

Ereignisdiskrete Simulation in Produktion und Logistik (SoSe 2024) Fallstudie in AnyLogic: Farbsortierspeicher

Themenstellung

Fahrzeuge in der Lackiererei eines Automobilwerkes bekommen ihren Farbauftrag, die sogenannte Decklackfarbe, in der Decklacklinie. Wenn zwischen zwei zu lackierenden Farben gewechselt werden muss, entstehen durch die Reinigung der Lackierausrüstung und die dabei erforderlichen Reinigungsmittel und die entsorgte Farbe Rüstkosten. Zur Vermeidung unnötiger Rüstkosten sollen möglichst viele Fahrzeuge nacheinander in der gleichen Farbe lackiert werden.

Dazu möchte der Automobilhersteller, den sie unterstützen sollen, einen Farbsortierspeicher installieren. Das Layout des Farbsortierspeichers ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

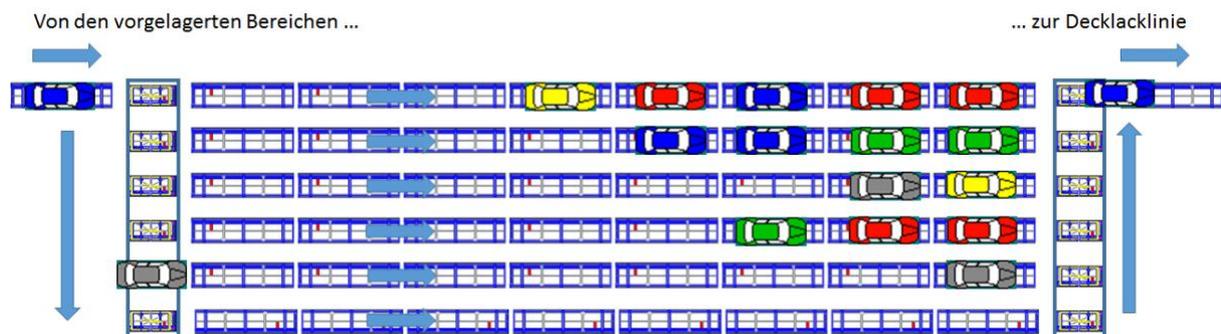


Abbildung 1: Schematisches Layout eines Farbsortierspeichers

Aus dem linken, im Bild nicht dargestellten Bereich treffen Fahrzeuge ein, die in unterschiedlichen Farben zu lackieren sind (durch die hilfsweise bereits eingefärbten Symbole veranschaulicht). Der Speicher selbst besteht aus sechs parallelen Linien mit jeweils acht Plätzen. Ein- und Auslagerung in die Bahnen erfolgt über sogenannte Querförderer, die die Fahrzeuge linksseitig des Farbsortierspeichers zu einer der sechs Bahnen bringen können und die die Fahrzeuge rechtsseitig des Speichers aus den Bahnen abziehen, nach oben transportieren und dann an die nachgelagerte, im Bild nicht mehr dargestellte, Decklacklinie abgeben.

Die Aufgabe des Farbsortierspeichers ist es, die Fahrzeuge geeignet so zu sortieren, dass möglichst große Blöcke in gleicher Farbe zu sortierender Fahrzeuge zur Decklacklinie geschickt werden können.

In obiger Abbildung kann offensichtlich dem blauen Fahrzeug kein blaues Fahrzeug folgen, sodass als nächstes beispielsweise die beiden roten Fahrzeuge von Linie 1 (gezählt von oben) und anschließend die beiden roten Fahrzeuge von Linie 4 ausgelagert werden können; die Decklacklinie hätte dann einen Block von vier roten Fahrzeugen zu lackieren. Anschließend wäre es denkbar, die beiden

grünen Fahrzeuge von Linie 2 und das grüne (nunmehr am Ende von Linie 4 stehende) Fahrzeug nacheinander auszulagern und einen grünen Farbblock der Größe 3 zu bilden.

Sie sollen den Fahrzeughersteller dabei unterstützen, möglichst gute Regeln für die Ein- und Auslagerung der Fahrzeuge zu erarbeiten. Dabei müssen unter anderem die folgenden Randbedingungen beachtet werden.

In der Lackiererei werden die Fahrzeuge in zehn verschiedenen Farben lackiert. Die folgende Tabelle zeigt die Häufigkeit der jeweiligen Farben.

Farbnummer	Farbhäufigkeit
1	36%
2	22%
3	12%
4	8%
5	8%
6	4%
7	4%
8	3%
9	2%
10	1%

Tabelle 1: Farbhäufigkeiten

Aufgrund der vorgelagerten Prozesse ist es nicht möglich vorab festzulegen, welche Fahrzeuge in welcher zu lackierenden Farbe am Farbsortierspeicher eintreffen – das ergibt sich vielmehr zufällig gemäß den in der Tabelle angegebenen Häufigkeiten.

Die gesamte Lackiererei produziert durchschnittlich 60 Fahrzeuge pro Stunde, wobei die dem Farbsortierspeicher vor- und nachgelagerten Bereiche jeweils mit einer Taktzeit von 57 Sekunden und jeweils mit einer Verfügbarkeit von 95% bei einer MTTR von 180 Sekunden arbeiten. Bitte legen Sie für die Verteilung von MTTR und MTBF begründete Annahmen fest.

Im störungsfreien Fall kommt also alle 57 Sekunden ein neues, in den Farbsortierspeicher einzulagerndes, Fahrzeug an und alle 57 Sekunden muss ein Fahrzeug für die Decklacklinie bereitgestellt werden.

Die Fördertechnik fördert ein Fahrzeug von einem Platz zum nächsten Platz in zwölf Sekunden in Längsrichtung und in sechs Sekunden in Querrichtung. Die zur Einlagerung (Auslagerung) benötigte Zeit hängt also auch von der Linie ab, in die (aus der) das entsprechende Fahrzeug einsortiert (aussortiert) wird. Die Fördertechnik einschließlich Zu- und Abförderung arbeiten störungsfrei.

Der Verantwortliche für die Lackiererei wünscht sich eine durchschnittliche Farbblockgröße von sechs Fahrzeugen.

Erstellen Sie ein Simulationsmodell, um den Automobilhersteller bei der Auslegung des Farbsortierspeichers zu unterstützen und berücksichtigen Sie im Rahmen Ihrer Ausarbeitung bitte u.a. die folgenden Aspekte:

1. Erarbeiten Sie geeignete Regeln für die Ein- und Auslagerung der Karosserien
2. Welchen Mindestfüllstand des Speichers empfehlen Sie, um ein gutes Sortierergebnis zu erzielen? Überlegen Sie bitte auch kurze, welche Implikationen für wichtige Kennzahlen sich im Vergleich zu anderen möglichen Mindestfüllständen ergeben?
3. Kann die angestrebte durchschnittliche Farblockgröße erreicht werden?
4. Welchen Einfluss hat eine Gleichverteilung der Farbhäufigkeiten auf ihre Ergebnisse?
5. Der Automobilhersteller hat auch Alternativangebote vorliegen, den Farbsortierspeicher mit fünf oder mit sieben Linien auszurüsten. Was empfehlen Sie – sechs Linien wie in Abbildung 1 gezeigt oder fünf bzw. sieben Linien?
6. Welche Einschwingzeit wählen Sie?

Sollten Ihnen im Text der Aufgabenstellung Hinweise fehlen, so treffen Sie bitte selbst geeignete und begründete (!) Annahmen. Gerne können Sie auch Artikel aus wissenschaftlichen Zeitschriften verwenden, um die wissenschaftliche Relevanz der von Ihnen getroffenen Annahmen zu belegen. Vergessen Sie bitte auch nicht, mit einfachen Plausibilitätsanalysen Ihre Simulationsergebnisse zu überprüfen.

Als Statistiken sollten Sie sich vor allem mit den Farblockgrößen auseinandersetzen, aber natürlich müssen Sie auch den Füllstand des Farbsortierspeichers sowie die Einhaltung der Taktzeit von 57 Sekunden im Blick haben und belegen.



Simulation eines Farbsortierspeichers

Vorgehensweise

Ziel der Simulationsstudie.

Vorgehensmodell nach ASIM.

Simulationsmodell

Beschreibung der Logik.

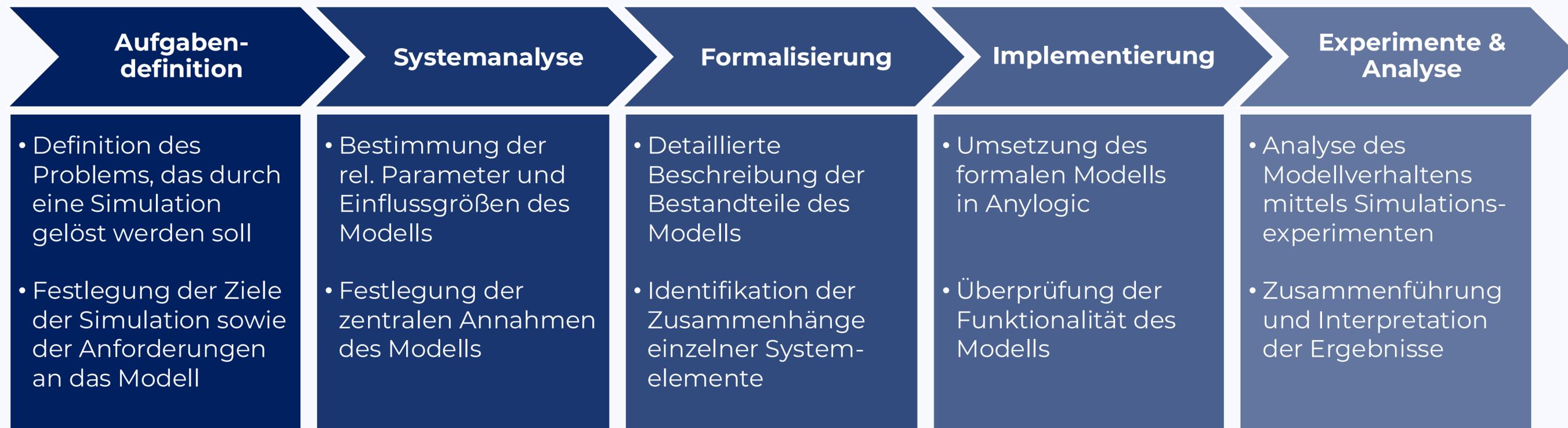
Aufbau des Simulationsmodells.

Erkenntnisse

Simulationsergebnisse.

Entscheidungsempfehlungen.

Vorgehensmodell nach ASIM



Ziel der Simulationsstudie



Farbblockgröße

Erreichung einer durchschnittlichen Farbblockgröße von 6 Fahrzeugen.



Takteinhaltung

Kontinuierliche Einhaltung der Taktzeit am Prozesseingang sowie -ausgang.



Konfigurationsprüfung

Identifikation der bestmöglichen Parameterkonfiguration des Farbsortierspeichers anhand verschiedener Experimente.

Festlegung der Einflussgrößen

5 zentrale Parameter



21 Modellannahmen

01

Die Fehlerdauer in vorherigen/nachfolgenden Prozessschritten ist erlang-2-verteilt und basiert auf der MTTR.

02

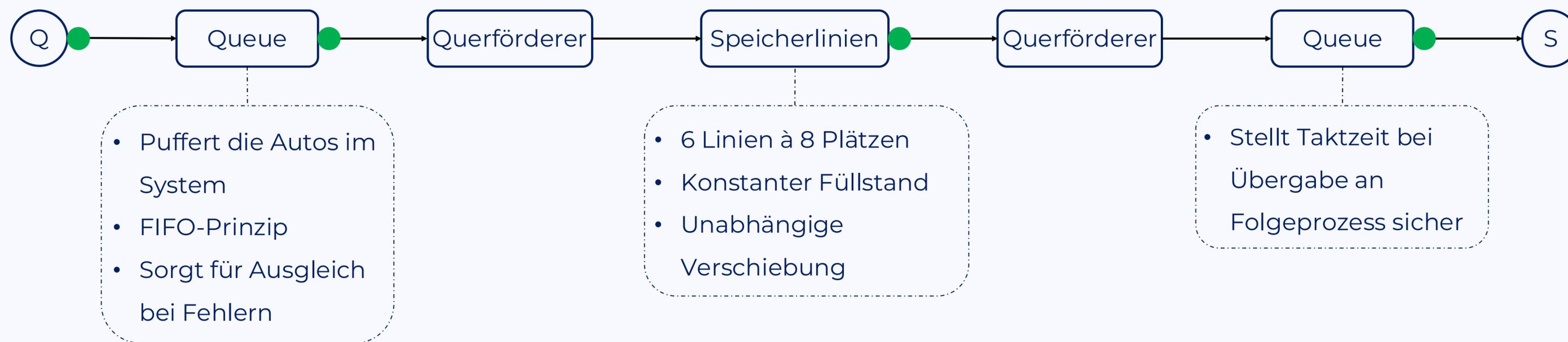
Die Zeit bis zum Auftreten eines Fehlers ist exponentialverteilt und basiert auf der MTBF.

03

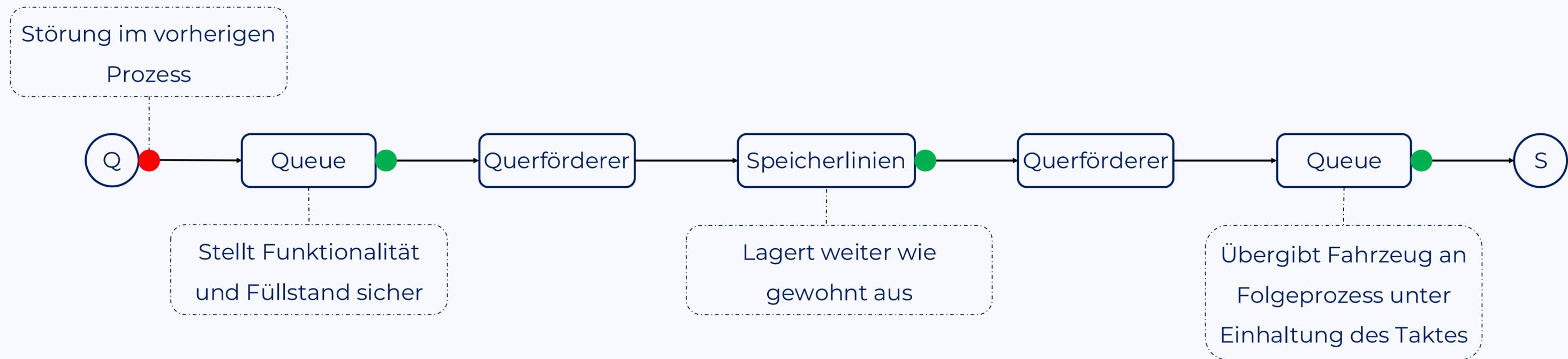
Bei Fehlern in vorherigen Prozessschritten kommt kein neues Fahrzeug am Farbsortierspeicher an, bis der Fehler behoben wurde.

⋮

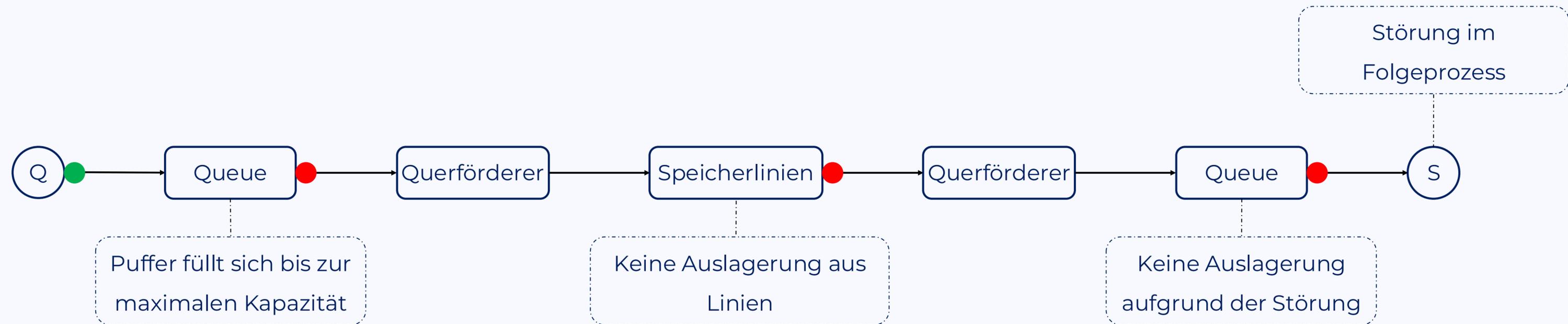
Modellübersicht



Modellübersicht



Modellübersicht



Regeln für die Einlagerung nach Sun und Han^[1]

1 Weise das Auto einer Spur mit dem zuletzt eingefahrenen Auto mit derselben Farbe zu.*

2 Weise das Auto einer Spur ohne Autos derselben Farbe zu.*

3 Weise das Auto der Spur mit geringster Anzahl an Autos zu.

* Erfüllen mehrere Spuren diese Regel so wird immer die kürzeste Spur gewählt

[1]: H. Sun and J. Han. A study on implementing color-batching with selectivity banks in automotive paint shops. Journal of Manufacturing Systems, 44:42-52, 2017.

... erweitert durch eine Scoreberechnung



Die Regeln 2 und 3 werden zu einer Scoreberechnung zusammengefasst.

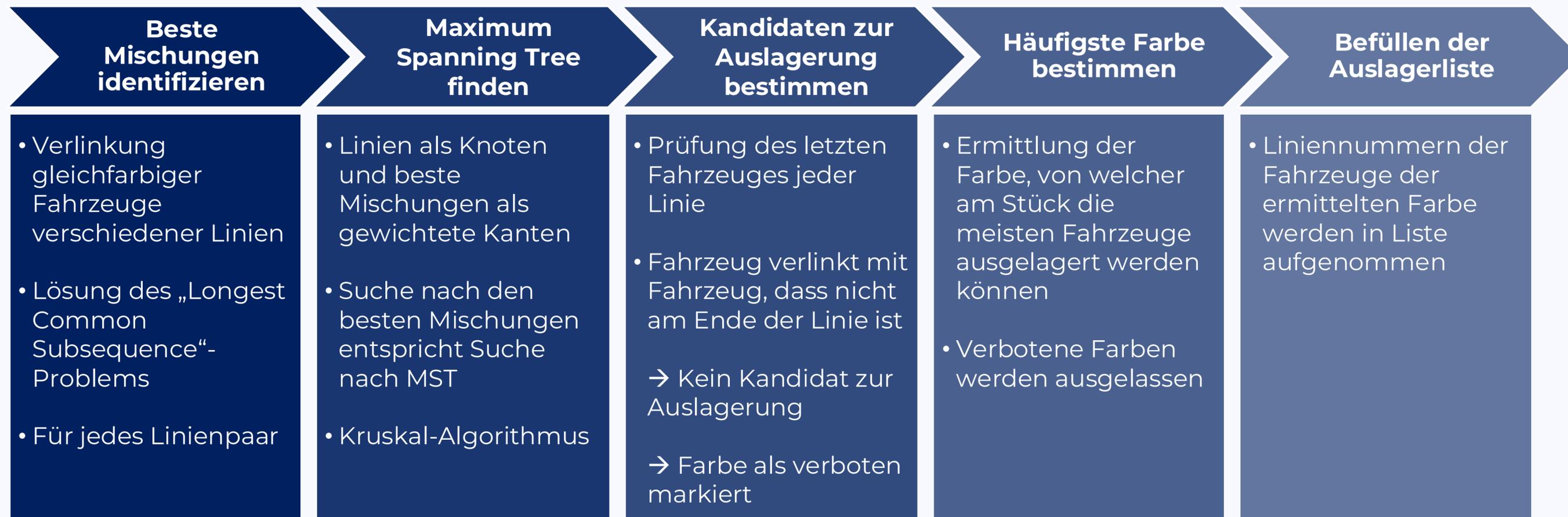


- Linien mit geringer Auslastung werden besser bewertet
- Linien ohne Auto derselben Farbe werden besser bewertet
- Wartende Autos der Queue werden mit einbezogen (max. die ersten 5)

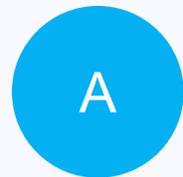


Verbesserungen von drei bis vier Prozent durch Verwendung der Scoreberechnung hinsichtlich der durchschnittlichen Kettengröße.

Logik für die Auslagerung: Shuffle-Heuristik



Wahl des Auslagerautos



Auslagerliste

Auslagern des nächsten Autos aus der Linie, die in der Liste an erster Stelle steht.



Fahrzeug derselben Farbe

Auslagern eines verfügbaren Autos mit derselben Farbe wie das zuletzt ausgelagerte Auto.

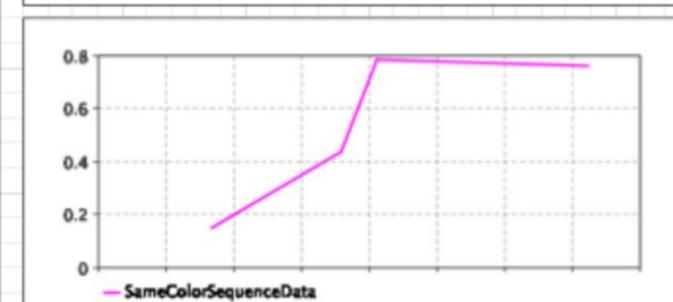
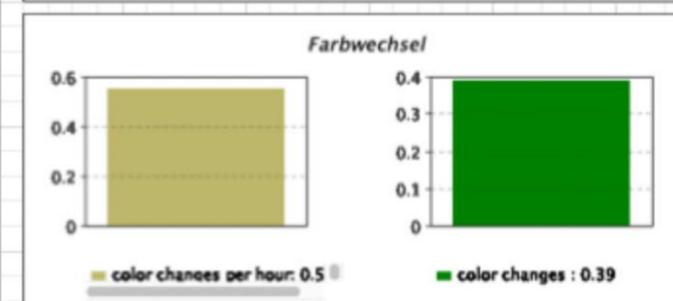
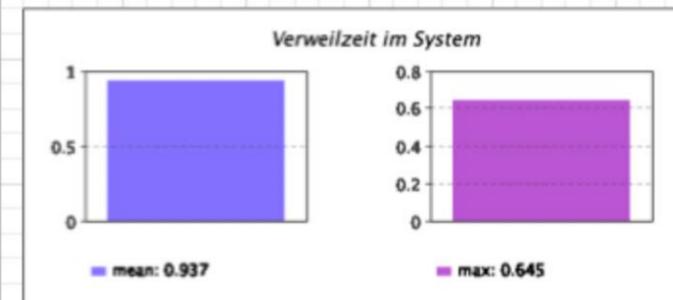
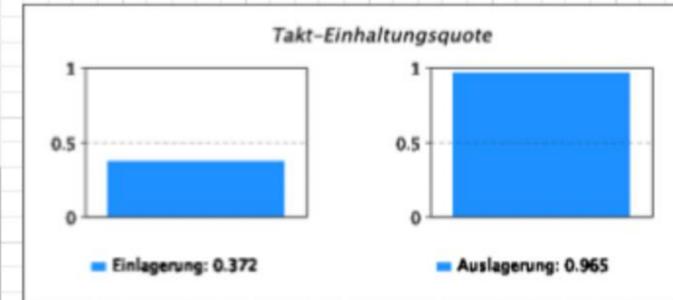
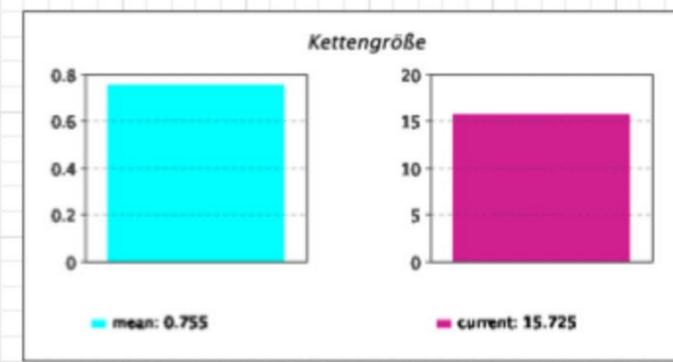
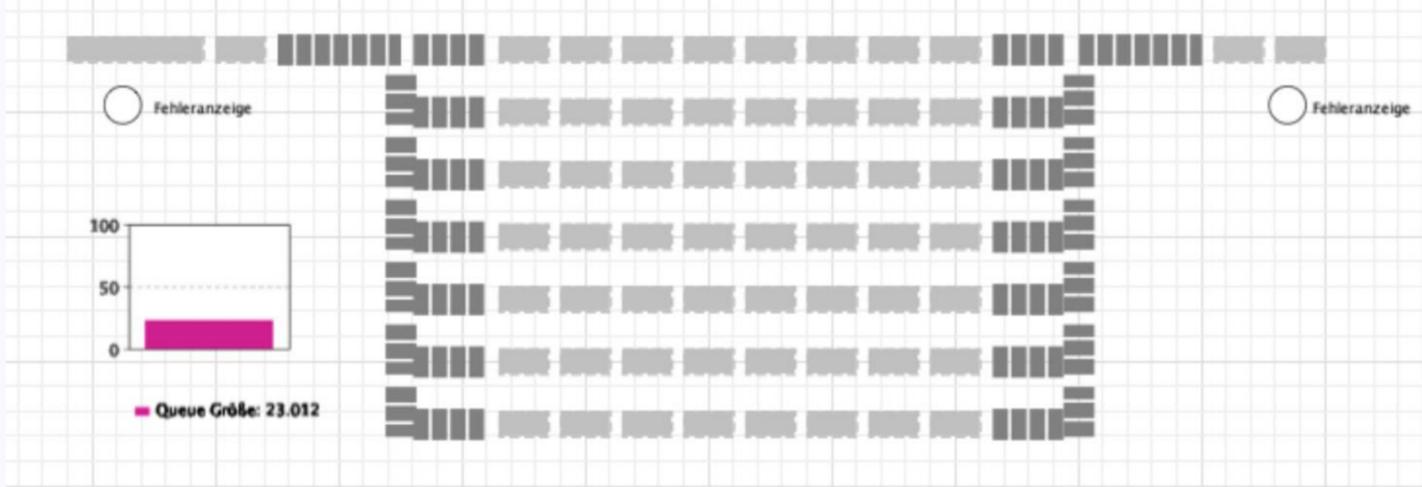


Shuffle-Heuristik

Befüllung der Auslagerliste mittels der Shuffle-Heuristik und Auslagerung des ersten Autos aus der Liste.

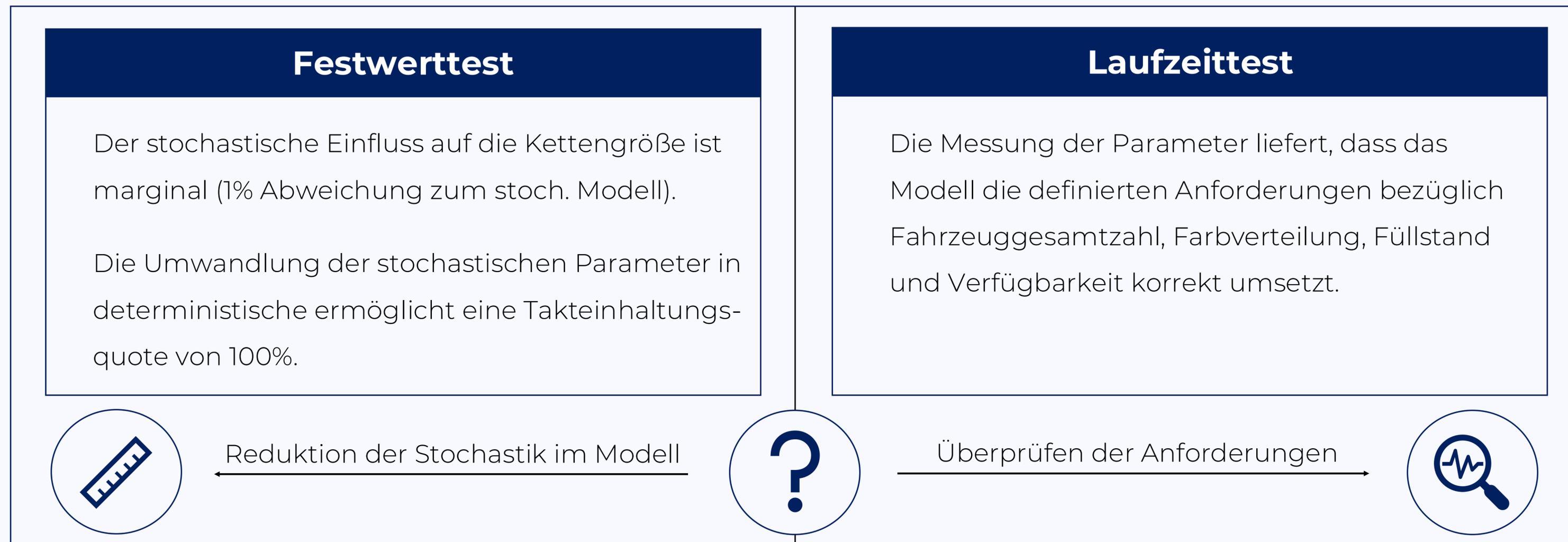
Live-Demo

Bestandteile des Simulationsmodells.
 Überblick der zentralen Parameter.
 Durchführung von Experimenten.



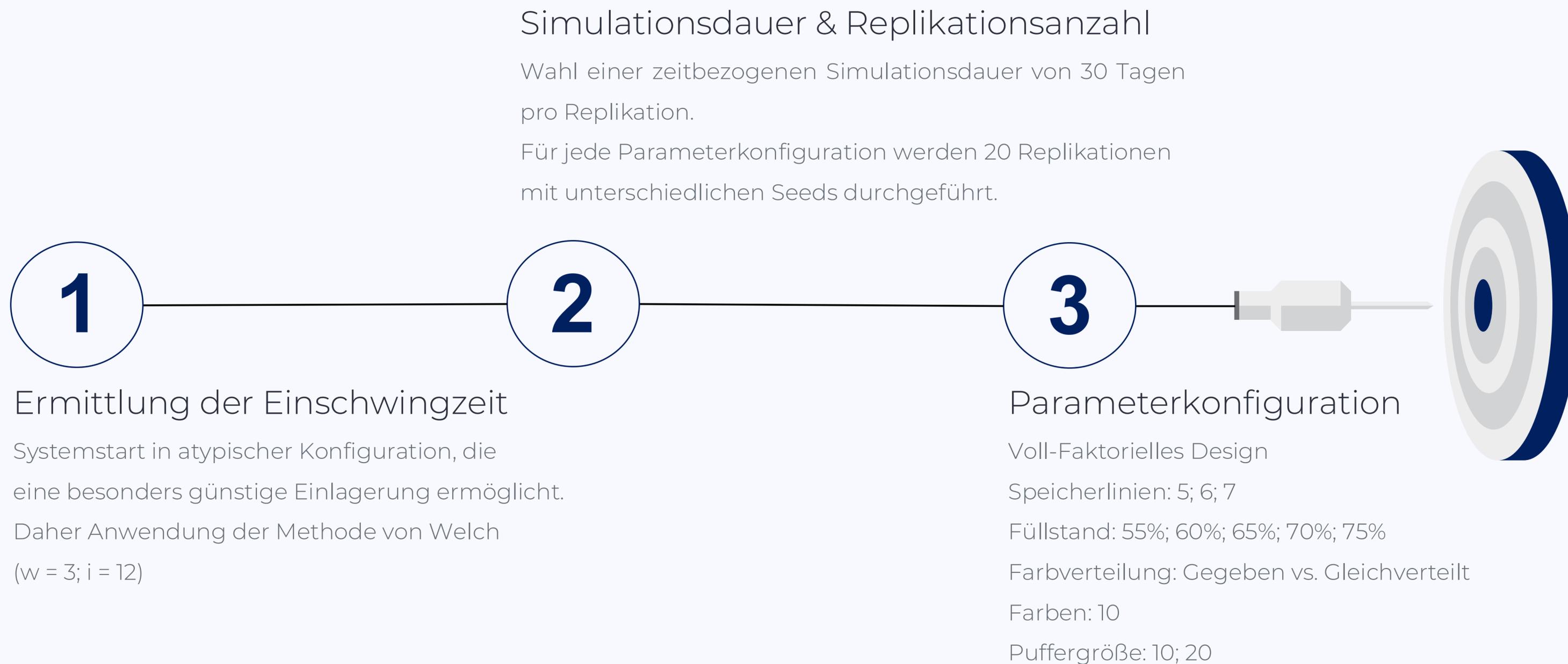
Implementierung

Die Modellergebnisse können plausibilisiert werden



Die Testergebnisse gewährleisten die Einhaltung der Modellanforderungen sowie die Plausibilität der Modellergebnisse.

Experimentdesign zur Bestimmung der geeigneten Parameterkonfiguration



Die Zielgröße von sechs Fahrzeugen kann gewährleistet werden

- 1 Die Ergebnisse der Kettengröße sind sehr robust und wachsen mit der Linienzahl (<1% rel. Std.A.).
- 2 Der Füllstand ist neben Linienzahl und Farbverteilung ausschlaggebender Faktor für die Kettengröße (max. bei 65% und 70%).
- 3 Die Kettengrößen bei GV liegen 24,5% unterhalb der Vergleichswerte mit vorgegebener Verteilung.
- 4 Die Takteinhaltungsquote hängt ausschließlich von der Puffergröße ab (10: 98% vs. 20: 99%).
- 5 Geschäftsschädigend hohe Verweilzeiten im Speicher konnten nicht nachgewiesen werden.

... gleichzeitig offenbart sich ein vielversprechender Alternativansatz



Ab welchem Punkt werden Vorteile eines breiten Produktangebots von den damit assoziierten Mehrkosten übertroffen?

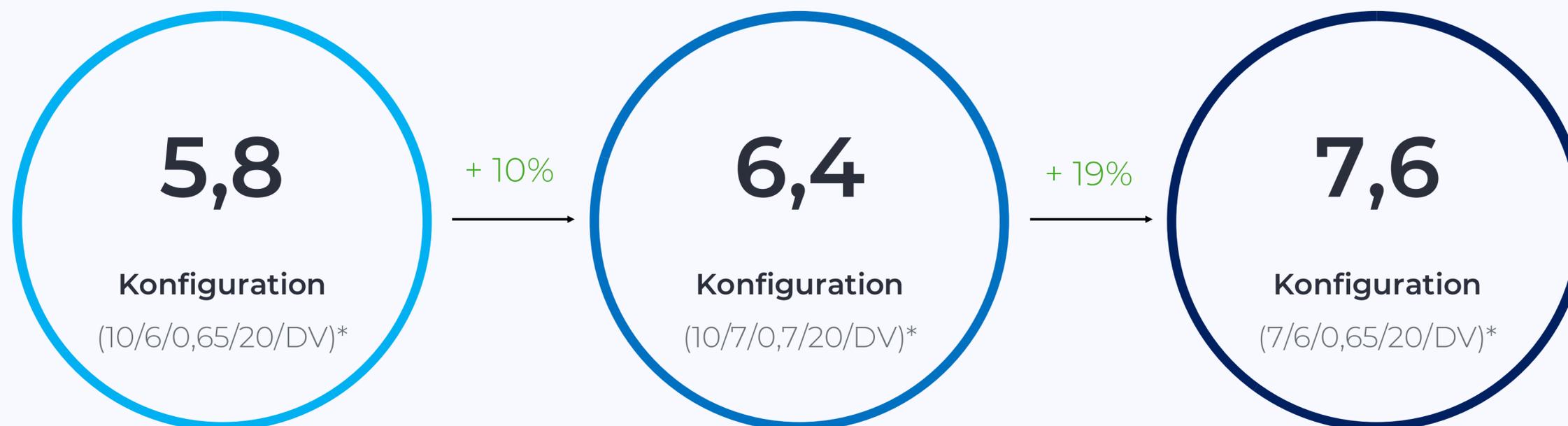


Anteil der drei Low-Runner 6% der Gesamtfahrzeuge;
Untersuchung einer Reduktion von 10 auf 7 Farben bei sechs Linien.



Die erreichte Farblockgröße von 7,6 Fahrzeugen verdeutlicht das erhebliche Potenzial der Variantenreduktion.

Entscheidungsempfehlungen



1 Optimierung des Produktangebots

Unter der Voraussetzung, dass 10 Farbvarianten im Portfolio enthalten sein müssen, ist zu empfehlen eine siebte Linie zum Farbsortierspeicher hinzuzufügen um die Farblockgröße von >6 gewährleisten zu können.

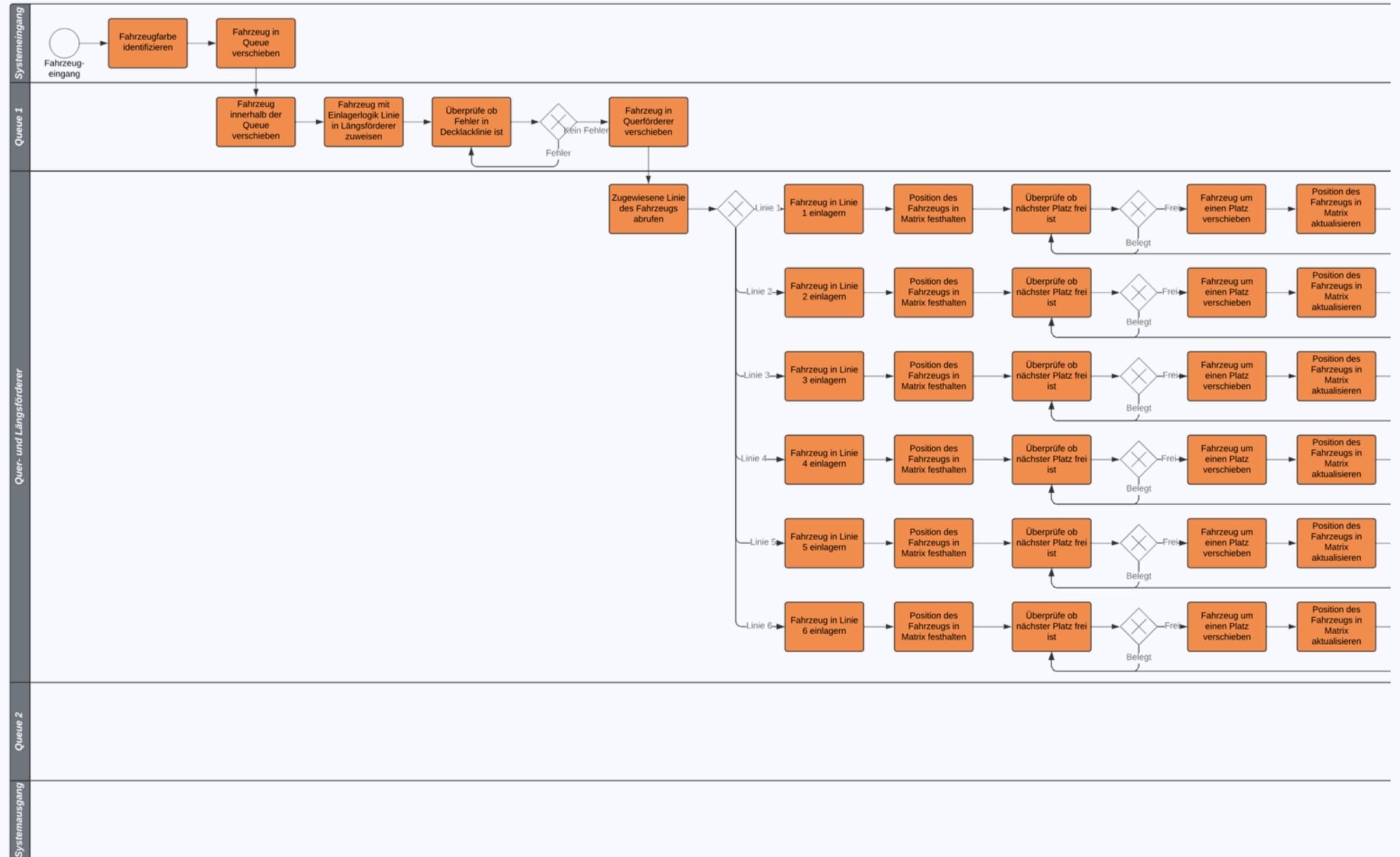
2 Optimierung des Produktionsprozesses

Falls Flexibilität im Portfolio besteht, sollte das identifizierte Potenzial einer Variantenreduktion umgesetzt werden, da dies ein erhebliches Potenzial zur Leistungssteigerung des Gesamtsystems birgt.

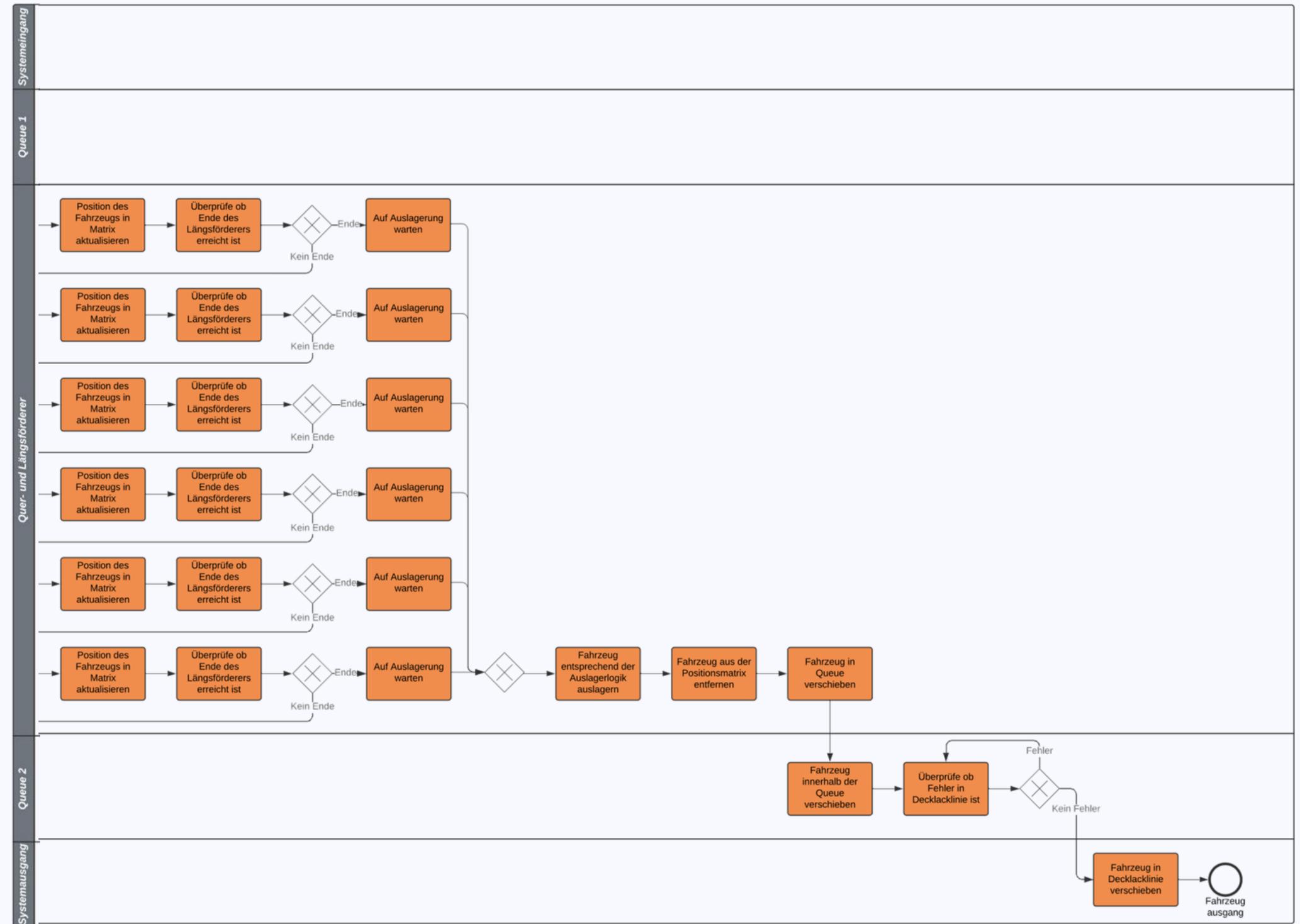
*(Anzahl Farben/Anzahl Linien/Füllstand Speicher/Queue Size/Farbverteilung)

Backup

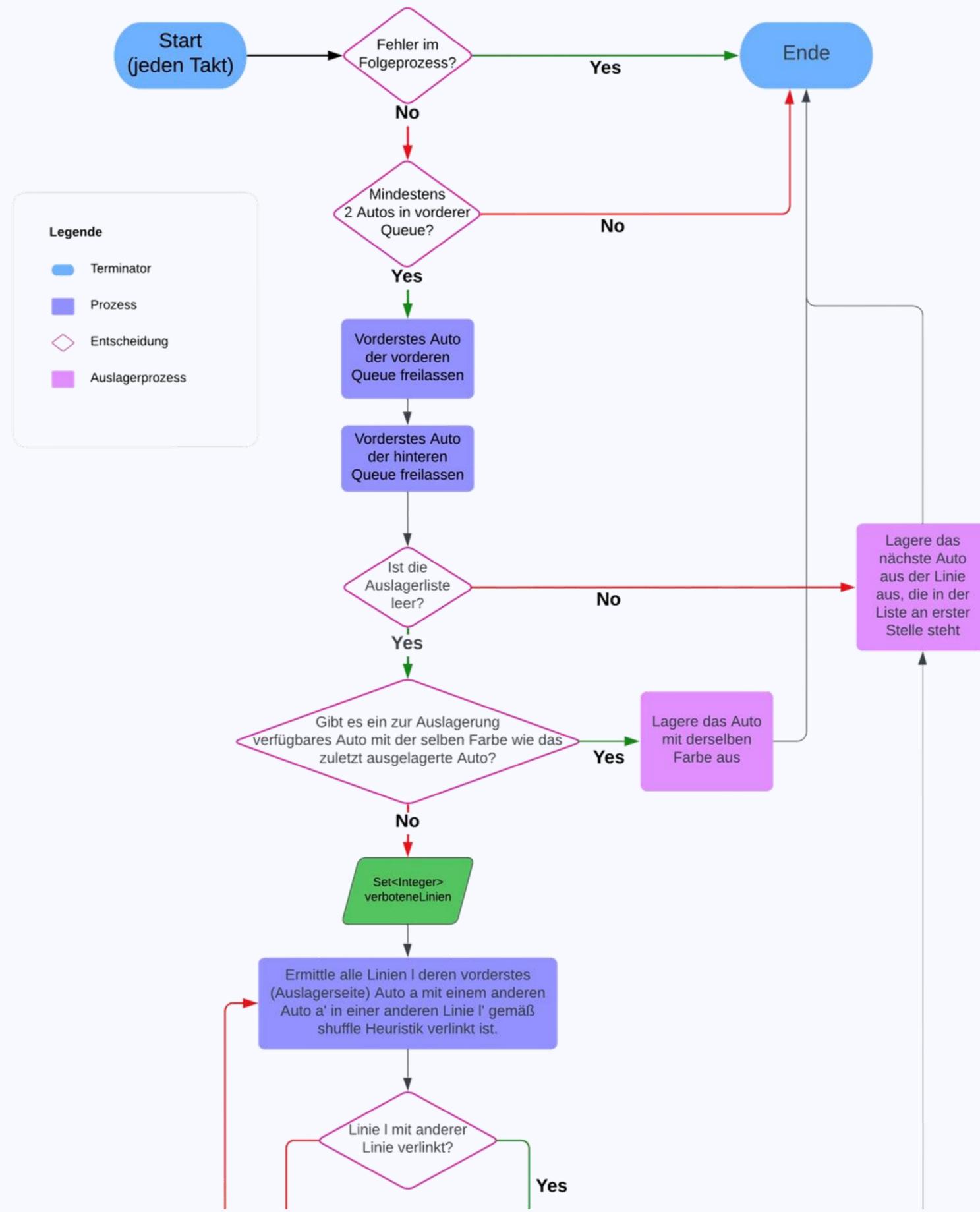
BPMN (1/2)



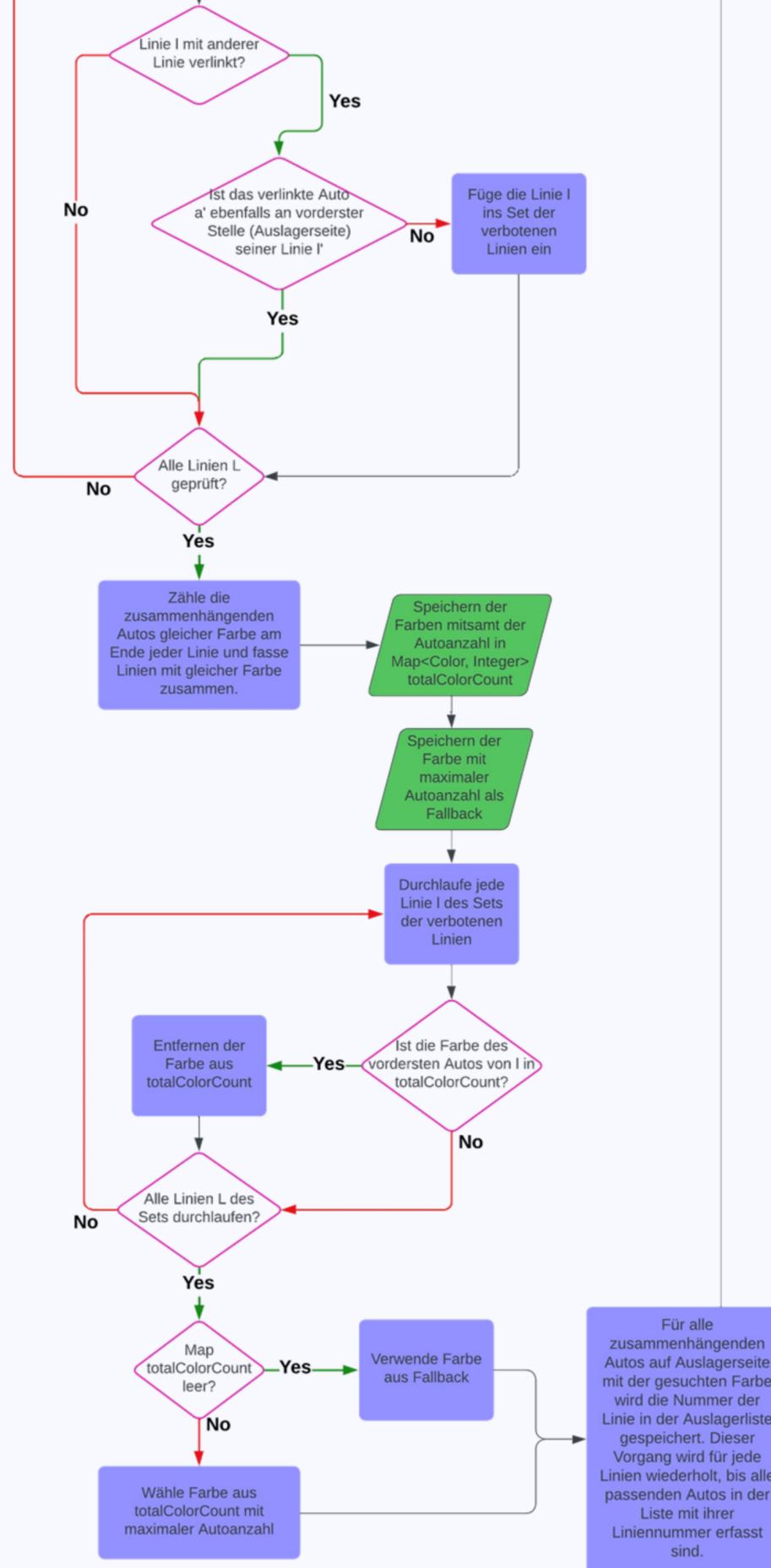
BPMN (2/2)



Auslager- logik (1/2)



Auslager- logik (2/2)



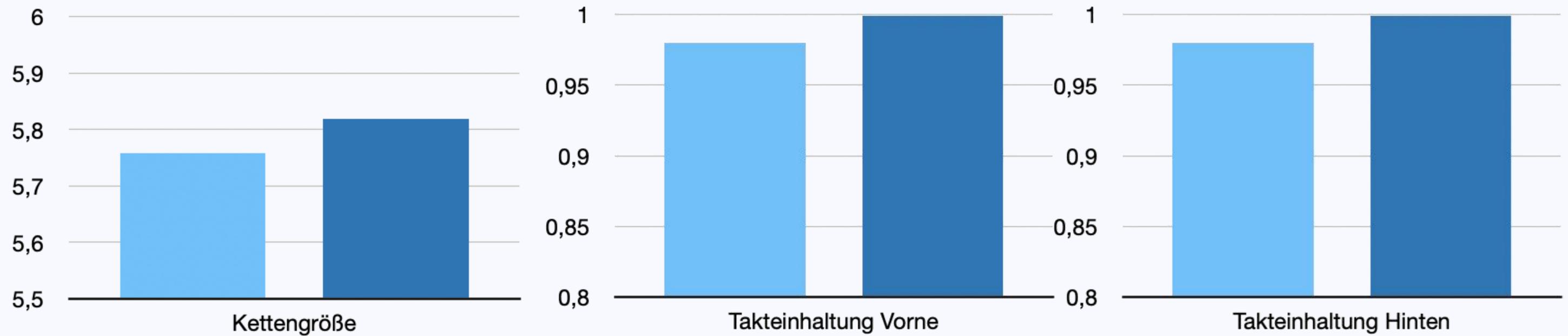
Score- berechnung

$$s_l = 50 - (3 \times \text{num}_l) + (22 \times x_l) - (18 \times y_{l,q=1}) - \sum_{i=2}^5 ((6 - i) \times y_{l,q=i})$$

$$x_l = \begin{cases} 1, & \text{wenn } c \notin C_l \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad y_{l,q=i} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } c_l = c_{q=i} \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Symbol	Beschreibung
num_l	Anzahl der Plätze in Spur l , die von Fahrzeugen belegt sind, $0 \leq \text{num}_l \leq W$
s_l	Score der Spur l
C_l	Menge der den Fahrzeugen in Spur l zugewiesenen Farben
c_l	Farbe des zuletzt eingetroffenen Fahrzeugs in Spur l
c	Farbe eines kommenden Fahrzeugs
$c_{q=i}$	Farbe des Fahrzeuges in vorderer Queue an Stelle i

Ergebnisse des Festwerttests

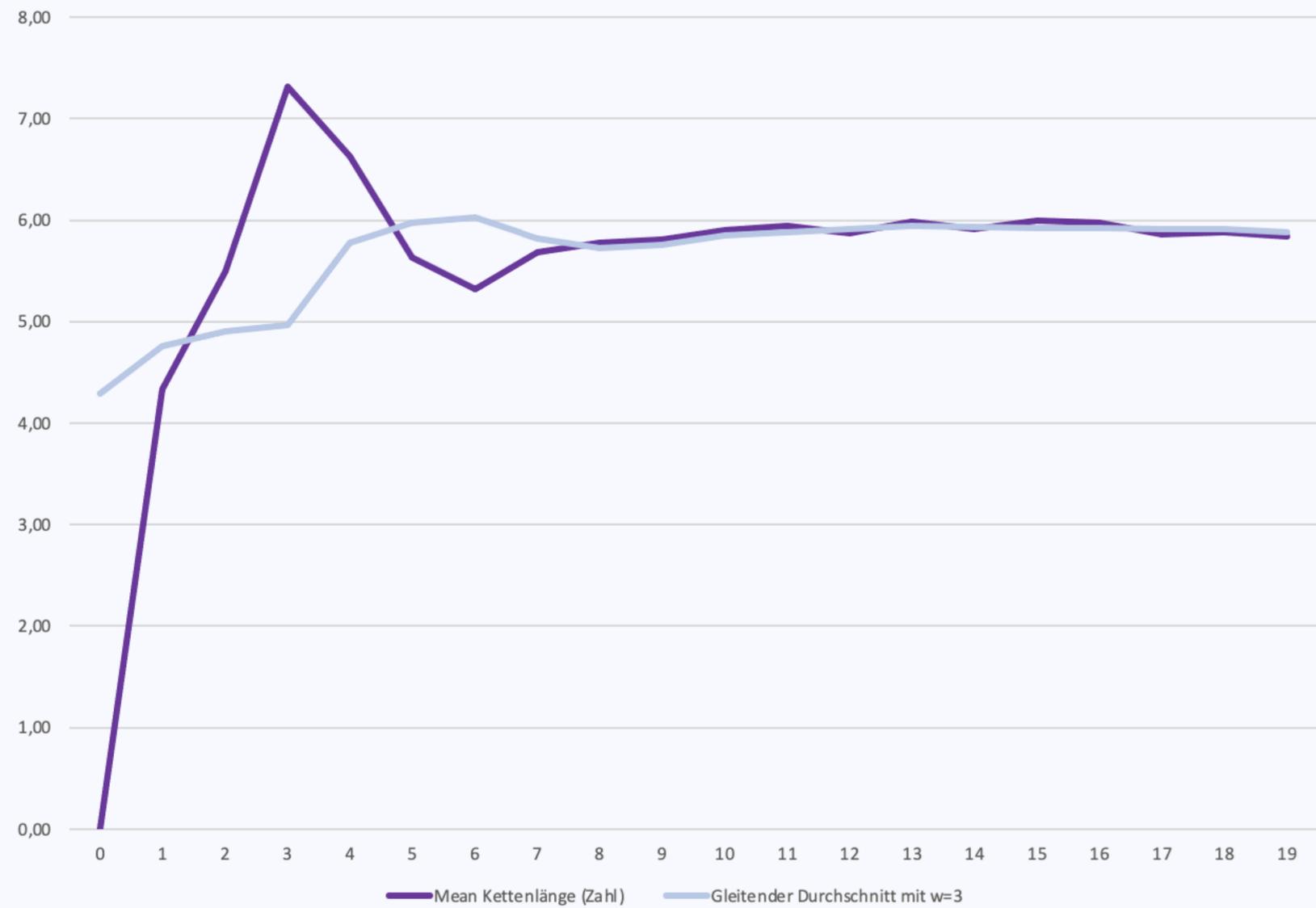


Hellblau: Stochastisches Modell, Dunkelblau: Deterministisches Modell

Ergebnisse des Lauf- zeittests

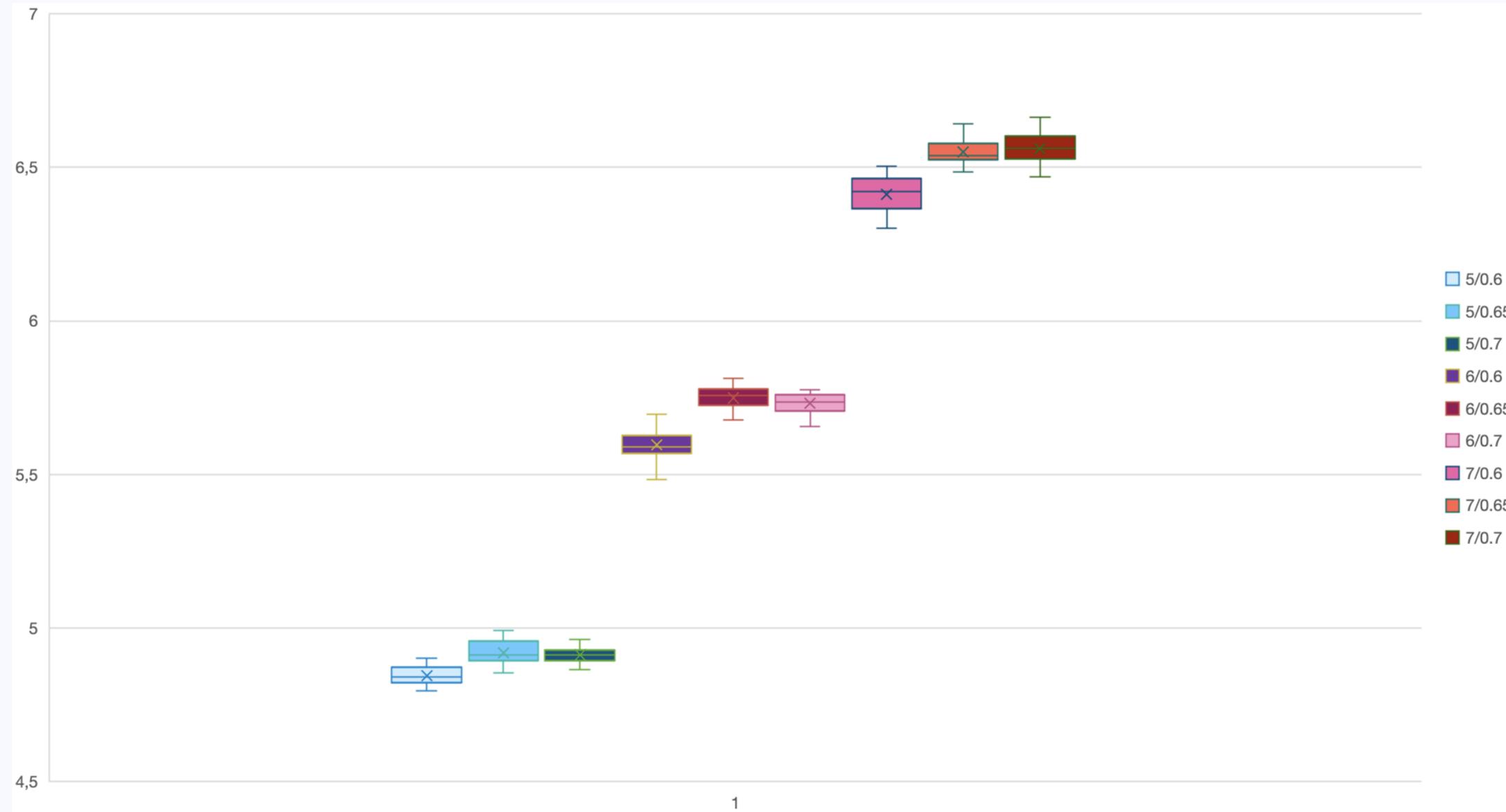
Variable	Soll	Ist
Fahrzeuge Gesamt	43.803 [100%]	43.208 [100%]
Fahrzeuge Schwarz	15.769 [36%]	15.597 [36,1%]
Fahrzeuge Weiß	9.638 [22%]	9.527 [22,0%]
Fahrzeuge Rot	5.256 [12%]	5.192 [12,0%]
Fahrzeuge Blau	3.504 [8%]	3.341 [7,7%]
Fahrzeuge Grün	3.504 [8%]	3.488 [8,1%]
Fahrzeuge Gelb	1.752 [4%]	1.727 [4,1%]
Fahrzeuge Cyan	1.752 [4%]	1.789 [4,1%]
Fahrzeuge Magenta	1.314 [3%]	1.267 [2,9%]
Fahrzeuge Pink	876 [2%]	857 [2,0%]
Fahrzeuge Orange	438 [1%]	423 [1,0%]
Fehlerzeit Vorne	-	126.595 s
Fehlerzeit Hinten	-	127.791 s
Verfügbarkeit Vorne	95%	95,20%
Verfügbarkeit Hinten	95%	95,15%
Min Füllstand	65%	31 Fzg. [64,58%]
Max Füllstand	65%	31 Fzg. [64,58%]

Einschwingszeit



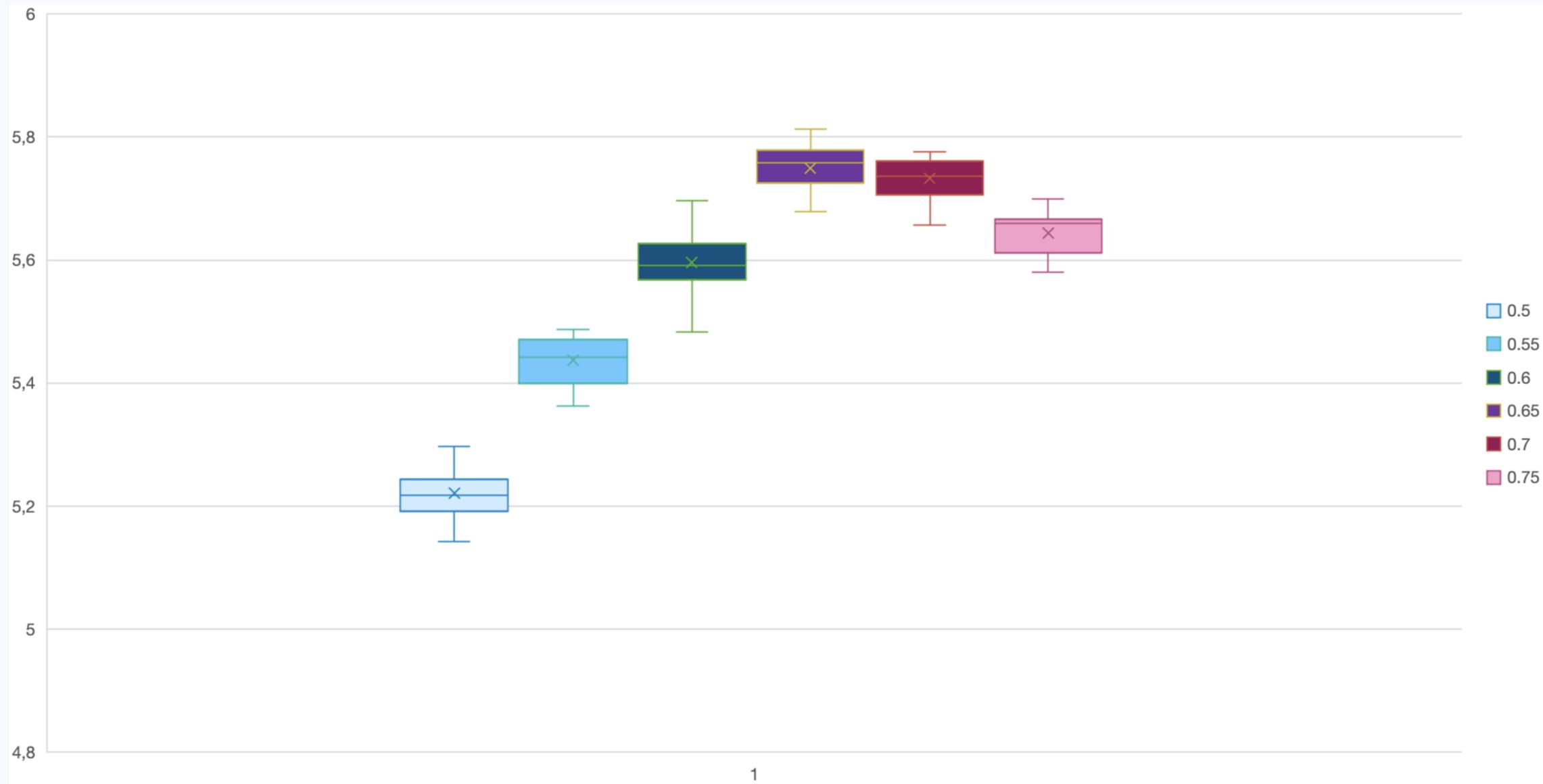
Kettengröße

Bei Änderung des Füllstandes und der Anzahl an Linien (QueueSize = 20)



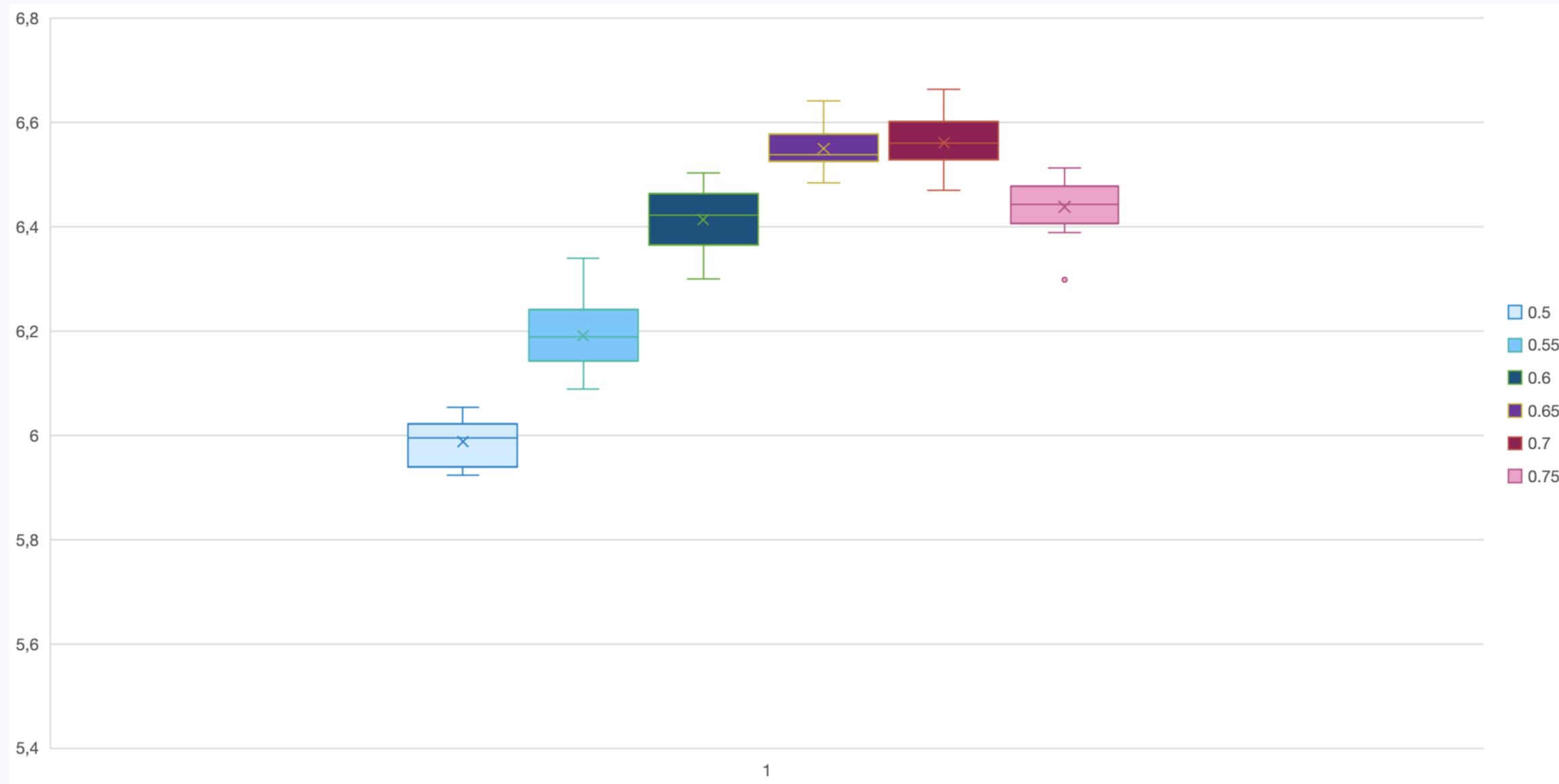
Kettengröße

Bei Änderung vom Füllstand (AnzahlLinien = 6, QueueSize = 20)

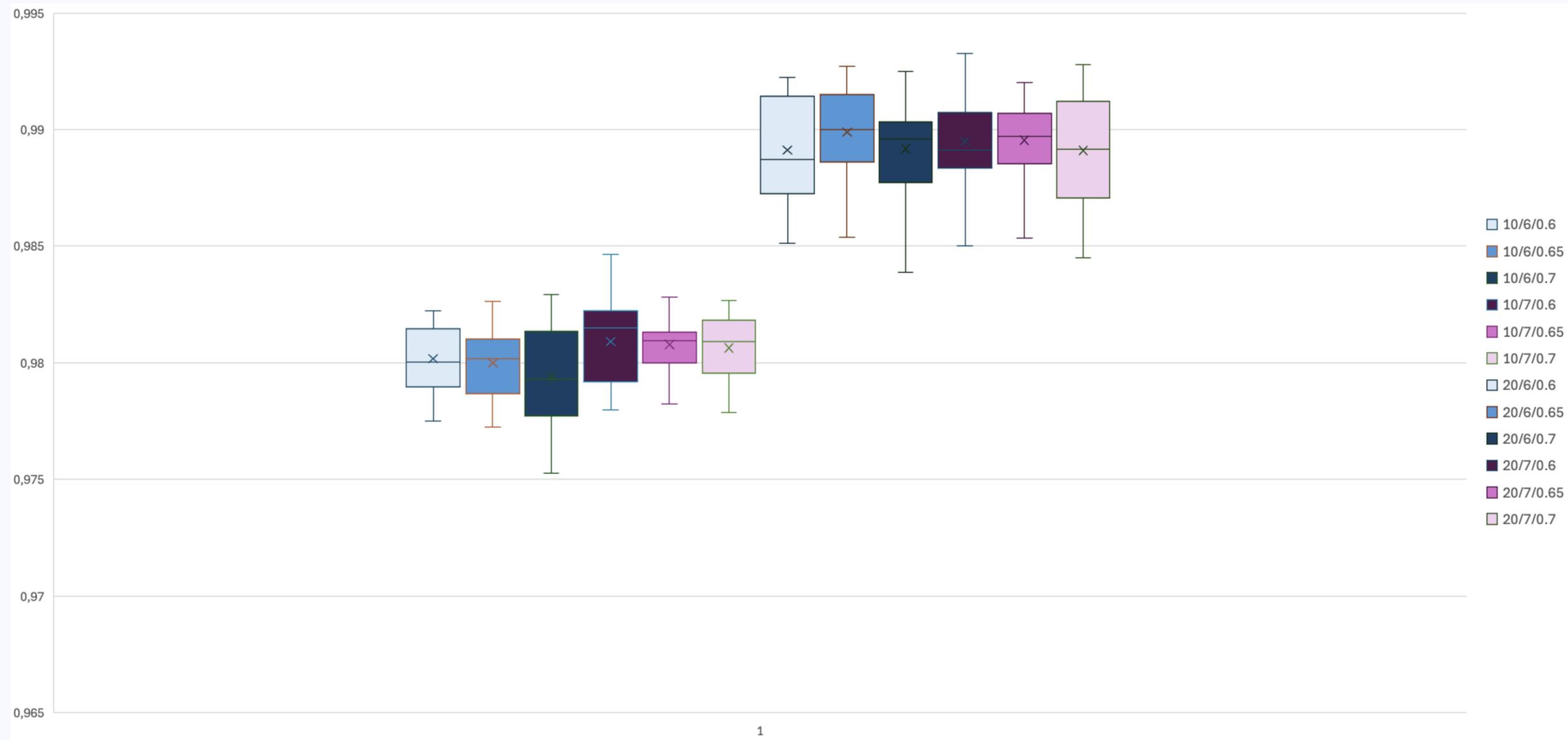


Kettengröße

Bei Änderung vom Füllstand (AnzahlLinien = 7, QueueSize = 20)



Takteinheitung (vorne)



Takteinhaltung (hinten)

