCHNIK, ANDREAS.: *Visuelle Wahrnehmung : Grundlagen, Clinical Reasoning und Intervention Im Kindes- und Jugendalter*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020.
- [31] MAJARANTA, PÄIVI und ANDREAS BULLING: *Eye tracking and eye-based human–computer interaction*. In: *Advances in physiological computing*, Seiten 39–65. Springer, 2014.
- [32] MCMAINS, STEPHANIE A. und SABINE KASTNER: *Visual Attention*, Seiten 4296–4302. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [33] MICHAL, AUDREY L und STEVEN L FRANCONERI: *Visual routines are associated with specific graph interpretations*. *Cognitive research: principles and implications*, 2(1):1–10, 2017.
- [34] OBERWEIS, ANDREAS, ROLAND SCHAETZLE, WOLFFRIED STUCKY, WOLFGANG WEITZ und GABRIELE ZIMMERMANN: *INCOME/WF—A Petri net based approach to workflow management*. In: *Wirtschaftsinformatik'97*, Seiten 557–580. Springer, 1997.
- [35] PETERSON, JAMES L: *Petri Nets*. *ACM Comput. Surv.*, 9(3):223–252, sep 1977.
- [36] PETRUSEL, RAZVAN und JAN MENDLING: *Eye-tracking the factors of process model comprehension tasks*. In: *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, Seiten 224–239. Springer, 2013.
- [37] PETRUSEL, RAZVAN, JAN MENDLING und HAJO A REIJERS: *How visual cognition influences process model comprehension*. *Decision Support Systems*, 96:1–16, 2017.
- [38] PINGGERA, JAKOB, STEFAN ZUGAL, MARCO FURTNER, PIERRE SACHSE, MARKUS MARTINI und BARBARA WEBER: *The modeling mind: Behavior patterns in process modeling*. In: *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling*, Seiten 1–16. Springer, 2014.

- [39] RASCHKE, MICHAEL, XUEMEI CHEN und THOMAS ERTL: *Parallel Scan-Path Visualization*. ETRA '12, Seite 165–168, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [40] RECKER, JAN, HAJO A REIJERS und SANDER G VAN DE WOUW: *Process model comprehension: the effects of cognitive abilities, learning style, and strategy*. Communications of the association for information systems, 34(1):9, 2014.
- [41] REICHERT, MANFRED und MICHAEL WINTER: *Business Process Management*. In: *Skript*, Seiten 59–63. Universität Ulm, 2020.
- [42] RICHARDSON, DANIEL C und MICHAEL J SPIVEY: *Eye tracking: Characteristics and methods*. Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering, 3:1028–1042, 2004.
- [43] RÜTH, MARCO, DANIEL ZIMMERMANN und KAI KASPAR: *Mobiles Eye-Tracking im Unterricht*.
- [44] SCHUMANN, HEIDRUN und WOLFGANG MÜLLER: *Visualisierung: Grundlagen und allgemeine methoden*. Springer-Verlag, 2013.
- [45] STROHMAIER, STEFAN: *Visuelle Analyse von Eyetracking-Experimenten mit einer Vielzahl von areas of interest*. Diplomarbeit, 2014.
- [46] SYDOW, STEVE: *Erhebung und Auswertung von Eye-Tracking-Daten im Rahmen einer hochschuldi-daktischen Studie zur Vorlesung Rechnernetze*. Hochschule Stralsund. <https://www.hochschule-stralsund.de/fileadmin/hs-stralsund/HoDiMa/Paper/Bachelorarbeit-Sydow.pdf>, 2018.
- [47] TALLON, MILES, MARK W. GREENLEE, ERNST WAGNER, KATRIN RAKOCZY und ULRICH FRICK: *How Do Art Skills Influence Visual Search? – Eye Movements Analyzed With Hidden Markov Models*. Frontiers in Psychology, 12:65, 2021.
- [48] TALLON, MILES, MICHAEL WINTER, RÜDIGER PRYSS, KATRIN RAKOCZY, MANFRED REICHERT, MARK W GREENLEE und ULRICH FRICK: *Comprehension of business process models: Insight into cognitive strategies via eye tracking*. Expert Systems with Applications, 136:145–158, 2019.
- [49] WEBER, BARBARA, MANUEL NEURAUTER, JAKOB PINGGERA, STEFAN ZUGAL, MARCO FURTNER, MARKUS MARTINI und PIERRE SACHSE: *Measuring cognitive load during process model creation*. In: *Information Systems and Neuroscience*, Seiten 129–136. Springer, 2015.
- [50] WINTER, MICHAEL, HEIKO NEUMANN, RÜDIGER PRYSS, THOMAS PROBST und MANFRED REICHERT: *Defining Gaze Patterns for Process Model Literacy–Exploring Visual Routines in Process Models with Diverse Mappings*. arXiv preprint arXiv:2111.02881, 2021.
- [51] WUSSLER, ANDREAS: *Das Business im Prozess: Warum Anwender nicht BPMN sprechen*. Seiten 59–63. PROMATIS Software GmbH, Ettlingen, 2020.

- [52] ZIMOGH, MICHAEL, TIM MOHRING, RÜDIGER PRYSS, THOMAS PROBST, WINFRIED SCHLEE und MANFRED REICHERT: *Using insights from cognitive neuroscience to investigate the effects of event-driven process chains on process model comprehension*. In: *International conference on business process management*, Seiten 446–459. Springer, 2017.
- [53] ZIMOGH, MICHAEL, RÜDIGER PRYSS, GEORG LAYHER, HEIKO NEUMANN, THOMAS PROBST, WINFRIED SCHLEE und MANFRED REICHERT: *Utilizing the capabilities offered by eye-tracking to foster novices' comprehension of business process models*. In: *International Conference on Cognitive Computing*, Seiten 155–163. Springer, 2018.
- [54] ZIMOGH, MICHAEL, RÜDIGER PRYSS, THOMAS PROBST, WINFRIED SCHLEE und MANFRED REICHERT: *Cognitive insights into business process model comprehension: Preliminary results for experienced and inexperienced individuals*. In: *Enterprise, business-process and information systems modeling*, Seiten 137–152. Springer, 2017.
- [55] ZIMOGH, MICHAEL, RÜDIGER PRYSS, JOHANNES SCHOBEL und MANFRED REICHERT: *Eye tracking experiments on process model comprehension: lessons learned*. In: *Enterprise, business-process and information systems modeling*, Seiten 153–168. Springer, 2017.

# Abbildungsverzeichnis

2.1. Petri-Netz: Transitionen, Stellen und Kanten . . . . .	4
2.2. Schaltvorgang einer Transition mit einem Vorbereich und zwei Nachbereiche . . .	6
2.3. Schalten eines S/T-Netzes . . . . .	6
2.4. Ablaufstrukturen der Petri-Netze . . . . .	7
2.5. Fixationen und Sakkaden . . . . .	9
3.1. Ein Beispiel zu einem Stimulus mit definierten AOIs und Fixationen und Sakkaden	13
3.2. Visualisierungspipeline, um aus Rohdaten eine Bilddatei zu erhalten. . . . .	15
3.3. Scan-Path mit allen Probanden einer Studie . . . . .	16
3.4. Beispiel zu einem Heatmap . . . . .	17
3.5. Beispiel zu einem PSP . . . . .	18
3.6. Beispiel zu einer Transitionsmatrix . . . . .	18
4.1. Rohdaten einer Eye-Tracking-Studie . . . . .	20
4.2. Statistiken über die drei Petri-Netze unterschiedlicher Komplexitätsklassen . . .	21
4.3. Anzahl der Fixationen und Sakkaden der drei Petri-Netze unterschiedlicher Kom- plexitätsklassen als Säulendiagramm. . . . .	22
4.4. Blickshift Analytics: Übersicht der Datenauswertung . . . . .	23
4.5. Petri-Netz 1: Scanpath und Heatmap aller Probanden . . . . .	24
4.6. Petri-Netz 2: Scanpath und Heatmap aller Probanden . . . . .	24
4.7. Petri-Netz 3: Scanpath und Heatmap aller Probanden . . . . .	25
4.8. Scanpath eines Probanden . . . . .	26
4.9. Scanpath eines Probanden zu dem komplexen Petri-Netz . . . . .	27
4.10. Petri-Netz 1 (Einfach): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den definierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration . . . . .	28
4.11. Petri-Netz 2 (Mittel): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den defi- nierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration . . . . .	28
4.12. Petri-Netz 3 (Schwer): Gaze Duration Statistics und Transition Matrix zu den definierten Areas of Interest, GD= Gaze Duration . . . . .	29
4.13. Parallel Scanpaths von drei Probanden beim Betrachten des mittelschweren Petri-Netzes . . . . .	33
A.1. Petri-Netz: Leicht . . . . .	47
A.2. Petri-Netz: Mittelschwer . . . . .	48
A.3. Petri-Netz: Schwer . . . . .	48

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

A.4. Scanpaths: PN Leicht . . . . .	51
A.5. Parallel Scanpaths: PN Leicht . . . . .	53
A.6. Scanpaths: PN Mittelschwer . . . . .	56
A.7. Parallel Scanpaths: PN Mittelschwer . . . . .	58
A.8. Scanpaths: PN Schwer . . . . .	63
A.9. Parallel Scanpaths: PN Schwer . . . . .	65
A.10.Zusammenfassung Petri-Netz Leicht, FC=Fixation Count, FD=Fixation Duration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath . . . . .	67
A.11.Zusammenfassung Petri-Netz Mittelschwer, FC=Fixation Count, FD=Fixation Du- ration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath . . . . .	68
A.12.Zusammenfassung Petri-Netz Schwer, FC=Fixation Count, FD=Fixation Duration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath . . . . .	69

# Tabellenverzeichnis

4.1. Petri-Netz 1 (Leicht): Ergebnisse der Sequenzanalyse . . . . .	30
4.2. Petri-Netz 2 (Mittel): Ergebnisse der Sequenzanalyse . . . . .	30
4.3. Petri-Netz 3 (Schwer): Ergebnisse der Sequenzanalyse . . . . .	30

# A. Anhang

## A.1. Aufgabe: Petri-Netze

In diesem Abschnitt sind die drei Petri-Netze zu sehen, die in dieser Arbeit betrachtet wurden.

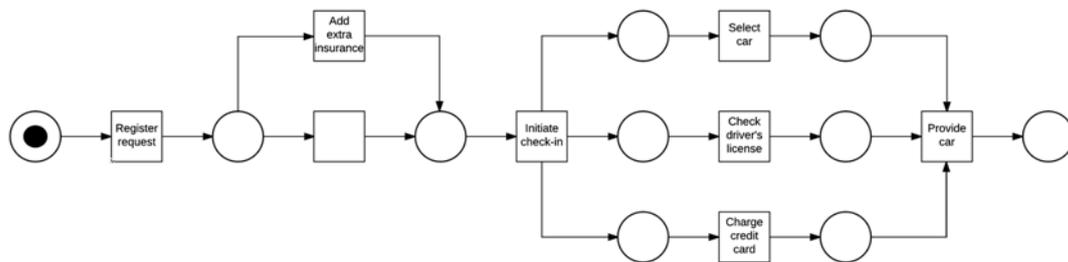


Abbildung A.1.: Petri-Netz: Leicht

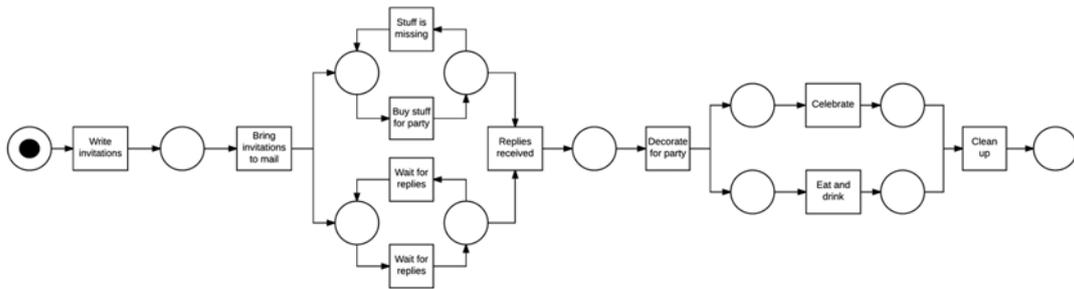


Abbildung A.2.: Petri-Netz: Mittelschwer

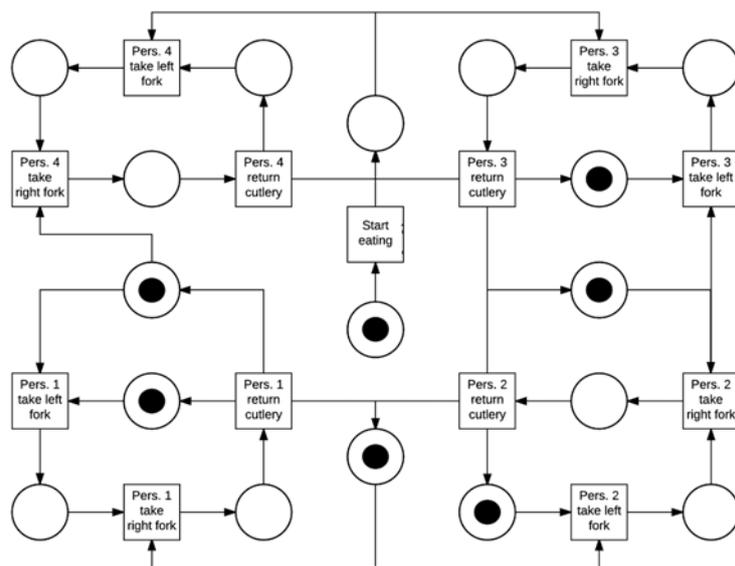
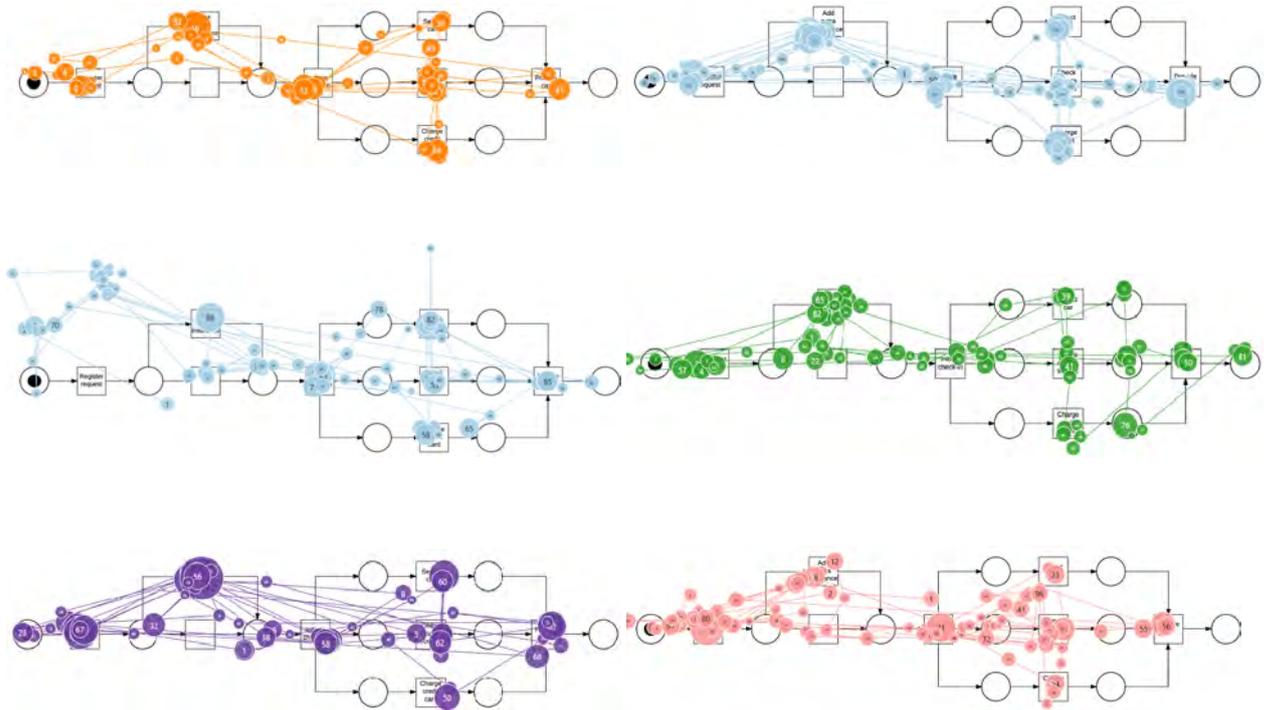


Abbildung A.3.: Petri-Netz: Schwer

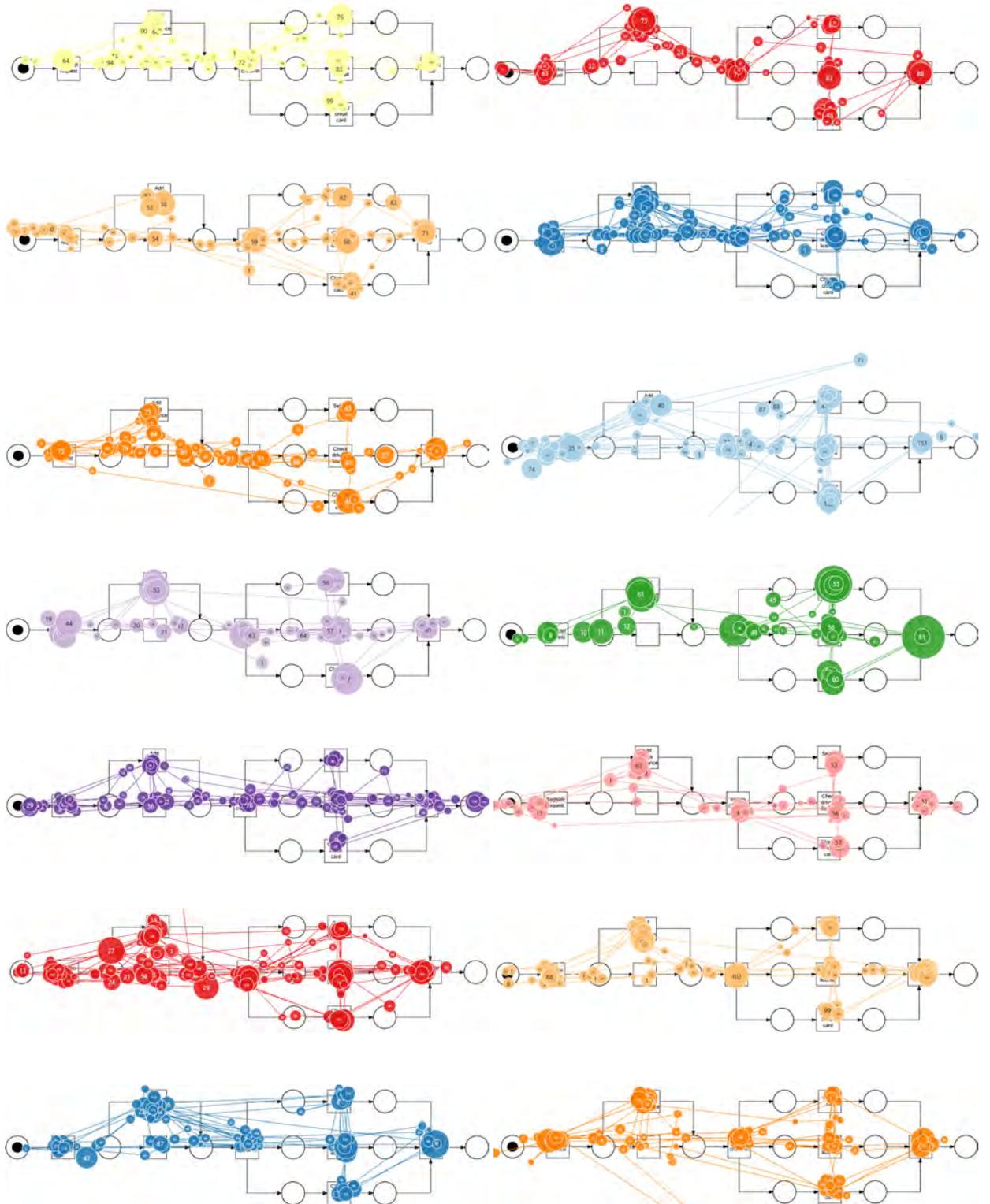
## A.2. Visualisierungen

In diesem Abschnitt sind die Scanpaths und Parallel Scanpaths der Probanden zu den jeweiligen Petri-Netzen verschiedener Komplexitätsklassen zu sehen. Diese sollen dem Verständnis der Arbeit beitragen.

### A.2.1. Petri-Netz:Leicht



A. ANHANG



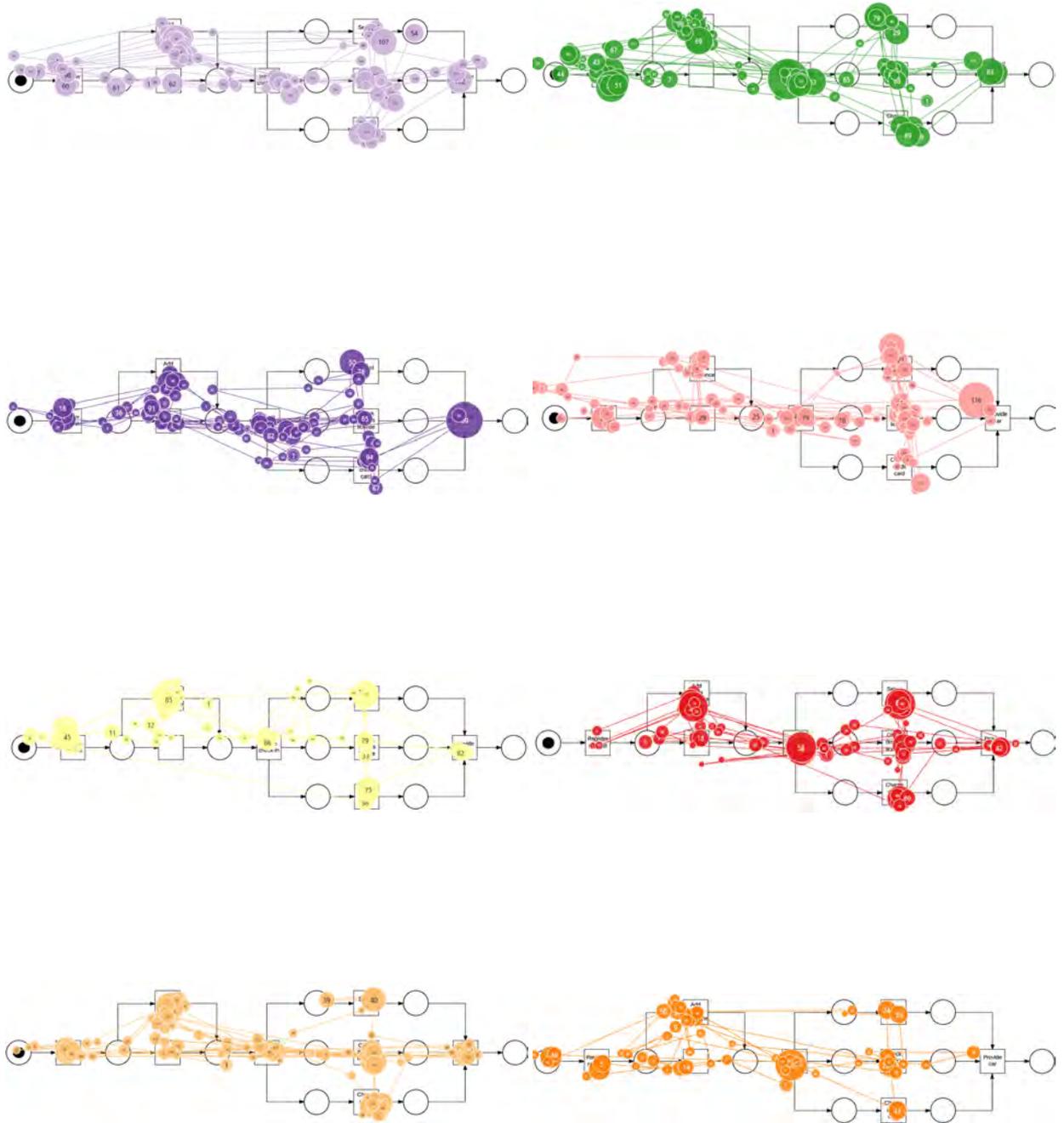
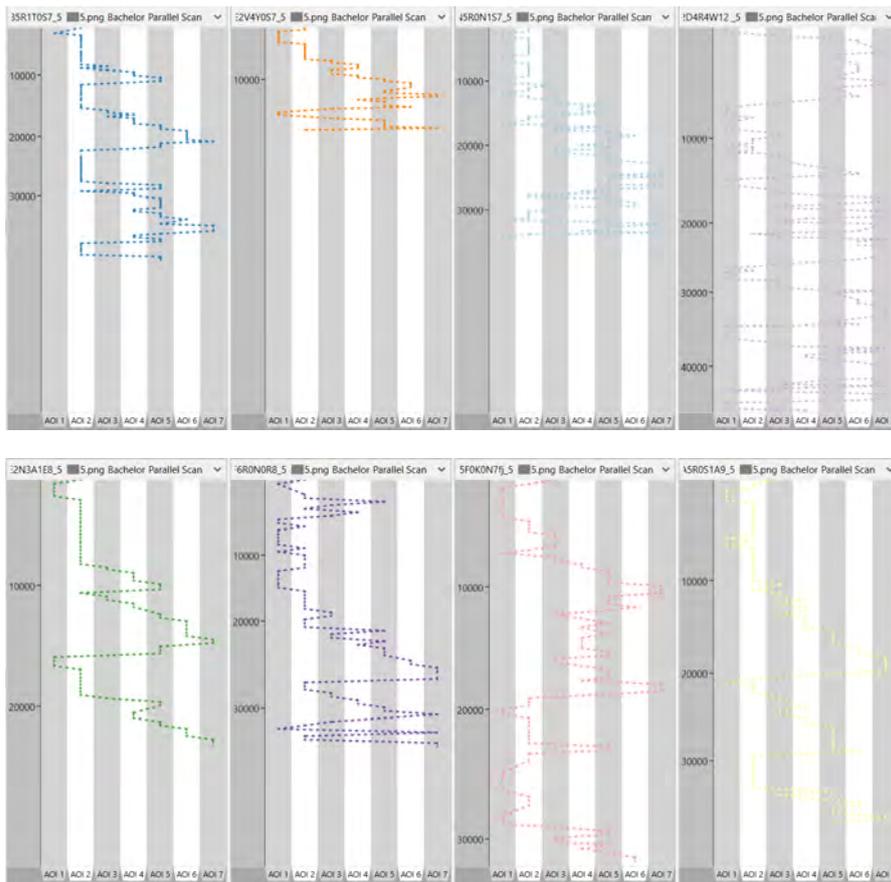


Abbildung A.4.: Scanpaths: PN Leicht

A. ANHANG



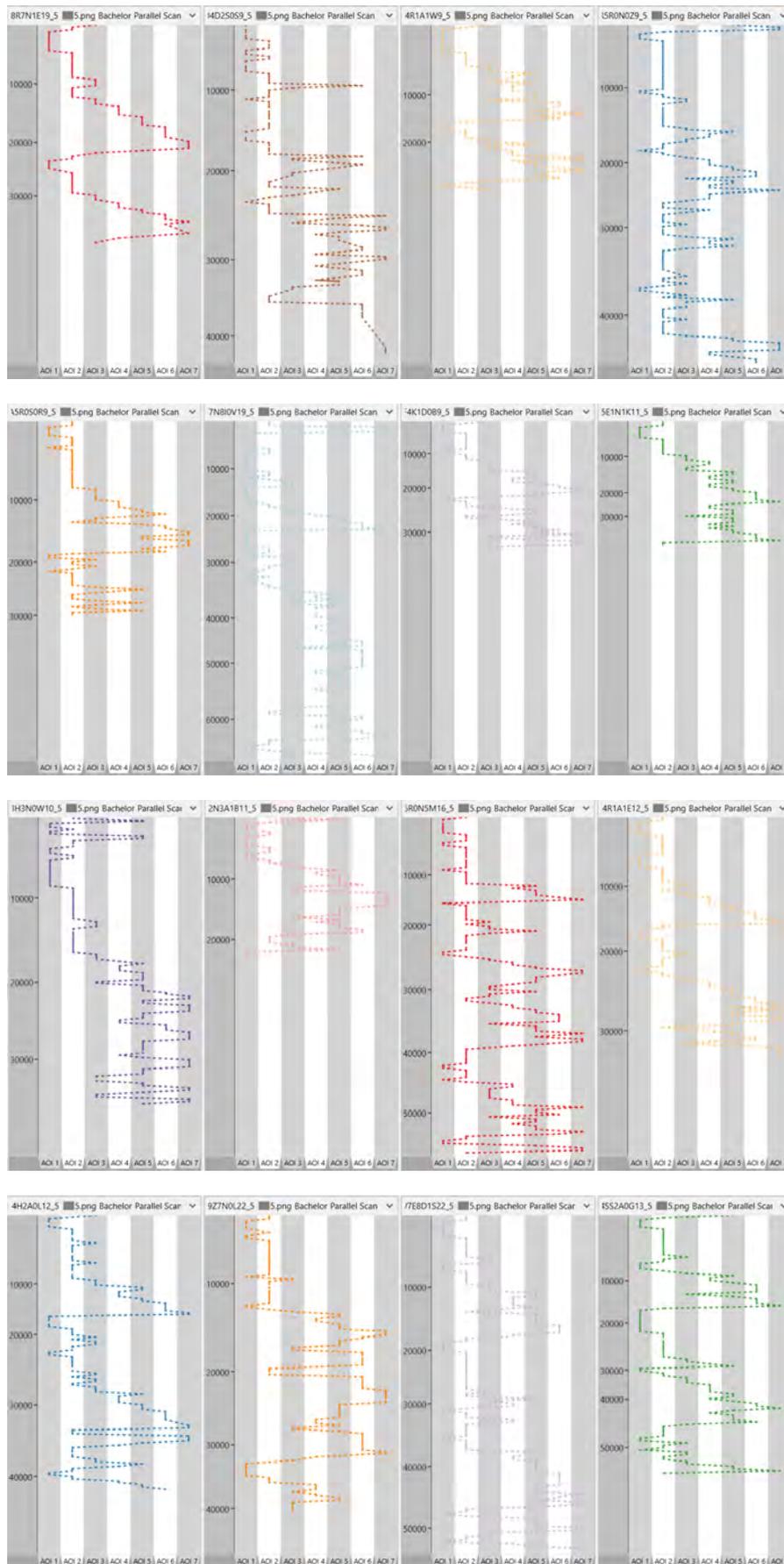
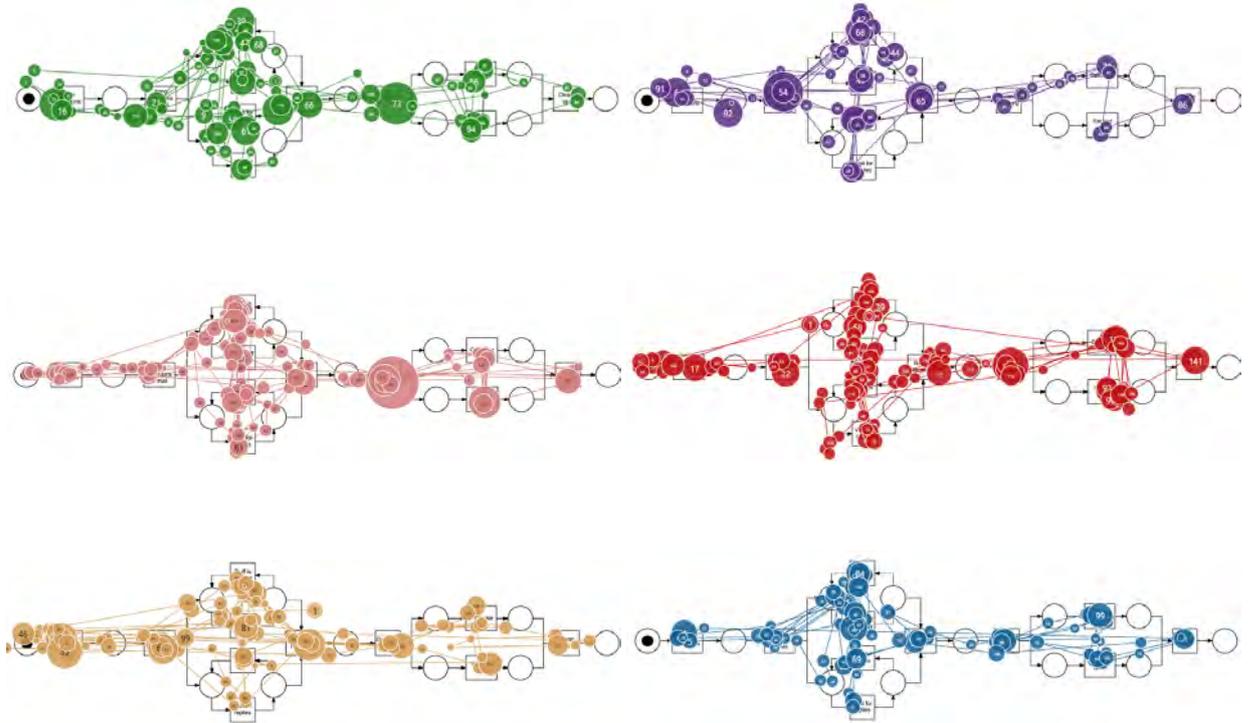
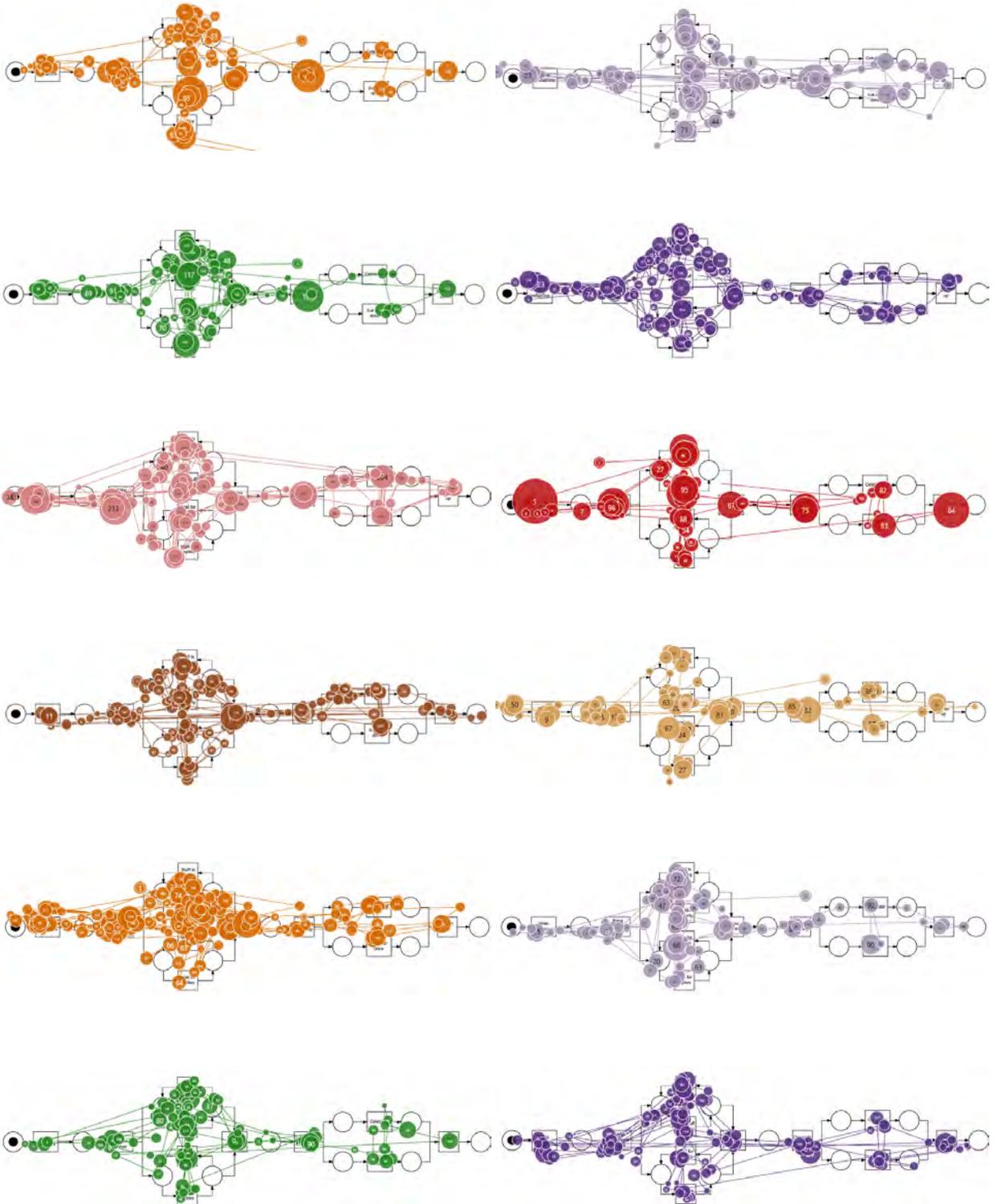


Abbildung A.5.: Parallel Scanpaths: PN Leicht

**A.2.2. Petri-Netz: Mittelschwer**





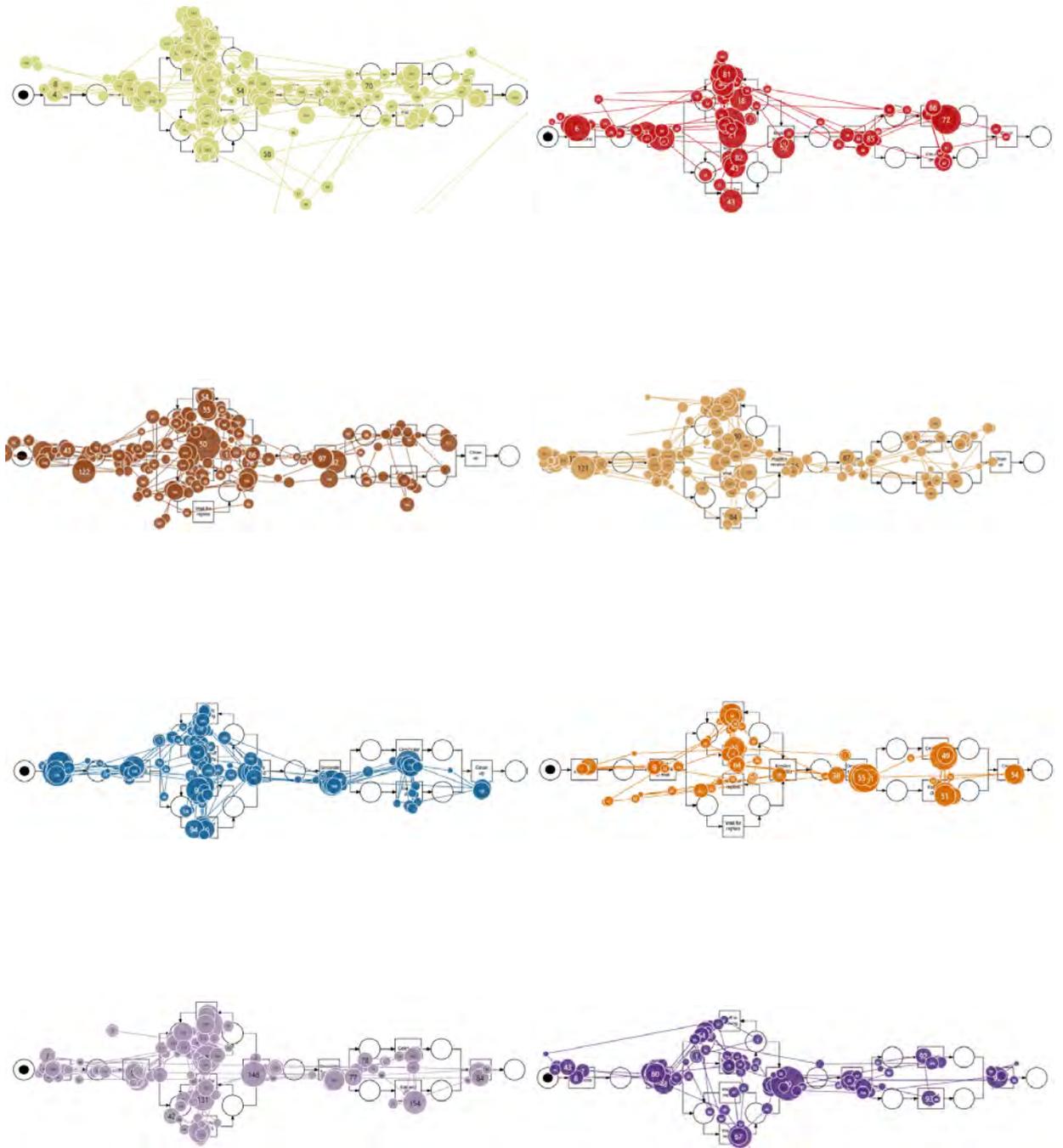
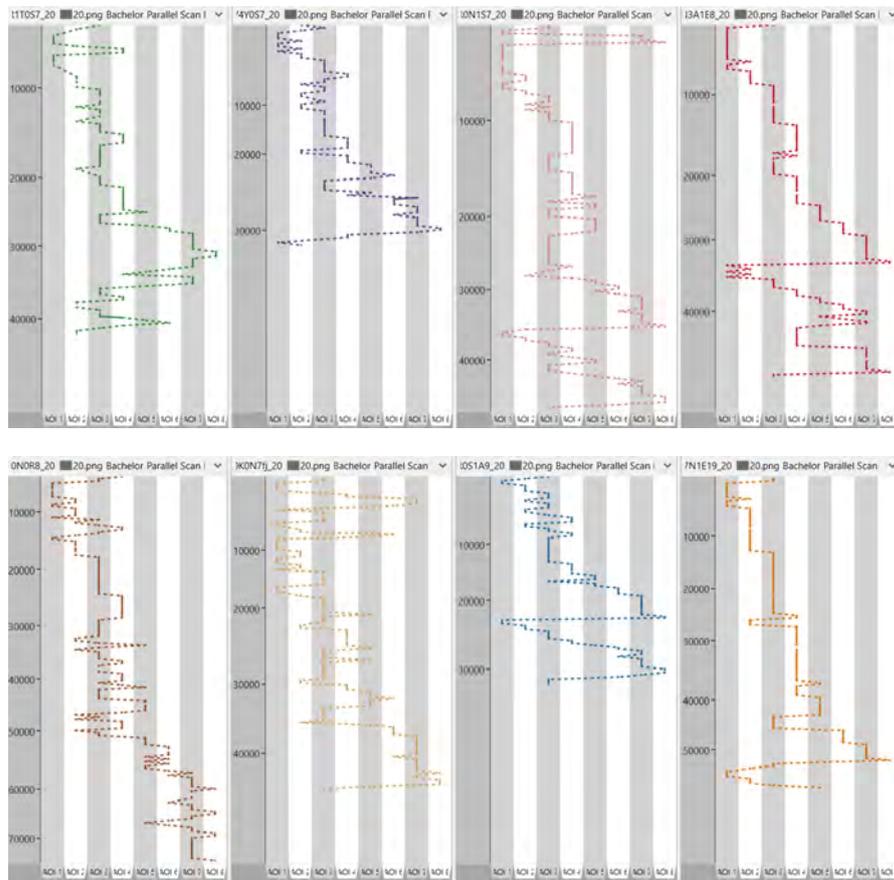


Abbildung A.6.: Scanpaths: PN Mittelschwer



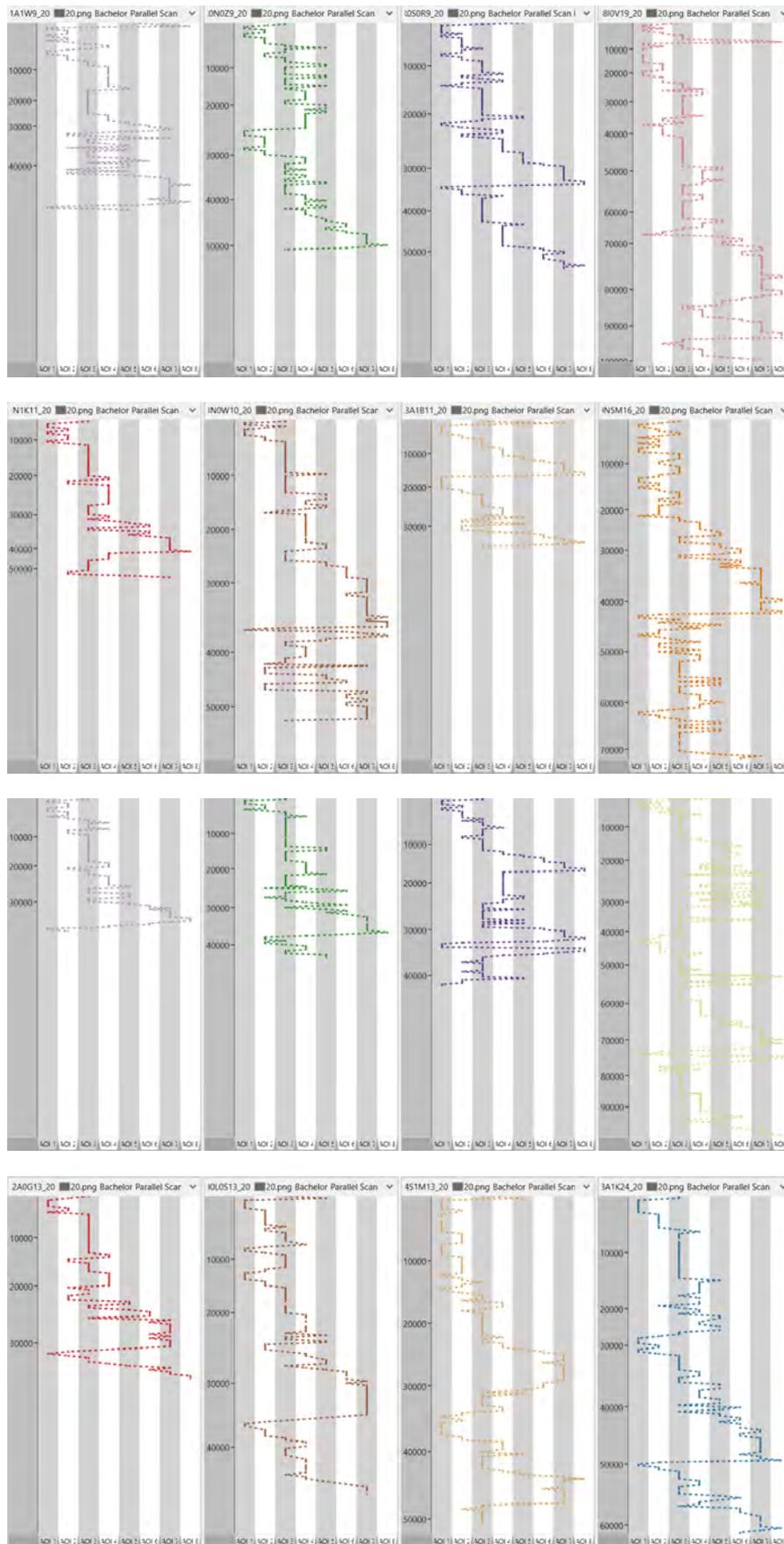
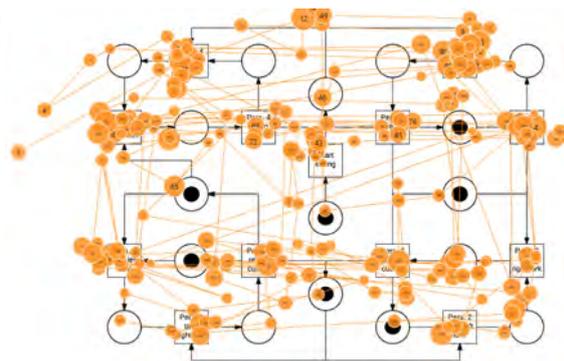
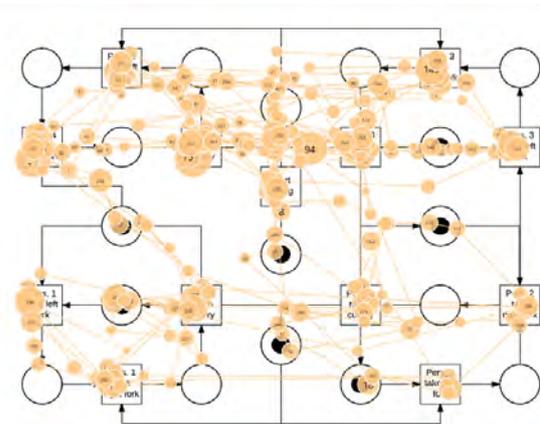
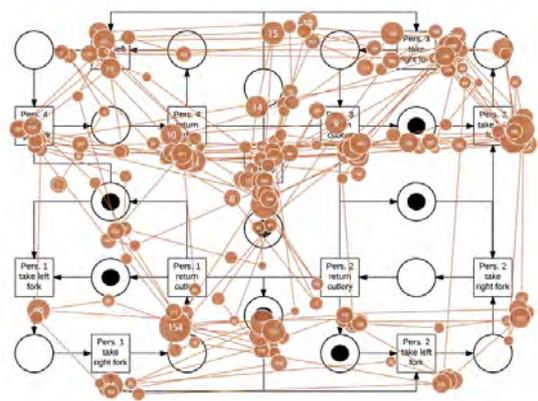
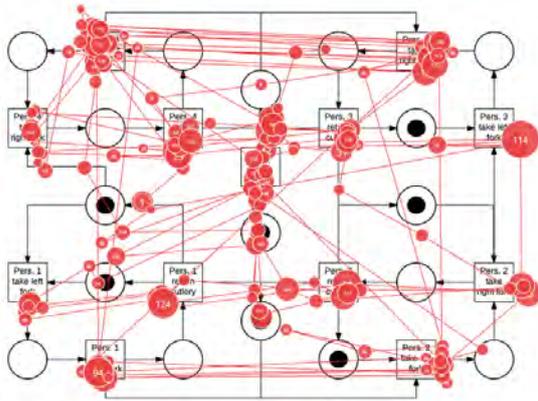
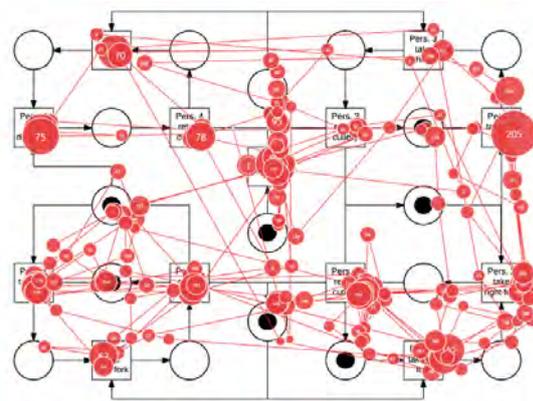
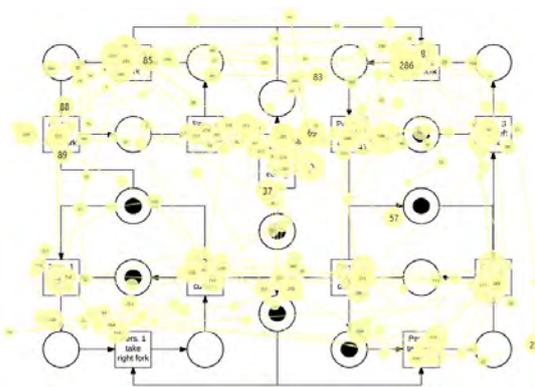
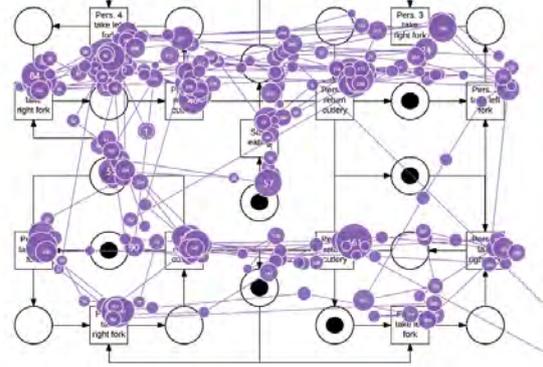
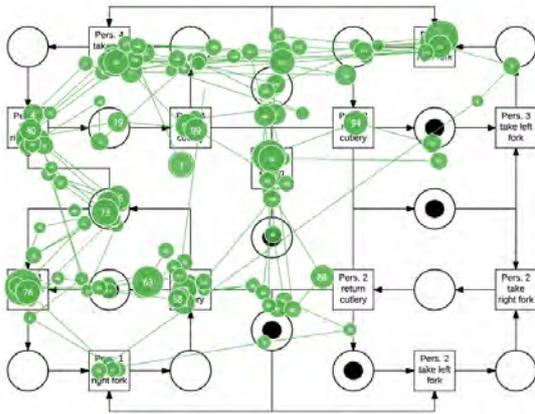
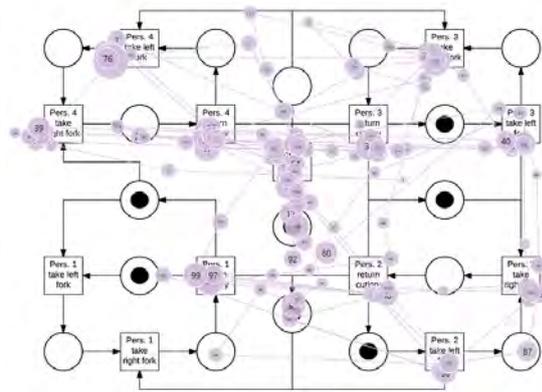
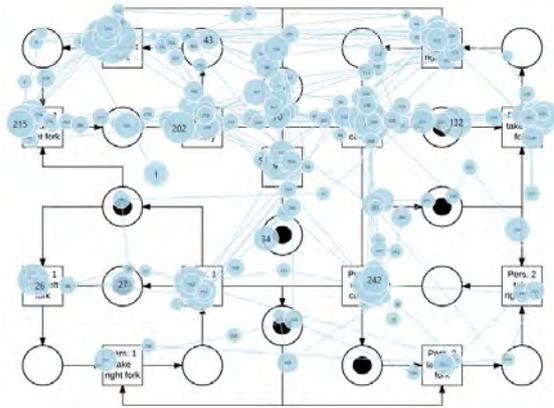
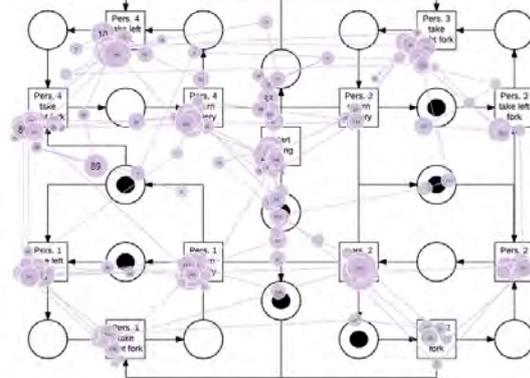
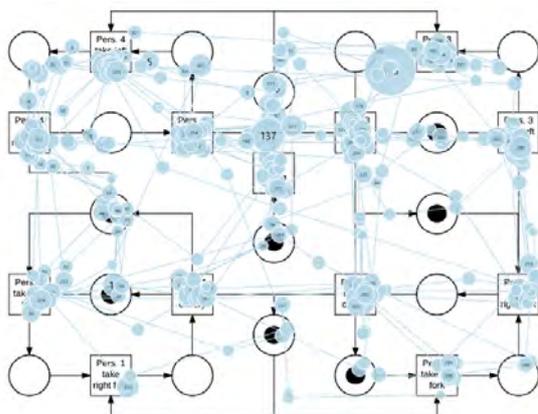
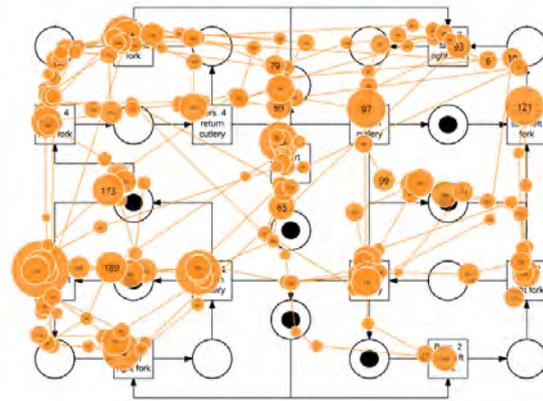
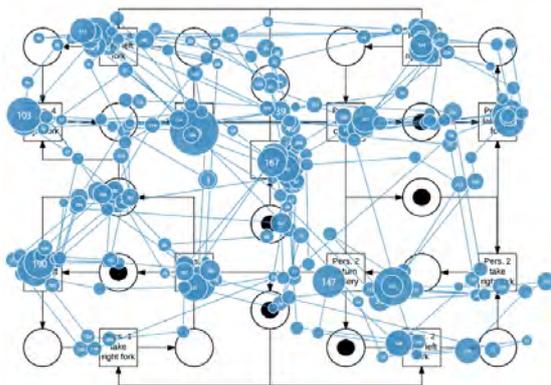
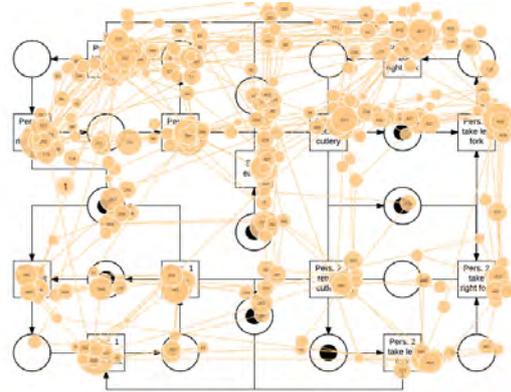
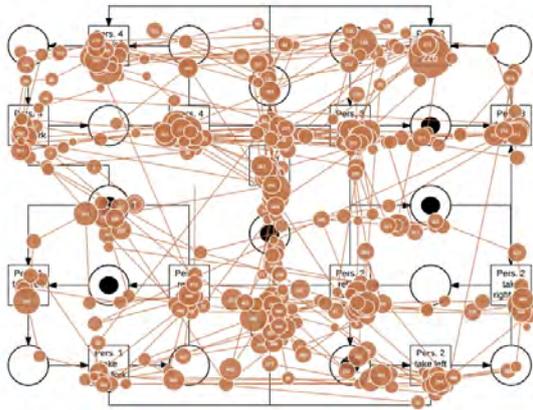


Abbildung A.7.: Parallel Scanpaths: PN Mittelschwer

**A.2.3. Petri-Netz: Schwer**









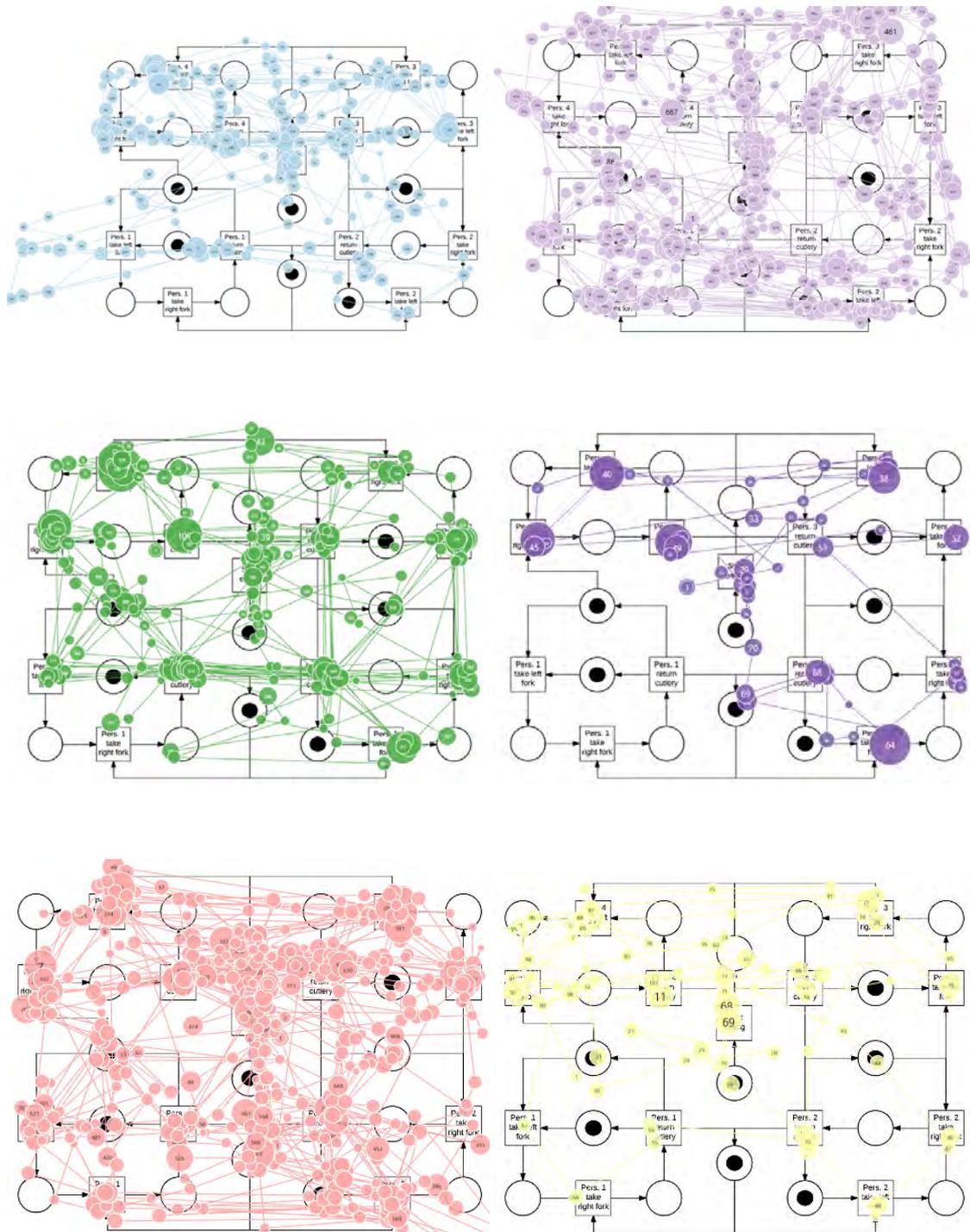
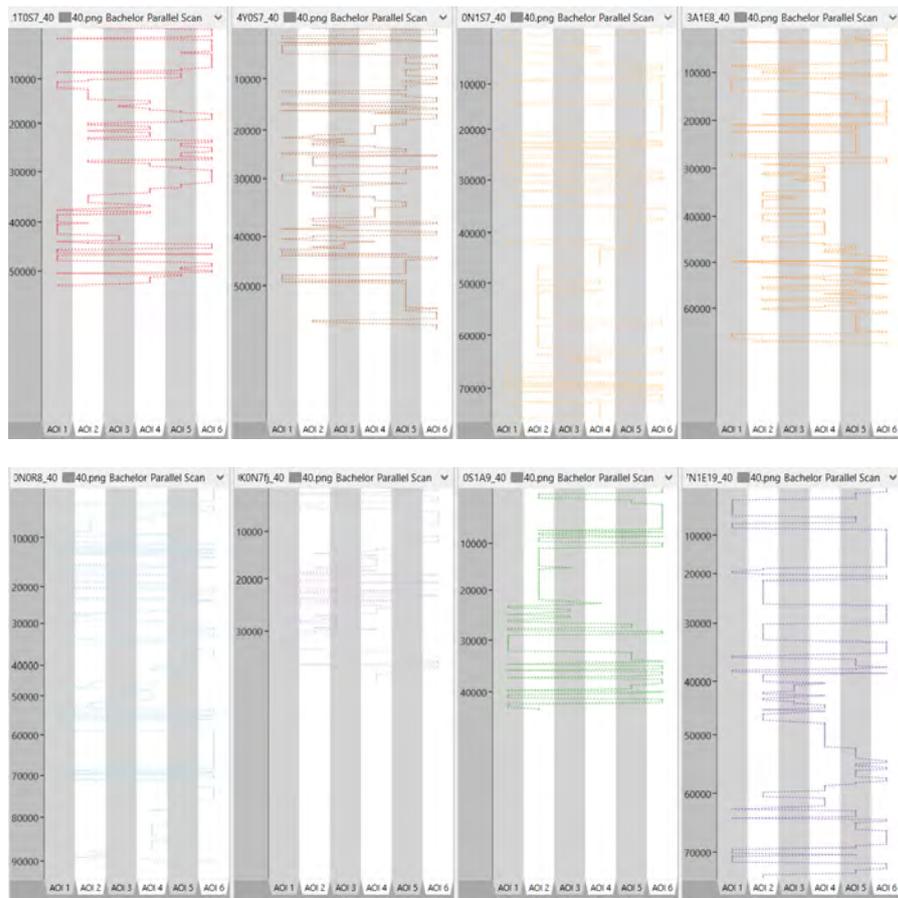


Abbildung A.8.: Scanpaths: PN Schwer



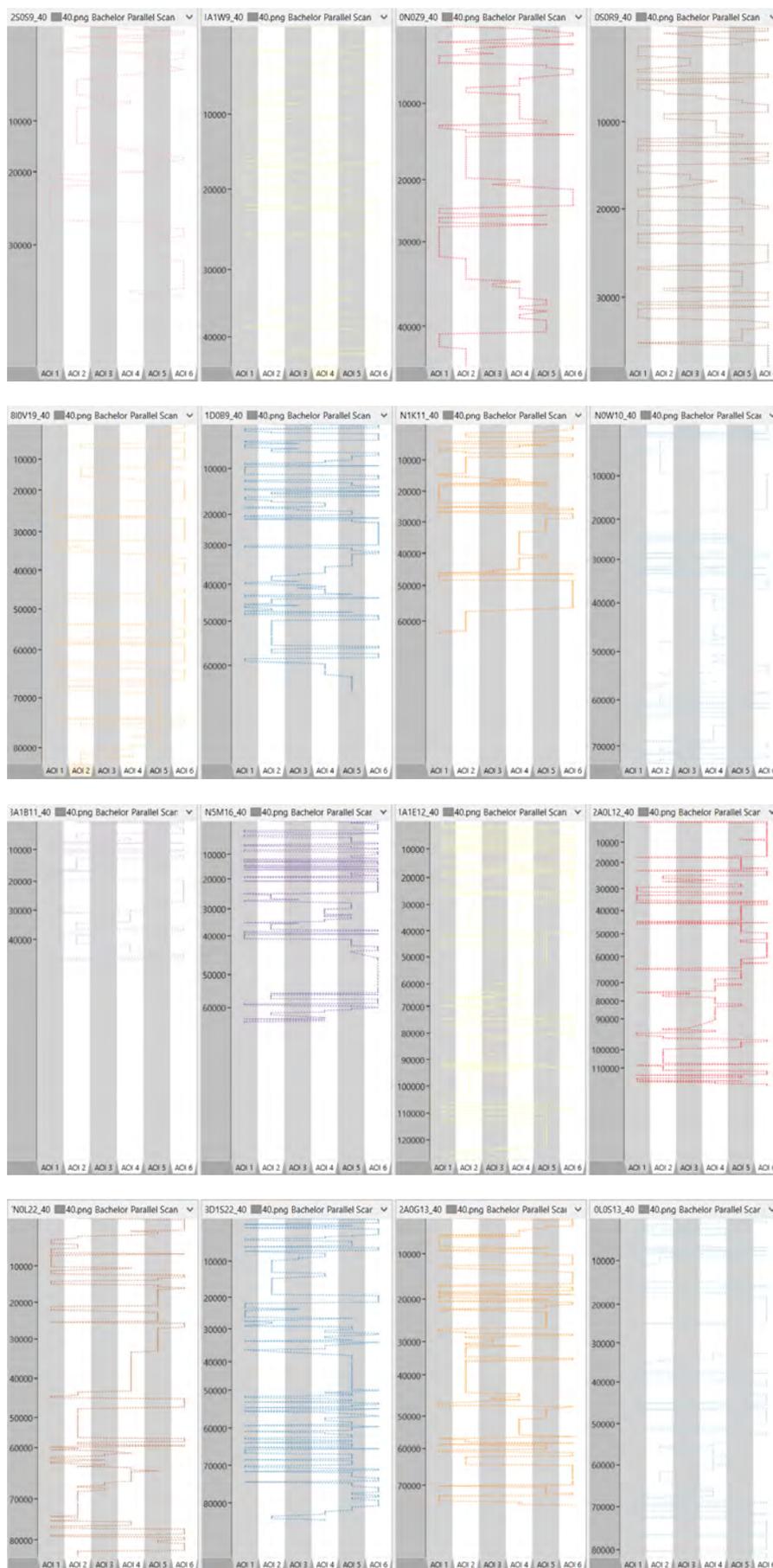


Abbildung A.9.: Parallel Scanpaths: PN Schwer

### **A.3. Zusammenfassung**

Dieser Abschnitt beinhaltet für alle drei Petri-Netze jeweils eine Zusammenfassung der erfassten Daten. Diese beinhaltet die Fixationsanzahl, Fixationsdauer (Total, Minimum, Maximum, Average), Sakkadenanzahl, Sakkadendauer (Total, Minimum, Maximum, Average), die Sakkadenamplitude (Total, Minimum, Maximum, Average) und die Scanpath Länge.

Stimulus	Participant	FC	FD Total[ms]	FD Avg[ms]	FD Max [ms]	FD Min [ms]	SC	SD Total [ms]	SD Avg [ms]	SD Max [ms]	SD Min [ms]	SA Total [°]	SA Avg [°]	SA Max[°]	SA Min [°]	SP Length [px]
Einfach	2P5F0K0N7fj	99	23628.9	238.7	1243.9	75.7	77	3504.6	45.5	79.9	25.2	471.7	6.1	35.0	0.5	17954
Einfach	5P2N3A1B11	70	20498.0	292.8	1113.6	50.4	50	2155.7	43.1	75.7	25.2	275.9	5.5	24.0	0.7	12876
Einfach	5S6R0N5M16	146	49215.8	337.1	1357.3	50.4	137	5744.2	41.9	79.8	25.2	579.9	4.2	18.6	0.5	29235
Einfach	3R5R0N0Z9_	147	38924.7	264.8	1273.3	63.0	130	5126.6	39.4	67.2	25.2	580.9	4.5	30.8	0.6	24497
Einfach	4E7N8I0V19_	152	50162.1	330.0	1470.8	50.4	119	5188.8	43.6	92.4	25.2	950.8	8.0	160.4	0.5	30371
Einfach	6W7E8D1S22	148	46349.9	313.2	1323.7	105.1	144	6832.6	47.4	117.7	25.2	602.8	4.2	23.7	0.6	25945
Einfach	7K4SS2A0G13	112	47476.0	423.9	2584.3	63.0	98	4429.1	45.2	109.3	25.2	453.1	4.6	28.0	0.5	22599
Einfach	7M6H0L0S13	98	28066.2	286.4	2046.4	75.6	102	4399.7	43.1	84.0	25.2	432.3	4.2	15.0	0.6	18964
Einfach	1E2V4Y0S7_5	61	17014.5	278.9	1159.8	58.8	54	2265.0	41.9	75.6	25.2	253.5	4.7	20.3	0.6	10632
Einfach	9A8A7A0L24_	136	34440.9	253.2	1113.6	50.4	127	5551.0	43.7	126.1	25.2	628.6	4.9	34.2	0.5	26485
Einfach	5R3T2N2K12_	51	10475.9	205.4	1042.1	50.4	194	9404.4	48.5	168.1	25.2	2144.5	11.1	164.2	0.6	34619
Einfach	1B5R1T0S7_5	116	30272.4	261.0	1773.3	50.4	125	5315.7	42.5	109.3	25.2	606.5	4.9	27.4	0.5	16520
Einfach	4A5R0S0R9_!	95	24973.5	262.9	1122.0	67.2	85	3828.1	45.0	84.0	25.2	404.4	4.8	25.0	0.6	15197
Einfach	2A2D4R4W10	167	30100.1	180.2	1336.3	50.4	250	10753.2	43.0	109.3	25.2	1357.4	5.4	57.0	0.4	53777
Einfach	4J5E1N1K11_	64	34655.3	541.5	3361.7	79.8	59	2891.0	49.0	96.6	25.2	225.7	3.8	27.0	0.5	9014
Einfach	3A5R0S1A9_!	106	28931.9	272.9	937.1	63.0	74	3067.5	41.5	71.4	25.2	370.2	5.0	17.7	0.7	15657
Einfach	3J4D2S0S9_5	125	28171.2	225.4	1193.4	50.4	97	3870.2	39.9	79.8	25.2	746.8	7.7	36.0	0.6	24733
Einfach	7N1D4S1M13	156	36159.6	231.8	1958.2	50.4	107	4319.8	40.4	105.1	25.2	666.1	6.2	40.8	0.7	25139
Einfach	4K3H3N0W10	136	27574.7	202.8	769.0	54.6	93	3819.7	41.1	96.6	25.2	401.3	4.3	22.6	0.6	18322
Einfach	1N5R0N1S7_!	123	30146.3	245.1	1033.7	58.8	110	5273.7	47.9	117.7	25.2	571.0	5.2	35.9	0.6	21279
Einfach	6J9Z7N0L22_	143	32755.9	229.1	1101.0	50.4	101	4063.4	40.2	92.4	25.2	472.8	4.7	23.9	0.6	21342
Einfach	9T2N4S0G21_	90	20209.4	224.5	983.3	50.4	117	4701.0	40.2	100.8	25.2	563.3	4.8	25.1	0.6	21739
Einfach	6C4R1A1E12_	108	31091.8	287.9	1105.2	58.8	94	4181.2	44.5	105.1	25.2	389.7	4.1	27.5	0.6	14445
Einfach	8T7G9M0M2_	84	26561.9	316.2	1432.9	54.6	105	5525.8	52.6	201.7	25.2	1314.2	12.5	113.5	0.6	16761
Einfach	2E2N3A1E8_!	84	21279.7	253.3	832.0	54.6	67	2739.8	40.9	96.7	25.2	317.3	4.7	28.1	0.7	13868
Einfach	3F8R7N1E19_	94	30200.9	321.3	1273.3	50.4	71	3029.8	42.7	96.7	25.2	260.3	3.7	31.3	0.6	10926
Einfach	9R0G5R0T14_	62	16270.6	262.4	1491.8	63.0	60	2613.8	43.6	79.8	25.2	299.4	5.0	32.0	0.6	11718
Einfach	3J4R1A1W9_!	81	26179.5	323.2	1239.6	92.4	63	2668.3	42.4	79.9	25.2	287.4	4.6	20.9	0.7	13588
Einfach	2F6R0N0R8_!	73	29949.7	410.3	2089.2	54.5	71	3368.7	47.4	75.5	25.2	503.0	7.1	36.7	0.6	20808
Einfach	4F4K1D0B9_!	68	30095.9	442.6	1806.9	92.4	54	2340.5	43.3	105.0	25.2	287.9	5.3	23.9	0.7	13115
Einfach	6H4H2A0L12_	124	32457.4	261.8	1428.7	50.4	85	3618.1	42.6	105.1	25.2	569.2	6.7	34.7	0.8	21963

Abbildung A.10.: Zusammenfassung Petri-Netz Leicht, FC=Fixation Count, FD=Fixation Duration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath

Stimulus	Participant	FC	FD Total[ms]	FD Avg[ms]	FD Max [ms]	FD Min [ms]	SC	SD Total [ms]	SD Avg [ms]	SD Max [ms]	SD Min [ms]	SATotal [°]	SA Avg [°]	SA Max[°]	SA Min [°]	SP Length [px]
Mittelschwer	2P5F0K0N7fj	132	34256.1	259.5	1369.9	50.4	105	4702.1	44.8	84.0	25.2	492.2	4.7	19.5	0.5	22486
Mittelschwer	5P2N3A1B11	90	31440.5	349.3	1264.8	75.6	63	2567.5	40.8	121.9	25.2	332.3	5.3	39.6	0.7	14112
Mittelschwer	5S6R0N5M16	203	61254.8	301.7	1432.9	54.6	190	8110.2	42.7	84.0	25.2	648.7	3.4	26.6	0.5	28520
Mittelschwer	3R5R0N0Z9_	155	42974.3	277.3	1790.1	50.4	155	6157.3	39.7	84.0	25.2	579.4	3.7	26.3	0.6	18220
Mittelschwer	4E7N8I0V19_	226	82219.6	363.8	1781.7	50.4	193	7988.2	41.4	96.7	25.2	782.8	4.1	35.9	0.5	31248
Mittelschwer	6W7E8D1S22	264	83274.2	315.4	1315.3	50.4	250	11614.7	46.5	105.1	25.2	1055.5	4.2	37.9	0.6	41565
Mittelschwer	7K4SS2A0G13	91	31911.1	350.7	1407.7	79.8	88	3941.7	44.8	96.6	25.2	364.8	4.1	22.8	0.6	16149
Mittelschwer	7M6H0L0S13	154	42946.0	278.9	2029.6	71.4	142	5030.1	35.4	63.0	25.2	472.1	3.3	13.7	0.6	21623
Mittelschwer	1E2V4Y0S7_2	93	28991.9	311.7	1815.3	58.8	75	3091.5	41.2	201.7	25.2	569.5	7.6	230.8	0.7	13412
Mittelschwer	9A8A7A0L24_	156	47790.9	306.4	1281.7	53.2	146	5379.0	36.8	105.0	25.2	381.7	2.6	22.3	0.5	19828
Mittelschwer	1B5R1T0S7_2	114	32738.9	287.2	2067.5	50.4	102	3773.6	37.0	71.4	25.2	622.5	6.1	29.4	0.8	15545
Mittelschwer	4A5R0S0R9_2	177	43694.1	246.9	1029.5	50.4	154	6983.8	45.3	100.9	25.2	597.4	3.9	36.5	0.5	20438
Mittelschwer	4J5E1N1K11_	101	48476.0	480.0	3634.9	58.8	89	3677.0	41.3	109.3	25.2	297.0	3.3	26.0	0.5	12785
Mittelschwer	3A5R0S1A9_2	109	27431.8	251.7	848.8	71.4	63	2496.0	39.6	58.8	25.2	302.8	4.8	40.3	0.8	12844
Mittelschwer	7N1D4S1M13	180	40584.3	225.5	958.1	50.4	116	4546.7	39.2	75.6	25.2	588.0	5.1	32.9	0.7	23790
Mittelschwer	4K3H3N0W10	203	42408.1	208.9	1206.0	50.4	132	5051.0	38.3	96.7	25.2	466.0	3.5	24.5	0.6	24238
Mittelschwer	1N5R0N1S7_	153	39222.6	256.4	3172.6	50.4	137	6307.8	46.0	142.9	25.2	642.8	4.7	36.9	0.7	22743
Mittelschwer	6J9Z7N0L22_	171	34243.3	200.3	764.8	50.4	115	4336.7	37.7	100.9	25.2	446.1	3.9	27.5	0.6	20660
Mittelschwer	9T2N4S0G21	99	23495.0	237.3	1538.0	50.4	111	4777.1	43.0	88.2	25.2	801.6	7.2	39.6	0.6	22351
Mittelschwer	8K7L8A1K24_	158	46765.7	296.0	1369.9	50.4	125	5500.7	44.0	79.8	25.2	603.8	4.8	35.7	0.6	20635
Mittelschwer	6C4R1A1E12_	105	31974.1	304.5	1369.9	67.2	95	4298.9	45.3	84.0	25.2	344.3	3.6	14.3	0.6	12661
Mittelschwer	8T7G9M0M2_	66	19590.6	296.8	1432.9	54.6	205	13186.3	64.3	395.0	25.2	5366.6	26.2	369.4	0.5	9873
Mittelschwer	2E2N3A1E8_	142	41747.2	294.0	1487.6	53.4	119	4531.1	38.1	100.9	25.2	431.3	3.6	26.9	0.7	18286
Mittelschwer	3F8R7N1E19_	138	46173.3	334.6	2260.8	58.8	114	4807.2	42.2	113.5	25.2	333.8	2.9	27.5	0.6	14472
Mittelschwer	9R0G5R0T14	111	28772.1	259.2	1865.8	50.4	81	2891.1	35.7	67.3	25.2	243.0	3.0	11.9	0.7	13013
Mittelschwer	3J4R1A1W9_	135	43500.8	322.2	2033.9	58.8	134	6185.5	46.2	121.9	25.2	554.8	4.1	35.3	0.5	24067
Mittelschwer	2F6R0N0R8_	173	66931.2	386.9	2907.3	62.9	151	5348.2	35.4	71.3	25.2	607.4	4.0	38.8	0.7	24104
Mittelschwer	6H4H2A0L12	120	30133.7	251.1	865.6	50.4	92	3361.7	36.5	79.8	25.2	455.2	4.9	34.8	0.6	15486

Abbildung A.11.: Zusammenfassung Petri-Netz Mittelschwer, FC=Fixation Count, FD=Fixation Duration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath

Stimulus	Participant	FC	FD Total[ms]	FD Avg[ms]	FD Max [ms]	FD Min [ms]	SC	SD Total [ms]	SD Avg [ms]	SD Max [ms]	SD Min [ms]	SA Total [°]	SA Avg [°]	SA Max[°]	SA Min [°]	SP Length [px]
Schwer	2P5F0K0N7fj	133	31789.1	239.0	974.9	50.4	100	4093.1	40.9	88.2	25.2	571.8	5.7	51.5	0.7	29495
Schwer	5P2N3A1B11	166	37188.9	224.0	962.3	50.4	172	7929.6	46.1	96.6	25.2	623.4	3.6	20.4	0.4	26465
Schwer	5S6R0N5M16	210	49110.6	233.9	1130.4	50.4	195	7904.2	40.5	75.6	25.2	939.9	4.8	32.3	0.6	41680
Schwer	3R5R0N0Z9_	212	52888.4	249.5	1571.6	50.4	203	9324.6	45.9	100.9	25.2	846.5	4.2	22.3	0.5	38611
Schwer	4E7N8I0V19_	452	104873.0	232.0	1260.7	50.4	435	19700.8	45.3	109.3	25.2	1877.3	4.3	35.9	0.5	77307
Schwer	6W7E8D1S22	253	61927.2	244.8	1063.1	50.4	264	13833.5	52.4	138.7	25.2	1608.4	6.1	53.3	0.5	53290
Schwer	7K4SS2A0G13	250	60174.8	240.7	1063.1	50.4	222	10337.4	46.6	92.4	25.2	927.2	4.2	22.5	0.5	51035
Schwer	7M6H0L0S13	311	71528.2	230.0	798.4	50.4	303	13027.7	43.0	88.2	25.2	1218.4	4.0	19.7	0.5	56085
Schwer	1E2V4Y0S7_4	219	47062.5	214.9	798.4	54.6	217	11376.9	52.4	92.4	25.2	1307.4	6.0	27.8	0.5	52794
Schwer	9A8A7A0L24_	104	22472.1	216.1	642.9	63.0	90	4089.7	45.4	92.4	25.2	418.2	4.6	20.4	0.5	19057
Schwer	1B5R1T0S7_4	186	41500.5	223.1	1080.0	50.4	182	9303.6	51.1	113.5	25.2	1089.6	6.0	25.0	0.5	43487
Schwer	4A5R0S0R9_4	413	83227.6	201.5	1319.5	50.4	383	18973.1	49.5	96.7	25.2	1963.0	5.1	29.7	0.6	72708
Schwer	4J5E1N1K11_	192	56901.3	296.4	2449.8	63.0	165	6879.0	41.7	105.0	25.2	688.0	4.2	27.3	0.7	29392
Schwer	3A5R0S1A9_4	152	36226.7	238.3	928.7	58.8	125	5139.3	41.1	84.0	25.2	615.9	4.9	28.1	0.6	24899
Schwer	3J4D2S0S9_4	113	25343.2	224.3	760.6	54.6	100	4219.0	42.2	109.3	25.2	651.5	6.5	28.2	0.6	28776
Schwer	7N1D4S1M13	673	135027.9	200.6	1298.5	50.4	571	25578.3	44.8	96.7	25.2	3285.1	5.8	41.7	0.6	138158
Schwer	4K3H3N0W10	323	57432.0	177.8	1760.7	50.4	237	9991.8	42.2	92.4	25.2	1083.1	4.6	22.5	0.6	45420
Schwer	1N5R0N1S7_	286	60739.3	212.4	1016.9	50.4	285	14214.6	49.9	117.7	25.2	1248.6	4.4	24.0	0.6	44202
Schwer	6J9Z7N0L22_	335	66448.6	198.4	949.7	50.4	230	9913.0	43.1	176.5	25.2	1157.7	5.0	22.9	0.6	44799
Schwer	8K7L8A1K24_	325	76373.3	235.0	2067.5	54.6	274	13141.1	48.0	92.4	25.2	1749.0	6.4	38.1	0.6	62040
Schwer	8V4XROP12_4	651	139746.1	214.7	1441.3	50.4	564	28781.6	51.0	126.1	25.2	3128.3	5.5	42.5	0.5	117282
Schwer	6C4R1A1E12_	424	105881.5	249.7	878.3	50.4	404	18439.3	45.6	117.7	25.2	1694.1	4.2	29.9	0.6	67144
Schwer	8T7G9MOM2_	72	21061.1	292.5	1613.6	58.8	83	4853.5	58.5	386.6	25.2	2769.4	33.4	813.9	0.5	11564
Schwer	2E2N3A1E8_4	239	56002.0	234.3	970.7	50.4	219	10215.5	46.6	109.3	25.2	1473.1	6.7	38.3	0.6	54410
Schwer	3F8R7N1E19_	255	62511.3	245.1	1844.7	50.4	246	11488.6	46.7	126.1	25.2	1075.1	4.4	25.7	0.5	41967
Schwer	3J4R1A1W9_	303	75903.6	250.5	1075.7	58.8	268	11652.5	43.5	92.4	22.2	1288.2	4.8	23.6	0.7	58829
Schwer	2F6R0N0R8_	264	79524.4	301.2	1711.7	58.7	217	8344.4	38.5	79.7	25.2	1008.7	4.6	20.2	0.8	49631
Schwer	4F4K1D0B9_4	238	56897.1	239.1	1882.6	58.8	216	8904.4	41.2	75.6	25.2	1019.4	4.7	27.5	0.6	46282
Schwer	6H4H2A0L12_	312	82020.8	262.9	1197.6	58.8	250	10141.0	40.6	88.3	25.2	1511.2	6.0	45.1	0.6	54528

Abbildung A.12.: Zusammenfassung Petri-Netz Schwer, FC=Fixation Count, FD=Fixation Duration, SC=Saccade Count, SD=Saccade Duration, SP= Scanpath

**Erklärung**

Ich, Ayse Güleroglu, Matrikelnummer 1033291, erkläre, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ulm, den .....

Ayse Güleroglu