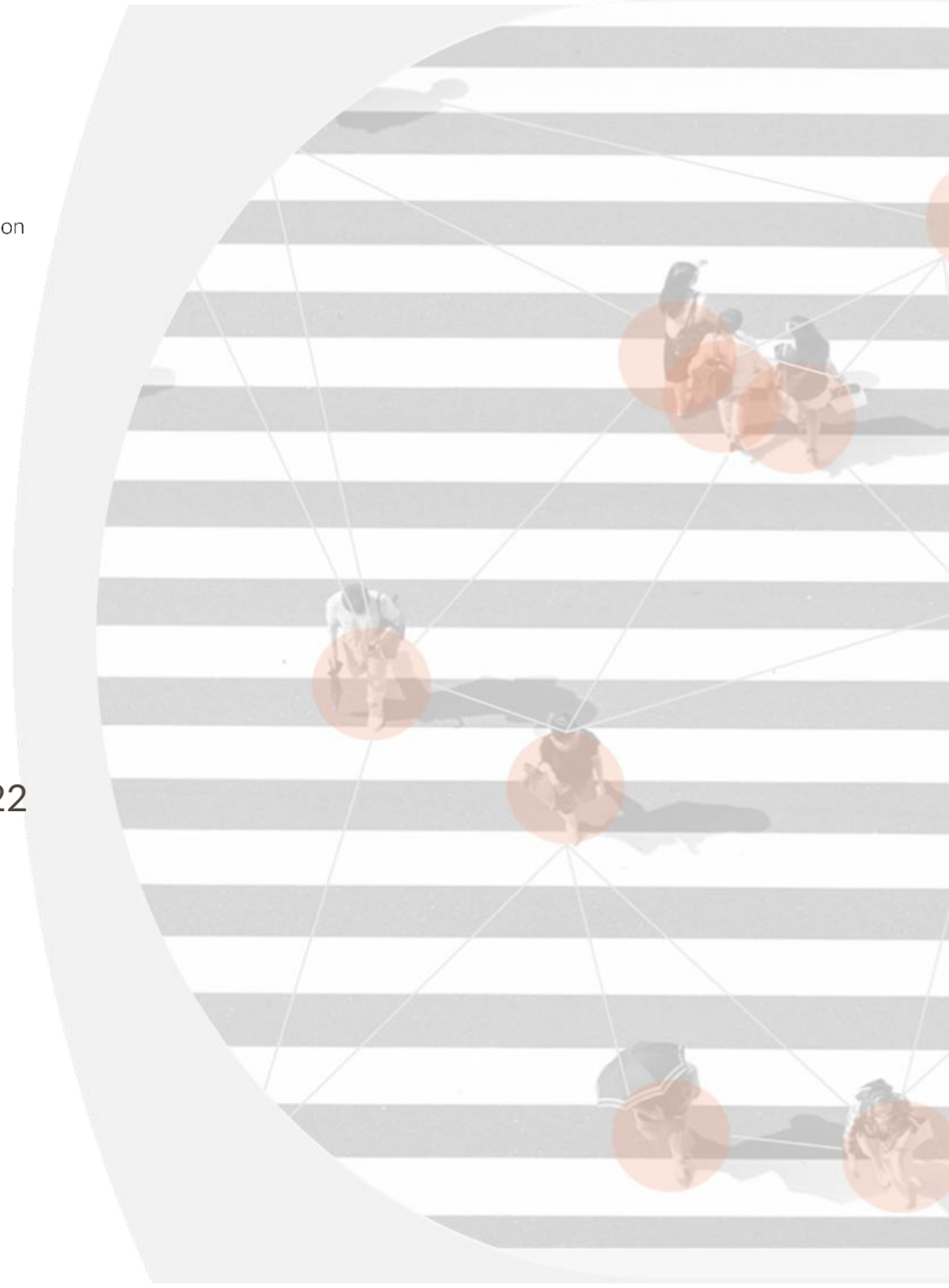


München, 12.04.2022

Wahllokale Berlin

Ergebnisbericht Nachtrag



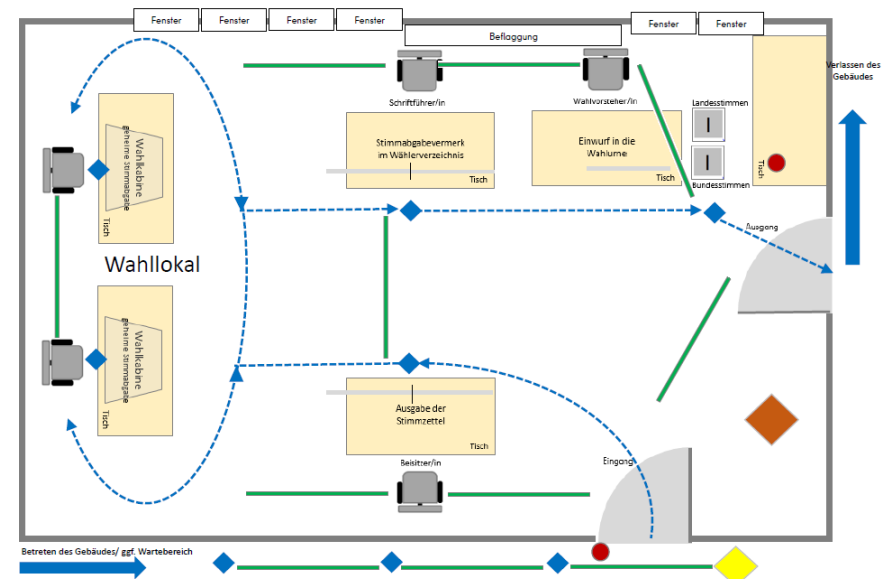
Aufgabenstellung - Ausgangslage

Bei der Bundestagswahl und Berliner Wahlen 2021 kam es zu Prozessschwierigkeiten im allgemeinen Wahlverlauf.

Um für zukünftige Wahlprozedere besser gewappnet zu sein, soll eine Kommission die aufgetretenen Probleme identifizieren und Lösungen erarbeiten.

Aus diesem Grund sollen mittels Personenstromsimulation die idealtypischen Abläufe von Berliner Wahllokalen nachgestellt werden.

Ziel der Simulation ist die Identifikation und Analyse von Problemstellen im Wahlablauf sowie die grafische Darstellung und Auswertung gegebenenfalls auftretender Warteschlangen.



Definition der Szenarien

Szenario	Beschreibung
Szenario 1	<ul style="list-style-type: none">› Prozesssimulation eines idealtypischen Berliner Wahllokals mit 2 Wahlkabinen› Betrachtungszeitraum: 8:00:00 Uhr morgens (Öffnung Wahllokal) bis 18:00:00 Uhr abends (Schließung Wahllokal) mit Überschusszeit aus noch wartenden Personen› Anzahl Personen: 435 Personen über den Tag verteilt (35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40)
Szenario 2	<ul style="list-style-type: none">› Prozesssimulation eines idealtypischen berliner Wahllokals mit 2 Wahlkabinen› Betrachtungszeitraum: 8:00:00 Uhr morgens (Öffnung Wahllokal) bis 18:00:00 Uhr abends (Schließung Wahllokal) mit Überschusszeit aus noch wartenden Personen› Anzahl Personen: 600 Personen über den Tag verteilt (40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50)
Szenario 3	<ul style="list-style-type: none">› Wie Szenario 1, mit 3 Wahlkabinen› Anzahl Personen: 435 Personen über den Tag verteilt (35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40)
Szenario 4	<ul style="list-style-type: none">› Wie Szenario 1, mit 4 Wahlkabinen› Anzahl Personen: 435 Personen über den Tag verteilt (35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40)
Szenario 5	<ul style="list-style-type: none">› Wie Szenario 2, mit 3 Wahlkabinen› Anzahl Personen: 600 Personen über den Tag verteilt (40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50)
Szenario 6	<ul style="list-style-type: none">› Wie Szenario 2, mit 4 Wahlkabinen› Anzahl Personen: 600 Personen über den Tag verteilt (40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50)

Definition der Szenarien

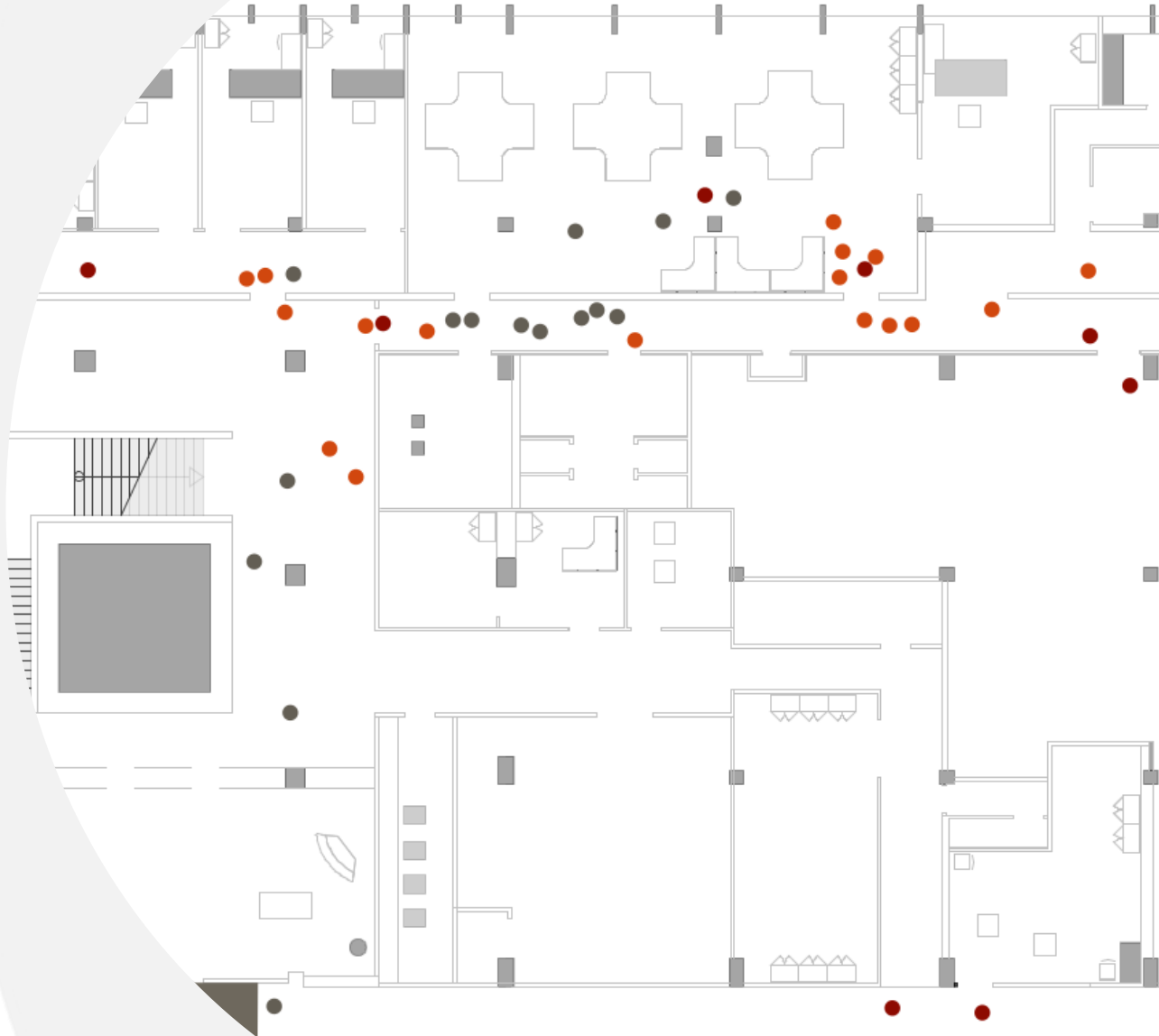
Szenarienbeschreibung:

- › Prozesssimulation eines idealtypischen Berliner Wahllokals
- › Betrachtungszeitraum: 8:00 Uhr morgens (Öffnung Wahllokal) bis 18:00 Uhr abends (Schließung Wahllokal) mit Überschusszeit aus noch wartenden Personen

Folgende Varianten wurden untersucht:

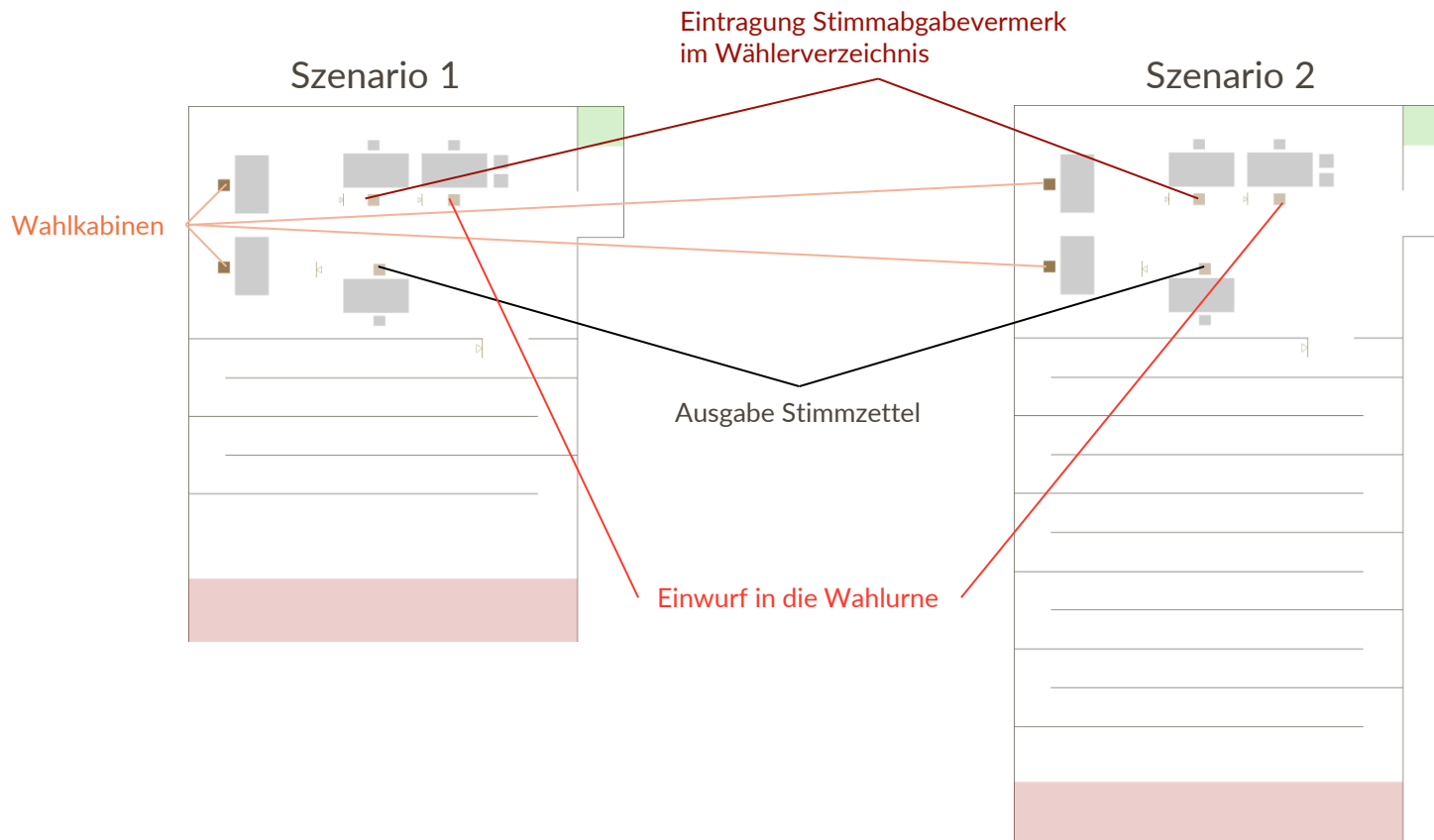
Szenario	Anzahl Wahlkabinen	Anzahl Personen	Verteilung Personen pro Stunde
Szenario 1	2	435	35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40
Szenario 2	2	600	40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50
Szenario 3	3	435	35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40
Szenario 4	4	435	35 / 40 / 50 / 60 / 60 / 50 / 40 / 30 / 30 / 40
Szenario 5	3	600	40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50
Szenario 6	4	600	40 / 60 / 70 / 90 / 90 / 70 / 50 / 40 / 40 / 50

Betrachtungsgebiet &
Simulationsannahmen



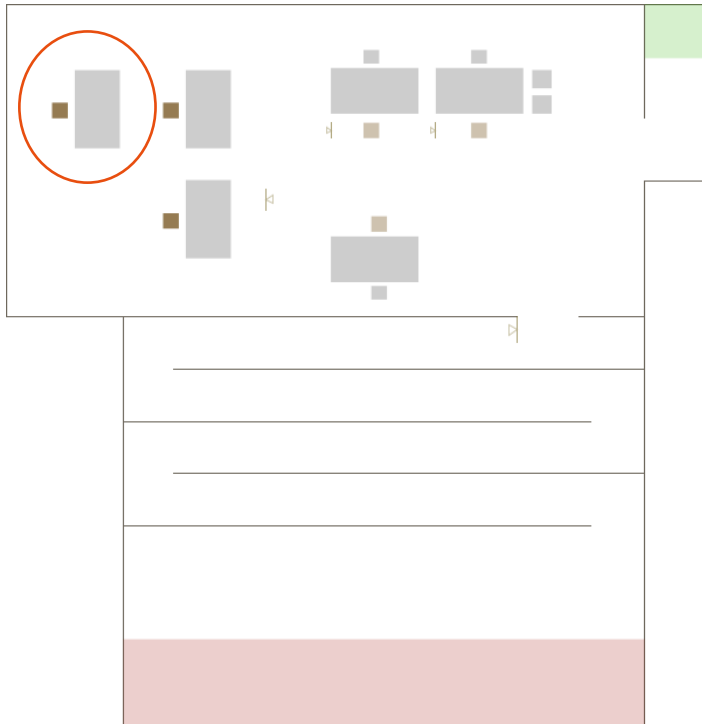
Geometrie

- › Das Modell wird gemäß des idealtypischen Aufbaus eines Wahllokals aus dem Musterhygienekonzept „2021_09_02-pandemiebedingte-handlungshinweise-musterhygienekonzept.pdf“ (siehe [Seite 3](#)) erstellt.

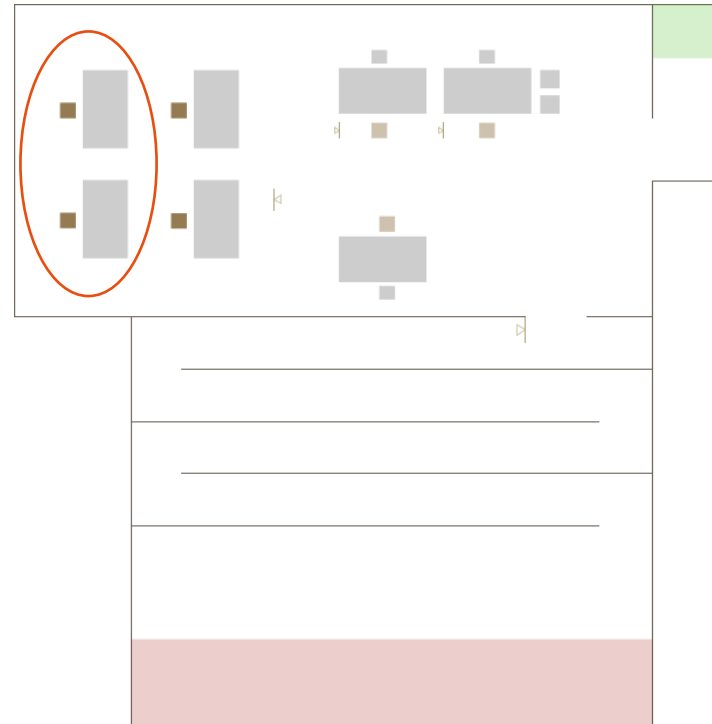


Geometrie Szenarien 3-6

Szenario 3/5

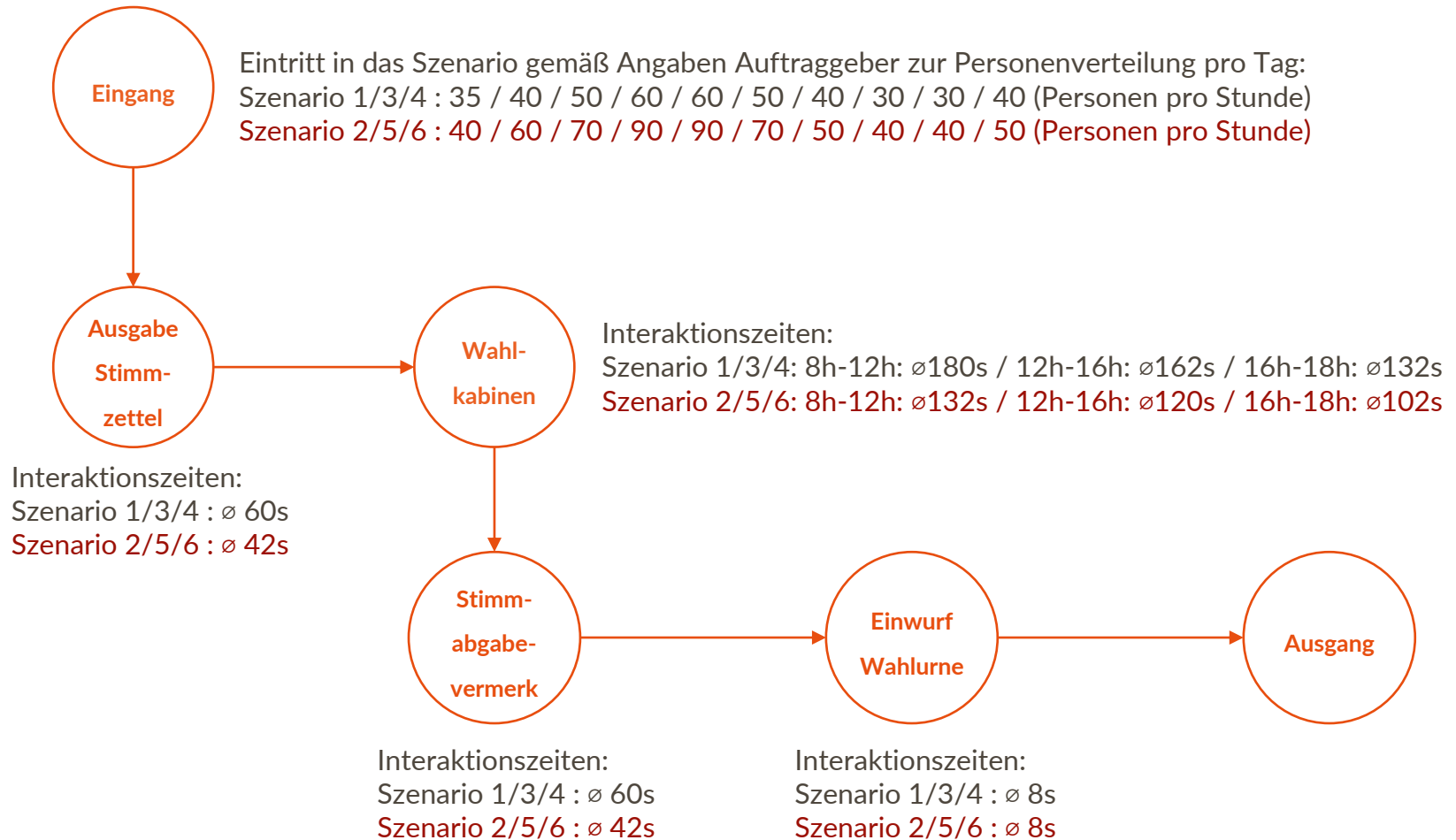


Szenario 4/6



Zusätzliche Wahlkabinen

Vorgegebene Interaktionsflächen und -zeiten



Allgemeine Simulationsannahmen

Personeneigenschaften

- › Jede Person wird als Individuum modelliert und simuliert.
- › Jede Person hat einen Platzbedarf von 0.14 m^2 und 0.16 m^2 - dies entspricht einem Radius von 0.21 m bis 0.23 m . Diese Werte werden in Anlehnung an [7] gewählt. Dieser Platzbedarf wurde gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass sich die Personen in leichter Bekleidung auf den Tribünen befinden.
- › Die Geschwindigkeit der Population entspricht einer Normalverteilung (Gauß-Verteilung) mit Mittelwert 1.34 m/s und einer Standardabweichung von 0.26 m/s . Die Wunschgeschwindigkeit der Personen ist auf den Bereich zwischen 0.46 m/s und 1.61 m/s beschränkt. Alle Werte wurden in Anlehnung an [6], [7] und [10] gewählt und entsprechen einer standardmäßigen erwachsenen Population.
- › Es wird keine Mobilitätseinschränkung angenommen.
- › Nach Abschluss der Wegpunkte laufen alle Personen entlang des schnellsten Wegs zum Ausgang.
- › Sobald eine Person das ihr zugewiesene Ziel erreicht hat, also im gesicherten Bereich ist, wird diese Person aus der Simulation entfernt.

Simulationsläufe

- › 5 Simulationsläufe pro Szenario: den simulierten Personen werden zufallsverteilt eine Wunschgeschwindigkeit sowie ein Platzbedarf zugewiesen.

Simulationsmodell der verwendeten Software crowd:it

- › Das verwendete Simulationsmodell ist mikroskopisch und räumlich-kontinuierlich.
- › Jede Person wird durch einen sog. Agenten abgebildet.
- › Jeder Agent bekommt ein Ziel zugewiesen, in Richtung dessen er sich während der Simulation bewegt.
- › Auf dem Weg zum Ziel können gewisse Points of Interest abgelaufen werden; diese werden in einem Pfad zusammengefasst und können individuell zugewiesen werden.
- › Die räumliche Auflösung ist kontinuierlich, d.h. jeder Punkt im Raum ist betretbar.
- › Den Agenten werden individuelle Eigenschaften zugewiesen: Dazu gehören u.a. die Wunschgeschwindigkeit, der Platzbedarf sowie der „Geburtsort“.
- › Jeder Agent wird mit einem Kreis angenähert (siehe Abbildung rechts): dabei werden ein jedem Agenten ein **Kern** sowie eine **Knautschzone** zugewiesen, indem nach [10] Schulterbreite und Körpertiefe ins Verhältnis gesetzt werden. Der Kern eines Agenten kann nicht durchdrungen werden, bei hohen Dichten oder an Engstellen kann aber die Knautschzone lokal bis auf den Kern „verringert“ werden um ein Ausweichen durch Wegdrehen abzubilden.
- › Die Bewegung der Agenten wird auf vier verschiedenen Modellierungsebenen (Strategie-, Navigations-, Lokomotions- und Verhaltensebene) abgebildet.
- › Der Algorithmus zur Personenbewegung basiert auf dem Optimal Steps Model ([1], [4]) in Kombination mit dynamischen Flutungsfeldern ([2]).
- › Die Schrittgröße einer Person leitet sich aus der Geschwindigkeit ab. Die Zuweisung von Schrittgröße und Geschwindigkeit ist aus [1] entnommen.
- › Die Agenten bewegen sich mit einer festen Schrittfrequenz, die sich aus Geschwindigkeit und Schrittgröße ableitet (vgl. [11]).
- › Unser Simulationsmodell validieren wir fortlaufend. Die aktuellen Ergebnisse der Rimea-Tests ([6]) können [hier](#) eingesehen werden.
- › Die Simulationen wurden mit der Software crowd:it Version 2.8.3 durchgeführt.

Platzbedarf eines Agenten:



Ergebnisse



Simulationsvideos

Die Videos der Simulationsläufe sind bis zum 11.07.2022 unter dem folgenden Link verfügbar:

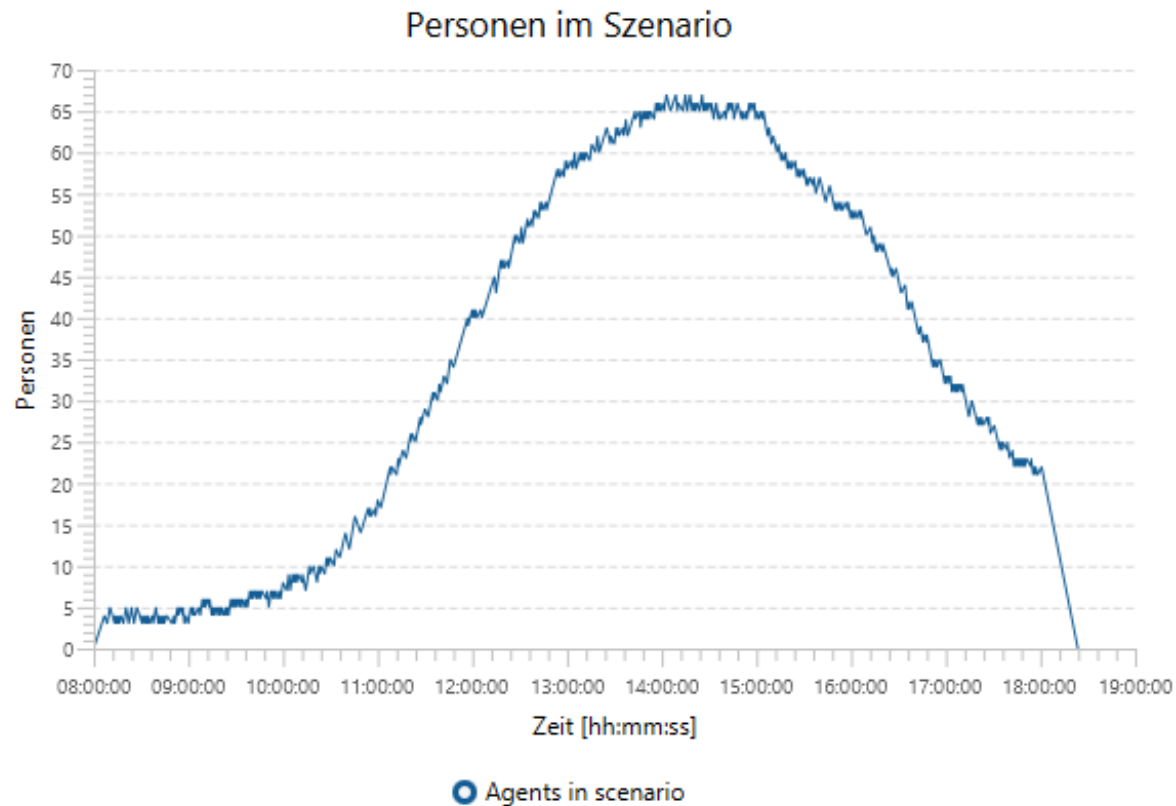
<https://asino.accu-rate.de/cadcf9bd7465>

Passwort: 6-szenarien

Ergebnisse –
Szenario 1



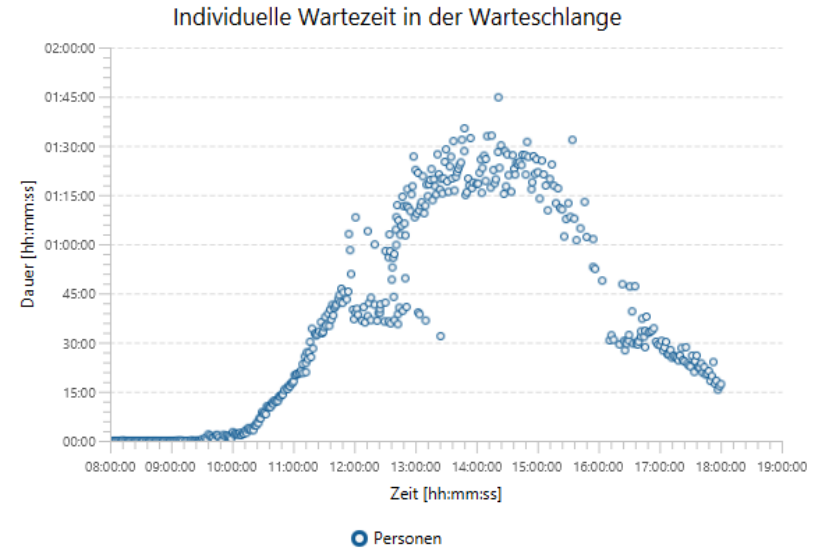
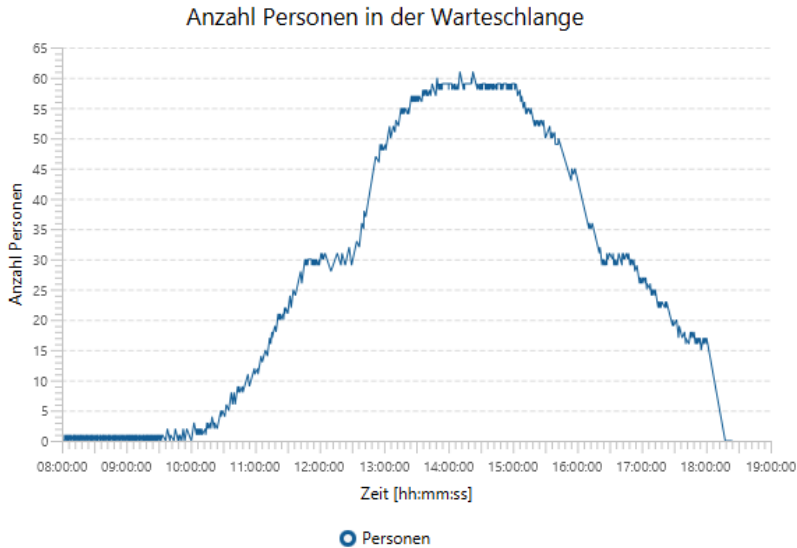
Szenario 1 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › Maximal sind etwa 65 Personen gleichzeitig im Szenario. Die maximale Anzahl an Personen wird maßgeblich von der Größe der Warteschlange bestimmt.

Szenario 1 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



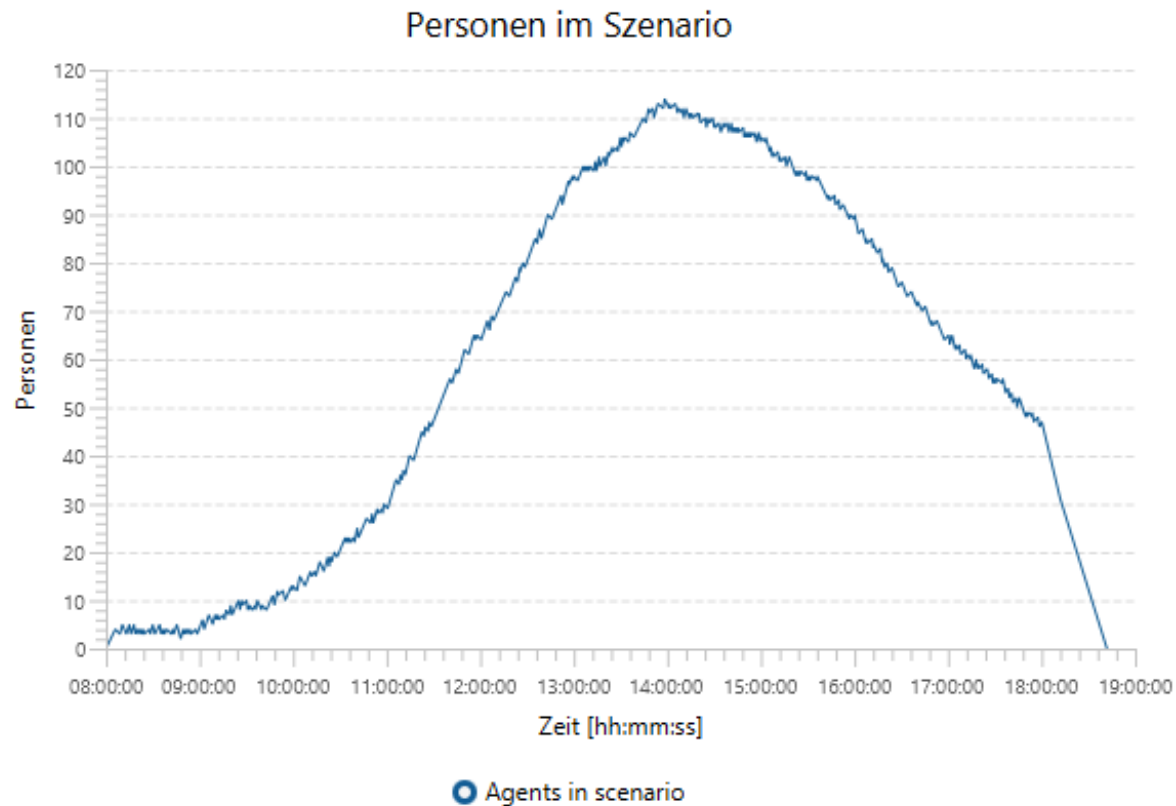
Erläuterung:

- Ab 10 Uhr steigt die Zahl der Personen stärker an und steigt zwischen 12 und 13 Uhr sehr stark an, um dann kurz vor 14 Uhr das Maximum zu erreichen. Im Maximum sind etwa 60 Personen in der Warteschlange. Ab 15 Uhr sinkt die Zahl der Personen in der Warteschlange bereits wieder. Mit der Anzahl der Personen in der Warteschlange steigt die Wartezeit.

Ergebnisse –
Szenario 2



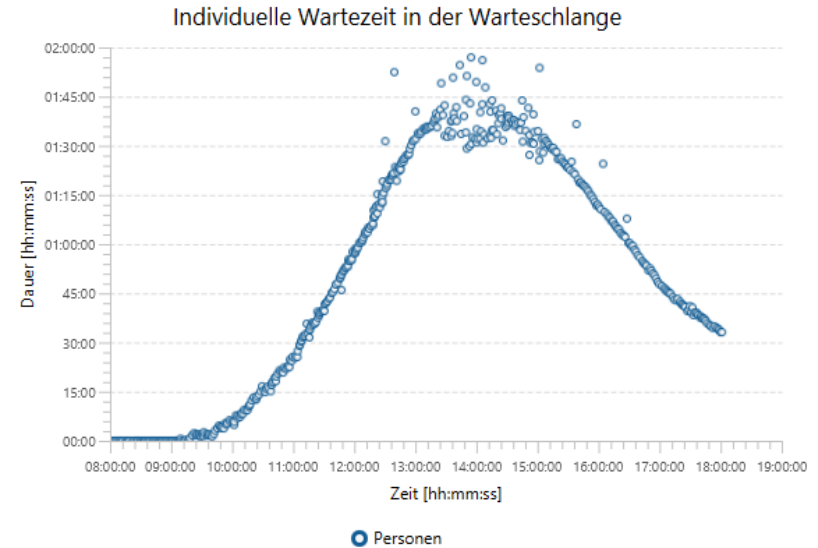
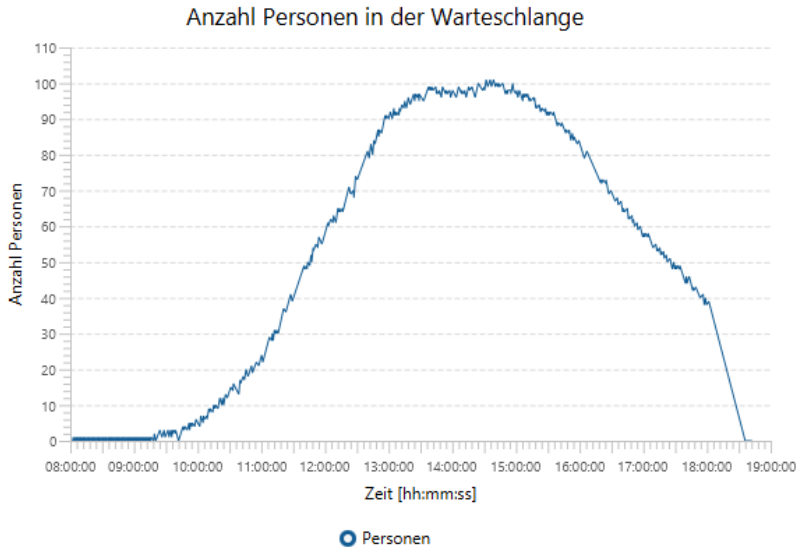
Szenario 2 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › In diesem Szenario steigt die Anzahl der Personen sogar auf etwa 110 Personen an. Das sind annähernd doppelt so viele wie im ersten Szenario.

Szenario 2 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



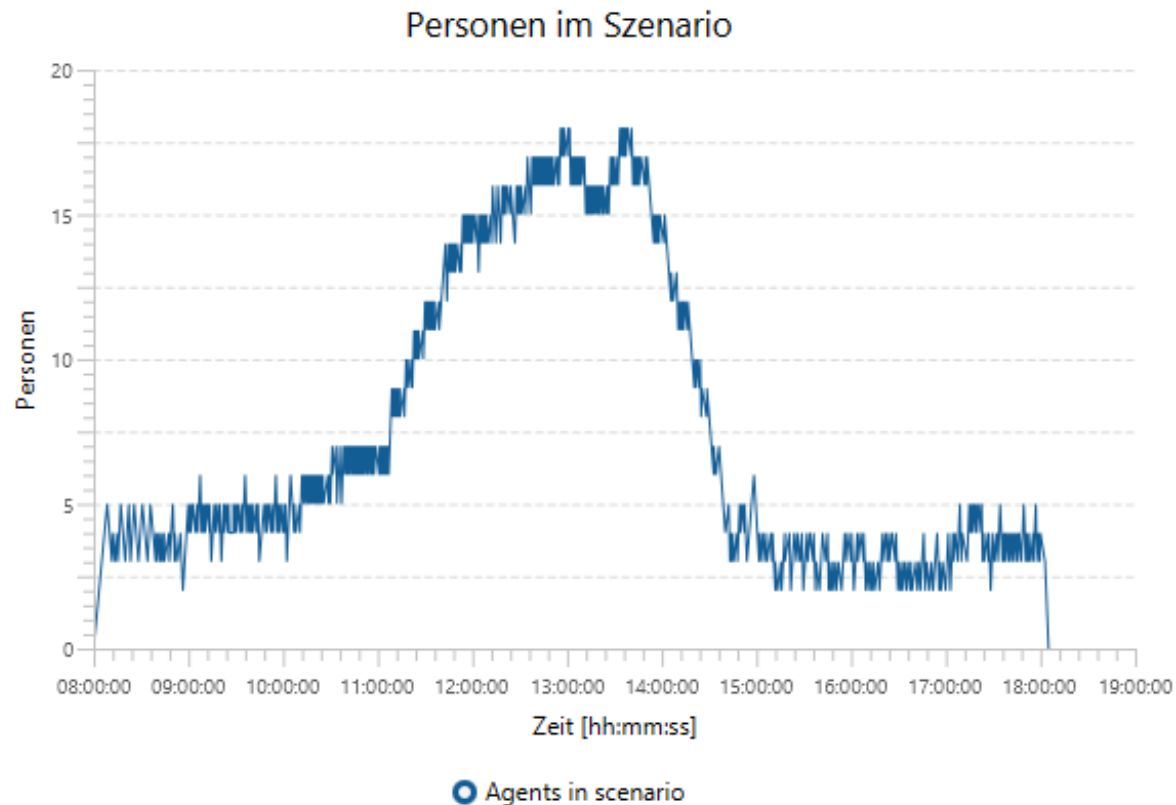
Erläuterung:

- › Die Anzahl der Personen in der Warteschlange ist in diesem Szenario deutlich größer. Im Maximum befinden sich etwa 100 Personen wartend vor dem Eingang. Dies beeinflusst entsprechend die Wartezeit. Während im Szenario 1 die maximalen Wartezeiten im Bereich von 1 Stunde und 30 Minuten liegen, erreichen die Wartezeiten in diesem Szenario Maximalwerte von etwa 1 Stunde und 45 Minuten (ein paar wenige sogar bis knapp 2 Stunden).

Ergebnisse –
Szenario 3



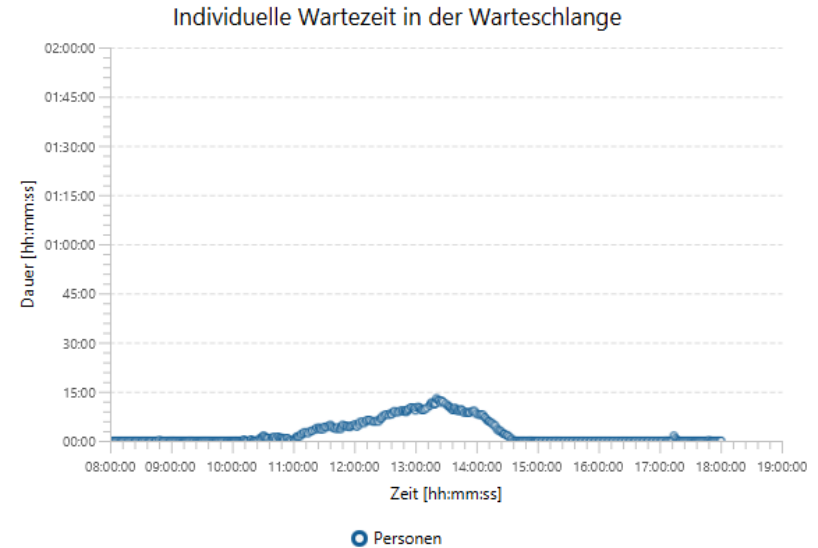
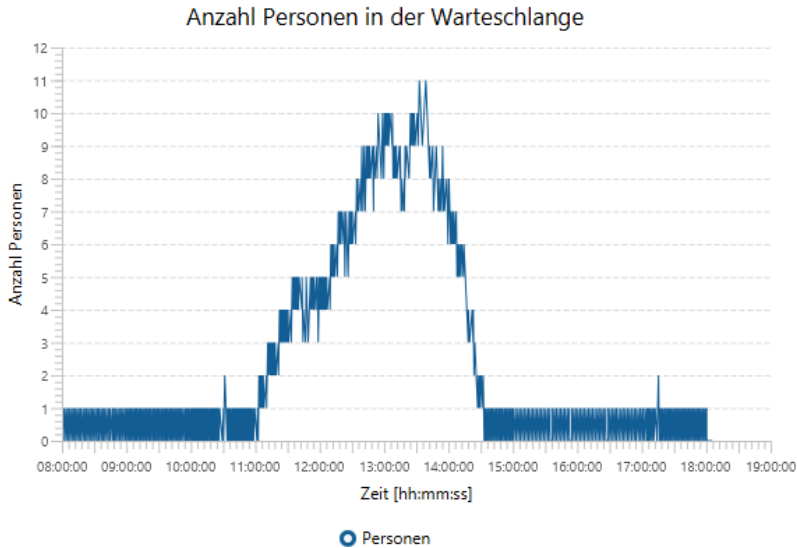
Szenario 3 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › Die zusätzliche Wahlkabine im Szenario mit durchschnittlicher Auslastung führt zu einer deutlichen Erhöhung der Kapazitäten. Dies führt zu wesentlich weniger gleichzeitig anwesenden Personen im Szenario, weil der Durchsatz größer ist und die Warteschlange kürzer.

Szenario 3 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



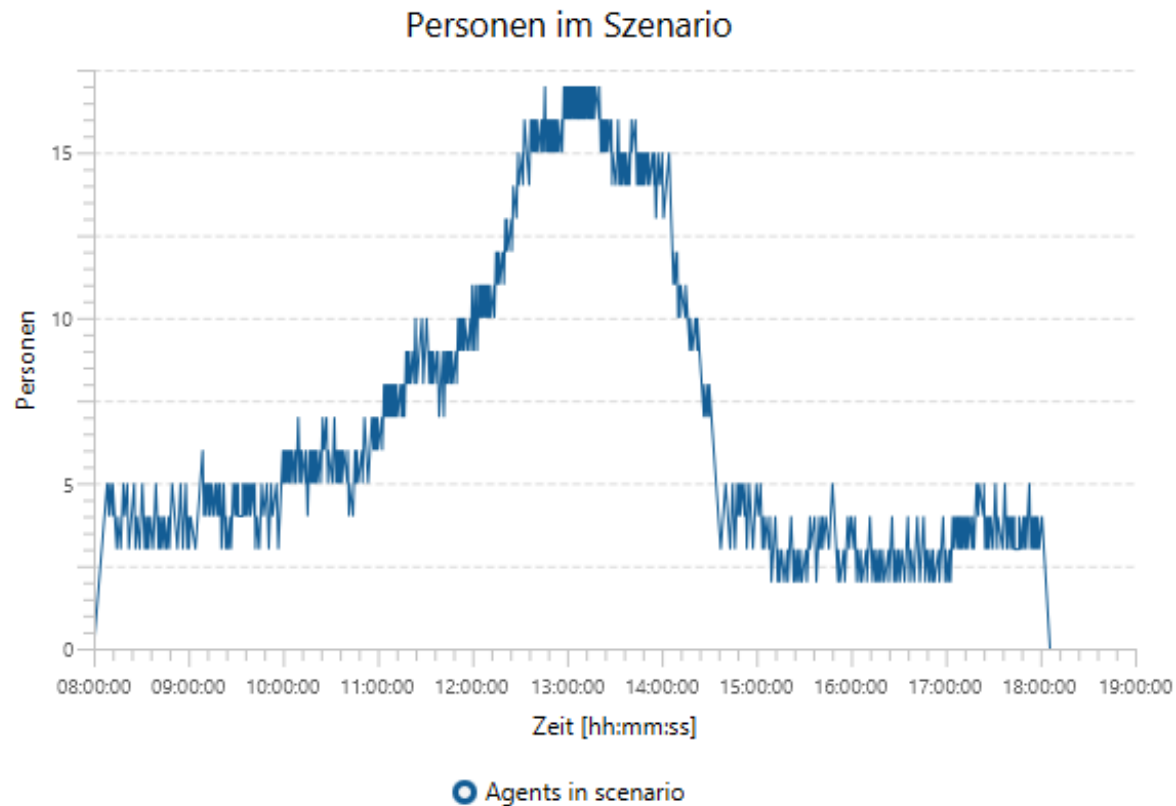
Erläuterung:

- › Es bildet sich in diesem Szenario eine Warteschlange zwischen ca. 11:00 Uhr und 14:30 Uhr aus, die maximale Anzahl an Personen ist im Vergleich zu Szenario 1 deutlich geringer (11 Personen im Maximum im Vergleich zu 60 Personen in Szenario 1).
- › Die erhöhte Kapazität aufgrund der zusätzlichen Wahlkabine zeigt sich auch in der Wartezeit in der Warteschlange. Während die maximale Wartezeit in Szenario 1 bei etwa 1,5 Stunden lag, liegt sie in diesem Szenario bei maximal 15 Minuten.

Ergebnisse –
Szenario 4



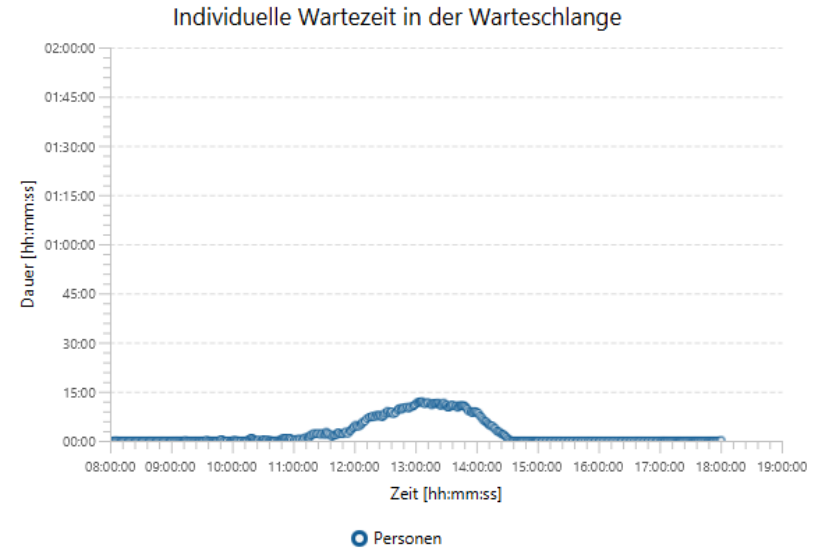
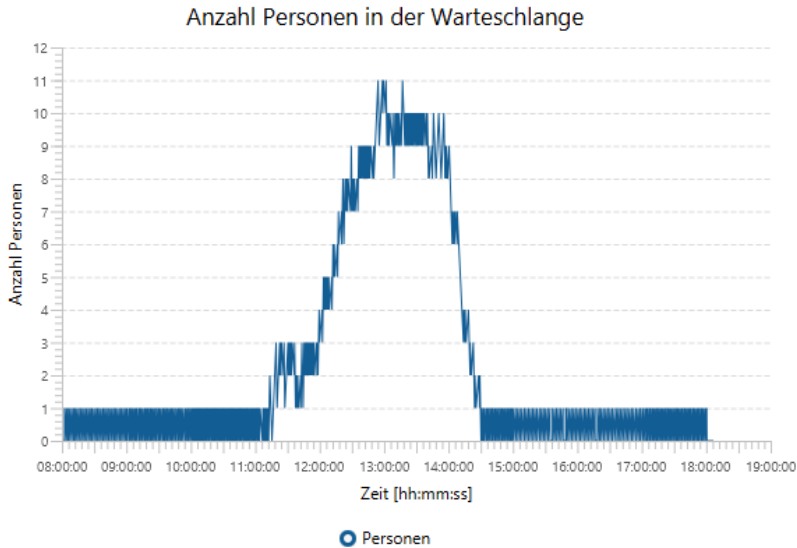
Szenario 4 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › In Szenario 4 sind ähnlich wenig Personen gleichzeitig anwesend. Im Maximum sind es etwa 19 Personen.

Szenario 4 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



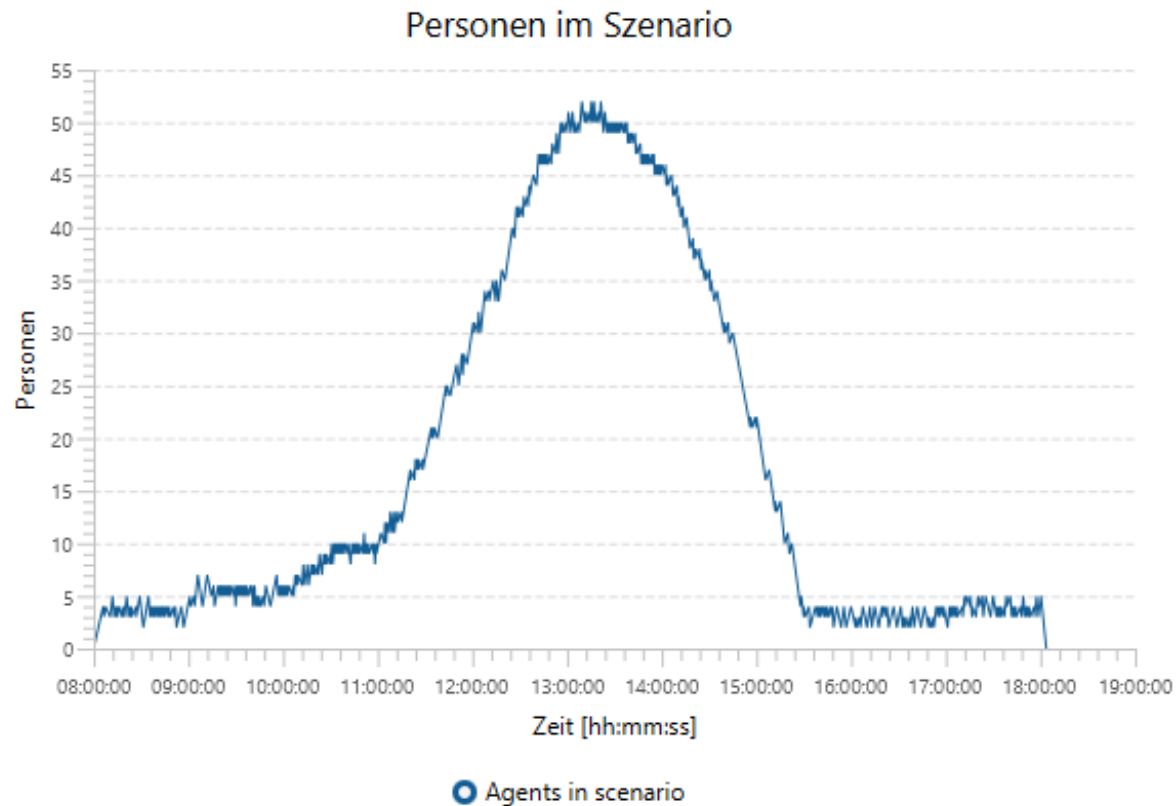
Erläuterung:

- › Die Anzahl der Personen in der Warteschlange verhält sich in Szenario 4 sehr ähnlich zu Szenario 3. Die maximale Anzahl sind 11 Personen und entspricht dem Wert aus Szenario 3. Das bedeutet, dass durch die 4. Wahlkabine keine weitere Durchflusskapazität hinzugekommen ist. Das liegt daran, dass die Kapazität der vier Wahlkabinen nicht zum Tragen kommt, weil das begrenzende Element in diesem Szenario die Ausgabe der Stimmabgabebzettel ist.
- › Dies zeigt sich auch in der Auswertung der Wartezeit in der Warteschlange. Auch hier ist die maximale Wartezeit mit knapp 15 Minuten sehr ähnlich zu der Wartezeit in Szenario 3.

Ergebnisse –
Szenario 5



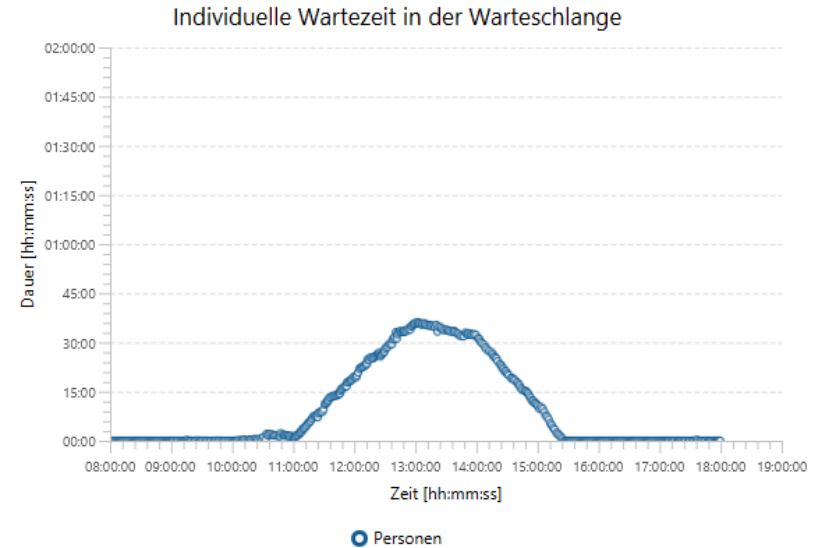
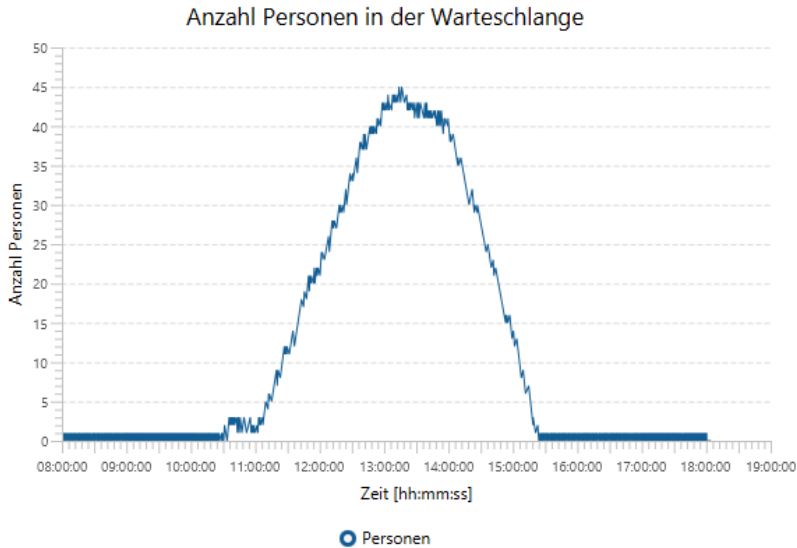
Szenario 5 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › Die Anzahl der Personen in Szenario 5 liegt im Maximum bei etwa 50 Personen. Das ist deutlich weniger als in Szenario 2 mit 2 Wahlkabinen (ca. 110 Personen im Maximum).

Szenario 5 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



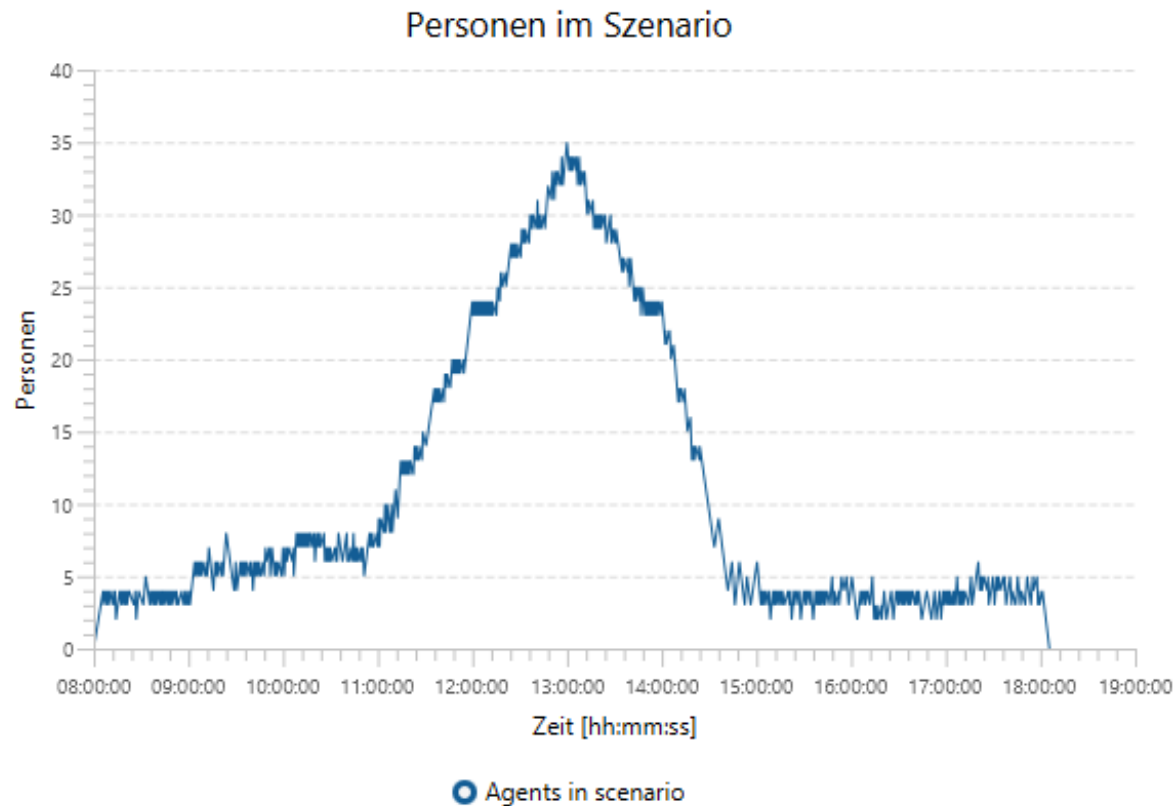
Erläuterung:

- › Die maximale Anzahl an Personen in der Warteschlange ist mit maximal 45 Personen deutlich geringer als das Vergleichsszenario mit 2 Wahlkabinen und einer maximalen Anzahl von etwa 100 Personen in der Warteschlange. Die zusätzliche Wahlkabine sorgt also für einen deutlich verbesserten Durchfluss und dementsprechend geringere Warteschlangenausbildung.
- › Die Wartezeit in Szenario 5 liegt mit ca. 36 Minuten ebenfalls deutlich unter den Zeiten aus Szenario 2 (im Maximum etwa 1 Stunde 45 Minuten). Die maximale Wartezeit in der Warteschlange hat sich um etwa 65% verringert.

Ergebnisse –
Szenario 6



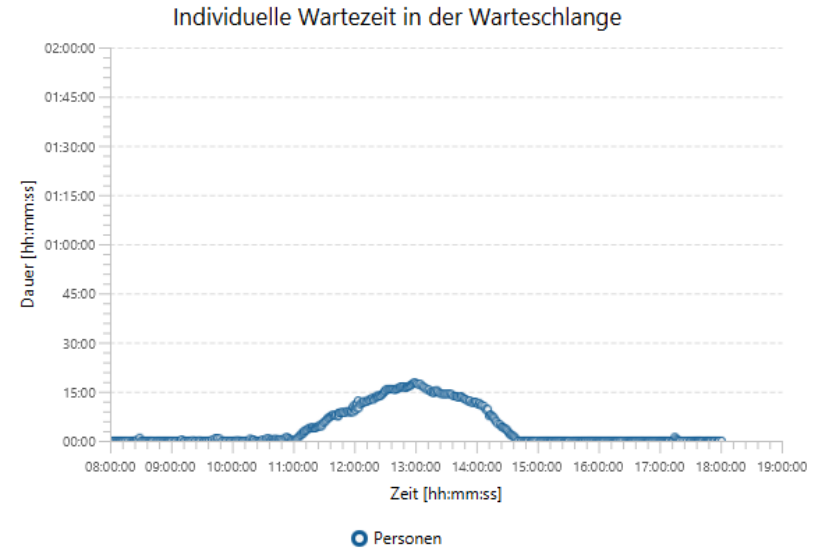
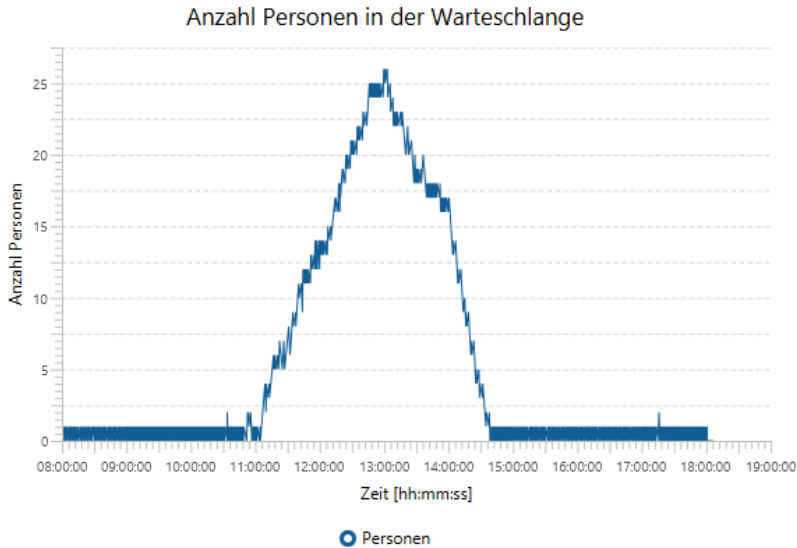
Szenario 6 - Gesamtüberblick Besucher



Erläuterung:

- › In Szenario 6 ist die maximale Anzahl an Personen im Szenario noch etwas geringer als in Szenario 5. Maximal 35 Personen befinden sich gleichzeitig im Szenario.

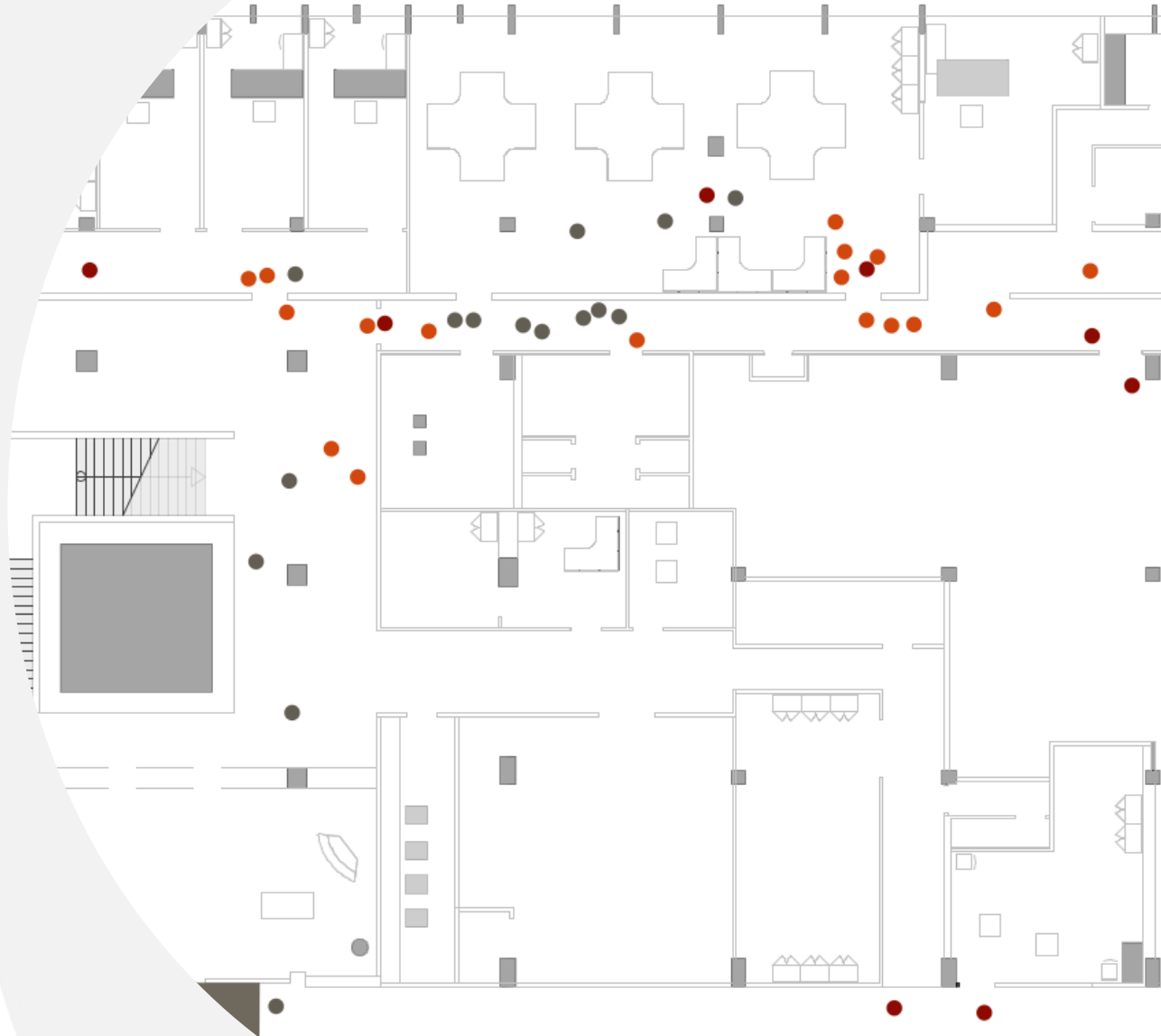
Szenario 6 - Anzahl Personen sowie Wartezeit in der Warteschlange



Erläuterung:

- › Das Szenario 6 weist Szenario 5 gegenüber noch weiteres Verbesserungspotential auf, das sich in der Anzahl der Personen in der Warteschlange bemerkbar macht. Szenario 6 zeigt maximal 27 Personen in der Warteschlange.
- › Die maximale Wartezeit in der Warteschlange weist Werte von etwa 15 Minuten auf. Sie reduziert sich aufgrund der zusätzlichen Wahlkabine im Vergleich zu Szenario 5 nochmals um etwa 50%. Im Gegensatz zu den durchschnittlichen ausgelasteten Szenarien (Szenario 1, 3 und 4) weist die vierte Wahlkabine noch eine Verbesserung des Durchflusses auf. Dies ist auf die unterschiedlichen Wartezeiten bei der Ausgabe der Stimmzettel zurückzuführen.

Zusammenfassung



Zusammenfassung

Zusammenfassung Szenarien 1, 3 und 4 435 Personen

- › Das Szenario 1 mit 2 Wahlkabinen zeigt lange Warteschlangen mit maximalen Wartezeiten im Bereich von 1,5 Stunden. Engstelle sind die Wahlkabinen.
- › Die Erhöhung auf drei Wahlkabinen in Szenario 3 zeigt eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf die Warteschlangenausbildung. Die Anzahl der Personen in der Warteschlange liegt bei maximal 11 Personen und die maximale Wartezeit bei etwa 15 Minuten.
- › Eine weitere Erhöhung auf vier Wahlkabinen weist keine Verbesserung mehr auf. Die Engstelle liegt in diesem Fall bereits bei der Ausgabe der Stimmzettel. In diesem Szenario sind nicht immer alle Wahlkabinen besetzt, sodass keine volle Auslastung erzielt wird. Um den Durchfluss weiter zu erhöhen muss entweder ein zusätzlicher Interaktionspunkt bei der Ausgabe der Stimmzettel eingerichtet werden oder die Interaktionsdauer verringert werden (schnellere Bearbeitung).

Zusammenfassung Szenarien 2, 5 und 6 600 Personen

- › Im Szenario 2 liegen die maximalen Wartezeiten in der Warteschlange bei etwa 1 Stunde und 45 Minuten. Auch hier sind die zwei Wahlkabinen die Engstelle der Simulation.
- › Die Erhöhung auf drei Wahlkabinen (Szenario 5) reduziert die maximale Anzahl an wartenden Personen von etwa 100 Personen auf 45 Personen und die maximale Wartezeit in der Warteschlange auf etwa 36 Minuten (in Vergleich zu den vorigen 1 Stunde 45 Minuten eine Reduzierung von ca. 65%).
- › In Szenario 6 führt die Erhöhung auf vier Wahlkabinen zu einer weiteren Verbesserung des Durchflusses. Dies zeigt sich in einer weiteren Reduktion der Anzahl der Personen in der Warteschlange (27 Personen) sowie der geringeren Wartezeit (etwa 15 Minuten im Maximum). Bei einer weiteren Erhöhung der Anzahl der Wahlkabinen, müsste vermutlich im Sinne einer Durchflussverbesserung auch die Kapazitäten der anderen Interaktionsstellen (Ausgabe der Stimmzettel und Stimmabgabevermerk im Wählerverzeichnis) erhöht werden.

Referenzen und Dokumente

Literatur über das Modell:

- (1) M. J. Seitz and G. Köster, Natural discretization of pedestrian movement in continuous space, American Physical Society, PHYSICAL REVIEW E 2012, 86, 046108
- (2) Kneidl, Angelika; Hartmann, Dirk; Borrmann, André (2013): A hybrid multi-scale approach for simulation of pedestrian dynamics. In: Transportation Research Part C, in press.
- (3) Kneidl, A. (2013). Methoden zur Abbildung menschlichen Navigationsverhaltens bei der Modellierung von Fußgängerströmen, Dissertation, Technische Universität München
- (4) I. v. Sivers, G. Köster (2014): How stride adaption in pedestrian models improves navigation
- (5) Kneidl, A. (2015): How Do People Queue - A Study Of Different Queuing Models, TGF '15, Delft, Netherlands, 2015

Literatur, aus der das Modell Parametereinstellungen bezieht:

- (6) Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen, Version 3.0, 10. März 2016, http://www.rimea.de/fileadmin/files/dok/richtlinien/RiMEA_Richtlinie_3.0.0_-_D-E.pdf
- (7) Weidmann, U. (1993): Transporttechnik der Fussgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturlauswertung)
- (8) Forell, B., Klüpfel H., Schneider, V., Schelter S. (2011) Vergleichende Betrachtung zu Evakuierungsberechnungen
- (9) Schneider, B., Seyfried, A.: Methods for measuring pedestrian density, flow, speed and direction with minimal scatter, Physica A, vol. 389, no. 9, pp. 1902-1910, 2010.
- (10) <https://iba.online/raeume-planen/flachenplanung/koerpermasse/>
- (11) Seitz, M, Köster, G. (2014): „How update schemes influence crowd simulations“, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment

Durch den AG zur Verfügung gestellte Unterlagen, die verwendet wurden:

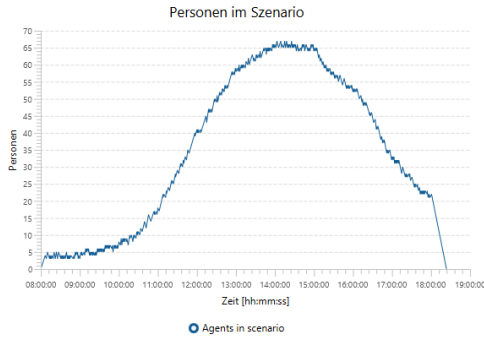
2021_09_02-pandemiebedingte-handlungshinweise-musterhygienekonzept.pdf, erhalten per E-Mail am 03.03.2022

Anhang

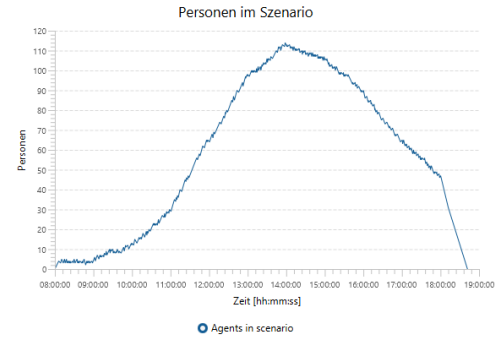


Gegenüberstellung - Gesamtüberblick Besucher

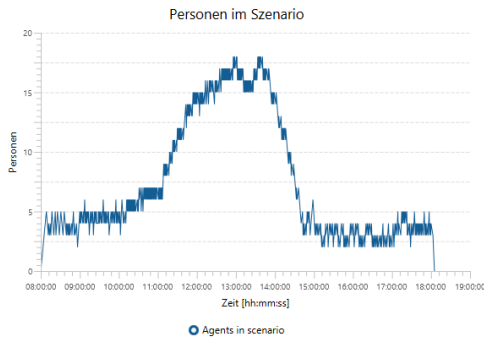
Szenario 1



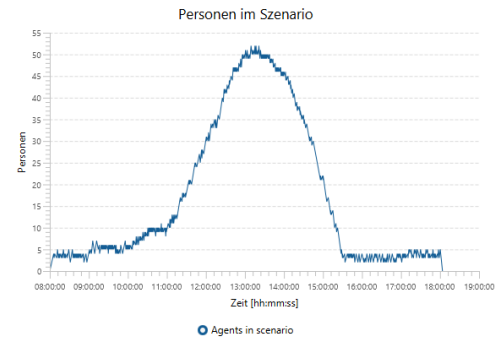
Szenario 2



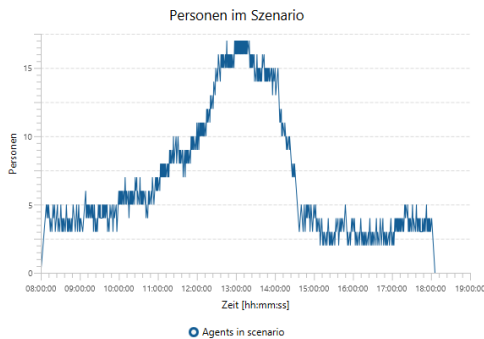
Szenario 3



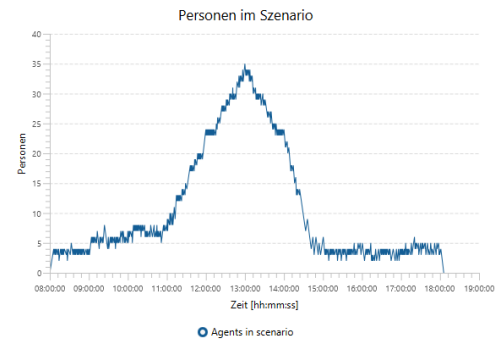
Szenario 5



Szenario 4

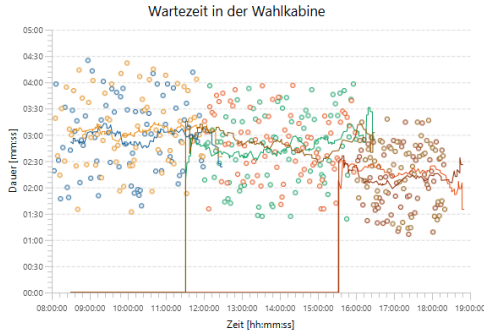


Szenario 6

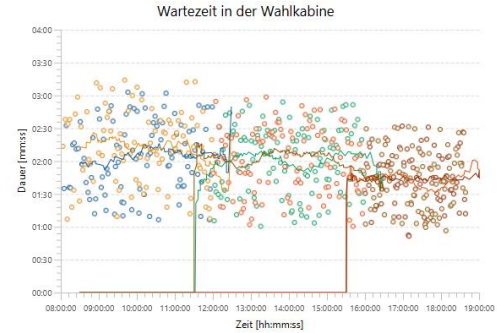


Gegenüberstellung - Interaktionszeiten in der Wahlkabine

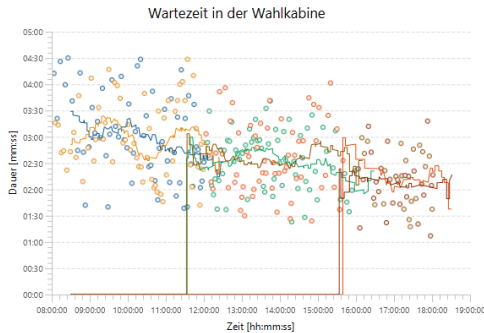
Szenario 1



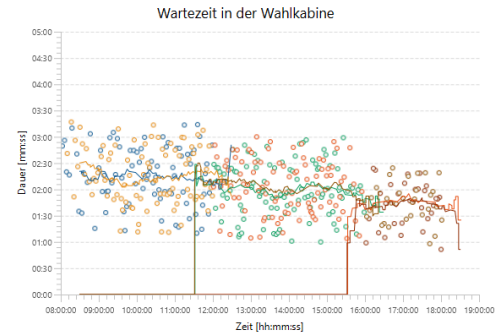
Szenario 2



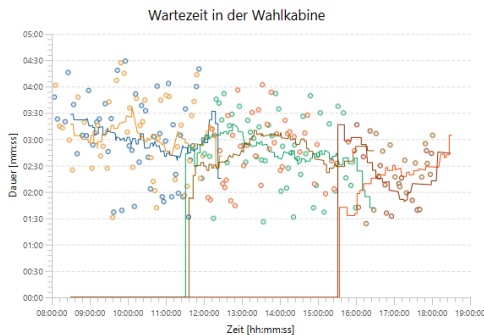
Szenario 3



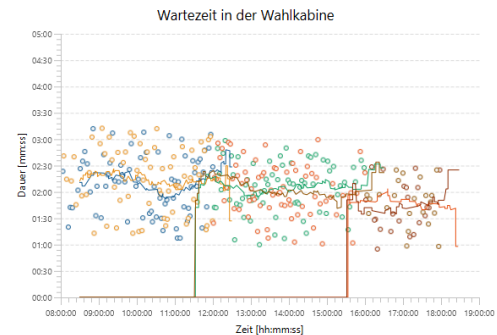
Szenario 5



Szenario 4

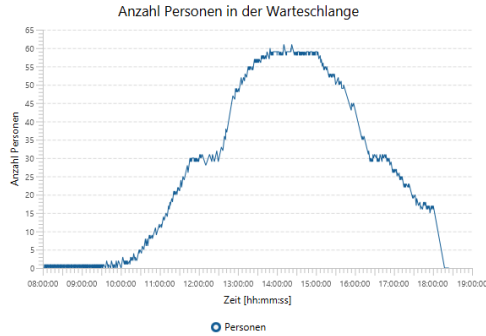


Szenario 6

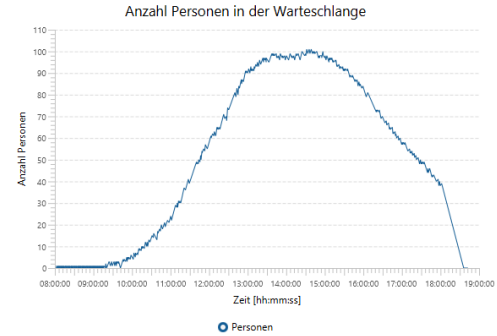


Gegenüberstellung - Anzahl Personen in der Warteschlange

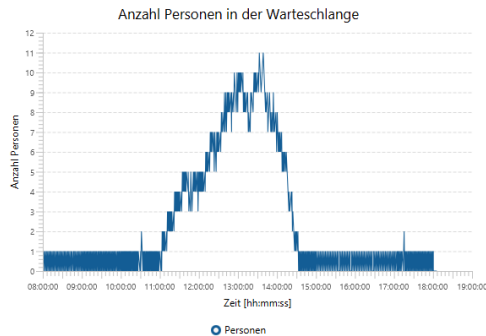
Szenario 1



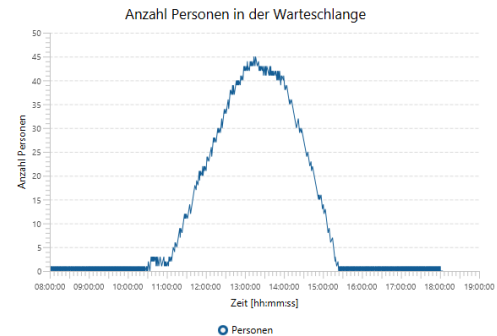
Szenario 2



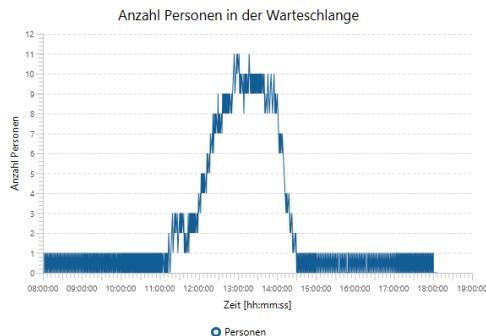
Szenario 3



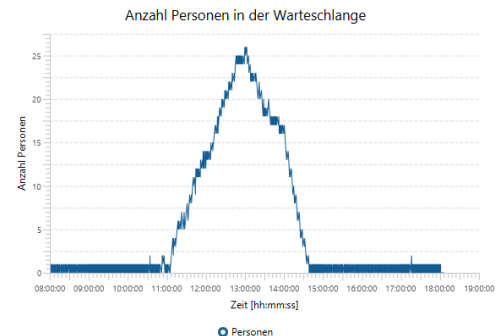
Szenario 5



Szenario 4

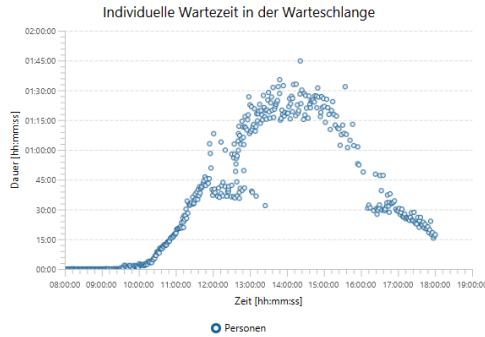


Szenario 6

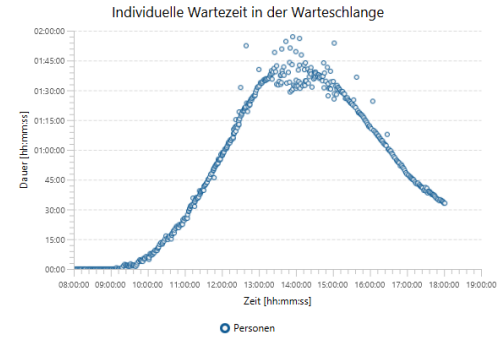


Gegenüberstellung - Individuelle Wartezeiten in der Warteschlange

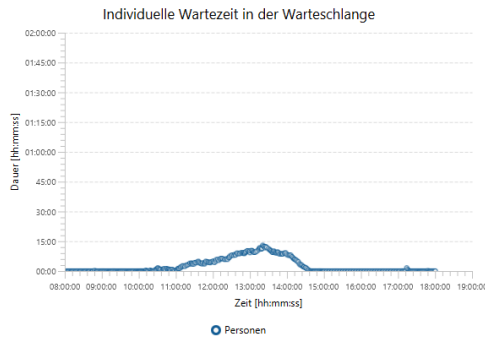
Szenario 1



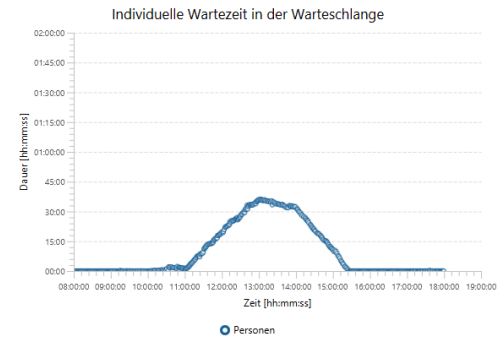
Szenario 2



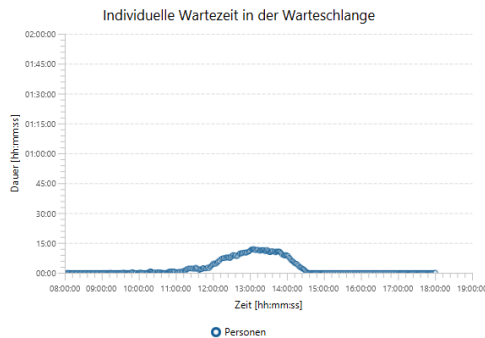
Szenario 3



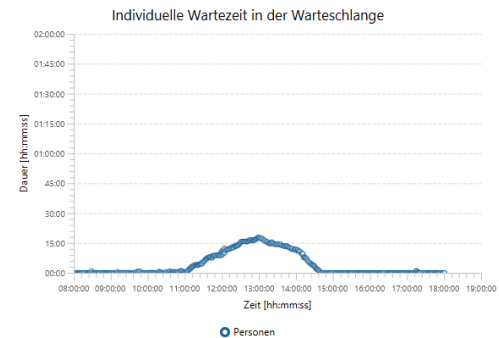
Szenario 5



Szenario 4



Szenario 6





simulate.visualize.improve

Projektbeispiele:

www.accu-rate.de/de/referenzen-kunden-projekte-2/

accu:rate GmbH : Rosental 5 : 80331 München

+49 / 89 / 21 55 38 69 : info@accu-rate.de

www.accu-rate.de

Videos auf youtube:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL0ldqyo---Ssq52RIFLOF-rJOQdH3nfgW>