

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Evaluation der Ein- und Auslasssituation von Rock- Konzerten auf dem Gelände des Flughafens Tempelhof

Bachelorarbeit

Rettungsingenieurwesen

vorgelegt von

Michael Junker

Hamburg,

am 31. August 2023

Gutachter: Prof. Dr. Karsten Loer (HAW Hamburg)

Gutachter: Dipl.-Betriebswirt Stefan Mohnen (Side by Side Eventsupport)

Die Abschlussarbeit wurde erstellt in Zusammenarbeit mit den Firmen *Side by Side Eventsupport GmbH* und *Loft Concerts GmbH* aus Berlin sowie der Firma HVS Hanseatische Veranstaltungs- und Sicherheitskonzepte GmbH aus Hamburg unter der Verwendung einer Simulationssoftware der Firma *TraffGo HT GmbH* aus Flensburg.

Abstract

This bachelor thesis shows that without additional measures, accessing and leaving Tempelhof Airport in Berlin safely, only by using gate 10, is unlikely for more than 40.000 visitors.

This work aims to analyze potential large-scale events at Tempelhof Airport under certain conditions. Core of the study is the simulation of 5 designated scenarios. The software „PedGo“ was used to perform a simulation-based analysis of the pedestrian movements, in which each agent performs individual discrete movements.

The results show that it is possible to give access to at least 50.000 people to the event site. But without additional measures leaving the event site safely is unlikely for just 40.000 people. A safe execution of an emergency evacuation could be ensured with small changes in the infrastructure. Furthermore, the stream of people can lead to significant congestions and increase in waiting times at the nearest train station which could leave visitors with a negative impression of the event. The special event of early cancellation must be communicated as early as possible.

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit zeigt, dass ohne zusätzliche Maßnahmen ein sicherer Zugang und das Verlassen des Flughafens Tempelhof in Berlin allein über das Tor 10 für mehr als 40.000 Besucherinnen und Besucher unwahrscheinlich ist.

Ziel der Arbeit ist die Analyse zukünftiger Großkonzerte am Flughafen Tempelhof unter bestimmten Voraussetzungen. Kern der Arbeit ist die Simulation von 5 ausgewählten Szenarien. Mit der Software „PedGo“ erfolgt eine simulationsbasierte Analyse der Personenströme, bei der jeder Agent einzelne diskrete Bewegungen ausführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mindestens 50.000 Personen Zugang zum Veranstaltungsgelände zu gewähren. Ohne zusätzliche Maßnahmen ist jedoch ein sicheres Verlassen des Veranstaltungsgeländes für bereits 40.000 Besucherinnen und Besucher unwahrscheinlich. Mit kleinen Änderungen an der Infrastruktur könnte eine sichere Durchführung einer Räumung dennoch gewährleistet werden. Darüber hinaus kann es am nächstgelegenen Bahnhof zu erheblichen Staus und Wartezeiten kommen, die bei den Besuchern zu einer negativen Wahrnehmung der Veranstaltung führen können. Abschließend wurde der Fall einer kurzfristigen Absage der Veranstaltung untersucht. Diese sollte so früh wie möglich bekannt gegeben werden.

Hinweis

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit überwiegend das generische Maskulinum verwendet. Es werden also maskuline Personenbezeichnungen geschlechtsabstrahierend verwendet und, sofern nicht anders kenntlich gemacht, auf alle Geschlechter bezogen.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Großkonzerte am Flughafen Tempelhof im Jahr 2022	3
2.1	Überblick	3
2.2	Teilnehmerzahl und Besucherstruktur	4
2.3	Veranstaltungsgelände und Umgebungsstruktur	5
2.4	Sicherheitskonzept und Brandschutzkonzept	8
3	Rahmenbedingungen	10
3.1	Rechtliche Grundlagen	10
3.2	Anforderungen an Verkehrswege und Rettungswege	13
3.3	Anforderung an Wege für Feuerwehr und Rettungsdienst	23
3.4	Crowd Management und Orte mit erhöhtem Steuerungsbedarf	23
3.5	Personenstromsimulation	26
4	Methodisches Vorgehen	29
5	Simulation	32
5.1	Szenario 1 – Einlass	32
5.2	Szenario 2 - Auslass im Regelbetrieb	36
5.3	Szenario 3 – Auslass im Räumungsfall	38
5.4	Szenario 4 - Einfluss der Bahnhöfe	42
5.5	Szenario 5 – Vorzeitige Absage	45
6	Ergebnisse	47
6.1	Szenario 1 – Einlass	47
6.2	Szenario 2 - Auslass im Regelbetrieb	56
6.3	Szenario 3 - Auslass im Räumungsfall	59
6.4	Szenario 4 - Einfluss der Bahnhöfe	63
6.5	Szenario 5 – Vorzeitige Absage	68
7	Auswertung	71
8	Fazit	79

Literaturverzeichnis.....	80
Abbildungsverzeichnis	85
Tabellenverzeichnis.....	87
Anhang	I
Szenario 1	I
Szenario 2	XXI
Szenario 3	XXXV
Szenario 4	L
Eidesstattliche Erklärung.....	LVIII

1 Einleitung

Am 26. August 2022 will die Rockband „Die Ärzte“ am Abend das erste von drei geplanten Konzerten auf dem Berliner Veranstaltungsgelände „Tempelhofer Feld“ spielen. Mehrere Tausend Fans werden erwartet, der Einlass auf das Gelände hat bereits begonnen, doch dann zieht ein Unwetter auf und die Veranstalter entscheiden kurzfristig, die Veranstaltung abzusagen („rbb24,“ 2022). Anders als für den Regelbetrieb geplant, fließen die Personenströme nun nicht zeitlich nacheinander zuerst in das Veranstaltungsgelände hinein und später wieder hinaus, sondern es strömen gleichzeitig noch Menschen zum Gelände hin während andere schon die Rückreise antreten.

Die vorliegende Arbeit nimmt diese und weitere potentielle Gefahrensituation in den Blick, die sich in der Ein- und Auslass-Situation von Großveranstaltungen ergeben können. Exemplarisch dafür werden die Verhältnisse bei Rock-Konzerten auf dem Gelände des Flughafens Berlin Tempelhof untersucht. Es soll eine maximale Besucherzahl ermittelt werden, für die eine größtmögliche Sicherheit nicht nur während der Veranstaltung, sondern insbesondere in den Ein- und Auslass-Situationen gewährleistet werden kann.

Für die Untersuchung wird zunächst eine situative Unterscheidung getroffen: Es werden die Szenarien bei Einlass und Auslass einerseits im Regelbetrieb und andererseits im Räumungsfall simuliert.

Während diese ersten Simulationen sich auf die Ein- und Auslass-Situation auf dem Veranstaltungsgelände beziehen, erfolgt im nächsten Schritt eine Erweiterung der Untersuchung in räumlicher Hinsicht auf den öffentlichen Verkehrsraum. Dazu wird im zugehörigen Szenario der Einfluss der nahegelegenen Bahnhöfe betrachtet.

Ergänzend gibt es schlussendlich ein Szenario, welches das oben beschriebene Sonderereignis der vorzeitigen Absage aufnimmt.

Damit ist es Ziel dieser Arbeit, auf Basis der Rock-Konzerte der Konzertsaison 2022 am Flughafen Tempelhof mithilfe von rechnergestützten Simulationen sicherheitsrelevante

Aussagen für mögliche zukünftige Großveranstaltungen am gleichen Ort zu treffen. Der Fokus liegt dabei auf den Besucherströmen während der Ein- und Auslassphase in festgelegten Szenarien.

Für die Untersuchung wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- Für wie viele Besucherinnen und Besucher kann der Ein- und Auslass im Regelbetrieb eines Konzertes sicher durchgeführt werden?
- Wie viele Besucherinnen und Besucher können im Räumungsfall sicher evakuiert werden?
- Welchen Einfluss haben die Zugänge der Bahnsteige der drei Bahnhöfe „Tempelhof“, „Paradestraße“ und „Platz der Luftbrücke“ im Regelbetrieb auf den Abfluss der Besucherströme?
- Zu welchem Zeitpunkt ist eine Absage der Veranstaltung optimal, wenn angenommen wird, dass sich die Besucherinnen und Besucher teilweise bereits auf der Anreise und auf dem Veranstaltungsgelände befinden?

Inhaltlich gibt Kapitel 2 zunächst einen Überblick über die Großkonzerte auf dem Tempelhofer Feld im Jahr 2022.

Die aktuellen Rahmenbedingungen für Groß-Konzerte und die Beschreibung der veranstaltungsspezifischen Anpassung beleuchtet Kapitel 3.

Das Kapitel 4 „Methodisches Vorgehen“ begründet die Auswahl der Szenarien für die Untersuchung.

Diese Szenarien werden anschließend in Kapitel 5 mittels computergesteuerter Simulationen unter Nutzung der Software „PedGo“ der TraffGo HT GmbH auf Grundlage eines Modells des Veranstaltungsgeländes und der angrenzenden öffentlichen Verkehrsflächen untersucht. Die Simulation ist agentenbasiert, d.h. die einzelnen Personen werden als Agenten mit individuellen Bewegungsmustern diskret abgebildet.

Die Ergebnisse der Simulationen führen in Kapitel 6 zu einer Analyse der Personenströme in den verschiedenen Szenarien während der Ein- und Auslassphase und geben Hinweise auf die maximalen Besucherströme unter Heranziehung

verschiedener Parameter wie Anstehzeit, Staulänge, oder Personendichte. Besondere Aufmerksamkeit erhalten der Einfluss der Zugänge der Bahnsteige auf den Abfluss der Besucherströme und die Situation der Vorzeitigen Absage einer Veranstaltung.

Die folgende Auswertung der Ergebnisse in Kapitel 7 nimmt Rückbezug auf die Forschungsfragen und gibt damit die angestrebten Hinweise für die Planung zukünftiger Großveranstaltungen auf dem Gelände des Flughafens Tempelhof mit dem Fokus auf eine sicherheitsoptimierte Ein- und Auslass-Situation.

Das Fazit in Kapitel 8 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Optimierung der Ein- und Auslasssituation von Rock-Konzerten auf dem Gelände des Flughafen Tempelhof.

2 Großkonzerte am Flughafen Tempelhof im Jahr 2022

2.1 Überblick

Grundlage der vorliegenden Arbeit sind 4 Rock-Konzerte die am 20. August, sowie vom 26. bis 28. August 2022 auf dem Gelände des stillgelegten Flughafen Tempelhof in Berlin veranstaltet werden sollten. Als Veranstalter trat die LOFT Concerts GmbH aus Berlin in Erscheinung. Es spielte am ersten Tag die Band „Die Toten Hosen“ gefolgt von einer mehrtägigen Spielpause. Anschließend spielten „Die Ärzte“ lediglich zwei Konzerte. Der dritte Auftritt wurde aufgrund einer Unwetterwarnung abgesagt.

Nachdem der Flughafen Tempelhof 2008 geschlossen wurde, stand das Land Berlin als Eigentümer vor der Aufgabe, den denkmalgeschützten Gebäudekomplex zu bewahren und in eine ökonomisch sinnvolle Nutzung zu überführen. Zu diesem Zweck wurde zum einen die Tempelhof Projekt GmbH gegründet und zum anderen ein Gesetz zum Schutz des Tempelhofer Feldes erlassen (§ 1 *Thf-Gesetz*, 2014; Präambel „ManagementvertragTP,“ 2010). Für diesen einzigartigen Veranstaltungsort lag die Überlegung nahe, dort auch Konzerte durchzuführen.

Im Jahr 2013 konnten sich Veranstalter, Betreiber und Behörden in Berlin erstmalig auf ein Format einigen, bei dem das Vorfeld des ehemaligen Flughafens für Rock-

Konzerte genutzt wird. Es konnte bei der Planung auf keine vorhandene Erfahrung mit großen Konzerten auf dem Gelände zurückgegriffen werden. Die Planungsparameter waren mehrheitlich das Ergebnis von Absprachen der Beteiligten miteinander in Kombination mit übertragener Erfahrung aus vergleichbaren Veranstaltungen an anderen Orten (Mohnen, 2013).

Auch wenn die Verantwortung des Veranstalters rechtlich am Veranstaltungsgelände (VA-Gelände) endet, gilt das nicht für die Betrachtung der Besucherströme. Die Sicherheitskonzepte für Großveranstaltungen berücksichtigen derzeit bereits Aspekte wie die Erreichbarkeit, die Parkplatz- oder ÖPNV-Kapazitäten ("FGSV 172," 2022, p. 16; Sakschewski et al., 2019, pp. 191–193).

2.2 Teilnehmerzahl und Besucherstruktur

Die Teilnehmerzahl lag bei 60.000 Personen pro Tag und wurde über die maximale Ticketanzahl reglementiert. Es fand nur ein Konzert pro Tag statt (Mohnen, 2022a, p. 11). Es handelte sich bei den auftretenden Künstlern um die deutschsprachigen Bands „Die Toten Hosen“ und „Die Ärzte“. Beide Bands lassen sich dem Genre der Rockmusik zuordnen und bedienen den Geschmack der Populärkultur oder des Mainstreams. Es wurde erwartet, dass sich daher keine radikalen Gruppen oder Randgruppen unter den Teilnehmenden befinden. Es wurde mit keiner Gewaltbereitschaft gerechnet. Der erwartete erhöhte Alkoholkonsum ändert an der Erwartungshaltung hinsichtlich der Gewaltbereitschaft nichts.

Die Besucher wurden als überwiegend freundlich und ruhig eingeschätzt. Das Verhältnis der Anzahl von Männern zu Frauen war für „Die Toten Hosen“ mit 60:40 angegeben. Abweichend dazu war das Verhältnis bei „Die Ärzte“ mit 50:50 angegeben, wobei die Altersstruktur bei beiden Konzerten von 18 bis 60 Jahren reichte. Der Schwerpunkt der Verteilung lag bei den über 40-jährigen Männern. Die Anreise erfolgte überwiegend aus Deutschland und in geringem Maße aus anderen Ländern (Mohnen, 2022a, pp. 15–16). Dabei kamen ca. 28 % der Besucher aus Berlin (Mohnen, 2022b, p. 7).

2.3 Veranstaltungsgelände und Umgebungsstruktur

Die Veranstaltung fand auf dem Gelände des ehemaligen Flughafen Tempelhof in Berlin statt. Es wird dabei unterschieden in das Gebäudeensemble des ehemaligen Flughafens inklusive des Vorfeldes und das ehemalige Flugfeld inklusive der Start- und Landebahnen und Rollbahnen, wie in Abbildung 1 dargestellt (§ 2 *Thf-Gesetz*, 2014; § 1 Abs. 1 "ManagementvertragTP," 2010).

Eigentümerin der Gebäude inklusive Vorfeld, ist das Land Berlin. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen verantwortet die Tempelhof Projekt GmbH (TP) unter anderem den Betrieb und die Entwicklung des Geländes (§§ 1-3 "ManagementvertragTP," 2010).

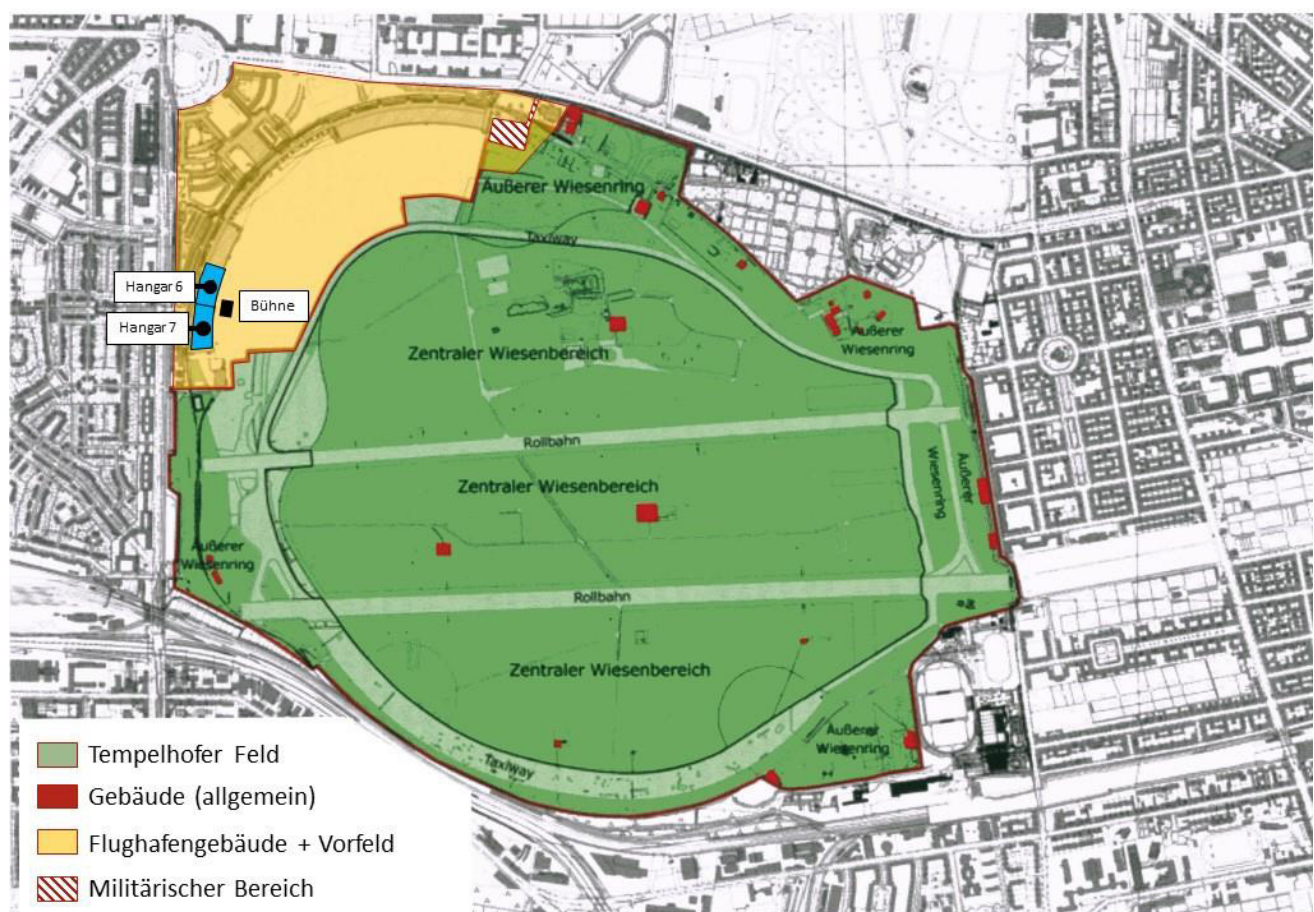


Abbildung 1: Flächenaufteilung nach Flächengebern (basierend auf Anlage 1 *Thf-Gesetz*, 2014; Anlage 2 "ManagementvertragTP," 2010)

Das Veranstaltungsgelände befindet sich überwiegend auf Flächen von TP. Für die innere Erschließung, sowie einen kleinen Teil des Veranstaltungsgeländes wird jedoch auch das Tempelhofer Feld genutzt (Mohnen, 2022a, p. 11). Die Fläche, auf der die Veranstaltungsinfrastruktur errichtet wird, ist das ehemalige Vorfeld. Es ist aus Beton hergestellt und entsprechend seiner Bauart eine ebene feste Fläche, welche Niederschlag sammelt und ableitet. Eine Einschränkung der Verkehrswege durch Regen ist dennoch vorstellbar (Mohnen, 2022c, p. 1).

Eigentümerin des Tempelhofer Feldes ist ebenfalls das Land Berlin (§ 5 Abs. 1 *Thf-Gesetz*, 2014). Die teilweise Nutzung des Tempelhofer Feldes ist vertraglich mit der Grün Berlin GmbH vereinbart. Das Veranstaltungsgelände wird im Nahbereich westlich von den Hangars des Flughafens begrenzt. Nördlich befindet sich der übrige Teil des Vorfeldes und im Osten und Süden schließen sich die Grünflächen des Tempelhofer Feldes an. Es handelt sich um ein innerstädtisches Gelände.

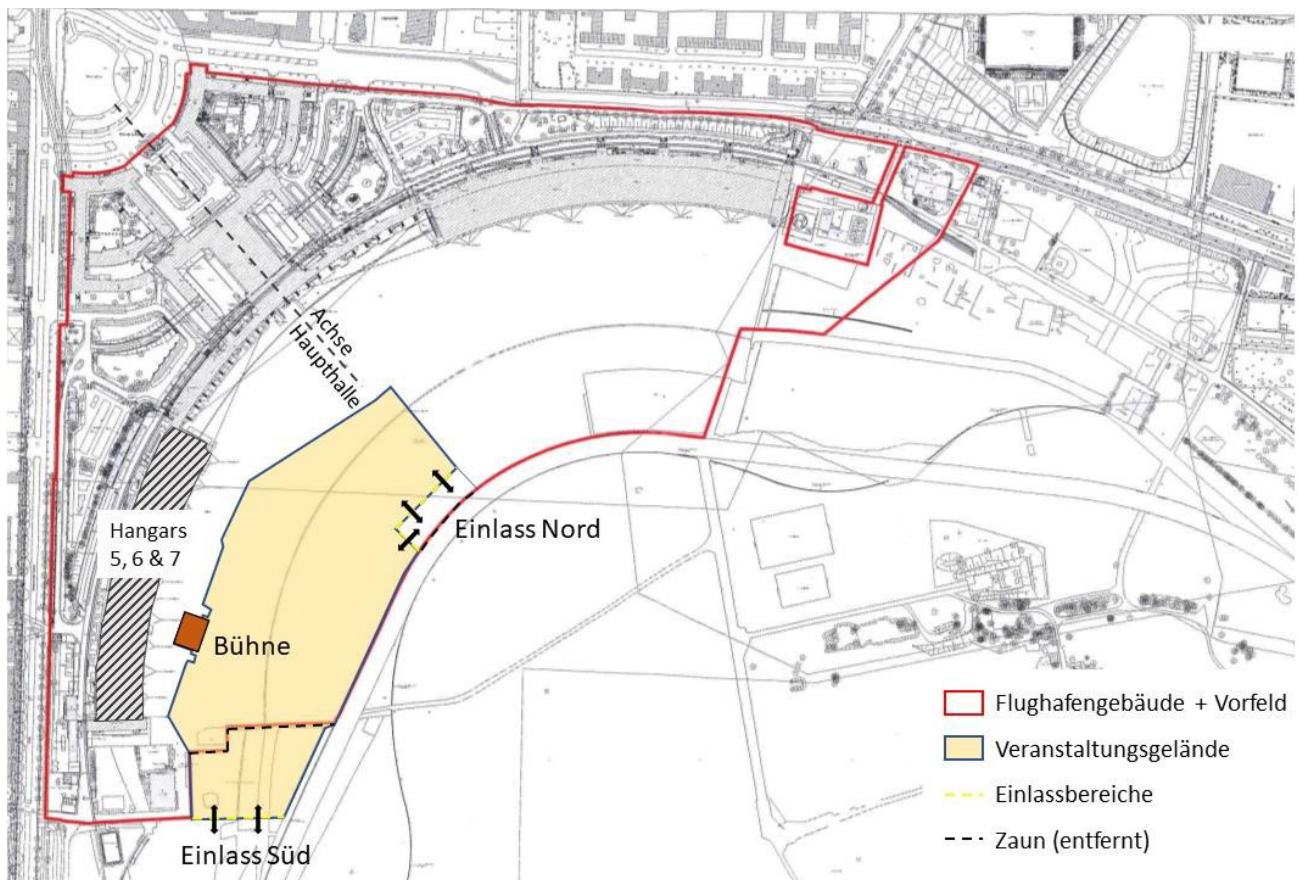


Abbildung 2: : Lage des VA-Geländes mit Bühne im Bezug zum Flughafengebäude (basierend auf Anlage 2 "ManagementvertragTP," 2010; Mohnen and Rogall, 2022a)

Die Bühne wurde am südlichen Ende des Vorfeldes platziert, sodass sie zwischen dem Publikum und den Hangars 6 und 7 des Flughafengebäudes stand (Mohnen and Rogall, 2022b). Die Ursprungsplanung sah einen Standort der Bühne in einer Linie mit der Haupthalle weiter nördlich vor. Aufgrund einer möglichen Wiederinbetriebnahme der Unterkunft für Geflüchtete am Standort wurde dieser Plan verworfen. Eine Einhaltung der gesetzlich zulässigen Lärmimmissionen wäre so nicht möglich gewesen. Es wurde an allen Veranstaltungstagen die gleiche Infrastruktur aus beispielsweise Absperrungen, Bühne, Gastronomie- oder Nonfood-Ständen genutzt (Mohnen, 2022a, p. 11). Für die Einfriedung des Veranstaltungsgeländes wurde der feste Zaun zum Tempelhofer Feld teilweise vorübergehend zurückgebaut und Bauzaun, Bauzauntore und Einlassschleusen ergänzt. Die Geometrie des Geländes weicht in den Bereichen der Einlässe vom Ursprungszustand ab (Mohnen and Rogall, 2022a).

Das Veranstaltungsgelände liegt im Verwaltungsbezirk Tempelhof-Schöneberg. Dieser ist geprägt von einer Mischung aus Ein- und Mehrfamilienhäusern in offener und geschlossener Bebauung, Gewerbe- und Industrieflächen und Parkanlagen. Der ehemalige Flughafen Tempelhof ist ein prägendes Symbol des Ortsteils.

Der Ein- und Auslass zum Veranstaltungsgelände erfolgte über die Einlässe Nord und Süd. Sie grenzen direkt an das Tempelhofer Feld, von welchem sich Straßen und Bahnhöfe erreichen lassen (Abb. 2). Alle Anreisenden mussten somit, unabhängig der Art der Anreise, die letzten Meter vor dem Betreten des Geländes zu Fuß zurücklegen.

Fußläufig sind 9 S- und U-Bahnhöfe in weniger als 30 Minuten erreichbar. Dort verkehren insgesamt 6 relevante S- und U-Bahnlinien (Mohnen, 2022b, p. 19). Zusätzlich tangieren im Norden der Columbiadam und im Westen der Tempelhofer Damm als wichtige Verkehrsachsen das Flughafengelände. Die Rad- und Fußwege in der Nähe können als gut ausgebaut betrachtet werden (Mohnen, 2022b, pp. 5–7). Unweit des Einlass Nord wurde ein Fahrradparkplatz eingerichtet. Parkplätze für PKW sind in der Nähe des Veranstaltungsgeländes nicht vorhanden (Mohnen, 2022b, p. 12).

2.4 Sicherheitskonzept und Brandschutzkonzept

Sicherheitskonzept

In Anlehnung an 43 § Absatz 2 wurde für die zugrundeliegenden Veranstaltungen ein Sicherheitskonzept erstellt (*MVStättVO*, 2014). Es bildet die Handlungsgrundlage für den Normalbetrieb, Not- und Krisenfälle für alle Beteiligten. Beteiligte sind die Betreiberin, die Veranstalterin, der Veranstaltungsleiter, der Verantwortliche für Veranstaltungstechnik, der Produktionsleiter, der Ordnungsdienstleiter, der Brandsicherheitswachdienst, der Sanitätsdienst, die Feuerwehr und die Polizei (Mohnen, 2022a, p. 5).

Hinsichtlich der Organisation der Veranstaltung beschreibt das Sicherheitskonzept Funktionen und Aufgaben der in sicherheitsrelevanten Fragen handelnden Personen und enthält ein Kommunikationskonzept. Es stellt die Flächennutzung und die Wegeplanung dar, beschreibt die Veranstaltungsinfrastruktur, stellt die personellen und organisatorischen Regelungen zur Besucherlenkung dar, analysiert Risiken und beschreibt Risikomanagementprozesse und ausgewählte Notfallszenarien (Mohnen, 2022a, p. 7).

Brandschutzkonzept

Für das Sicherheitskonzept der zugrunde liegenden Veranstaltungen wurde als Anlage IV ein Brandschutzkonzept erstellt. Entsprechend § 54 Absatz 2 hat das Dokument den Status einer Fachplanung (*BauO Bln*, 2005; Olek, 2022a, p. 4).

Entsprechend der Schutzziele in § 14 der Bauordnung für Berlin beschreibt das Brandschutzkonzept Maßnahmen zur Vorbeugung einer Brandentstehung, zur Vorbeugung der Ausbreitung von Feuer und Rauch, Maßnahmen zur Rettung von Menschen und Tieren und Maßnahmen zur Ermöglichung wirksamer Löschmaßnahmen (2005). Tiere sind in diesem Fall allerdings auf dem Veranstaltungsgelände nicht gestattet.

Im Brandschutzkonzept nicht berücksichtigt werden:

- die Räumlichkeiten, die während der Veranstaltung in den Gebäuden des ehemaligen Flughafens genutzt werden, wie beispielsweise Künstlerunterkünfte oder Produktionsbüros. Diese werden über einen Prüfsachverständigen für Brandschutz gesondert bewertet.
- die Betreiberinteressen hinsichtlich des Sachschutzes, oder Versicherungsbelange.
- die brandschutztechnischen Belange des Arbeitsschutzes, da es sich um einen bauordnungsrechtlichen Nachweis handelt.
- der Explosionsschutz und vorsätzliche Handlungen Dritter wie z. B. Brandstiftung (Olek, 2022a, p. 4).
- die Störungen von außen, Brand durch Blitzschlag, Brände allgemein, Verbrennungen oder Explosion durch vorhandene Brandlasten. Sie werden jedoch in Rahmen der Risikoanalyse gesondert bewertet (Mohnen, 2022c, pp. 1–3).
- die veranstaltungsbedingte Pyrotechnik

3 Rahmenbedingungen

3.1 Rechtliche Grundlagen

Den gesetzlichen Rahmen für die Veranstaltungssicherheit bilden Rechtsnormen aus unterschiedlichen Rechtsgebieten.

- Das **Versammlungsrecht**: Im Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland ist das Recht auf die freie Entfaltung der Meinung festgeschrieben (Artikel 5 Absatz 1). Daraus lässt sich das Recht ableiten, öffentliche Versammlungen zu veranstalten oder daran teilzunehmen (§ 1 *VersFG BE*, 2021). Das Versammlungsgesetz des Bundes stammt aus der Nachkriegszeit und hat seinen Schwerpunkt bei politischen Veranstaltungen. Es wurde in Berlin im Jahr 2021 durch das Versammlungsfreiheitsgesetz zeitgemäß abgelöst, welches ganz allgemein Zusammenkünfte von Personen reguliert. Es gilt dementsprechend auch für Konzertveranstaltungen.
- Das **allgemeine Ordnungsrecht** beinhaltet allgemeine Vorschriften und Grundsätze des Gefahrenabwehrrechts und ergibt sich aus dem Grundgesetz als Kompetenz der Länder (Artikel 70 Absatz 1 GG, 1949). In Berlin wurde hierzu ein allgemeines Sicherheits- und Ordnungsgesetz erlassen. Es regelt, dass die Ordnungsbehörden und die Polizei die Aufgabe haben, Gefahren für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung abzuwehren (§ 1 Absatz 1 ASOG Bln, 2006). Ist ein Bereich besonders wichtig, wird er darüber hinaus spezialgesetzlich geregelt.
- Das **Bauordnungsrecht**, regelt allgemeine Anforderungen an Gebäude oder bauliche Anlagen, bezüglich der öffentlichen Sicherheit und Ordnung. Es handelt sich dabei um besonderes Ordnungsrecht. Unter anderem soll von ihnen keine Gefahr für das Leben und die Gesundheit von Menschen ausgehen (§ 3 *MBO*, 2002). Finden Veranstaltungen drinnen statt, können weitere Vorschriften gültig sein, wie insbesondere die Muster-Versammlungsstättenverordnung (§ 1 *MVStättVO*, 2014) oder die Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb Fliegender Bauten (§ 1 *M-FIBauR*, 2010). Adressat des Bauordnungsrechts ist in der Regel der Betreiber einer Versammlungsstätte (Sakschewski et al., 2019, p. 74). In der aktuell gültigen

Fassung der Muster-Versammlungsstättenverordnung sind Fliegende Bauten explizit von der Anwendung ausgeschlossen (§ 1 Absatz 1 Punkt 2 *MVStättVO*, 2014).

- **Arbeitsrecht:** Überall wo Beschäftigte auf Veranstaltungen eingesetzt werden muss deren Sicherheit und Gesundheitsschutz beachtet werden (§ 1 *ArbSchG*, 1996). Planerisch sind die Technischen Regeln für Arbeitsstätten eine häufig verwendete Grundlage. Sie geben den Stand der Technik wieder und treffen Aussagen über beispielsweise Fluchtwege und Notausgänge, Maßnahmen gegen Brände oder die Barrierefreiheit.
- **Zivil- und Strafrecht:** Auftretende Personen- oder Sachschäden können zivilrechtliche Folgen in Form von Schadensersatz oder Schmerzensgeld haben. Darüber hinaus können sich auch strafrechtliche Konsequenzen ergeben (Sakschewski et al., 2019, p. 71). Besondere Pflichten hinsichtlich der Sicherheit ergeben sich beispielsweise für den Betreiber und die Verantwortlichen für Veranstaltungstechnik (§ 38 Absatz 1 und § 40 Absatz 1 *MVStättVO*, 2014).

Es werden darüber hinaus noch weitere Rechtsgebiete berührt, wie z. B. das Sprengstoffrecht beim Einsatz von Pyrotechnik.

Spezifische bauordnungsrechtliche Grundlagen

In Berlin regelt die *Bauordnung* die Anforderungen an bauliche Anlagen (§ 1 *BauO Bln*, 2005). Dient ein Gebäude zur Ansammlung von Personen, kann es den Tatbestand einer Versammlungsstätte erfüllen. Das kann auch Versammlungsstätten im Freien betreffen, sofern sie mehr als 1000 Besucher fassen und keine Fliegenden Bauten sind (§ 2 Absatz 4 Punkt 7 *BauO Bln*, 2005). Sonderbauten können eigenen Rechtsnormen haben, wie z. B. Hochhäuser, Schulen oder Industriebauten. In Berlin existiert die *Verordnung über den Betrieb von baulichen Anlagen (Betriebsverordnung)*. Sie vereint die Regelungen verschiedener Sonderbauvorschriften und behandelt im Abschnitt 4 auch die Versammlungsstätten. Inhaltlich orientiert sie sich an der *Muster-Versammlungsstättenverordnung*. Nach § 23 fallen hier ebenfalls Versammlungsstätten im Freien unter den genannten Bedingungen in ihren Geltungsbereich (Absatz 1 *BetrVO*, 2007).

Bei Open-Air-Veranstaltungen werden Bühnen, Zelte und andere bauliche Anlagen in der Regel als Fliegende Bauten ausgeführt. Sie sind also dazu bestimmt, wiederholt an verschiedenen Orten auf- und wieder abgebaut zu werden (§ 76 BauO Bln, 2005). Mit der Änderung der Muster-Versammlungsstättenverordnung im Jahr 2014 durch die Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz wird klargestellt, dass Fliegende Bauten explizit nicht den Regelungen der MVStättVO unterliegen (§ 1 Absatz 3 Punkt 4). Der dort geregelte Anwendungsbereich entspricht wortgleich der Berliner Betriebsverordnung (§ 23 Absatz Satz 1).

Um zusätzlich Klarheit über die Anwendung der *BetrVO* zu schaffen, veröffentlichte die oberste Bauaufsicht des Landes Berlin im Jahr 2016 Entscheidungshilfen für nicht speziell geregelte Sachlagen. Sie verweist darin auf die *Begründung der Änderungen der MVStättVO*. Dort heißt es, dass typische Versammlungsstätten im Freien ortsfeste, auf Dauer angelegte Anlagen seien, wie beispielsweise Freilichttheater, Reitbahnen oder Sportstadien. Temporäre Veranstaltungen wie Musikfestivals auf Freiflächen sind explizit ausgeschlossen, da der Nutzungszweck nicht dauerhaft ist. Es müssen Szenenflächen oder Tribünen vorhanden sein, welche zur dauerhaften Nutzung bestimmt sind, um unter die Regelung zu fallen (Espich, 2016, p. 254; Zu § 1 Abs. 1 MVStättVO Begründung, 2014).

Für die zugrunde liegenden Rock-Konzerte gilt die Betriebsverordnung also nicht.

In der Praxis findet die MVStättVO dennoch Anwendung, denn die dort beschriebenen Regelungen sind so weit auf Veranstaltungen im Freien adaptierbar, dass sich nach ihnen beispielsweise die Bemessung der Rettungswege oder Absperrungen vor Bühnen planen lassen. Auch die Erstellung eines Veranstaltungssicherheitskonzeptes findet in Anlehnung an § 43 MVStättVO statt (Mohnen, 2022a, pp. 11–12). Die MVStättVO stellt als technische Baubestimmung den Stand der Technik dar. Ihre Einhaltung ist für die Erfüllung der Anforderungen der Bauordnung an bauliche Anlagen unerlässlich (VV TB Bln, 2022, p. 3).

Es ist bei der Planung von Veranstaltungen im Freien zu prüfen, ob beispielsweise Ausführungsgenehmigungen oder Gebrauchsabnahmen für Fliegende Bauten oder

Bauten die offensichtlich als Fliegende Bauten geeignet sind, notwendig sind (Espich, 2016, p. 117). Bei Veranstaltungen in Gebäuden ist ebenfalls zu prüfen, ob die Nutzung konform mit der in der Baugenehmigung beschriebenen Nutzung stattfindet (Sakschewski et al., 2019, p. 198).

3.2 Anforderungen an Verkehrswege und Rettungswege

Verkehrswege

sind Bereiche, die für den Fußgänger- oder Fahrzeugverkehr bestimmt sind. Das gilt sowohl in Gebäuden als auch im Freien auf einem Betriebsgelände. Beispiele für solche Verkehrswege sind Flure, Gänge oder Treppen (Abschnitt 3.1 ASR 1.8, 2022). Ortsfeste Leitern sind auch Verkehrswege (Abschnitt 3.1 ASR 1.8, 2022).

Die Anforderungen an Verkehrswege ergeben sich zum einen aus den technischen Regeln, die die *Arbeitsstättenverordnung* konkretisiert und beispielsweise aus Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV EVC, 2022, p. 15).

Verkehrswege sind übersichtlich zu führen und sollen einen möglichst geradlinigen Verlauf haben. Das ist bereits bei der Planung zu berücksichtigen. Nicht vermeidbare Höhenunterschiede sind in erster Linie durch Rampen auszugleichen (Abschnitt 4.1 Absatz 1 & 2 ASR 1.8, 2022). Entsprechend ASR 1.8 müssen Verkehrswege eine ebene und trittsicherere Oberfläche haben. Einbauten wie Schachtdeckel oder Einläufe sind bündig herzustellen. Ziel ist es das Stolpern, Wegrutschen oder Stürzen von Personen zu vermeiden (Abschnitt 4.1 Absatz 5 ASR 1.8, 2022).

Es waren im Verlauf der Wege auf dem Veranstaltungsgelände keine Stufen und Schwellen, sowie keine wesentlichen Neigungen vorhanden (Olek, 2022a, p. 17). Im weiteren Verlauf waren Unebenheiten und Treppen im öffentlichen Raum vorhanden, wurden jedoch als üblich akzeptiert. Unabhängig davon wurden nicht akzeptable Unebenheiten ausgeglichen.

Befinden sich Verkehrswege im Freien sind ggf. Maßnahmen gegen Witterung zu treffen, insofern sie andernfalls nicht sicher benutzbar sind (Abschnitt 4.1 Absatz 8 ASR 1.8, 2022).

Es wurden keine Maßnahmen zum Schutz der Wege vor Witterung getroffen. Die sichere Benutzbarkeit wird aus der üblichen Nutzung abgeleitet.

Die lichte Mindestbreite von Verkehrswegen beträgt bis 400 Personen 2,40 m (Abschnitt 4.2 Tabelle 2 ASR 1.8, 2022).

Die Bemessung der Rettungswegbreite fand analog zur MVStättVO statt.

Während der Benutzung müssen die Verkehrswege so ausgeleuchtet sein, dass sie sicher benutzt werden können (Abschnitt 5 Absatz 4 ASR 1.8, 2022).

Es war entlang der öffentlichen Verkehrsflächen eine Allgemeinbeleuchtung vorhanden, welche als ausfallsicher beschrieben wurde. Wo die Allgemeinbeleuchtung als nicht ausreichend betrachtet wurde, ist eine temporäre Zusatzbeleuchtung ergänzt worden. Betrachtet wurden über das Veranstaltungsgelände hinaus auch die Laufwege auf dem Tempelhofer Feld (Mohnen, 2022a, p. 24).

Verkehrswege inklusiver der Sicherheitseinrichtungen müssen regelmäßig auf ihre ordnungsgemäße Funktion überprüft werden. Mängel müssen behoben werden. Das Überprüfungsintervall muss vorher festgelegt werden (Abschnitt 6 Absatz 1 ASR 1.8, 2022).

Die Überprüfung fand jeweils vor der Öffnung des Veranstaltungsgeländes für die Besucherinnen und Besucher statt.

Die Regelung des Straßenverkehrs obliegt fast ausschließlich der Polizei ("FGSV 172," 2022, p. 14).

Hierzu fanden im Rahmen der Veranstaltungsplanung Absprachen mit der Polizei statt, sowie ein direkter Austausch während der An- und Abreisephase.

Rettungswege

Die Anforderungen an die Wege zur Flucht und Rettung von Personen ergeben sich vornehmlich aus dem Bauordnungsrecht und aus dem Arbeitsrecht. Dabei werden unterschiedliche Begriffe verwendet. Das Bauordnungsrecht bezeichnet mit dem Rettungsweg in der Regel einen Weg, der sowohl zur Selbstrettung (Flucht), als auch zur Fremdrettung durch Rettungskräfte (Rettung) geeignet ist (§ 33 Absatz 1 & 2 MBO, 2002).

Das Arbeitsstättenrecht kennt den Begriff des Fluchtweges, als Haupt- oder Nebenfluchtweg. Die Hauptfluchtwege können auch genau dem bauordnungsrechtlichen Rettungsweg entsprechen, sofern sie ohne Hilfe von Rettungskräften genutzt werden können. Nebenfluchtwege eröffnen die Möglichkeit zusätzliche Fluchtkapazitäten zu schaffen, wenn die Gefahr besteht, dass der Hauptfluchtweg nicht dauerhaft sicher ist. Die Anforderungen an Nebenfluchtwege sind geringer als an Hauptfluchtwege es sind dort z. B. Fahr- oder Wendeltreppen sowie Steigleitern im Verlauf zulässig (Abschnitt 6.2 Absatz 2 ASR 2.3, 2022). Die Begriffe Rettungsweg und Fluchtweg werden in der Literatur teilweise gleichbedeutend verwendet (Sakschewski et al., 2019; Abschnitt 3.1 ASR 2.3, 2022). In dieser Arbeit wird überwiegend der Begriff Rettungsweg verwendet.

Im Folgenden werden die relevanten Anforderungen an Rettungswege genannt und anschließend beschrieben, wie sie auf die zugrunde liegende Veranstaltung adaptiert wurden.

Entsprechend § 6 Absatz 1 der *Muster-Versammlungsstättenverordnung* „[...] müssen Rettungswege ins Freie zu öffentlichen Verkehrsflächen führen.“. Die Wege im Freien auf dem Grundstück sind Teil des Rettungsweges. In den Technischen Regeln für Arbeitsstätten heißt es: „Fluchtwege führen auf möglichst kurzem Weg ins Freie oder, falls dies nicht möglich ist, in einen gesicherten Bereich.“ (Abschnitt 4 Absatz 1 ASR 2.3, 2022). Auf die Formulierung „gesicherter Bereich“ wird im Verlauf dieses Kapitels unter der Überschrift „**Sicherer Bereich**“ gesondert eingegangen.

Alle Flucht- und Rettungswege führen ins Freie zu öffentlichen Verkehrsflächen.

Rettungswege dürfen auch über Gänge durch Hallen geführt werden. Es muss jedoch ein weiterer von der Halle unabhängiger baulicher Rettungsweg existieren (§ 6 Absatz 3 MVStättVO, 2014).

Alle Rettungswege verlaufen im Freien.

Die maximale Fluchtweglänge liegt in Abhängigkeit der Gefährdung bei 10 m bis 35 m. Handelt es sich bei einem Fluchtweg gleichzeitig um einen Rettungsweg, können die Regelungen des Bauordnungsrechts angewendet werden, auch wenn dort längere Rettungswege zulässig sind (Abschnitt 5 Absatz 2 & 5 ASR 2.3, 2022). Dort ist eine Rettungsweglänge von max. 60 m bis zum Ausgang zulässig (§ 7 Absatz 1 MVStättVO, 2014).

Die Regelungen der MVStättVO zu den Rettungsweglängen finden bei Veranstaltungen unter freiem Himmel keine Anwendung, da es sich nicht um einen Versammlungsraum handelt ("vfdb 13-04," 2015, p. 6). Die Gefahr einer Verrauchung der Rettungswege kann vernachlässigt werden, da Rauch ungehindert abziehen kann.

Versammlungsräume, die für den gleichzeitigen Aufenthalt von mehr als 100 Personen bestimmt sind oder deren Grundfläche 100 m² übersteigt, müssen zwei entgegengesetzt liegende Ausgänge haben. Die Ausgänge müssen zu Rettungswegen oder direkt ins Freie führen (§ 6 Absatz 5 Punkt MVStättVO, 2014). Die lichte Breite muss bei Versammlungsstätten im Freien 1,20 m je 600 Personen betragen. Das entspricht umgerechnet einem Faktor von 0,002 m lichte Rettungswegbreite pro Person. Sie darf an keiner Stelle des Rettungsweges unterschritten werden (§ 7 Absatz 4 Punkt 1 MVStättVO, 2014). Die Gesamtbreite des Rettungsweges ist gleichmäßig auf die Ausgänge zu verteilen (§ 6 Absatz 5 Punkt MVStättVO, 2014).

Die Anwesenheit aller Personen ist zu berücksichtigen, unabhängig davon, ob es sich um Beschäftigte handelt, oder nicht (Abschnitt 2 Absatz 1 ASR 2.3, 2022).

Die notwendige Breite der Rettungswege ergibt sich durch die größtmögliche Personenzahl, welche diese nutzen. Es sind für Stehveranstaltungen mindestens 2 Personen pro Quadratmeter anzusetzen (§ 1 Abs. 2 MVStättVO, 2014).

Die Gesamtausgangsbreite betrug 122,50 m verteilt auf zwei gegenüberliegende Ausgänge im Freien. Die lichte Mindestbreite, wurde an keiner Stelle unterschritten. Die MVStättVO fordert mindestens 1,20 m Wegbreite pro 600 Personen. Teilt man die Mindestbreite durch die Personenanzahl folgt daraus:

$$\text{Max. Personenanzahl} = \frac{122,50 \text{ m}}{0,002 \frac{\text{m}}{\text{Person}}} = 61.250 \text{ Personen}$$

Die maximale Besucheranzahl war auf 60.000 Personen limitiert. Zusätzlich waren bis zu 500 Mitarbeitende auf dem Gelände aktiv (Olek, 2022a, p. 4). Vergleicht man die vorhandene mit der maximalen Personenanzahl folgt daraus:

$$60.000 \text{ Besucher} + 500 \text{ Mitarbeitende} < 61.250 \text{ Personen}$$

Den Besuchern war auf dem Veranstaltungsgelände eine Fläche von ca. 48.400 m² zugänglich. Das entspricht einer Dichte von 1,25 Personen pro Quadratmeter. Vergleicht man nun die vorhandene Personendichte mit der zulässigen Dichte von 2 Personen pro Quadratmeter folgt daraus:

$$\frac{60.500 \text{ Personen}}{48.400 \text{ m}^2} = 1,25 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2}$$
$$1,25 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2} < 2 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2}$$

Die Bemessung der Flucht- und Rettungswegbreite erfolgte analog zur Muster-Versammlungsstättenverordnung (Mohnen, 2022a, p. 31). Die dort beschriebenen Anforderungen wurden erfüllt.

Innerhalb von Versammlungsstätten sind Flucht- und Rettungswege ständig freizuhalten (§ 31 Absatz 2 MVStättVO, 2014; Abschnitt 4 Absatz 3 ASR 2.3, 2022).

Die Freihaltung der Rettungswege wird durch den Betreiber und den Veranstalter organisiert (Olek, 2022a, p. 8).

Wenn es Türen oder Tore im Verlauf von Rettungswegen gibt, dürfen diese keine Schwellen haben und der Aufschlag muss in Fluchtrichtung erfolgen. Sie müssen weiterhin so ausgeführt werden, dass sie sich während der Anwesenheit von Besuchern von innen jederzeit leicht öffnen lassen (§ 9 Absatz 3 *MVStättVO*, 2014). Anlagen die zur Vereinzelung oder Zählung von Personen dienen müssen die genannten Anforderungen ebenfalls erfüllen (§ 9 Absatz 6 *MVStättVO*, 2014; Abschnitt 4 Absatz 7 *ASR 2.3*, 2022). Türen im Verlauf von Rettungswegen dürfen während Veranstaltungen nicht verschlossen sein (§ 31 *MVStättVO*, 2014). Sie müssen darüber hinaus auch gegen das Verstellen von außen gesichert werden (Abschnitt 4 Absatz 3 *ASR 2.3*, 2022). Während der Zeit, in der Menschen auf die Nutzung von Fluchwegen angewiesen sind, müssen sich Türen oder Tore leicht und ohne besondere Hilfsmittel öffnen lassen. Die Öffnungselemente müssen unter anderem leicht erkennbar und die Betätigungsart leicht verständlich sein. Es dürfen keine Schlüssel oder ähnliche Hilfsmittel zum Öffnen nötig sein (Abschnitt 7 Absatz 1 *ASR 2.3*, 2022).

*Die genannten Anforderungen werden erfüllt, wobei Vereinzelungsanlagen die Anforderungen an die lichte Breite nach § 7 Absatz 4 *MVStättVO* nicht erfüllen müssen. Teilweise befinden sich die Vereinzelungsanlagen nicht im Verlauf der Rettungswege, sodass sie die Anforderungen ebenfalls nicht erfüllen müssen.*

Ausgänge benötigen Sicherheitszeichen entsprechend § 6 Absatz 6. Sie müssen dauerhaft und gut sichtbar angebracht sein (*MVStättVO*, 2014). Der Begriff Sicherheitszeichen entstammt der Technischen Regel für Arbeitsstätten A1.3 und bezeichnet dort als Oberbegriff graphische, farbige und speziell geformte Symbole mit Sicherheits- oder Gesundheitsschutzbezug (Abschnitt 3 Absatz 3.2 2013).

Es wurden Flucht- und Rettungswege und Sammelstellen in Anlehnung an die gültigen Normen gekennzeichnet. Dabei wurden Sicherheitszeichen verwendet, die für den Außenbereich geeignet sind und bei Dämmerung oder Dunkelheit beleuchtet (Mohnen, 2022a, p. 26; Olek, 2022a, p. 13).

Versammlungsstätten müssen eine Sicherheitsstromversorgung haben, welche unter anderem den Betrieb der Sicherheitsbeleuchtung gewährleistet (§ 14 Absatz 1 Punkt 1

MVStättVO, 2014). Ist eine Sicherheitsbeleuchtung bauordnungsrechtlich nicht gefordert, kann sich die Forderung dennoch aus dem Arbeitsstättenrecht ergeben, beispielsweise durch eine hohe Personenbelegung, große Flächenausdehnung und fehlendes Tageslicht (Abschnitt 9 ASR 2.3, 2022). „Die Sicherheitsbeleuchtung für Fluchtwege muss für die Dauer, die für das gefahrlose Verlassen der Arbeitsstätte ins Freie erforderlich ist, jedoch mindestens für einen Zeitraum von 30 min nach Ausfall der Allgemeinbeleuchtung, die erforderliche Beleuchtungsstärke erbringen“ (Abschnitt 9.1 Absatz 2 ASR 2.3, 2022). Wenn eine große Zahl ortsunkundiger Personen erwartet wird, muss für deren Fluchtwege die Sicherheitsbeleuchtung binnen einer Sekunde die geforderte Beleuchtungsstärke erbringen. Ein Ausfall der allgemeinen Stromversorgung, darf die Sicherheitsbeleuchtung nicht betreffen (Abschnitt 9.1 Absatz 3 & 6 ASR 2.3, 2022).

Über die Allgemeinbeleuchtung hinaus ist eine Sicherheitsbeleuchtung vorhanden. Der Aufbau der Sicherheitsbeleuchtung ist den veranstaltungsspezifischen Planunterlagen „Sicherheitsbeleuchtung Veranstaltungsgelände“ und „Sicherheitsbeleuchtung Gesamtgelände“ zu entnehmen.

Darüber hinaus wurden auch die Allgemeinbeleuchtung entweder redundant mit Strom versorgt oder eine netzunabhängige Ersatzbeleuchtung installiert. Die Beleuchtungselemente wurden überschneidend aufgestellt, sodass bei einem Ausfall andere Elemente die Grundauleuchtung sicherstellen. In begründeten Einzelfällen, waren die Schaltstationen der Ersatzbeleuchtung ab Dämmerungsbeginn dauerhaft durch Mitarbeitende besetzt (Mohnen, 2022a, p. 24).

Der Verlauf der Rettungswege ist in einem Rettungswegplan darzustellen (§ 44 Absatz 5 MVStättVO, 2014). Ebenfalls müssen nach § 32 Absatz 2 Flucht- und Rettungspläne neben den Hauptzugängen von Räumen angebracht werden (MVStättVO, 2014). Es müssen Flucht- und Rettungspläne erstellt werden, wenn die örtlichen Gegebenheiten es erfordern. Insbesondere, bei einem hohen Anteil an ortsunkundigen Personen oder unübersichtlicher Fluchtwegeführung. Die Pläne sind aktuell zu halten und an geeigneter Stelle anzubringen. Geeignet sind z. B. Eingangsbereiche und Orte die von Personen hoch frequentiert werden (Abschnitt 10 Absatz 1 & 2 ASR 2.3, 2022). Werden Flucht- und Rettungspläne erstellt, weil es erforderlich ist, müssen auch

Evakuierungsübungen durchgeführt werden. Insbesondere ist dadurch zu prüfen, ob die Alarmierung die anwesenden Personen erreicht, ob sich die Personen der Bedeutung der Alarmierung im Klaren sind und ob die Evakuierung schnell und sicher durchgeführt werden kann (Abschnitt 11 Absatz 2 ASR 2.3, 2022). Die Beschäftigten sind über das Verhalten im Gefahrenfall zu unterweisen. Das beinhaltet auch den Verlauf der Fluchtwege, die Nutzung der Fluchtwege und Notausgänge und erforderlichen Maßnahmen (Abschnitt 11 Absatz 1 ASR 2.3, 2022).

Evakuierungsübungen fanden während der Anwesenheit der Besucher nicht statt (Olek, 2022b). Es wurden jedoch vor der Öffnung des Veranstaltungsgeländes die Abläufe auf der Bühne geprobt. Das umfasst das Verlesen der Notfalltexte für unterschiedliche Szenarien in Verbindung mit dem Abspielen von Video- und Audiobotschaften. Die Verantwortlichen sind darüber hinaus in den Notfall- und Meldeplan sowie in der Flächenplan und die Führung der Flucht- und Rettungswege eingewiesen.

Entsprechend § 44 Absatz 1 ist ein Brandschutzkonzept als zusätzliche Bauvorlage zu erstellen (MVStättVO, 2014).

Dieser Anforderung wurde durch die Erstellung der Anlage IV zum Sicherheitskonzept entsprochen.

Erfordert es die Art der Veranstaltung oder sind mehr als 5000 Besucherplätze geplant muss ein Sicherheitskonzept erstellt werden. Dies findet insbesondere im Einvernehmen mit der Polizei, der Feuerwehr und dem Rettungsdienst statt (§ 43 Absatz 1 & 2 MVStättVO, 2014).

Dieser Anforderung wurde durch die Erstellung des Sicherheitskonzeptes für die Konzertsaison 2022 entsprochen.

Der sichere Bereich am Ende eines Fluchtweges muss so bemessen sein, dass sich keine Staus bilden und alle Personen aufgenommen werden können. In Abhängigkeit der maximalen Personenanzahl sind die Sammelstellen zu bemessen. Es kann eine

Dichte von 2 Personen pro m² als Bemessungsgrundlage angenommen werden (Abschnitt 4 Absatz 8 & 9 ASR 2.3, 2022). Die Oberfläche von Sammelstellen muss sicher begehbar sein und außerhalb des Wirkungsbereiches einer fluchtauslösenden Gefahr liegen. Fluchtauslösend können z. B. Feuer, Rauch oder umherfliegende Teile sein. Die Nutzung muss für Personen möglich sein, so lange die Gefahr besteht (Abschnitt 4 Absatz 10 ASR 2.3, 2022).

Die Anforderungen wurden erfüllt. Es wurden außerhalb der Veranstaltungsgeländes Einsatzorte identifiziert, die einen erhöhten Steuerungsbedarf aufweisen. Ihnen vorgelagert sind Pufferplätze, welche die Möglichkeit schaffen Einfluss auf den Besucherstrom zu nehmen. Es wurde eine Personendichte von maximal $4 \frac{PAX}{m^2}$ angenommen.

Auf die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird unter Absatz [3.4 Crowd Management und Orte mit erhöhtem Steuerungsbedarf](#) gesondert eingegangen.

Besteht die Gefahr, dass der Hauptfluchtweg nicht mehr sicher begehbar ist, wird ein Nebenfluchtweg erforderlich. Sicherheitsbedenken bestehen z. B., wenn in er Nähe des Hauptfluchtweges Gefahrstoffe vorhanden sind, oder durch eine hohe Anzahl von flüchtenden Personen die Flucht beeinträchtigt wird. Wird die bestehende Gefahr durch Maßnahmen kompensiert, sind keine Nebenfluchtwege erforderlich (Abschnitt 6 Absatz 1 & 2 ASR 2.3, 2022).

Es bestehen keine Bedenken hinsichtlich der Sicherheit der Fluchtwege.

Im Verlauf von Hauptfluchtwegen sind ausgleichende Stufen nicht gestattet (Abschnitt 5 Absatz 17 ASR 2.3, 2022). Rampen in Verlauf von Fluchtwegen dürfen eine maximale Längsneigung von 6 % nicht überschreiten (Abschnitt 4.1 Tabelle 1 ASR 1.8, 2022).

Es sind im Verlauf der Wege auf dem Veranstaltungsgelände keine Stufen und Schwellen, sowie keine wesentlichen Neigungen vorhanden (Olek, 2022a, p. 17).

Fluchtwege, Notausgänge, Türen und Sammelstellen müssen dauerhaft und deutlich erkennbar gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung muss entsprechend der Technischen Regel für Arbeitsstätten erfolgen. Sollte die allgemeine Beleuchtung ausfallen, muss die Erkennbarkeit noch mindestens 30 min gegeben sein (Abschnitt 8.1 Absatz 1 & 2 ASR 2.3, 2022). Notausgänge die von außen erreichbar sind müssen von außen mit einem Verbotsschild versehen werden, was das Abstellen oder Lagern davor verbietet (Abschnitt 8.1 Absatz 6 ASR 2.3, 2022).

Es wurden Fluchtwege, Notausgänge und Sammelstellen in Anlehnung an die gültigen Normen gekennzeichnet (Mohnen, 2022a, p. 26).

Sicherer Bereich

Das Bauordnungsrecht fordert grundsätzlich, dass Rettungswege ins Freie führen müssen (§ 33 Absatz 1 MBO, 2002). Ziel kann jedoch auch der notwendige Treppenraum sein (§ 35 Absatz 2 MBO, 2002). Darüber hinaus entsprechend § 6 Absatz 1 MVStättVO „[...] müssen Rettungswege ins Freie zu öffentlichen Verkehrsflächen führen.“. Die Wege im Freien auf dem Grundstück sind Teil des Rettungsweges (2014).

Das Freie ist per Definition ein sicherer Bereich, wenn auf dem Grundstück oder auf öffentlichen Verkehrsflächen ein sicherer Abstand eingenommen werden kann (Abschnitt 3.5 ASR 2.3, 2022). Als gesicherten Bereich verstehen die Technischen Regeln für Arbeitsstätten in Gebäuden jeweils benachbarte Brandabschnitte und notwendige Treppenträume im Sinne des Bauordnungsrechts. Im Außenbereich können diese Anforderungen beispielsweise Außentreppen oder begehbare Dachflächen erfüllen, sofern sie ins Freie führen. In einem gesicherten Bereich sind Personen vorübergehend vor einer unmittelbaren Gefahr geschützt (Abschnitt 3.7 ASR 2.3, 2022).

Den benannten Regelungen liegt die Annahme zugrunde, dass ein Gebäude genutzt wird (Sakschewski et al., 2019, p. 178). Sichere Bereiche sind also benachbarte Brandabschnitte, notwendige Treppenträume oder das Freie. Personen sind dort vor einer Gefahr temporär geschützt. Ziel der Flucht ist es, einen sicheren Abstand zur Gefahr einzunehmen. Deshalb kann letztendlich nur das Freie außerhalb des Veranstaltungsgeländes diese Anforderung dauerhaft erfüllen.

Die Anforderungen wurden erfüllt, da alle Flucht- und Rettungswege zu öffentlichen Verkehrsflächen außerhalb des Veranstaltungsgeländes führten.

3.3 Anforderung an Wege für Feuerwehr und Rettungsdienst

Von öffentlichen Verkehrsflächen sind Feuerwehrezufahrten zur Rückseite des Gebäudes anzulegen (§ 5 Absatz 1 & 2 MBO, 2002). Ergänzend müssen die Bestimmungen der Muster-Richtlinien über Flächen für die Feuerwehr beachtet werden. Sie beschreiben die Ausführung der Flächen für die Feuerwehr hinsichtlich von Anforderungen wie z. B. Abmessungen für Fahrzeuge, Lagebeziehung zu Außenwänden oder Zulässigkeit von Sperrvorrichtungen (MRFIFw, 2009).

Zufahrten, sowie Aufstell- und Bewegungsflächen für Einsatzfahrzeuge müssen ständig frei sein (§ 31 Absatz 1 MVStättVO, 2014). Aus der Nutzung von Sammelstellen dürfen sich keine Einschränkungen für die Wege für Feuerwehr und Rettungsdienst ergeben (Abschnitt 4 Absatz 10 ASR 2.3, 2022).

Aufgrund der einstigen Nutzung des Geländes als Flughafen sind Feuerwehrezufahrten vorhanden und können genutzt werden. Sie sind in den Veranstaltungsspezifischen Planunterlagen festgelegt (Mohnen and Rogall, 2022c).

3.4 Crowd Management und Orte mit erhöhtem Steuerungsbedarf

Crowd Management

bezeichnet die systematische Planung der Personenströme und Überwachung der Besucher während der Veranstaltung. Dazu zählt auch die Betrachtung der Ein- und Auslasssituation. Es sollen Gefahren durch zu hohe Personendichten oder unkontrollierte Bewegungen der Besuchermenge verhindert werden. Steuernde Eingriffe und Beschränkungen der Menge werden dabei als Crowd Control bezeichnet (Sakschewski et al., 2019, pp. 318–319). Die Crowd Management Maßnahmen sind für die zugrunde liegenden Veranstaltung im Sicherheitskonzept inklusive der Anlagen wie Verkehrs- oder Räumungskonzept beschrieben. Entsprechend dem Stand der

Technik geht die Betrachtung dabei über das Veranstaltungsgelände hinaus (FGSV EVC, 2022, p. 16).

Eine Räumung ist das angeordnete kurzfristige und räumlich begrenzte Verlassen eines bestimmten Bereichs zur Selbst- und Fremddrettung (vfdb TB 04-01, 2020, p. 333). Gleichbedeutend wird der Begriff Entfluchtung verwendet (RiMEA, 2022, p. 5). In Abgrenzung dazu wird mit der Evakuierung das organisierte Verlassen eines bestimmten Bereichs mit dem Ziel, einen sicheren Bereich zu erreichen, bezeichnet (Abschnitt 3.4 ASR 2.3, 2022). Im Kontext von Katastrophen, welche ein größeres Gebiet betreffen, wird die Durchführung oft übergeordnet organisiert.

Es existiert ein Besucherinformationssystem mit Orientierungs- und Sicherheitsbeschilderung. Alle Anwesenden, unabhängig ob Besucher, Mitarbeiter oder Rettungskräfte können sich daran orientieren (Mohnen, 2022a, p. 26).

Es stehen alle Medien zur Veranstaltungskommunikation auch zur Besucherlenkung zur Verfügung. Das sind Rundfunk, Internet/ Social Media, Megaphone, Bildschirme, Lautsprecher, direkte Ansprache durch Ordnungsdienst und Beschilderung. Grundsätzlich wird immer erst das Personal informiert und dann die Besucherinnen und Besucher (Mohnen, 2022a, p. 28).

Orte mit erhöhtem Steuerungsbedarf

Während eines regulären Veranstaltungsendes, sowie im Fall einer Räumung, wurde an mehreren Streckenabschnitten des Besucherweges damit gerechnet, dass Kapazitätsengpässe entstehen können. Diese Orte sollten bereits während der Planung identifiziert und besonders berücksichtigt werden (Mohnen, 2022d, p. 4).

- **Übergang vom Tempelhofer Feld zum Columbiadam:** Der Weg vom Tempelhofer Feld trifft nahezu rechtwinklig auf den Columbiadam. Sollte hier der Zustrom von Personen größer sein, als die Kapazitäten der Fußwege, besteht die Gefahr, dass Personen auf die Straße gedrängt werden. Die Straße ist grundsätzlich nicht gesperrt.
- **Übergang vom Tempelhofer Feld zum Tempelhofer Damm:** Es wird angenommen, dass sowohl die ca. 35.000 Nutzer der S-Bahn, als auch die ca.

12.000 Nutzer der U-Bahn versuchen den Bahnhof Tempelhof zu erreichen (Mohnen, 2022b, pp. 20–21). Es besteht die Gefahr, dass der Zustrom durch die Transportkapazitäten nicht bewältigt werden kann. Die Straße ist ebenfalls grundsätzlich nicht gesperrt.

- **Zugang zu Bahnhöfen der Linie U6:** Es handelt sich hierbei speziell um die U-Bahnhöfe „Tempelhof“, „Paradestraße“ und „Platz der Luftbrücke“. Sollte hier der Zustrom von Personen größer sein, als die Kapazitäten des ÖPNV, könnte es passieren, dass auf den Bahnsteigen durch nachströmende Personen zu hoher Druck ausgeübt wird und letztlich sogar Personen auf die Gleise gedrängt werden (Mohnen, 2022d, p. 8). Nach Angaben der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), sind die Transportkapazitäten des ÖPNV höher als der Zustrom von Personen (Mohnen, 2022b, p. 24). Die Zugänge der Bahnhöfe sind dabei die limitierenden Faktoren des Personenstroms (Mohnen, 2022b, p. 21). Eine Sonderstellung nimmt der Bahnhof Paradestraße ein. Er liegt auf der Strecke der Linie U6 genau zwischen den Bahnhöfen Tempelhof im Süden und Platz der Luftbrücke im Norden. Im Verlauf der Abreisephase, kann es passieren, dass die einfahrenden Züge bereits voll ausgelastet sind und keine Personen mehr aufnehmen können. Hier ist die Gefahr des Drucks durch nachfolgende Personen besonders hoch (Mohnen, 2022d, p. 9).
- **Einlass Süd/ Bühne Süd:** Aufgrund der asymmetrischen Anordnung der Bühne im Bezug zu den Einlässen, kann es durch die höhere Frequentierung des Einlass Süd zu Rückstau kommen. Dabei kann es während der Einlassphase sein, dass Personen nicht unverzüglich weiter auf das Veranstaltungsgelände vorgehen und sich ein Rückstau in die Einlassschleusen bildet. Weiterhin kann es passieren, dass Personen im Bühnenvorderbereich frontal stehen bleiben, sodass der nördliche Bereich kaum gefüllt ist und nachfolgende Personen der Übergang in den kaum erschlossenen Bereich erschwert wird (Mohnen, 2022d, pp. 4–11).

Alle Orte mit erhöhtem Steuerungsbedarf, haben gemeinsam, dass durch nachströmende Personen erst die Personendichte steigt und dann zusätzlich Druck ausgeübt werden könnte. Deshalb wurden den Übergängen zum Columbia und

Tempelhofer Damm Pufferzonen vorgelagert. Sie wurden mit Sicherheitspersonal besetzt und machen den Personenstrom steuerbar.

3.5 Personenstromsimulation

Allgemein ergeben sich aus den bauordnungsrechtlichen Vorschriften Anforderungen, bei deren Erfüllung ein definiertes Schutzniveau erreicht wird. Lassen sich diese Vorschriften aufgrund der besonderen Art oder Nutzung eines Gebäudes nicht anwenden, muss dennoch mindestens das gleiche Schutzniveau erreicht werden (*vfdb TB 04-01, 2020, p. 14*). So regelt die Muster-Versammlungsstättenverordnung z. B., dass wenn die Besucherzahl nach § 1 Absatz 2 überschritten wird, ein gesonderter Nachweis über die Räumung zu erstellen ist (§ 44 Absatz 2 Satz 1 2014).

Ein Nachweis kann diesem Fall über Ingenieurmethoden erbracht werden. Ihre Anwendung dient in diesem Fall insbesondere zur Sicherstellung der erfolgreichen Flucht und Rettung von Personen aus einem bestimmten Bereich. Dabei obliegt den Anwendern die Auswahl von passenden Nachweisverfahren und Eingangsdaten, sowie die abschließende Interpretation der Berechnungsergebnisse. Es lassen sich sowohl Personenströme als Brände simulieren (*vfdb TB 04-01, 2020, pp. 14–17*).

Verfahren zur Personenstromsimulation können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden. Diese sind:

- **die Strömungsmodelle** (makroskopischen Modelle) basieren darauf, dass Menschenmengen sich vereinfacht als gerichteter Strom von Personen berechnen lassen. Dabei nutzen die einfachsten Verfahren zur Kapazitätsanalyse von Rettungswegen das Verhältnis von Länge zu Breite des Weges in Abhängigkeit der Art des Wegelements wie z. B. Tür, Treppe oder Flur. Es wird grundsätzlich angenommen, dass die Personen innerhalb des Personenstroms alle gleichzeitig mit der Räumung beginnen. Der Personenstrom ist unterbrechungsfrei und die Personen haben keine individuellen Eigenschaften. Alle für die Berechnung notwendigen Werte sind Mittelwerte. Dynamiken innerhalb des Stroms werden nicht berücksichtigt. Dynamische Strömungsmodelle können dagegen mit Hilfe von empirischen

Daten Aussagen zum Verhältnis von Personendichte zu Laufgeschwindigkeit treffen. Es lassen sich damit auch Vereinigungen von Personenströmen betrachten. Ein bekanntes dynamisches Strömungsmodell ist das von Predtetschenski und Milinski (1971).

- **Individualmodelle** (mikroskopische Modelle) berechnen anhand von personenbezogenen Parametern wie beispielsweise Reaktionszeit, Platzbedarf oder Geschwindigkeit die Bewegungsabläufe der gesamten Menschenmenge. Dabei sind Personendichte und Laufgeschwindigkeit des Personenstroms Ergebnis der Simulation der individuellen Bewegungen. Hierbei lassen sich raumdiskrete und raumkontinuierliche Modelle unterscheiden. Diskrete Modelle unterteilen den Raum in Zellen. Die Individuen bewegen sich dann in Abhängigkeit ihres Laufzieles und des Verhaltens benachbarter Personen von Zelle zu Zelle fort. Die Zellstruktur kann je nach Größe der Zellen zu Einschränkungen bei der Simulation führen, wie beispielsweise maximal darstellbare Personendichte oder Detailgrad der Geometrie. Kontinuierliche Modelle unterliegen diesen Einschränkungen nicht. Sie sind flexibler, benötigen jedoch in der Regel mehr Rechenkapazität, weil sie in jedem Rechenschritt Kollisionen mit Hindernissen oder anderen Personen verhindern müssen (*vfdb TB 04-01*, 2020, pp. 339–346).

Einfache Verfahren zur Kapazitätsanalyse bieten die Möglichkeit übersichtlich und nachvollziehbar Handrechenformeln anzuwenden. Auch komplexere makroskopische Modelle lassen sich prinzipiell noch händisch lösen. Sie sind jedoch mitunter nur anwendbar, sofern die Laufwege die Bildung eines Personenstroms einheitlicher Dichte ermöglichen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein mikroskopisches Modell verwendet. Die rechnergestützte Simulation bietet den Vorteil der komplexen Geometrie des Veranstaltungsgeländes gerecht zu werden, indem sie beispielsweise die Mobilitätsparameter der Personen individuell abbildet. Lange Wege auf dem Gelände und die damit einhergehende Verringerung der Dichte durch Entzerrung können damit besser berücksichtigt werden.

Parameter

Im Kontext der Simulation werden die einzelnen Personen als Agenten bezeichnet. Die der Simulation zugrundeliegende Eigenschaften der Agenten, müssen ausreichend konservativ gewählt werden, um ein belastbares Ergebnis zu erzeugen.

Zugrunde liegt die Besucherstruktur nach Absatz [2.2 Teilnehmerzahl und Besucherstruktur](#). Auf verschiedenen Simulationsdurchläufe mit unterschiedlichen Parametersätzen wird in dieser Arbeit aus Zeitgründen verzichtet.

Die Agenteneigenschaften werden durch Verteilungsfunktionen beschrieben. So werden die Eigenschaften beeinflusst, die sich auf die Simulation auswirken. Die Reaktionszeit bis zu Beginn der Räumung hat Einfluss auf das Agentenaufkommen auf den Flucht- und Rettungswegen. Je nach Festlegung können Agenten gleichzeitig starten oder innerhalb eines Intervalls. In Abhängigkeit des Alters ergibt sich eine freie Gehgeschwindigkeit in der Ebene oder auf Treppen. Die Bestimmung der Altersverteilung der Population hat damit einen bedeutenden Einfluss auf den Verlauf der Simulation. Entsprechend der Art der Nutzung oder der Personendichte lässt sich eine Initialverteilung der Agenten ableiten. Die Nutzung der Fluchtrouten kann durch Sperrungen, Festlegungen oder Entscheidungstendenzen beeinflusst werden (RiMEA, 2022, pp. 8–12). Darüber hinaus können sich Einflüsse aus der Komplexität der räumlichen Struktur, fehlender Ortskenntnis, Alkoholkonsum oder Mobilitätseinschränkungen ergeben. Der Alkoholkonsum wird bei der zugrunde liegenden Veranstaltung als nicht räumungsrelevant betrachtet.

Für diese Arbeit werden folgende Agenten-Parameter gewählt:

Freie Laufgeschwindigkeit in der Ebene:

min. $1 \frac{m}{s}$; max. $1,8 \frac{m}{s}$; Mittelwert: $1,5 \frac{m}{s}$; Standardabweichung: $0,4 \frac{m}{s}$

Reaktionszeit: szenarioabhängig; normalverteilt

Initialverteilung: max. $2 \frac{PAX}{m^2}$

*Altersverteilung: min.: 18 Jahre; max.: 60 Jahre; Mittelwert: 45 Jahre
(basierend auf RiMEA, 2022, pp. 8–12; Weidmann, 1993, p. 45)*

4 Methodisches Vorgehen

Zur Annäherung an das Thema erfolgte eine systematische Literaturrecherche. Im Kapitel **1 Einleitung** dienten dazu vornehmlich die vorhandene Planungsunterlagen aus den Jahren 2013 und 2022. Im Kapitel **3 Rahmenbedingungen** erfolgte darüber hinaus eine umfassende Suche nach allen derzeit verfügbaren Quellen. Es wird der aktuelle Stand der Technik abgebildet. In dieser Arbeit getroffene Annahmen, können dadurch gestützt werden.

Die konzeptionelle Entwicklung der Szenarien erfolgte im persönlichen Austausch mit den Gutachtern. Nachdem ein praxisrelevantes Beispiel einer bisher nicht durchgeführten Veranstaltung gefunden war, wurden durch wiederholte Besprechung wichtige Aspekte der Ein- und Auslasssituation eruiert. Der Detailgrad erhöhte sich mit jedem Treffen.

Die Auswahl der Szenarien erfolgte im Hinblick auf die Interessen der Kooperationspartner Side by Side Eventsupport GmbH und Loft Concerts GmbH sowie HVS Hanseatische Veranstaltungs- und Sicherheitskonzepte GmbH. Zusätzlich flossen wissenschaftliche Aspekte ein. Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit daher nicht um ein Räumungskonzept oder eine Räumungssimulation, sondern um eine umfassende Betrachtung der Personenströme.

Es erfolgt in erster Instanz für jedes Szenario eine kurze Literaturrecherche, um die relevanten Regeln und vorhandene Daten zusammen zu tragen. Wenn möglich erfolgt dann eine Kapazitätsanalyse zur ersten Einschätzung der Verhältnisse. Auf Grundlage einer CAD-Zeichnungs-Datei im DWG-Format wird für jedes Szenario ein Modell abgeleitet was nur die notwendigen Zeichnungselemente enthält. Es Beschränkt sich im Wesentlichen auf vorhandene Wände, Türen und Stufen, da diese Elemente einen Einfluss auf die Agenten haben. Dieses szenariospezifische Modell wird dann im DXF-Format an das Simulationsprogramm übergeben und nachbearbeitet. Mit Blick auf die Simulation ist es wichtig, dass Planausschnitte gewählt werden, die bei geringst möglichem Rechenaufwand geeignet sind die Fragestellung des jeweiligen Szenarios zu beantworten. Das wird erreicht indem der Ausschnitt möglichst klein gewählt wird und nur die relevante Agentenmenge simuliert wird.

Üblicherweise werden mit der hier verwendeten Software 500 Wiederholungen durchgeführt, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzeugen. Die Häufigkeitsverteilung ähnelt dabei meist der Normalverteilung. Statistisch signifikant ist der Lauf der länger als 95 % aller Läufe ist ("PedGo," 2013, pp. 9 & 97). Es handelt sich damit annähernd um die 2σ -Umgebung um den Mittelwert der Stichprobe.

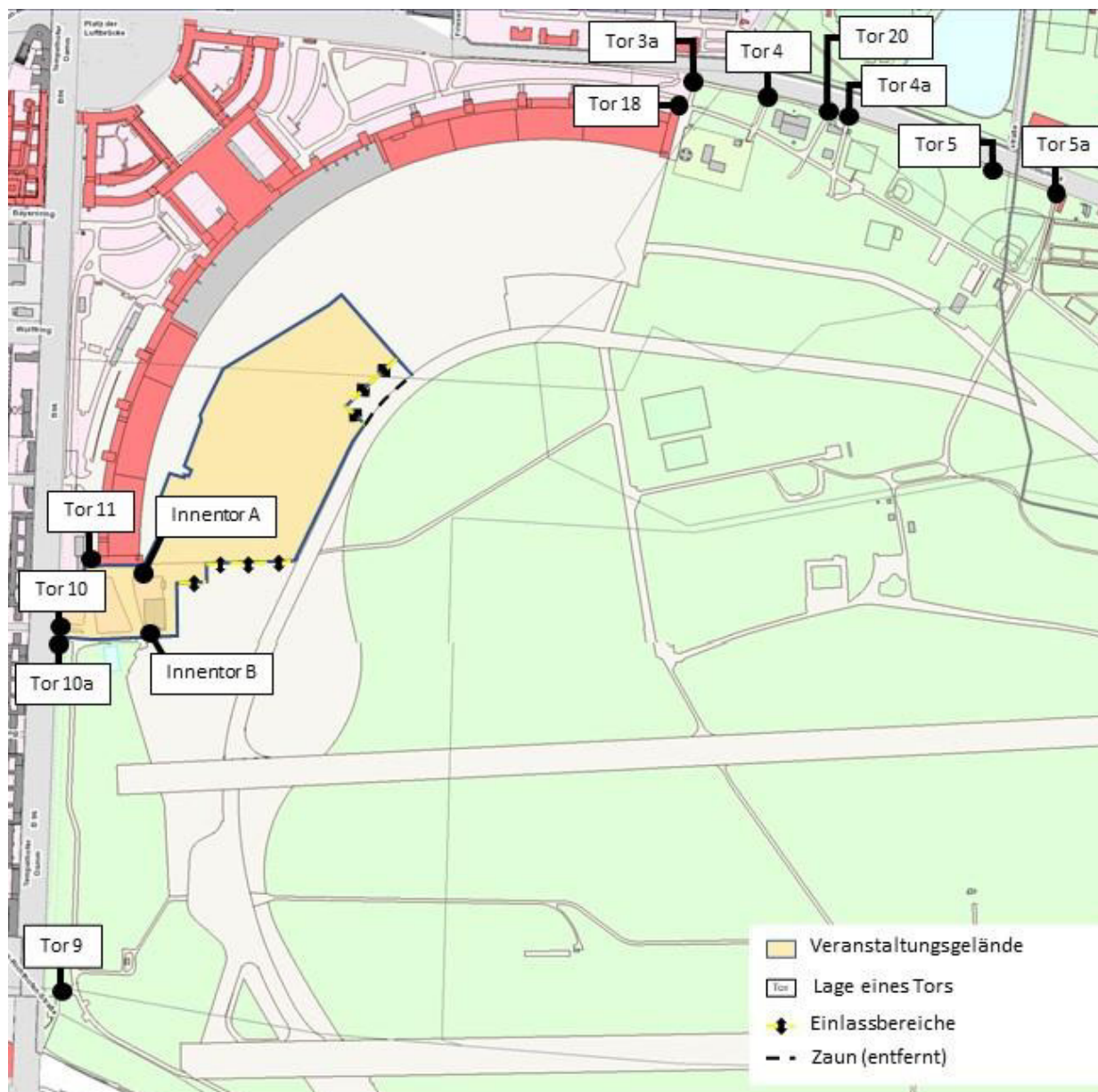


Abbildung 3: aktuell vorhandene Tore am ehemaligen Flughafen Tempelhof (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).

Aufgrund der Größe der Modelle und der der mitunter beträchtlichen Agentenzahl würde die Rechenzeit für 500 Läufe teilweise mehrere Tage oder sogar Wochen

betragen. Zur Vereinfachung wird deshalb mit der kleinsten Menge Läufe gerechnet die eine wissenschaftliche Aussagefähigkeit der erzeugten Daten gestatten. Da es sich bei den einzelnen Läufen quasi um Zufallsvariablen handelt wird in dieser Arbeit auf Grundlage des zentralen Grenzwertsatzes auf eine Stichproben Mindestgröße von 30 Läufen reduziert. Wo es möglich ist werden 50 Läufe durchgeführt (Lange and Mosler, 2017, p. 60).

Table 1: aktuell vorhandene Tore am ehemaligen Flughafen Tempelhof

Name	Lichte Breite*	Beschreibung	Bewertung
Tor 3a	4,82 m	Einflügliges elektrisches Schiebetor, Zuwegung aus Asphalt, Tor schmaler als Zuwegung, schlecht einsehbar	nicht nutzbar
Tor 4	5,34 m	Einflügliges elektrisches Schiebetor, Zuwegung aus Asphalt, derzeit Nutzung als Zufahrt zum militärischen Bereich und Feuerwehruzufahrt	nutzbar
Tor 4a	4.65 m	Zweiflügliges Tor, Zuwegung sehr uneben auf Asphalt, Beton und Pflaster, max. Durchfahrtshöhe 4,80 m	nutzbar
Tor 5	6,30 m	Zweiflügliges Tor, Zuwegung nicht vorhanden (gewachsener Boden/Wiese), derzeit keine Nutzung als Zugang zum Gelände	nicht nutzbar
Tor 5a	6,30 m + 2,10 m	Zweiflügliges Tor (für Fahrzeuge) und Zweiflügliges Tor (für Personen) mit Drehkreuz, Zuwegung Asphalt und Beton	nutzbar
Tor 9	5,16 m + 2,14 m	Zweiflügliges Tor (für Fahrzeuge) und Zweiflügliges Tor (für Personen) mit Drehkreuz, Zuwegung Asphalt und Beton	nutzbar
Tor 10	Σ 50,00 m	Zweiflügliges Tor (2 Stück) + Grünfläche daneben, Zuwegung Asphalt, Beton und gewachsener Boden, nutzbare Breite min. 50 m	nutzbar
Tor 10a	2,64 m	Zweiflügliges Tor, Zuwegung auf Schotter trichterförmig angelegt, Tor schmaler als Zuwegung, schlecht einsehbar	nicht nutzbar
Tor 11	11,90 m	Offen, ohne Toranlage, derzeit Nutzung als Feuerwehruzufahrt und zur Erschließung des Kopfbau West, Zuwegung Asphalt und Beton	nutzbar
Tor 18	5,88 m	Zweiflügliges Tor, derzeit Nutzung als Feuerwehruzufahrt, Zuwegung Asphalt und Beton, max. Durchfahrtshöhe 3,80 m	nutzbar
Tor 20	6,54 m	Zweiflügliges Tor, derzeit Nutzung als Zuweg zur Flüchtlingsunterkunft und Feuerwehruzufahrt, Zuwegung Asphalt und Beton, max. Durchfahrtshöhe 4,80 m, , durchgehend durch Sicherheitspersonal besetzt	nutzbar
Innentor A	8,20 m	Zweiflügliges Tor, Zuwegung Asphalt und Beton	nutzbar
Innentor B	7,96 m	Einflügliges elektrisches Schiebetor, Zuwegung aus Asphalt, derzeit Nutzung als Feuerwehruzufahrt, durchgehend durch Sicherheitspersonal besetzt	nutzbar

* Messunsicherheit $\Delta l = \pm 0,0015 \text{ m}$, $\Delta l, \text{relativ} < 2,5 \%$ ("Bosch," 2023, p. 1)

Die Ergebnisse werden systematisch zusammengetragen und hinsichtlich ihrer Plausibilität geprüft. Sie werden zuerst allgemein dargestellt und dann hinsichtlich der zugrundeliegenden Fragestellung ausgewertet.

Eine Übersicht über die vorhandenen Tore des Flughafens bieten Abbildung 3 und Tabelle 1.

5 Simulation

5.1 Szenario 1 – Einlass

Um bei zukünftigen Veranstaltungen die Anzahl der Flächengeber zu reduzieren, soll auf die Nutzung des Tempelhofer Feldes zur Erschließung des Veranstaltungsgeländes verzichtet werden. Daraus folgt, dass im Regelbetrieb eine geringere Verkehrswegebreite im Übergang vom öffentlichen Verkehrsraum auf die Veranstaltungsfläche zur Verfügung steht. In Tabelle 1 sind alle zur Verfügung stehenden Zuwege beschrieben und hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit bewertet. Lediglich das Tor 10 kommt als Ein- und Auslass in Frage.

Entsprechend der zugrundeliegenden Planung und den Absprachen mit Grün Berlin dürfen im Havariefall aber weiterhin alle Flucht- und Rettungswege über das Tempelhofer Feld geführt werden (Mohnen and Rogall, 2022c). Die Nutzung dieser Flächen im Räumungsfall bleibt daher unberührt. Es ergibt sich die Frage, wie viele Besucherinnen und Besucher über das Tor 10 und die angrenzende Grünfläche sicher Zugang zum Gelände erhalten können. Gemeinsam mit der Größe der Veranstaltungsfläche und zur Verfügung stehenden Flucht- und Rettungswegbreiten, wäre diese Zahl ein Parameter zur Bestimmung der maximalen Besucherzahl.

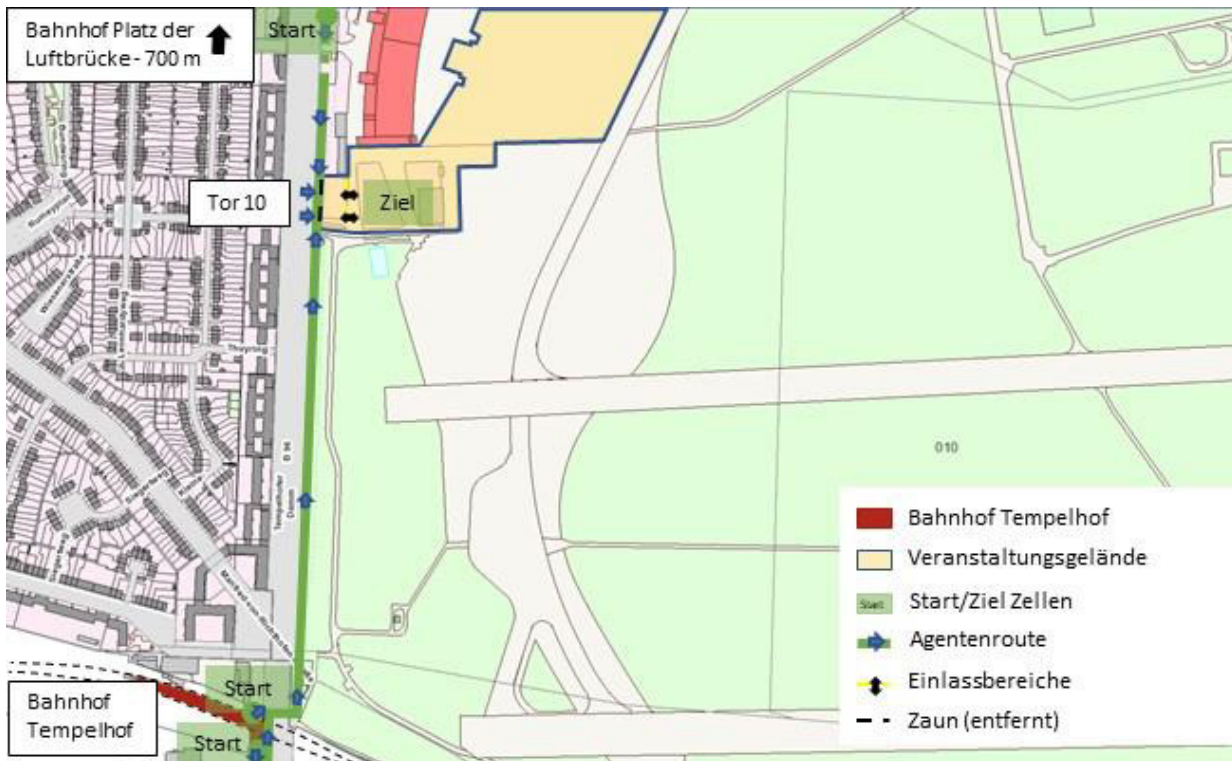


Abbildung 4: Übersichtsplan für Szenario I (basierend auf "OpenStreetMap," 2023)

Die Wegführung des neuen Einlasses erfolgt ausschließlich im Freien (Abbildung 4). Eine Nutzung des Flughafengebäudes findet nicht statt. Die gesamte zur Verfügung stehende lichte Einlassbreite liegt bei mindestens 50 m. Auf der Grundlage können 40 Einlassschleusen eingebaut werden. Nach dem zugrundeliegenden Kapazitätsnachweis können mit einer Schleuse bis zu 450 Personen pro Stunde abgefertigt werden (Mohnen, 2022e, p. 2). Das entspricht einer Abfertigungszeit von $8 \frac{s}{PAX}$. Die DIN EN 13200-7 (2014) nimmt dagegen nur 5,6 Sekunden $\frac{s}{PAX}$ an. Die normativen Vorgaben werden damit erfüllt. Daraus folgt:

$$PAX_{Einlass} = 40 \text{ Stück} \cdot 450 \frac{PAX}{\text{Stück} \cdot h} = 18\,000 \frac{PAX}{h}$$

Es wird angenommen, dass der Spitzenstundensatz 15000 PAX nicht überschreitet, was im zugrundeliegenden Kapazitätsnachweis 25 % der Gesamtzahl der Besucher entspricht (Mohnen, 2022f, p. 1). Für den Einlassbereich gilt also, dass die Kapazität der Einlassschleusen größer ist als der theoretische Spitzenstundensatz.

$$PAX_{vorhanden} < PAX_{zulässig}$$

$$15\,000 \frac{PAX}{h} < 18\,000 \frac{PAX}{h}$$

Die Einlassschleusen sind damit ausreichend bemessen. Es können theoretisch sogar mehr Personen pro Stunde abgefertigt werden, als erwartet werden.

Die Agenten starten während der Simulation an den Bahnhöfen „Tempelhof“ und „Platz der Luftbrücke“ und nutzen zum Erreichen des Veranstaltungsgeländes die Gehwege und Grünflächen entlang des Tempelhofer Damms (Abbildung 4). Die Nutzung des Bahnhofs Paradestraße wird nicht angenommen. Sie findet in der Praxis statt würde jedoch bei der Simulation den Besucherstrom entlasten. Durch die Zugangskontrolle am Einlass kann es zu Verzögerungen und Stau kommen. Den wartenden Personen steht eine bestimmte Fläche zur Verfügung steht, bevor der Rückstau die Eingänge der Bahnhöfe erreicht und nachfolgenden Personen am Verlassen hindert.

$$A_{brutto} = 32\,800 \text{ m}^2$$

Es steht dabei nicht immer die gesamte Wegbreite zur Verfügung, da Bäume und Sträucher oder andere Hindernisse umgangen werden müssen. Nach Ausschluss Nahbereiche um die Bahnhöfe und Fahrbahnränder ergibt sich die Anstehfläche, die den Personen tatsächlich zur Verfügung steht.

$$A_{netto} = 20\,000 \text{ m}^2$$

Multipliziert man nun die Anstehfläche mit dem Grenzwert der Personendichte für das Veranstaltungsgelände (§ 1 Absatz 2 MVStättVO, 2014) ergibt sich die maximale Besucher Anzahl die vor dem Einlass Platz findet.

$$PAX_{max} = 20\,000 \text{ m}^2 \cdot 2,0 \frac{PAX}{\text{m}^2} = 40\,000 \text{ PAX}$$

Alle Annahmen Bezüglich des Anreizeverhaltens erfolgen analog des zugrunde liegenden Verkehrskonzeptes und des Kapazitätsnachweises. Mitgeführte Fahrräder müssen rechtzeitig aus dem Besucherstrom herausgelöst werden und sind nicht Teil der Simulation. Als mögliche Fläche für einen Fahrradparkplatz kommt die Buswendeschleife in der Nähe des Bahnhof Tempelhof in Frage. Zur Vereinfachung werden Fußgängerüberwege an Ampeln als dauerhaft begehbar betrachtet.

Der hergeleitete Wert für PAX_{max} ist statisch und berücksichtigt keine Dynamik innerhalb der Personenmenge. Durch eine Personenstromsimulation soll ebenfalls der Grenzwert der Personenanzahl ermittelt werden. Es wird angenommen, dass der Spitzenstundensatz (p) 25 % der gesamten Besucheranzahl beträgt. Der simulierte Zeitraum (t) soll eine Stunde betragen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Zeitraum ausreicht, um Tendenzen im Agentenfluss zu erkennen. Der Spitzenstundensatz liegt in der Praxis zwischen 18:00 und 19:00 Uhr, sowie 19:00 und 20:00 Uhr vor (Mohnen, 2022f). Daraus folgt:

$$PAX_{sim\ 1} = PAX_{max,stat} \cdot p \cdot t$$

$$PAX_{sim\ 1} = 40\ 000\ PAX \cdot \frac{25\ \%}{100\ \%} \cdot 1\ h$$

$$PAX_{sim\ 1} = 10\ 000\ PAX$$

Im Rahmen dieses Szenarios werden folgende Limitationen für maximale Besucheranzahl angenommen:

- Unterschreitung der halben freien Laufgeschwindigkeit über einen Zeitraum 10 % der Gesamtdauer (RiMEA, 2022, pp. 5–6)
- Personendichte von mehr als $4 \frac{PAX}{m^2}$ über einen Zeitraum von 10 % der Gesamtdauer (in Anlehnung an Tabelle 4 RiMEA, 2022, p. 11)
- Staulänge bis in die Bahnhöfe
- Anstehzeit > 60 Minuten

Ziel ist die Ermittlung der Personenanzahl die ohne Erreichen der genannten Limitationen Zugang zum Veranstaltungsgelände erhalten kann. Erfüllt die erste

Simulation die Anforderungen, werden weitere Durchläufe durchgeführt, wobei die maximale Agentenanzahl schrittweise erhöht wird, bis insgesamt 3 verschiedene Populationsgrößen analysiert wurden. Die Staffelung erfolgt in 10 000er Schritten.

5.2 Szenario 2 - Auslass im Regelbetrieb

Ausgehend von dem Ergebnis aus Szenario I wird nun der Auslass simuliert. Es wird angenommen, dass es sich um das geplante Ende der Veranstaltung im Regelbetrieb handelt. Die Besucher verlassen das VA-Gelände wie sie es betreten haben über Tor 10 (Abbildung 5). Für den Auslass werden die Einlassschleusen ganz oder teilweise entfernt.

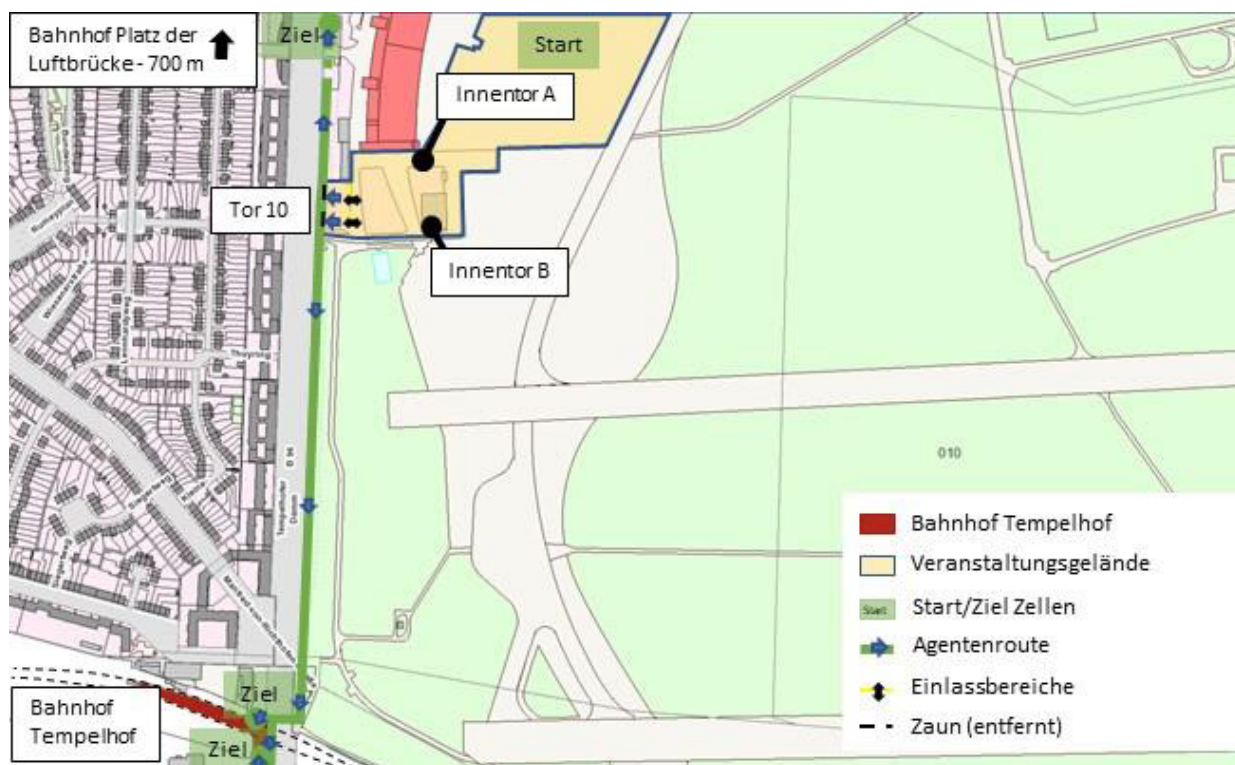


Abbildung 5: Übersichtsplan für Szenario II (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).

Die Agenten befinden sich zu Beginn der Simulation auf dem Veranstaltungsgelände und nutzen zum Erreichen der Bahnhöfen Tempelhof und Platz der Luftbrücke die Gehwege und Grünflächen entlang des Tempelhofer Damms. Alle Annahmen Bezüglich des Abreiseverhaltens erfolgen analog des zugrunde liegenden

Verkehrskonzeptes und des Kapazitätsnachweise. Die Simulation endet kurz vor Erreichen der Eingänge der Bahnhöfe. Die genaue Betrachtung der Bahnhöfe ist findet im weiteren Verlauf statt. Die Nutzung des Bahnhofs Paradesstraße wird nicht angenommen. In der Praxis wird dieser erfahrungsgemäß durch die Polizei gesperrt, da einfahrende U-Bahnen bereits komplett gefüllt sind und der Bahnhof damit zur Sackgasse werden kann.

Es entspricht der Erfahrung der Gutachter, dass ca. 10 % der Besucherinnen und Besucher die Veranstaltung vor dem planmäßigen Ende verlassen. Zusätzlich haben 10 % das VA-Gelände gänzlich fußläufig erreicht. Da Schnittmengen beider Gruppen wahrscheinlich sind, wird in diesem Szenario mit 90 % der Besucher gerechnet.

Daraus folgt:

$$\frac{PAX_{sim\ 2}}{p} = \frac{PAX_{max,dyn}}{100\ \%}$$

$$PAX_{sim\ 2} = 40\ 000\ PAX \cdot \frac{90\ \%}{100\ \%}$$

$$PAX_{sim\ 2} = 36\ 000\ PAX$$

Besondere Beachtung finden muss, dass sich auf dem VA-Gelände zwei Tore befinden, die den Besucherstrom limitieren (s. Abbildung 3). Die lichte Breite am Tor A und Tor B beträgt 8,20 m und 7,96 m. Für die Berechnung wird die Summe beider Werte als Breite (b) mit der Personendichte pro Quadratmeter (ρ) und der mittleren Laufgeschwindigkeit (v) multipliziert ("vfdb 13-04," 2015, pp. 4–5; vfdb TB 04-01, 2020, pp. 340–341). Das Ergebnis ist der spezifische Personenstrom (Ė) für diese Öffnungen und wird wie folgt dargestellt:

$$\dot{V}_{Tor\ A} + \dot{V}_{Tor\ B} = (b_{A+B}) \cdot \rho \cdot v$$

$$\dot{V}_{Tor\ A} + \dot{V}_{Tor\ B} = (7,96\ m + 8,20\ m) \cdot 2,5\ \frac{PAX}{m^2} \cdot 0,56\ \frac{m}{s}$$

$$\dot{V}_{Tor\ A} + \dot{V}_{Tor\ B} = 22,62\ \frac{PAX}{s}$$

Im Rahmen dieses Szenarios werden Limitationen angenommen.

Nicht zulässig sind:

- Die Unterschreitung der halben freien Laufgeschwindigkeit über einen Zeitraum 10 % der Gesamtdauer (*RiMEA*, 2022, pp. 5–6)
- Eine Personendichte von mehr als $4 \frac{PAX}{m^2}$ über einen Zeitraum von 10 % der Gesamtdauer (in Anlehnung an Tabelle 4 *RiMEA*, 2022, p. 11)
- Ein Rückstau vom Gehweg auf das VA-Gelände
- Eine Zeit für die Leerung des VA-Geländes > 30 min
- Eine Anstehzeit > 60 Minuten

Ziel ist die Simulation einer Grundgesamtheit aus Szenario I im Hinblick auf die Frage, ob diese ohne Erreichen der genannten Limitationen das Veranstaltungsgelände nach einem regulären Konzertende verlassen kann.

5.3 Szenario 3 – Auslass im Räumungsfall

Im Fall einer Räumung werden zusätzlich zum Tor 10, die Notausgänge zum Tempelhofer Feld genutzt. Es ergibt sich die Frage, ob die Ausgänge des Tempelhofer Feldes geeignet sind, um die öffentlichen Verkehrsflächen sicher zu erreichen. Entsprechend Tabelle 1 stehen als Ausgänge die Tore 4, 4a, 5a, 9, 10, 10a, 11, 18 und 20 zur Verfügung. Auf die Nutzung des Tores 10a soll jedoch verzichtet werden, da die Zuwegung trichterförmig verläuft, wobei das Tor die Engstelle bildet und durch nachströmende Besucher nicht einsehbar ist. Auch die Nutzung des Tores 10 wird ausgeschlossen, da dies eine entlastende Wirkung auf die verbleibenden Tore hätte. Der Bypass zwischen Einlässen Nord und Süd wird als nicht nutzbar betrachtet (Abbildung 6).

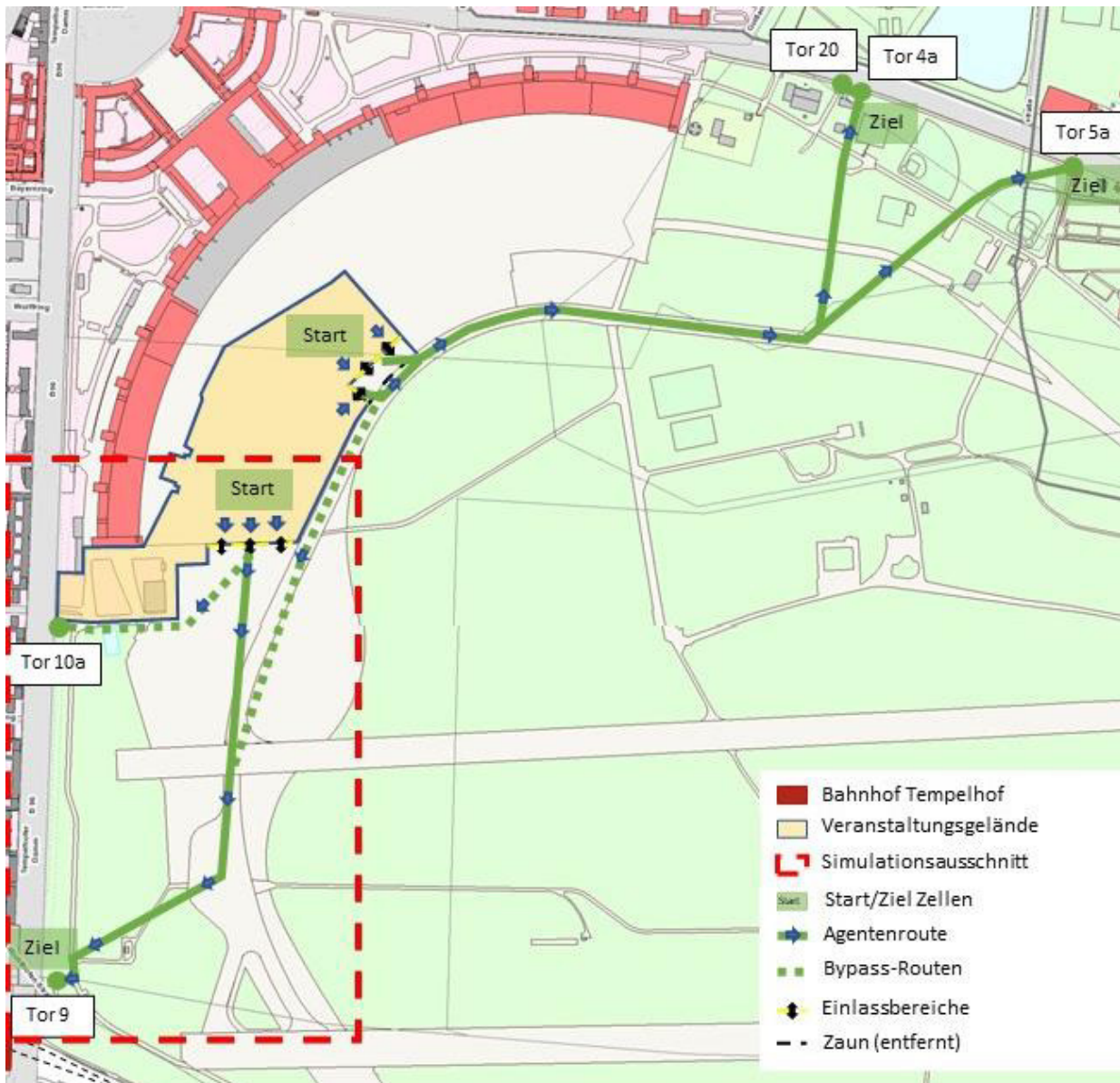


Abbildung 6: Übersichtsplan mit Detailausschnitt für Szenario III (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).

Es handelt sich grundsätzlich um dieselbe Ausgangssituation wie im Szenario 2, jedoch verlassen die Besucher das Gelände über die Notausgänge direkt zum Tempelhofer Feld hin. Ihr Ziel sind die benannten Tore des Tempelhofer Feldes.

Mit Verlassen des Veranstaltungsgeländes erreichen die Besucher den ersten sicheren Bereich. Beispielsweise im Fall eines Unwetters sind sie deshalb dennoch nicht gänzlich außer Gefahr. Die Betrachtung reicht deshalb über den Auslass Süd hinaus. Dabei lässt sich feststellen, dass sich im nördlichen Bereich mit den Toren 4a, 5a und 20 mehr lichte Öffnungsbreite zur Verfügung steht, als im Südlichen Bereich,

wo nur das Tor 9 genutzt werden kann. Zusätzlich ist der Bahnhof Tempelhof am höchsten frequentiert. Deshalb beschränkt sich das Szenario auf die Besucher die vom Auslass Süd wahrscheinlich das Tor 9 erreichen wollen. Der entsprechende Simulationsausschnitt ist im Übersichtsplan rot gestrichelt markiert.

Es wird mit einer verkürzten Reaktionszeit im Vergleich zum Regelbetrieb gerechnet, da es sich um eine Räumung handelt. Entsprechend des Kapazitätsnachweises werden 60 % der Besucherinnen und Besucher über den Auslass Süd versuchen den Tempelhofer Damm zu erreichen (Mohnen, 2022f). Daraus folgt:

$$\frac{PAX_{sim\ 3}}{p} = \frac{PAX_{max,dyn}}{100\ \%}$$

$$PAX_{sim\ 3} = 40\ 000\ PAX \cdot \frac{60\ \%}{100\ \%}$$

$$PAX_{sim\ 3} = 24\ 000\ PAX$$

Zur ersten Einschätzung erfolgt eine Kapazitätsanalyse von Auslass Süd und Tor 9. Die gesamte lichte Breite am Auslass Süd beträgt mindestens 70 m. Für die Berechnung wird diese Breite (b) mit der Personendichte pro Quadratmeter (q) und der mittleren Laufgeschwindigkeit (v) multipliziert ("vfdb 13-04," 2015, pp. 4–5; *vfdb TB 04-01*, 2020, pp. 340–341). Das Ergebnis ist der spezifische Personenstrom (\dot{F}) für diese Öffnung und wird wie folgt dargestellt:

$$\dot{F}_{Auslass\ Süd} = b \cdot q \cdot v$$

$$\dot{F}_{Auslass\ Süd} = 70\ m \cdot 2,5 \frac{PAX}{m^2} \cdot 0,56 \frac{m}{s}$$

$$\dot{F}_{Auslass\ Süd} = 98 \frac{PAX}{s}$$

Es wird davon ausgegangen, dass der Personenstrom der den Auslass Süd verlässt nahezu unverändert auf das Tor 9 trifft. Einflüsse durch eine etwaige Entzerrung durch die Entfernung zwischen beiden Orten, werden bei der Kapazitätsermittlung vernachlässigt. Die Breite des Tores 9 beträgt 5,16 m. Das unmittelbar daneben

befindliche kleinere Tor misst 2,14 m (Tabelle 1). Beide werden für die Berechnung zusammengefasst. Es ergibt sich für das Tor 9 folgende Formel:

$$\dot{F}_{Tor\ 9} = 7,30\ m \cdot 2,5\ \frac{PAX}{m^2} \cdot 0,56\ \frac{m}{s}$$

$$\dot{F}_{Tor\ 9} = 10,22\ \frac{PAX}{s}$$

Beim Vergleich der Kapazität von beiden Öffnungen wird deutlich, dass die Kapazität am Tor 9 nur ca. ein Zehntel der Kapazität am Auslass Süd beträgt. Es muss davon ausgegangen werden, dass es vor Tor 9 zu Stau im Sinne der RiMEA kommt (RiMEA, 2022, p. 5).

$$\dot{F}_{Tor\ 9} = \dot{F}_{Auslass\ Süd}$$

$$10,22\ \frac{PAX}{s} \ll 98\ \frac{PAX}{s}$$

Unter Berücksichtigung der Zeit bis zur Leerung des VA-Geländes sowie des Tempelhofer Feldes ergeben sich folgende Räumungsdauern:

$$t_{Auslass\ Süd} = \frac{PAX}{\dot{F} \cdot t}$$

$$t_{Auslass\ Süd} = \frac{24\ 000\ PAX}{98\ \frac{PAX}{s} \cdot 60\ \frac{s}{min}}$$

$$t_{Auslass\ Süd} = 4,08\ min$$

$$t_{Tor\ 9} = \frac{24\ 000\ PAX}{10,22\ \frac{PAX}{s} \cdot 60\ \frac{s}{min}}$$

$$t_{Tor\ 9} = 39,14\ min$$

Nicht zulässig im Rahmen dieses Szenarios sind:

- Zeit für die Leerung des VA-Geländes > 8 min (Anhang 3 *RiMEA*, 2022, p. 30)
- Zeit für die Leerung des Tempelhofer Feldes > 60 min
- Unterschreitung der halben freien Laufgeschwindigkeit über einen Zeitraum 10 % der Gesamtdauer (*RiMEA*, 2022, pp. 5–6)
- Personendichte von mehr als $4 \frac{PAX}{m^2}$ über einen Zeitraum von 10 % der Gesamtdauer (in Anlehnung an Tabelle 4 *RiMEA*, 2022, p. 11)

Ziel ist die Simulation der Agentenanzahl die den Bahnhof Tempelhof als Ziel hat im Hinblick auf die Frage, ob diese ohne Erreichen der genannten Limitationen das Tempelhofer Feld und anschließend das Tor 9 erreichen kann.

5.4 Szenario 4 - Einfluss der Bahnhöfe

Es folgt die Betrachtung der Personenströme in den Bahnhöfen, nach einem regulären Konzertende. Besondere Beachtung finden muss, der Bahnhof Paradedstraße zwar nahe des Tores 10 liegt, jedoch bei vorangegangenen Veranstaltungen jeweils durch die Polizei gesperrt wurde. Aufgrund seiner Lage zwischen den Bahnhöfen Tempelhof und Platz der Luftbrücke, fahren sowohl Bahnen aus nördlicher, als auch aus südlicher Richtung bereits gefüllt ein und können in der Regel keine weiteren Fahrgäste aufnehmen. Der Bahnhof wird damit zur Sackgasse. Deshalb wird er in diesem Szenario nicht berücksichtigt. Wahrscheinlich werden 60 % der Besucher versuchen den Bahnhof Tempelhof zu erreichen, da dort sowohl U- als auch S-Bahnlinien verkehren. Der Zustrom des Bahnhofs Platz der Luftbrücke ist deutlich kleiner. Die Betrachtung beschränkt sich daher auf den Bahnhof Tempelhof als Bemessungsszenario (Abbildung 7). Das Ziel der Agenten ist ein Platz in der Bahn. Um Effekte durch die Entzerrung durch die Laufstrecke zu erfassen, starten die Agenten in einigen hundert Metern Entfernung zum Bahnhof und müssen vorher durch zwei Öffnungen, deren Maße den Innentoren A und B entsprechen.

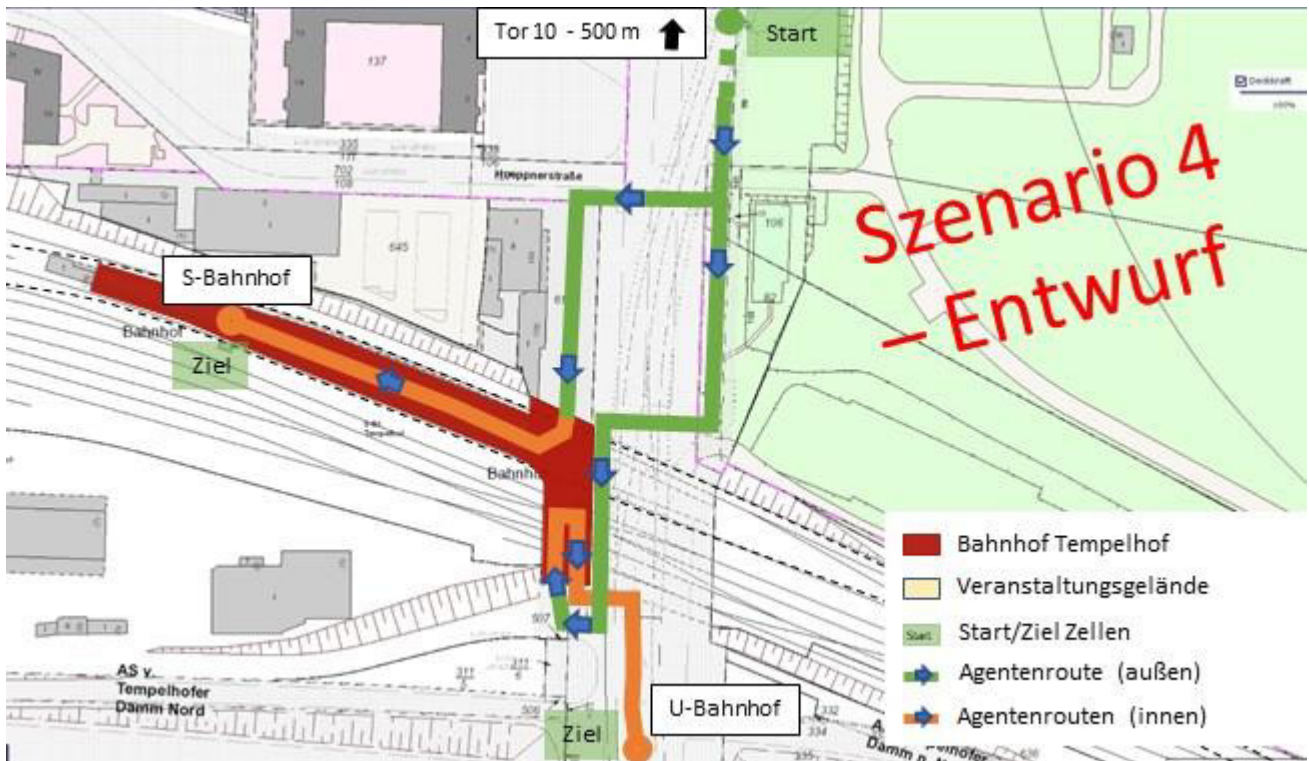


Abbildung 7: Übersichtsplan für Szenario IV (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).

Zur Vereinfachung werden Fußgängerüberwege an Ampeln als dauerhaft begehbar betrachtet. Es wird angenommen, dass die Zuwege zur S- und U-Bahn in der Praxis durch die Polizei getrennt werden, sodass die Agenten den S-Bahnsteig über den nördlichen Eingang erreichen und den U-Bahnsteig durch den südlichen Eingang und die beiden weiter südlich gelegenen Zugänge parallel der Straße erreichen.

Die Agenten nutzen zum Erreichen des Bahnhofs Tempelhof die Gehwege und Grünflächen entlang des Tempelhofer Damms. Dabei lässt sich wie in Szenario I beschrieben, nur ein Teil dieser tatsächlich nutzen. Im Mittel steht eine lichte Wegbreite von 12 Metern zur Verfügung, welche der Kapazitätsanalyse zugrunde gelegt wird. Daraus folgt:

$$\dot{F}_{T-Damm} = 12,0 \text{ m} \cdot 3,5 \frac{\text{PAX}}{\text{m}^2} \cdot 0,40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{F}_{T-Damm} = 16,8 \frac{\text{PAX}}{\text{s}}$$

Für den Eingang zur S-Bahn stehen zwei Türen mit jeweils 2 m lichter Breite zur Verfügung (Mohnen, 2022b, p. 21). Setzt man die daraus resultierenden 4 m in die bekannte Formel ein, ergibt sich folgendes:

$$\dot{F}_{S-Bahn} = 4,0 \text{ m} \cdot 3,5 \frac{PAX}{m^2} \cdot 0,40 \frac{m}{s}$$

$$\dot{F}_{S-Bahn} = 5,6 \frac{PAX}{s}$$

Für die U-Bahn stehen auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes baugleiche Türen zur Verfügung. Zusätzlich gibt es jedoch auch Treppenzugänge entlang des Tempelhofer Damms welche mit jeweils 3 m angesetzt werden können. Daraus folgt:

$$\dot{F}_{U-Bahn} = 10,0 \text{ m} \cdot 3,5 \frac{PAX}{m^2} \cdot 0,40 \frac{m}{s}$$

$$\dot{F}_{U-Bahn} = 14 \frac{PAX}{s}$$

Der Personenstrom welcher vom VA-Gelände kommt teilt sich auf die S- und U-Bahn im Verhältnis 65 % zu 35 % auf (Mohnen, 2022b, p. 20). Multipliziert man nun die vorhandenen Ergebnisse mit den Prozent Werten, lassen sich die Kapazitäten vergleichen

$$\dot{F}_{U-Bahn} = \dot{F}_{T-Damm} \cdot p$$

$$14 \frac{PAX}{s} = 16,8 \frac{PAX}{s} \cdot \frac{35 \%}{100 \%}$$

$$14 \frac{PAX}{s} > 5,88 \frac{PAX}{s}$$

Die Kapazität der Eingänge zum U-Bahnhof ist damit deutlich höher als notwendig. Für die S-Bahn ergibt sich folgendes:

$$\dot{F}_{S-Bahn} = \dot{F}_{T-Damm} \cdot p$$

$$5,6 \frac{PAX}{s} = 16,8 \frac{PAX}{s} \cdot \frac{65 \%}{100 \%}$$

$$5,6 \frac{PAX}{s} < 10,92 \frac{PAX}{s}$$

Die Kapazität der Eingänge zum S-Bahnhof ist deutlich geringer als notwendig. Es muss davon ausgegangen werden, dass es vor dem nördlichen Eingang des Bahnhof Tempelhof zu Stau kommt. Die Treppenanlagen innerhalb des Bahnhofs sind mit ca. 4,8 m bis 5 m breiter als die Eingänge. Die Türen zum Bahnhofsgebäude bilden somit die engste Stelle des Weges. Mit Stau im Inneren des Bahnhofs wird nicht gerechnet.

Unter Berücksichtigung nur der Besucherinnen und Besucher die, die S-Bahn erreichen wollen, ergibt sich folgende Dauer:

$$t_{S-Bahn} = \frac{23\,400\ PAX}{5,6 \frac{PAX}{s} \cdot 60 \frac{s}{min}}$$

$$t_{S-Bahn} = 69,64\ min$$

Nicht zulässig im Rahmen dieses Szenarios sind:

- Unterschreitung der halben freien Laufgeschwindigkeit über einen Zeitraum 10 % der Gesamtdauer (*RiMEA*, 2022, pp. 5–6)
- Personendichte von mehr als $4 \frac{PAX}{m^2}$ über einen Zeitraum von 10 % der Gesamtdauer (in Anlehnung an Tabelle 4 *RiMEA*, 2022, p. 11)
- Stau vor den Eingängen bis auf die Straße
- Anstehzeit > 90 Minuten

5.5 Szenario 5 – Vorzeitige Absage

Aufgrund einer Unwetterwarnung kam es am 28. August 2022 zur Absage eines Konzertes. Zu diesem Zeitpunkt waren Teile des Publikums bereits auf der Anreise oder sogar schon auf dem Veranstaltungsgelände. Damit wird er Spezialfall

geschaffen, dass Menschen parallel an- und Abreisen wollen, solange nicht alle Besucherinnen und Besucher über die Absage informiert sind. Die Annahmen über das zeitliche Anreiseverhalten der Besucher lassen sich **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** entnehmen. Im Verkehrskonzept werden die Besucherströme während der Anreise als nicht kritisch eingestuft und daher nicht betrachtet (Mohnen, 2022b, p. 14).

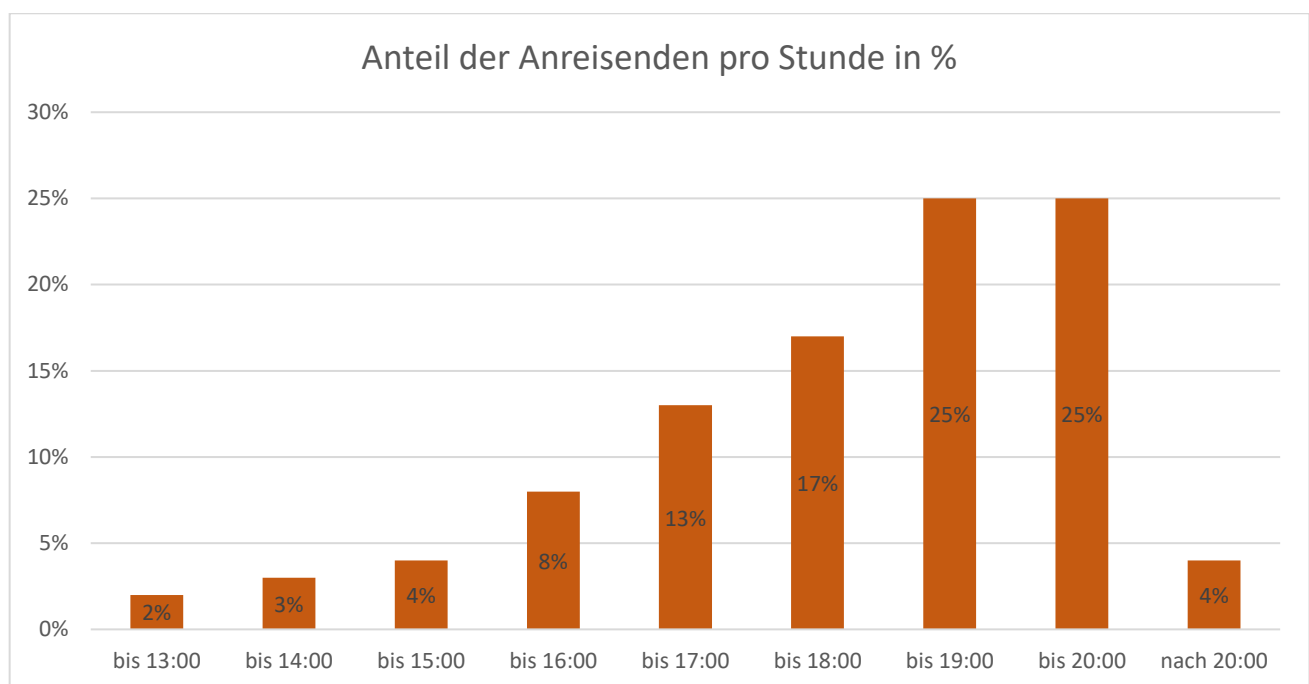


Abbildung 8: Anteil der Anreisenden pro Stunde in % (basierend auf Mohnen, 2022f)

Die Absage wurde zwischen 15:00 und 16:00 Uhr bekannt gegeben. Demnach waren maximal 19 % der Besucher bereits vor Ort. Es ist anzunehmen, dass sich zu diesem Zeitpunkt jedoch deutlich mehr Menschen bereits auf der Anreise befanden. Allein 52 % der Besucherinnen und Besucher hatten mehr als 250 km Anreisedistanz (Abbildung 9). Durch soziale Medien wurde die Absage unverzüglich mit den Anreisenden kommuniziert (THFLive [@thflive], 2022).

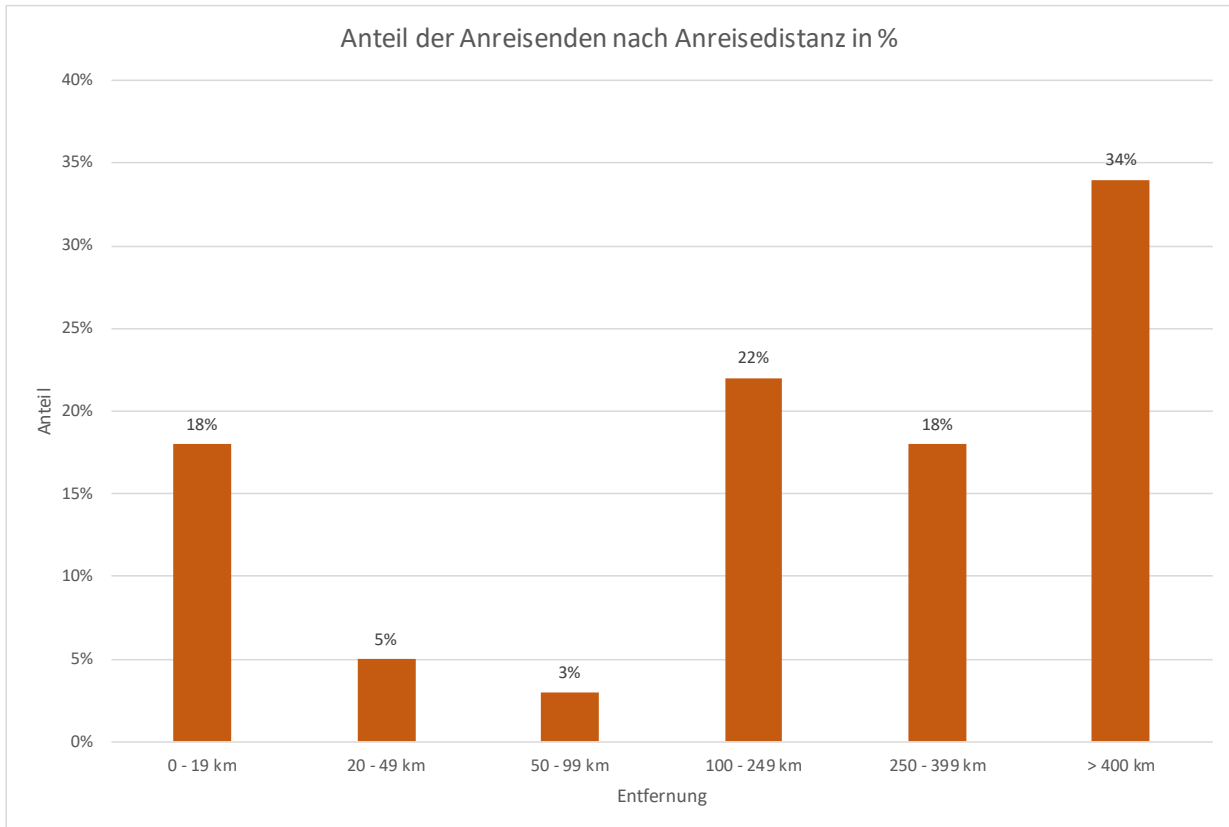


Abbildung 9: Anteil der Anreisenden nach Anreisedistanz in % (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8)

Innerhalb dieses Szenarios soll ergründet werden, zu welchem Zeitpunkt vor dem Beginn eine Absage der Veranstaltung, wahrscheinlich den geringsten negativen Einfluss auf die Personenströme hat.

6 Ergebnisse

6.1 Szenario 1 – Einlass

10.000 Agenten

Es wurden 50 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:27:55 lag (Seed 4757). Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 7 Stunden 46 Minuten.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 28 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit bis zum Erreichen des Einlasses von 12 Minuten und 26 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 3,75 %. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 746 \text{ s} \qquad t_{v,grenz} = 28 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{v,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 3,75 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$3,75 \% < 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 18 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Die Werte traten an den Ausgangstüren des Bahnhofes Tempelhof jeweils kurz nach Ankunft der zeitgleich einfahrenden S-Bahnen aus beiden Richtungen auf. Weiterhin auch im Bereich der Verkehrsflächen davor und an den Einlassschleusen.

$$t_{gesamt} = 746 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 18 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 2,41 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$2,41 \% < 10 \%$$

Um die Taktung der Bahn zu simulieren, wurden alle Agenten von Beginn an im Modell platziert und mittels einer Einteilung in Gruppen und unterschiedlicher Reaktionszeiten das gestaffelte Erscheinen imitiert. Dadurch sind die Rohdaten der Ergebnisse hinsichtlich der Dauer aufgetretener hoher Dichten verzerrt, da die wartenden Agenten teilweise zu dicht zusammengefasst standen. Diese Verzerrung wurde mit Hilfe der jeweiligen Reaktionszeit behoben, indem die Reaktionszeit von der Dauer für eine

Dichte zwischen $4 - 5 \frac{PAX}{m^2}$ abgezogen wurde. Es wird davon ausgegangen, dass die Differenz dem wahren Wert entspricht.

Es kam zu keinem Zeitpunkt zu nennenswertem Stau und Anstehzeiten vor den Einlassschleusen. Die größte Agentenansammlung ist in Abbildung 10 ersichtlich. Die längste Einlasszeit eines Agenten betrug 28 Minuten und 9 Sekunden, vom Bahnhof zum Einlass.

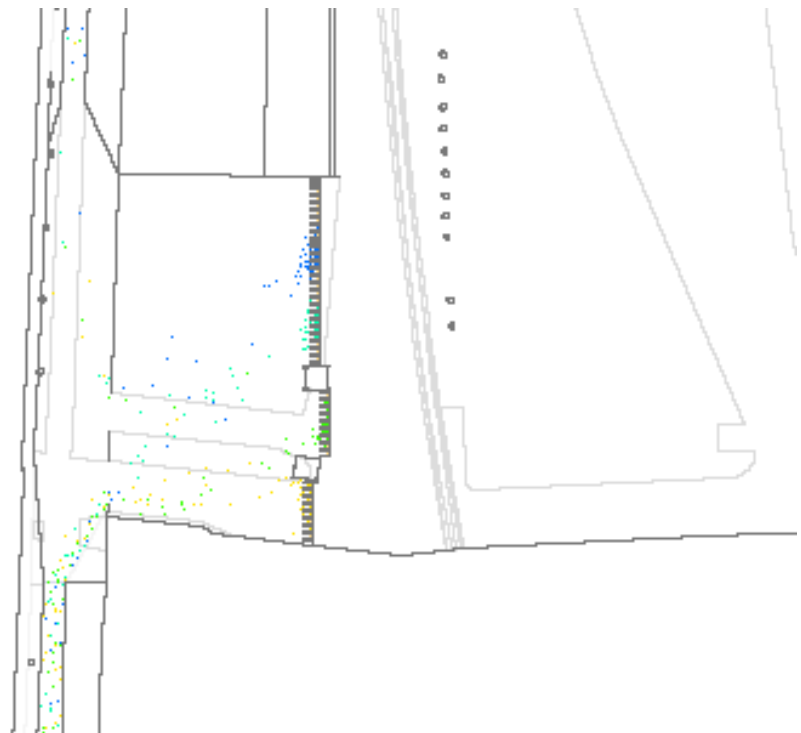


Abbildung 10: Situation am Einlass mit 10.000 Agenten nach 58 Minuten ("PedGo," 2023)

Die Anzahl der geretteten Agenten in Abhängigkeit der Zeit ist Abbildung 11 zu entnehmen. Die abgeflachten Enden des Graphen entsprechen einer Verzögerung und sind durch die ca. 700 m Laufstrecke zwischen den Bahnhöfen und Tor 10 verursacht. Der stufenartige Verlauf bildet die Taktung der Bahnen ab.

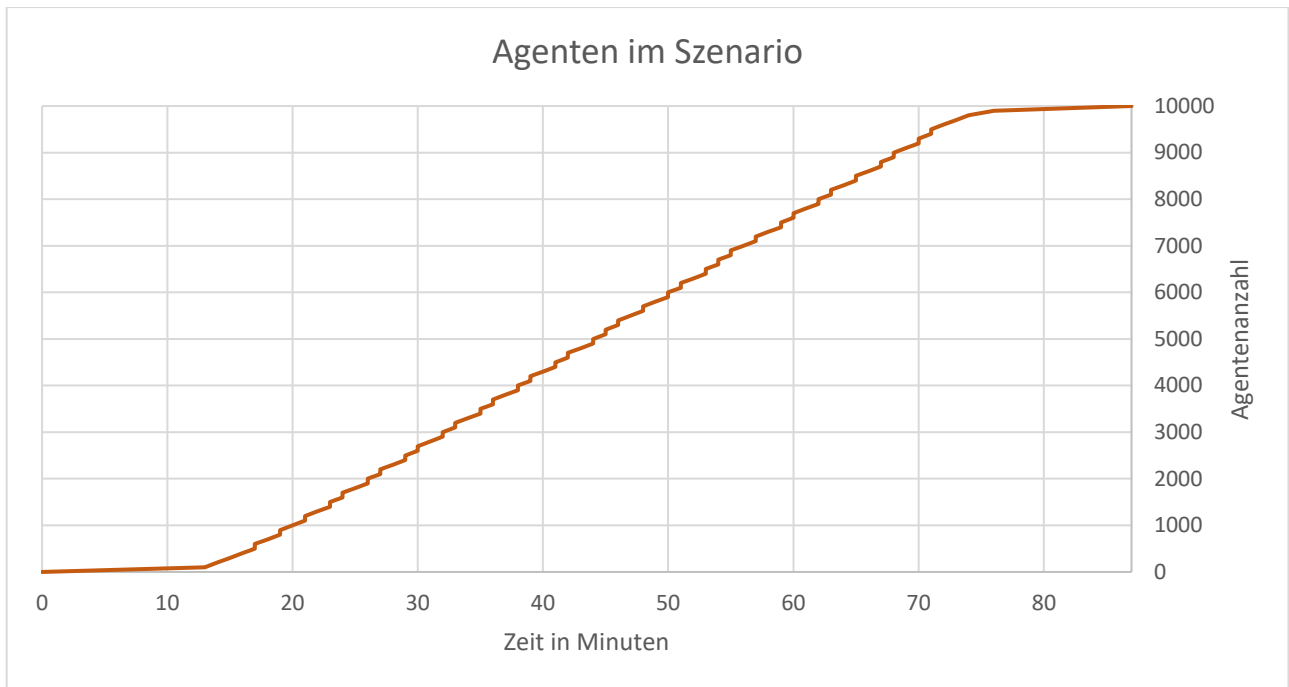


Abbildung 11: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 10.000 Agenten (basierend auf "PedGo," 2023)

Besonderheiten

Von den vorhandene 40 Einlassschleusen blieben einige gänzlich ungenutzt.

Es folgten zwei weitere Simulationen mit jeweils 12.500 und 15.000 PAX. Bei dem verwendeten Spitzenstundensatz von 25 % entspricht das jeweils einer Grundgesamtheit von 50.000 bzw. 60.000 Besuchern.

12.500 Agenten

Es wurden 50 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:28:36 (Seed 4751) lag. Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 8 Stunden 18 Minuten.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 54 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit bis zum Erreichen des Einlasses von 13 Minuten und 25 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 6,71 %. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 805 \text{ s} \qquad t_{v,grenz} = 54 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{v,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 6,71 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$6,71 \% < 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 32 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Die Werte traten an den Ausgangstüren des Bahnhofes Tempelhof jeweils kurz nach Ankunft der zeitgleich einfahrenden S-Bahnen aus beiden Richtungen auf. Weiterhin auch im Bereich der Verkehrsflächen davor und an den Einlassschleusen.

$$t_{gesamt} = 805 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 32 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 3,98 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$3,98 \% > 10 \%$$

Es kam zu geringen Anstehzeiten vor den Einlassschleusen, wie in Abbildung 12 ersichtlich. Sie bestanden wie abgebildet zwischen Minute 18 und 73 konstant. Die längste Einlasszeit eines Agenten betrug 34 Minuten 9 Sekunden, vom Start zum Einlass. Ein Rückstau von den Einlassschleusen auf den Gehweg fand nicht statt.



Abbildung 12: Situation am Einlass mit 12.500 Agenten nach 63 Minuten ("PedGo," 2023)

Die Anzahl der geretteten Agenten in Abhängigkeit der Zeit ist Abbildung 13 zu entnehmen. Die abgeflachten Enden des Graphen entsprechen einer Verzögerung und sind durch die ca. 700 m Laufstrecke zwischen den Bahnhöfen und Tor 10 verursacht.

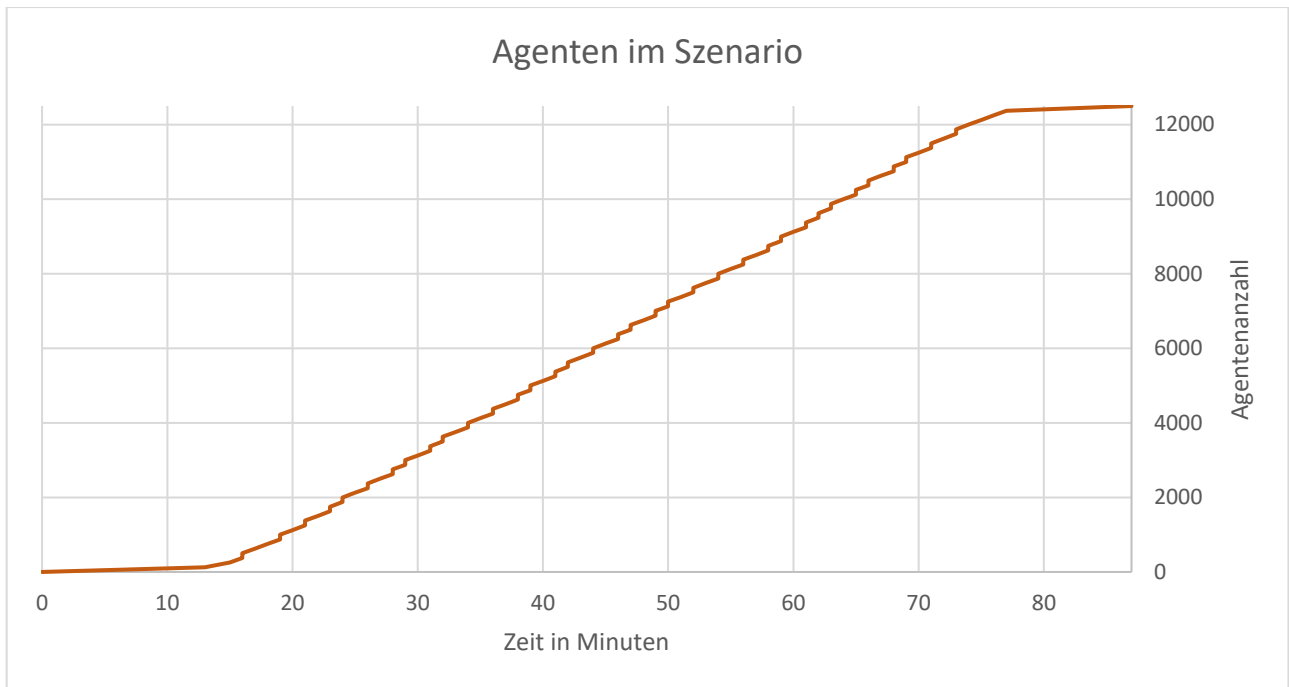


Abbildung 13: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 12.500 Agenten (basierend auf "PedGo," 2023)

15.000 Agenten

Es wurden 50 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:28:30 (Seed 4756) lag. Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 10 Stunden 44 Minuten.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 2 Minuten und 33 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit für die gesamte Flucht von 15 Minuten und 38 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 16,31 % bezogen auf die gesamte Dauer. Daraus folgt:

$$v_{max} = 938 \text{ s}$$

$$v_{grenz} = 153 \text{ s}$$

$$v_{grenz,rel.} = 16,31 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$16,31 \% > 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 18 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Die Werte traten an den

Ausgangstüren des Bahnhofes Tempelhof jeweils kurz nach Ankunft der zeitgleich einfahrenden S-Bahnen aus beiden Richtungen auf. Weiterhin auch im Bereich der Verkehrsflächen davor und an den Einlassschleusen.

$$t_{gesamt} = 938 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 117 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 12,47 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$12,47 \% > 10 \%$$

Es kam zu Anstehzeiten vor den Einlassschleusen, wie in Abbildung 14 ersichtlich, ab ca. 23 Minuten. Sie bestanden wie abgebildet zwischen Minute 28 und 73 konstant. Die längste Einlasszeit eines Agenten betrug dadurch 47 Minuten und 43 Sekunden, vom Start zum Einlass. Ein Rückstau von den Einlassschleusen auf den Gehweg fand nicht statt.



Abbildung 14: Situation am Einlass mit 15.000 Agenten nach 73 Minuten ("PedGo," 2023)

Die Anzahl der geretteten Agenten in Abhängigkeit der Zeit ist Abbildung 15 zu entnehmen. Der abgeflachte Anfang des Graphen entspricht der Verzögerung durch die ca. 700 m Laufstrecke zwischen den Bahnhöfen und Tor 10. Die Wölbung nach oben bildet die Stauung ab.

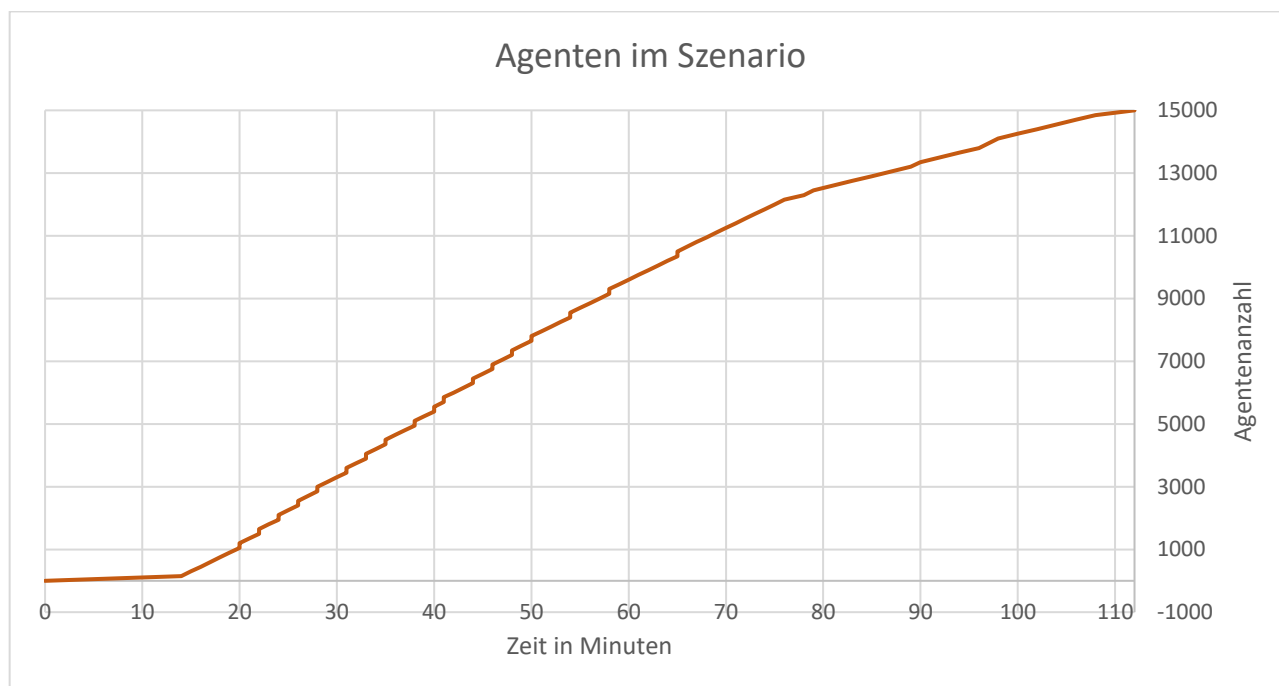


Abbildung 15: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 15.000 Agenten (basierend auf "PedGo," 2023)

Mit Blick auf die Ergebnisse aus Szenario 1 sollte die Wahl auf eine Gesamtmenge von 50.000 Besucherinnen und Besuchern fallen. Da während des planmäßigen Konzertendes aber fast die gesamte Menge innerhalb kurzer Zeit das Gelände verlässt, wird in den folgenden Szenarien die kleinste Grundgesamtheit von 40.000 zugrunde gelegt. Das entspricht einem Spitzenstundensatz von 10.000 PAX.

6.2 Szenario 2 - Auslass im Regelbetrieb

Es wurden mit 36.000 Agenten 30 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:16:14 (Seed 4736) lag. Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 15:15.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 7 Minuten 49 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit bis zum Erreichen des Ziels von 22 Minuten und 54 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 34,13 %. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 1374 \text{ s} \qquad t_{v,grenz} = 469 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{v,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 34,13 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$34,13 \% > 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 6 Minuten 30 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 1374 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 390 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 28,38 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$28,38 \% > 10 \%$$

Die Werte traten an den Ausgängen der Bühnenvorderbereiche, den Innentoren A und B sowie dem Übergang zum Tempelhofer Damm auf. Die spezifischen Personenströme an den Toren A und B waren im Mittel:

$$\dot{F}_{Tor A} = 1,65 \frac{PAX}{mS} \cdot 8,2 m = 13,53 \frac{PAX}{s}$$

$$\dot{F}_{Tor B} = 1,74 \frac{PAX}{mS} \cdot 7,96 m = 13,85 \frac{PAX}{s}$$

$$\dot{F}_{Tor A} + \dot{F}_{Tor B} = 27,38 \frac{PAX}{s}$$

Erste Stauungen gab es zwischen 10 und 15 Minuten an den Ausgängen der Bühnenvorderbereiche und den innenliegenden Toren A und B. Diese hatten nach ca. 20 Minuten ihr Maximum (Abbildung 16).



Abbildung 16: Situation während des Auslasses mit 36000 Agenten nach 20 Minuten ("PedGo," 2023)

Sie verlagerten sich anschließend zum Übergang auf den Tempelhofer Damm und lösten sich dort zwischen Minute 40 und 45 auf. Ein Rückstau vom Gehweg bis auf das VA-Gelände fand nicht statt (Abbildung 17).

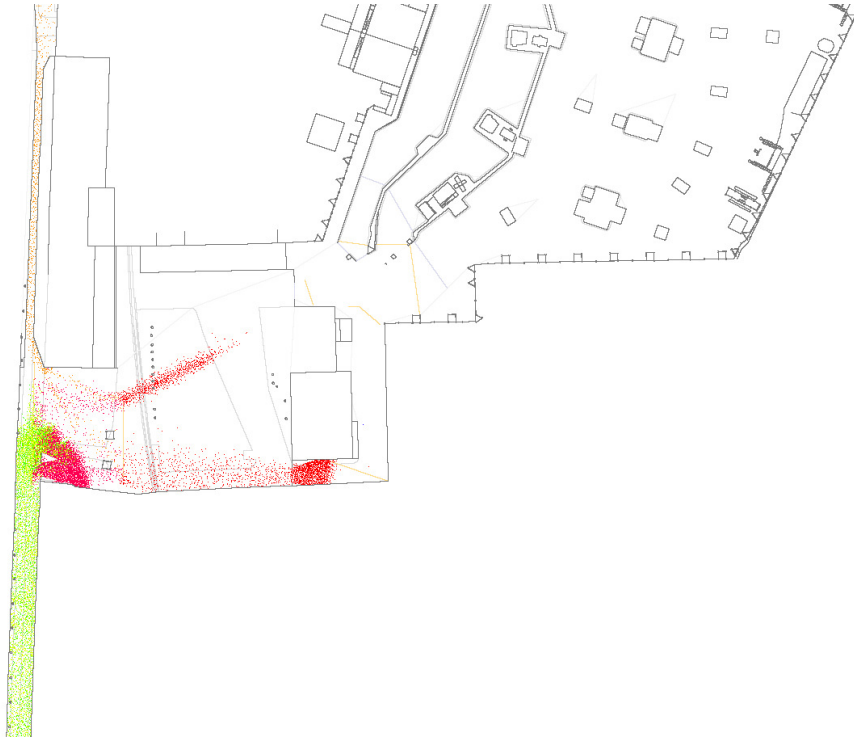


Abbildung 17: Situation während des Auslasses mit 36000 Agenten nach 35 Minuten ("PedGo," 2023)

Die Bühnenvorderbereiche waren nach 26 Minuten geleert und das VA-Gelände nach 44 Minuten. Der Abstrom über die Gehwege verlief noch bis Minute 76 wie in Abbildung 18 dargestellt.

Die längste Auslasszeit eines Agenten betrug 52 Minuten und 26 Sekunden, vom Start auf dem Veranstaltungsgelände bis zum Ziel in der Nähe eines Bahnhofs. Die mittlere Zeit lag bei 22 Minuten 53 Sekunden. Die Reaktionszeiten sind bereits abgezogen.

Es wurden jeweils die Reaktionszeiten von den Gesamtdauern abgezogen, um die Dauer abzubilden, über die die Besucher nicht entscheiden, weil sie sich beispielsweise im Stau aufhalten. Durch die Gastronomie auf dem VA-Gelände werden bis zu 30 nach Veranstaltungsende noch Getränke verkauft (Mohnen, 2022b, p. 9). Die maximale Reaktionszeit liegt entsprechend bei 30 Minuten.

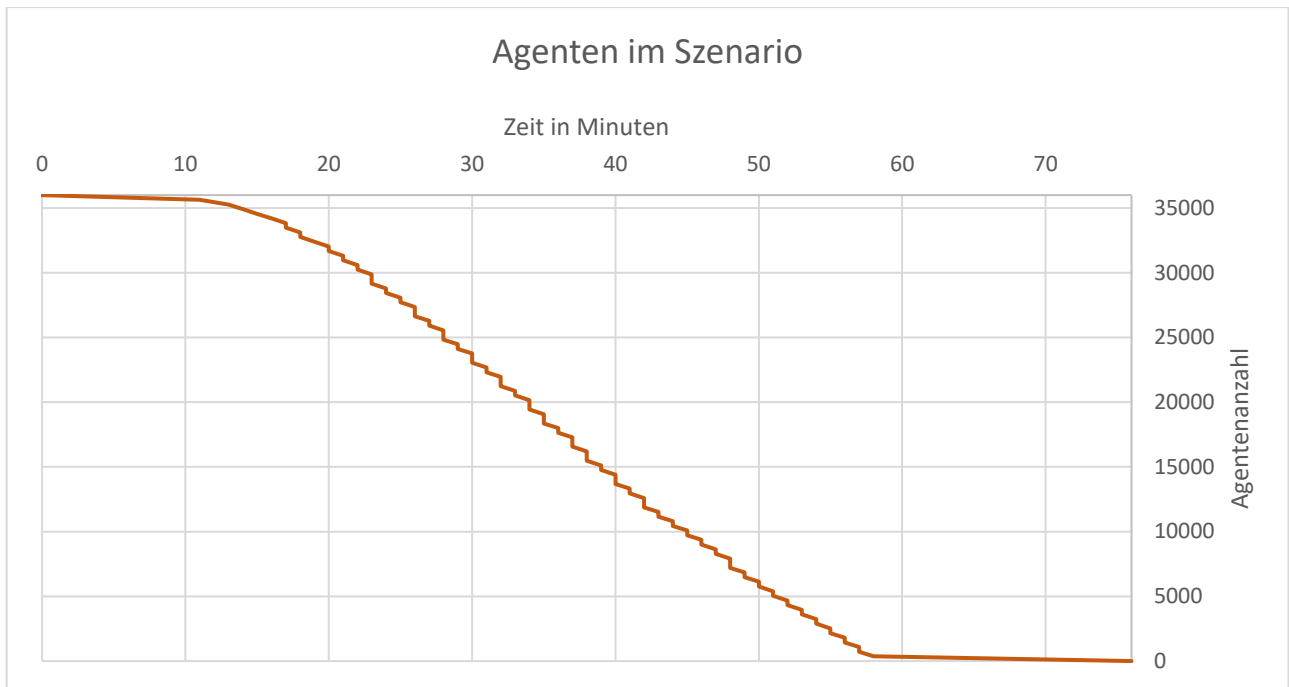


Abbildung 18: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario II (basierend auf "PedGo," 2023)

6.3 Szenario 3 - Auslass im Räumungsfall

Es wurden mit 24.000 Agenten 30 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:06:15 (Seed 4725) lag. Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 8 Stunden 22 Minuten.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 21 Minuten 17 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit bis zum Erreichen des Ziels von 35 Minuten und 7 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 60,58 %. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 2107 \text{ s} \qquad t_{v,grenz} = 1277 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{v,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 60,61 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$60,61 \% > 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 19 Minuten 30 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 2107 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 1170 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 55,53 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$55,53 \% > 10 \%$$

Die Werte traten hauptsächlich vor Tor 9 auf und auf dem Weg vom Auslass Süd dort hin. Der Stau am Tor 9 bildete sich nach 10 Minuten und hatte nach ca. 25 Minuten sein Maximum in Bezug auf die Anzahl der betroffenen Agenten erreicht (Abbildung 19 und Abbildung 20). Der Stau löste sich erst mit dem Ende der Simulation auf.

Die Zeit für die Leerung des Veranstaltungsgeländes betrug 8 Minuten 56 Sekunden. Die die Bühnenvorderbereiche waren bereits nach 8 Minuten 7 Sekunden geleert.

Die Leerung des Tempelhofer Feldes dauerte 65 Minuten 56 Sekunden wie in Abbildung 21 dargestellt, ab dem Start der Simulation. Der gerade Anfangsverlauf des Graphen entspricht der Verzögerung durch die ca. 700 m Laufstrecke zwischen dem Auslass Süd und Tor 9.

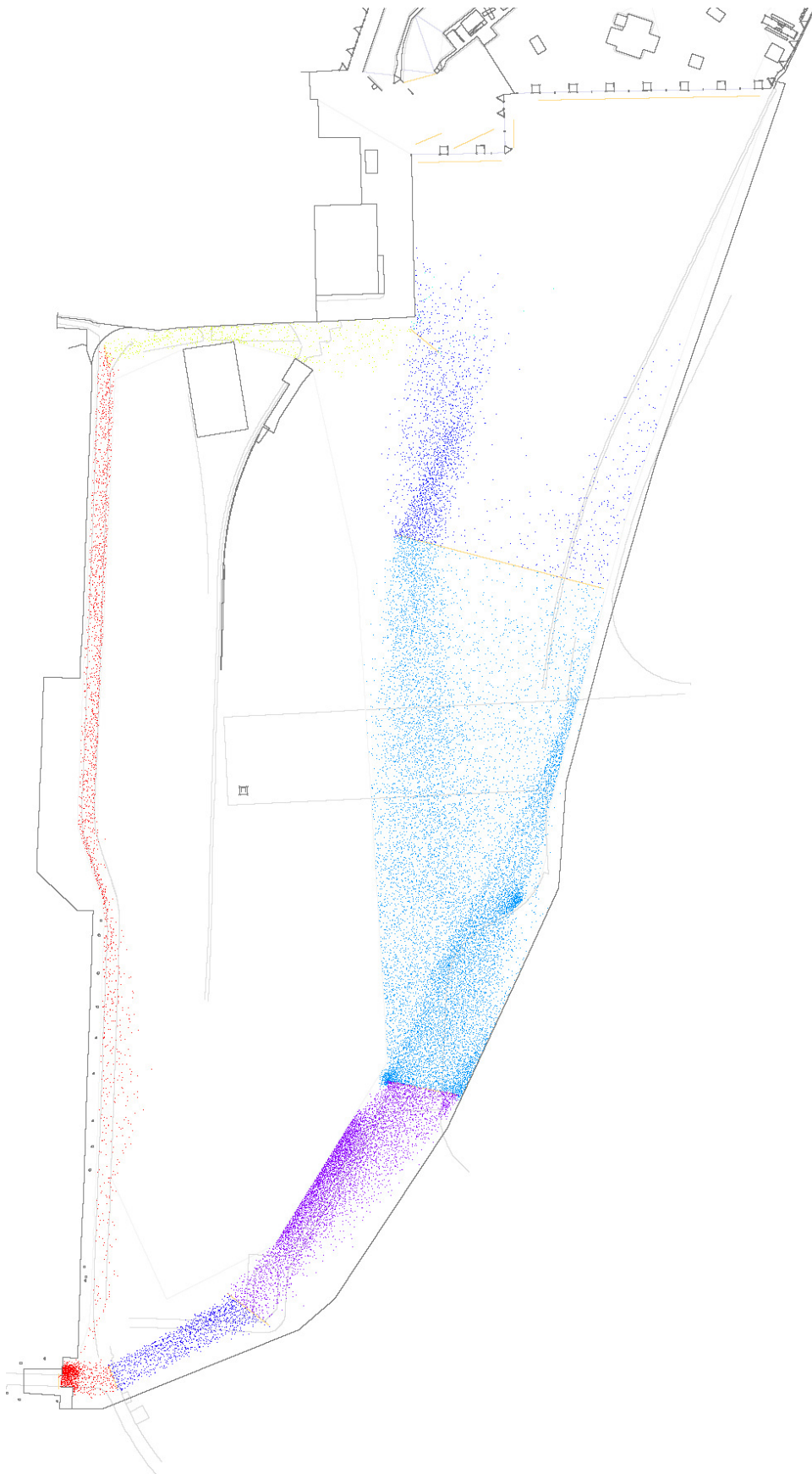


Abbildung 19: Situation am Tor 9 während der Räumung nach 10 Minuten ("PedGo," 2023)



Abbildung 20: Situation am Tor 9 während der Räumung nach 25 Minuten ("PedGo," 2023)

Der spezifische Personenstrom am Tor 9 lag im Mittel bei:

$$\dot{F}_{Tor\ 9} = 1,57 \frac{PAX}{mS} \cdot 5,16\ m = 8,10 \frac{PAX}{s}$$

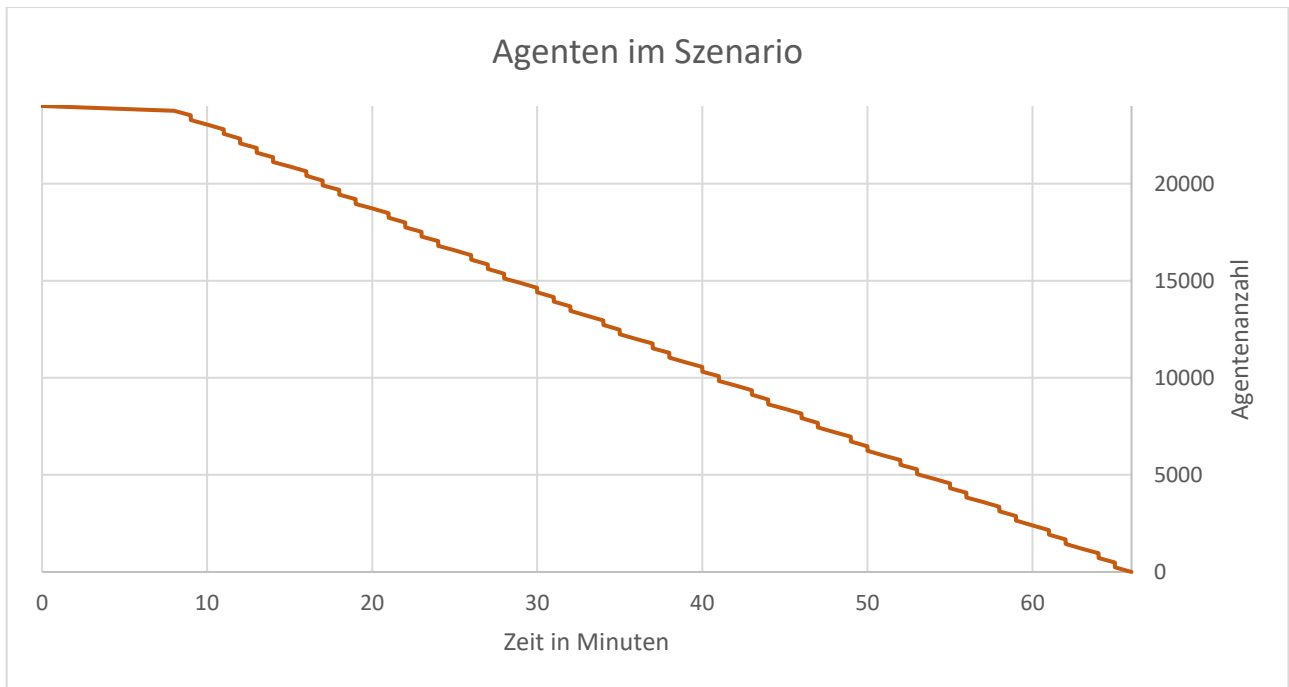


Abbildung 21: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario III (basierend auf "PedGo," 2023)

Die Räumungszeit

$$t_{\text{Auslass Süd}} = 4,08 \text{ min}$$

$$t_{\text{Tor 9}} = 39,14 \text{ min}$$

6.4 Szenario 4 - Einfluss der Bahnhöfe

Es wurden mit 36.000 Agenten 30 Simulationsläufe durchgeführt, wobei die signifikante Dauer bei 01:55:29 (Seed 4726) lag. Die tatsächliche Rechenzeit für alle Läufe betrug 19:56.

Die Hälfte der freien Laufgeschwindigkeit wurde im Mittel über alle Agenten für 12 Minuten 48 Sekunden unterschritten. Das entspricht bei einer mittleren Zeit bis zum

Erreichen des Ziels von 21 Minuten 36 Sekunden einer relativen Unterschreitung des Grenzwertes von 59,23 %. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 1296 \text{ s} \qquad t_{v,grenz} = 768 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{v,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 59,23 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$59,23 \% > 10 \%$$

Der Grenzwert der Dichte von $4 \frac{PAX}{m^2}$ wurde im Mittel über alle Agenten für 12 Minuten 20 Sekunden überschritten. Das Maximum betrug mehr als $6 \frac{PAX}{m^2}$. Daraus folgt:

$$t_{gesamt} = 1296 \text{ s} \qquad t_{\rho,grenz} = 740 \text{ s}$$

$$t_{grenz,rel.} = \frac{t_{\rho,grenz} \cdot 100 \%}{t_{gesamt}} = 57,10 \%$$

$$v_{grenz,rel.} = 10 \%$$

$$57,10 \% > 10 \%$$

Die hohen Dichten traten fast ausschließlich vor dem nördlichen Eingang des Bahnhofs auf und vor der Treppe zum S-Bahnsteig. Der Stau bildet sich dort nach ca. 10 Minuten und hatte nach ca. 50 Minuten sein Maximum in Bezug auf die Anzahl der betroffenen Agenten erreicht (Abbildung 22 und Abbildung 23). Er löste sich erst ab 85 Minuten auf. Der Stau im Inneren des Gebäudes blieb über die gleiche Zeit konstant.

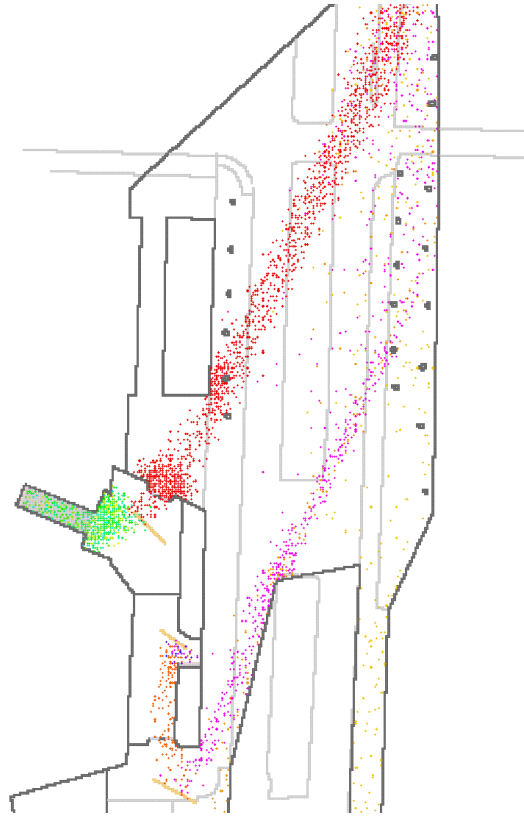


Abbildung 22: Situation am Bahnhof Tempelhof nach 10 Minuten ("PedGo," 2023)



Abbildung 23: Situation am Bahnhof Tempelhof nach 50 Minuten ("PedGo," 2023)

Die maximale Dichte auf dem S-Bahnsteig betrug $0,93 \frac{PAX}{m^2}$ und auf dem U-Bahnsteig $0,61 \frac{PAX}{m^2}$. Der daraus resultierende maximale Grad der Befüllung ist in Abbildung 24 und Abbildung 25 zu sehen.

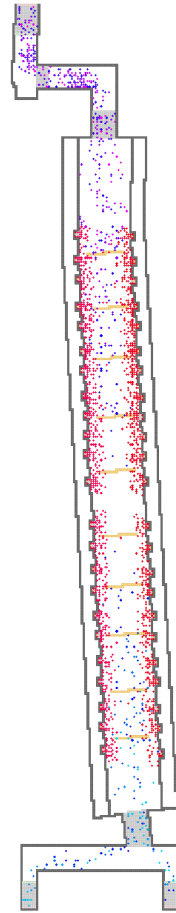


Abbildung 24: Situation auf dem Bahnsteig der U-Bahn nach 40 Minuten, kurz bevor die nächste Bahn einfährt ("PedGo," 2023)

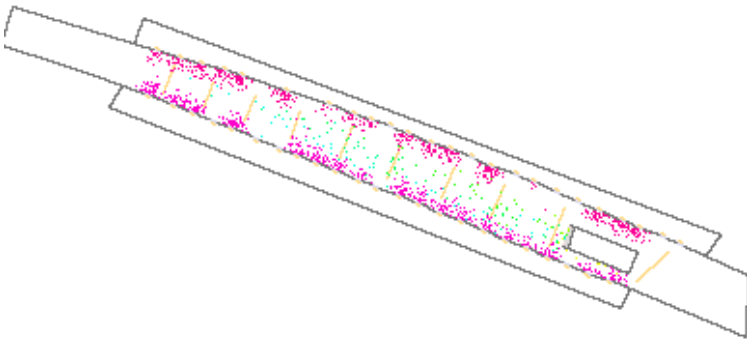


Abbildung 25: Situation auf dem Bahnsteig der S-Bahn nach 20 Minuten, kurz bevor die nächste Bahn einfährt ("PedGo," 2023)

Die Zeit für die Abreise aller Agenten über die Bahnsteige betrug 97 Minuten 41 Sekunden, ab dem Zeitpunkt, zu dem der erste Agent den Bahnhof erreicht hatte, wie in Abbildung 26 dargestellt. Der gerade Anfangsverlauf des Graphen entspricht der Verzögerung durch die ca. 600 bis 800 m Laufstrecke zwischen dem Start der Agenten und den Bahnsteigen. Der stufenartige Verlauf bildet die Taktung der Bahnen ab. Ab ca. 60 Minuten sind lediglich Agenten, die den S-Bahnsteig erreichen wollen, in Stau involviert.

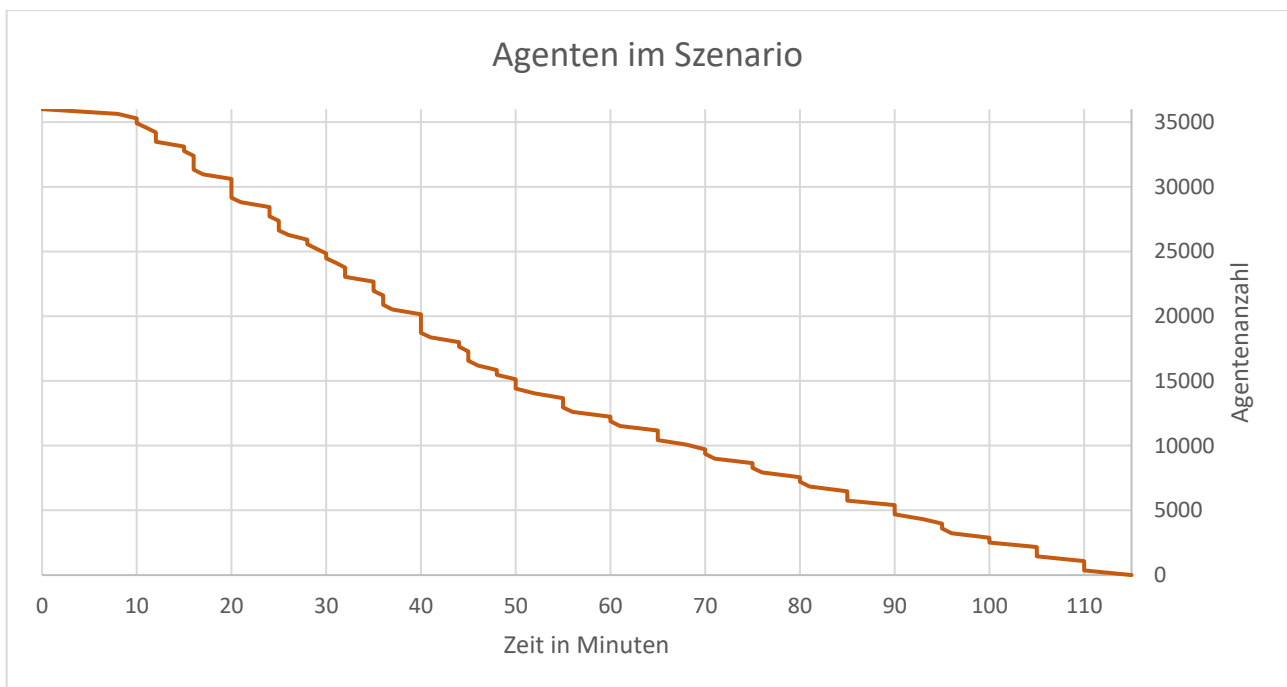


Abbildung 26: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario IV (basierend auf "PedGo," 2023)

6.5 Szenario 5 – Vorzeitige Absage

Die kurzfristige Absage einer Veranstaltung kann verschiedene Gründe haben. Unwetter, Bedrohungslagen, Krankheit des Künstlers oder sogar die kurzfristige Untersagung von Behördenseite gehören dazu. Da bei Großveranstaltung naturgemäß eine große Menge Besucherinnen und Besucher betroffen ist, müssen mögliche Auswirkungen bei der Planung mitbetrachtet werden, sofern sie sicherheitsrelevant sind (Sakschewski et al., 2019, p. 137).

Eine höherer Personendichte korreliert im Kontext von Rockkonzerten nicht unmittelbar mit einer höheren Gefährdung. Oft ist sie von Seiten der Besucher sogar erwünscht (vfdb TB 13-01, 2012, p. 6). Ausschlaggebend für den Grad der Gefährdung ist der Druck, der durch die Kraft der nachströmenden Personen erzeugt wird. Dabei können sich die Kräfte der einzelnen Personen, Personenreihen oder -ströme addieren und beispielsweise traumatische Verletzungen oder Erstickungsgefahr zur Folge haben (vfdb TB 13-01, 2012, pp. 11–12). Aktuelle Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass sich Personen in Menschenmengen überwiegend kooperativ und hilfsbereit verhalten (Ronft, 2021, p. 528).

Nach einem Technischen Bericht der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb) sind Personen innerhalb der Menge, abhängig von der Personendichte, in der Lage Einwirkungen aufzunehmen oder ihnen sogar entgegenzuwirken. Bezogen auf einen Quadratmeter Veranstaltungsfläche sind bei $2 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2}$ die Personen gänzlich voneinander entkoppelt und ein Sturz bleibt folgenlos für weitere Personen. Bei $6 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2}$ sind Bewegungen nur noch sehr begrenzt möglich. Diese Dichte wurde bei den Ereignissen während der Loveparade überschritten (Helbing and Mukerji, 2012, p. 17). Dichten von $8 \frac{\text{Personen}}{\text{m}^2}$ können zwar erreicht werden, jedoch nur durch Druck von außen. Äußere Kräfte wirken in diesem Fall destabilisierend und ihre Kompensation ist nicht mehr möglich. (vfdb TB 13-01, 2012, pp. 10–11).

Welche schwerwiegenden Folgen gegenläufige Personenströme haben können, verdeutlichen die Ereignisse während der Loveparade im Jahr 2010 in Duisburg. Da

ankommenden und abreisende Gäste der Veranstaltung dieselben Wege nutzten, ergab sich eine Stauung infolgedessen Menschen erdrückt wurden und starben. Bereits einige Meter vom eigenen Standpunkt entfernt ist es innerhalb einer Menschenmenge nicht möglich zu sehen, was passiert. Das Ziel voran zu kommen jedes einzelnen erhöht den Druck auf andere. Die Summe der Drücke kann dann Verletzungen verursachen oder sogar tödliche Konsequenzen haben (Sakschewski et al., 2019, p. 111). Beginnt eine Person zu kippen, z. B. durch den Druck nachfolgender Personen kann sie unfreiwillig eine Kraft auf andere ausüben (vfdb TB 13-01, 2012, p. 14).

Aus Abbildung 8 auf Seite 46 ist ersichtlich, dass gegen 18 Uhr 47 % der Anreisenden bereits das Veranstaltungsgelände erreicht haben, während 50 % innerhalb der nächsten zwei Stunden anreisen. Es kann angenommen werden, dass bei der Größe Berlins, und der damit verbundenen Anreisezeit diese Menschen überwiegend schon auf dem Weg sind. Aus Abbildung 27 geht hervor, dass der ÖPNV das dominierende Verkehrsmittel ist.

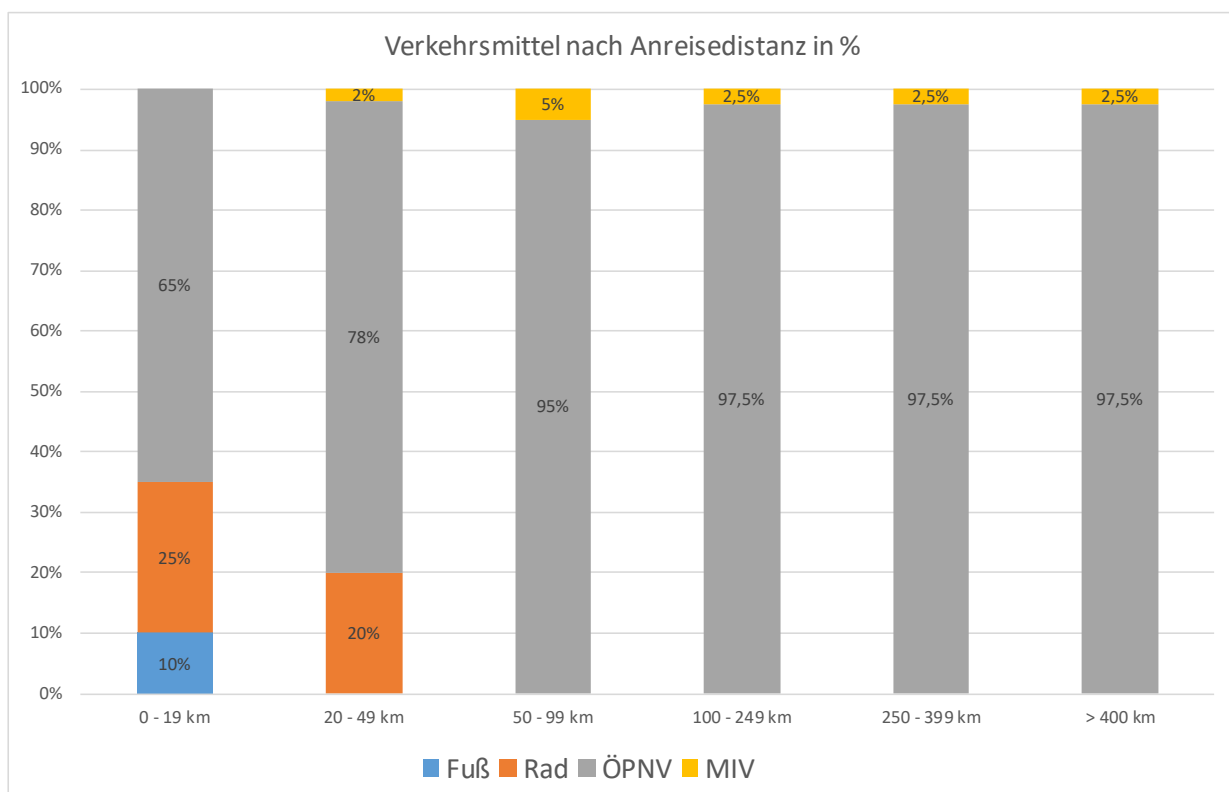


Abbildung 27: Verkehrsmittel nach Anreisedistanz (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8)

Veranstaltungsgelände

Bevor die Absage bekannt gegeben wird, sichert der Ordnungsdienst kritische Punkte wie z. B. die Einlässe (Mohnen, 2022a, pp. 28 & 40). Daraus folgt, dass spätestens mit der offiziellen Verbreitung der Absage keine Besucherinnen und Besucher mehr auf das Veranstaltungsgelände gelangen können. Gegenläufige Personenströme sind damit in diesem Bereich unwahrscheinlich. Nicht vernachlässigt werden darf, dass die Absage auch zur Unzufriedenheit von Besuchern führen kann (Sakschewski et al., 2019, p. 137).

Öffentliche Verkehrswege

Im Nahbereich um das VA-Gelände begegnen sich die Abreisenden und Anreisenden Personen, solange wie nicht alle die Entscheidung getroffen haben, vom Konzertbesuch abzusehen.

Bahnhöfe

Die Ergebnisse aus Szenario IV zeigen, dass es an den Ein- und Ausgängen der Bahnhöfe zu umfangreichen Stauungen während der Auslassphase im Regelbetrieb kommen kann. Die vorzeitige Absage der Veranstaltung unterscheidet sich dazu dahingehend, dass die Personen, die sich auf dem Gelände befunden haben, jetzt die Abreise antreten. Anreisende könnten zeitgleich noch das Ziel haben das VA-Gelände zu erreichen. In diesem Fall gäbe es gegenläufige Personenströme, welche wahrscheinlich im Bereich um die Ein- und Ausgänge der Bahnhöfe ihre größte Ausprägung hätten.

ÖPNV-Kapazitäten

Auskünften der BVG und der S-Bahn Berlin zufolge liegt die Kapazität des ÖPNV bei 9600 PAX für die U-Bahn und 13.200 für die S-Bahn. Beide Werte gelten pro Stunde und Richtung und entsprechen einer Auslastung von 80 % (Mohnen, 2022b, pp. 19–20). Bei einer Besucheranzahl von insgesamt 40.000 besteht also die Möglichkeit, dass sich nahezu die gesamte Menge im ÖPNV begegnen kann.

$$PAX_{S-Bahn} = 26.400 \frac{PAX}{h} \qquad PAX_{U-Bahn} = 19.200 \frac{PAX}{h}$$

$$PAX_{S-Bahn} + PAX_{U-Bahn} = PAX_{gesamt}$$

45.600 PAX > 40.000 PAX

7 Auswertung

Szenario I - Einlass

Es entsprach der Erwartung der Gutachter, dass sich aufgrund der großen Menschenmenge bei gleichzeitig sehr begrenzten Flächen im Verlauf der Gehwege entlang des Tempelhofer Dammes ein Stau bilden könnte, der möglicherweise bis zurück zum Eingang des S-Bahnhofes Tempelhof führen könnte. Diese Erwartung wurde weder bei einem Spitzenstundensatz von 10.000, 12.500 noch 15.000 Agenten innerhalb einer Stunde erfüllt. Eine Übersicht über die Qualität der Simulationen bietet Tabelle 2. Daraus geht hervor, dass lediglich bei einem Spitzenstundensatz von 15.000 Agenten, was einer Gesamtmenge von 60.000 entspricht, die festgelegten Anforderungen nicht erfüllt wurden.

Tabelle 2: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario I

Grundgesamtheit	Laufgeschwindigkeit <math>< 0,5 v_{max}</math>	Dichte >math>> 4 \text{ PAX/m}^2</math>	Staulänge bis in den Bahnhof	Anstehzeit <math>< 60 \text{ min}</math>
40.000 PAX	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
50.000 PAX	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
60.000 PAX	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt

Legende:
erfüllt
nicht erfüllt

Eine Menge von 40 Einlassschleusen ist wie in Kapitel 4 **Methodisches Vorgehen** dargelegt dazu geeignet, die ankommenden Personen so schnell zu kontrollieren, dass ein Rückstau auf den Gehweg nicht erwartet werden muss.

Im Rahmen des Szenarios wurde der Gehweg entlang des Tempelhofer Damms auf den Asphaltierten Fußgänger- und Radweg limitiert. In der Praxis ist mindestens die doppelte Wegbreite durch die Nutzung des Grünstreifens realisierbar. Ebenfalls verschärfend wirkt die Annahme, dass U- und S-Bahnen am jeweiligen Bahnsteig stets zeitgleich aus beiden Richtungen einfahren. Im Zuge dessen muss festgestellt werden, dass die erhöhten Dichten während der Simulation auch an den Türen des Bahnhofs Tempelhof aufgetreten sind. Diese waren jedoch nur zur Abbildung des Personenstroms, welcher die Einlassschleusen am Tor 10 erreicht, Teil der Simulation. Weiterhin wurde angenommen, dass der Zaun, der die Grünfläche am Tor 10 begrenzt, für den Einlass nicht entfernt wurde. Alle Agenten nutzten lediglich die summierte Wegbreite der Tore. Damit einhergehend wurde die Verteilung der Agenten auf die Einlassschleusen asymmetrisch im Verhältnis 60:40 im Verlauf von Nord nach Süd simuliert (s. Abbildung 12). Diesem Effekt sollte in der Praxis durch Crowd Control wie z. B. dem Einsatz von Ordnungskräften zur gleichmäßigeren Verteilung begegnet werden.

Aufgrund der Ergebnisse der Arbeit kann davon ausgegangen werden, dass der Einlass im Regelbetrieb mindestens für 50.000 Besucherinnen und Besucher sicher durchgeführt werden kann.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einer weniger konservativen Ausführung der Simulation auch der Spitzenstundensatz bei 60.000 Besuchern ohne Erreichen der Limitationen bewältigt werden könnte.

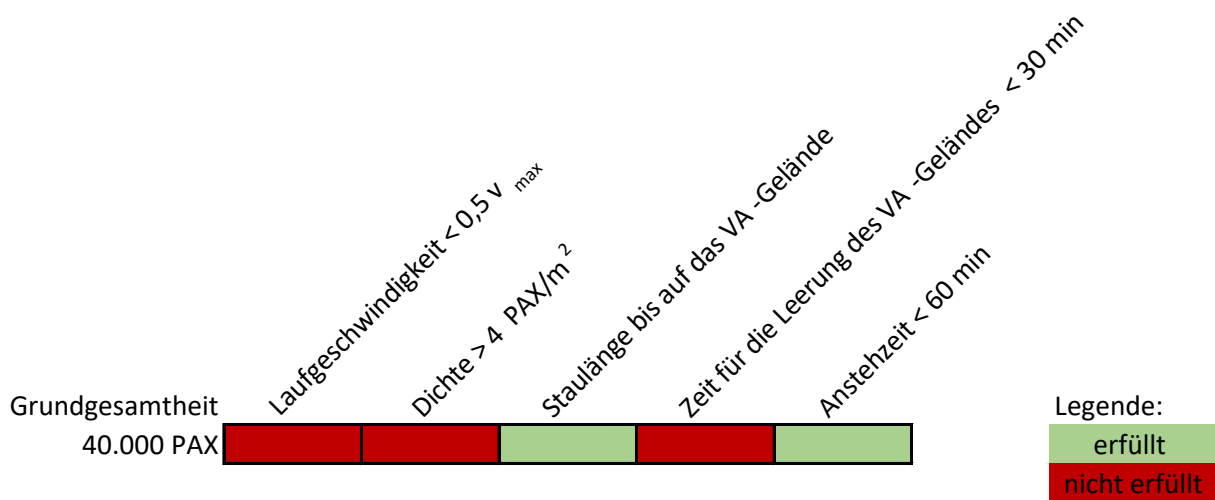
Szenario II – Auslass im Regelbetrieb

Obwohl die Ergebnisse aus Szenario I nahelegen, im weiteren Verlauf mit mindestens 50.000 Agenten zu simulieren, wurde eine Grundgesamtheit von 40.000 gewählt. Das geschah im Hinblick darauf, dass nach einem Konzertende die gesamte Menge in kurzer Zeit das Gelände verlässt. Es wurde daher mit größeren Staus gerechnet. Basierend auf der Erfahrung der Gutachter wurde zusätzlich nur mit 90 % dieser Menge gerechnet.

Unter der Annahme, dass während des Auslasses die Menschen zielstrebig nach Hause wollen, wurde auch die Gehwegbreite maximiert. Sie entspricht der Nutzung mit

angrenzendem Grünstreifen auf einer Seite der Straße. Es wurde auch angenommen, dass der Zaun, der die Grünfläche am Tor 10 begrenzt, entfernt wurde. Es stand damit eine lichte Auslassbreite im Übergang zur Straße vom mindestens 50 Metern zu Verfügung. Trotz der wohlwollenden Annahmen ergaben sich Überschreitungen der definierten Anforderungen wie in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario II



Die Hauptursache für die lange Dauer und die hohen Dichten wird in den Innentoren A und B gesehen. Sie befinden sich zwischen den Besuchern und dem Auslass bei Tor 10. Sie wirken aufgrund ihres begrenzten Durchlasses wie ein Nadelöhr. Beide Tore wurden erst im Jahr 2023 im Zuge der Eröffnung des THF Tower für den Publikumsverkehr errichtet. Sie limitieren den Personenstrom, sodass es am Übergang zum Tempelhofer Damm nie zu einem Rückstau auf das VA-Gelände kommt. Bliebe dieser Effekt aus ist davon auszugehen, dass die Leerung des VA-Geländes um ein Vielfaches schneller abläufe, sich jedoch ein wesentlich größerer Stau am Übergang zum Gehweg bilden würde. Die Leerung des VA-Geländes in weniger als 30 Minuten wäre dann möglich.

In der Praxis ist davon auszugehen, dass auch die gegenüberliegende Straßenseite durch die Besucher genutzt wird. Weiterhin könnte die Zuwegung über das Tor 20 genutzt werden um den Andrang am Tor 10 zu verringern.

Aufgrund der Ergebnisse der Arbeit wird davon ausgegangen, dass für 40.000 Besucherinnen und Besucher der Auslass im Regelbetrieb nicht ohne weitere Maßnahmen sicher durchgeführt werden kann.

Insbesondere die neu errichteten Innentore A und B verzögern den Auslass und erzeugen Stauungen.

Szenario III – Auslass im Räumungsfall

Die Simulation ergab, dass die Räumung mit 40.000 Personen hohe Dichten und Stauungen zwischen Auslass Süd und Tor 9 verursacht. Sie sind dem Algorithmus der genutzten Software geschuldet. Es wird angenommen, dass sie vernachlässigt werden können. Die Stauung am Tor 9 dagegen ergibt sich aus dem Kapazitätsunterschied von Auslass Süd und Tor 9, der wie folgt beschrieben werden kann:

$$\dot{F}_{Tor\ 9} \ll \dot{F}_{Auslass\ Süd}$$

Die Bewertung der Erfüllung der Anforderungen des Szenarios ist Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario III

Grundgesamtheit 40.000 PAX	Räumungszeit des VA-Geländes < 8 min	Zeit für die Leerung des Tempelhofer Feldes < 60 min	Laufgeschwindigkeit < 0,5 v _{max}	Dichte > 4 PAX/m ²

Legende:
erfüllt
nicht erfüllt

Die Überschreitung der Räumungszeit für das VA-Gelände lag bei 56 Sekunden. Die Überschreitung der Räumungszeit der Bühnenforderbereiche lag sogar nur bei 7 Sekunden. Es wird angenommen, dass die ohne eine Anpassung übernommene Geometrie der Veranstaltungsfläche ursächlich dafür ist. Eine Anpassung der Notausgänge der Bühnenvorderbereiche sollte die Räumungszeit ausreichend verkürzen, um die Anforderungen zu erfüllen. Die Überschreitung der Zeit für die Leerung des Tempelhofer Feldes ist mit 5 Minuten 56 Sekunden ebenfalls moderat. Wird sie einzeln betrachtet, indem die Räumungszeit von der Zeit für die Leerung abgezogen wird, werden die Anforderungen erfüllt.

In Bezug auf die Kapazitätsunterschiede von Auslass Süd und Tor 9, der Plötzlichkeit, mit der die Personen das Veranstaltungsgelände verlassen, und der daraus resultierenden Stauung vor Tor 9 unterliegt die Dauer für die Leerung des Tempelhofer Feldes den baulichen Gegebenheiten.

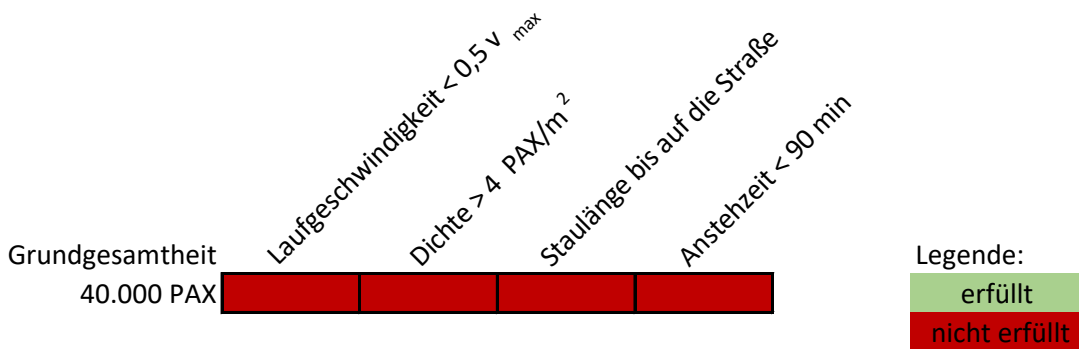
Aufgrund der Ergebnisse der Arbeit kann davon ausgegangen werden, dass 40.000 Besucherinnen und Besucher im Räumungsfall nicht ohne weitere Maßnahmen sicher vom VA-Gelände und Tempelhofer Feld evakuiert werden können.

Die Anpassungen, die zur Erfüllung der Räumungszeit notwendig sind, werden am VA-Gelände als gering eingeschätzt. Für das Tempelhofer Feld wäre die zusätzliche Nutzung des Tors 10 eine leicht umsetzbare Lösung zur Erfüllung der Anforderungen. Umfangreichere Maßnahmen wie beispielsweise die temporäre Einrichtung zusätzlicher Öffnungen zum Verlassen des Tempelhofer Feldes sind ebenfalls möglich.

Szenario IV – Einfluss der Bahnhöfe

Die Ein- und Ausgangstüren des S-Bahnhof Tempelhof bilden die engste Stelle des Weges der Besucher bei gleichzeitig größtem Andrang aller Bahnhöfe. Wie in Tabelle 5 dargestellt, werden alle Limitationen überschritten. Es wird wieder die Annahme getroffen, dass zum Zeitpunkt des Auslasses nur noch 90 %, also 36.000 Besucher vor Ort sind.

Tabelle 5: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario IV



Es kann festgestellt werden, dass nach ca. 60 Minuten ausschließlich Agenten mit dem Ziel S-Bahnsteig vor der nördlichen Tür des Bahnhofs anstehen, während die Zugänge zum U-Bahnsteig nicht mehr frequentiert sind.

Die Einhaltung der maximalen Anstehzeit von 90 Minuten erscheint daher möglich, wenn es gelänge die Personenströme gleichmäßiger auf die Verkehrsmittel zu verteilen.

Zur Verbesserung der Abreise könnten gut einsehbare Videowände in Sichtweite des Bahnhofs aufgestellt werden, auf der jeweils in Echtzeit Wartezeiten für die U- und S-Bahn angezeigt werden. Dabei könnten folgenden Effekte ausgenutzt werden:

- Entsprechend des Ambiguity Effects vermeiden Menschen Entscheidungen bei einem Mangel an Informationen. Ist also unbekannt, ob die Abreise über einen Umweg über die U-Bahn schneller geht, wird tendenziell darauf verzichtet das Risiko einzugehen (Ronft, 2021, p. 326).
- Mit "Peak-end rule" wird eine Daumenregel bezeichnet, nach der Menschen eine Veranstaltungserfahrung überwiegend nach dem intensivsten Zeitpunkt (Peak) und dem Ende (End) wahrnehmen. Daraus folgt, dass eine Veranstaltung positiv abschließen sollte. Ein Abschluss wie das ewige, gedrängte Anstehen, um zur Bahn zu gelangen könnte daher negativ verbunden werden (Ronft, 2021, p. 346).
- Um die Glaubwürdigkeit der angegebenen Wartezeiten zu erhöhen, sollten häufige Messungen erfolgen und möglichst präzise Ergebnisse dargestellt

werden. Ebenfalls könnte die Tendenz angegeben werden, ob der Wert steigt oder fällt.

Die Erfassung der Wartezeiten könnte durch wiederholte Beobachtung und Messung erfolgen und die Kommunikation über vorhandene Videowände (Mohnen, 2022b, p. 13).

Durch die Ergebnisse der Arbeit lässt sich der Einfluss der Zugänge der Bahnhöfe im Regelbetrieb auf den Abfluss der Besucherströme wie folgt zusammenfassen:

- *Sie verursachen Unterschreitungen der halben freien Laufgeschwindigkeit und*
- *Überschreitungen der Personendichte von mehr als $4 \frac{PAX}{m^2}$ sowie*
- *Stau bis auf die Straße und*
- *Anstehzeiten > 90 Minuten.*

Aufgrund der höchsten Frequentierung wurde die Betrachtung auf den Bahnhof Tempelhof begrenzt. Als Hauptursachen für die benannten Einflüsse wurde die geringe Kapazität der Türen im Vergleich zur Menge der Abreisenden Personen bei zu raschem Zustrom identifiziert.

Die Stauerfahrung kann bei den Besucherinnen und Besuchern aus psychologischer Sicht eine negative Wahrnehmung der besuchten Veranstaltung im Sinne der "Peak-end rule" hinterlassen.

Szenario V – Absage

Die Recherche ergab, dass eine Absage auch sicherheitsrelevante Folgen haben kann. Dabei sind sich begegnende Personenströme im Fokus, da sie in der Vergangenheit bereits bei den Ereignissen während der Loveparade auftraten.

Im ungünstigsten Fall ist ca. die Hälfte der Besucher bereits auf dem Gelände, und ca. die andere Hälfte bereits auf der Anreise. Wird nun eine Absage bekannt gegeben, können sich beide Personenströme begegnen. Es wird davon ausgegangen, dass die Informationsweitergabe auf dem Veranstaltungsgelände selbst am einfachsten funktioniert. Über vorhandene Bildschirme, Lautsprecher und durch Direktansprache

durch Ordnungskräfte können Menschen unmittelbar und zweifelsfrei informiert werden (Mohnen, 2022a, p. 28). Zur Information der Besucher auf Anreise müssen die weiteren Kanäle wie Social Media und Webseiten gleichschnell bespielt werden. Anhand des Beispiels der Loveparade 2010 kann verdeutlicht werden wie fatal sich begegnende Besucherströme und mangelnde Besucherlenkung sein können.

Die gegenseitige Hilfe wegen des Zugehörigkeitsgefühls innerhalb der Gruppe der Konzertbesucherinnen und -besucher ist wahrscheinlich (Ronft, 2021). Dieser Effekt könnte zur Verbreitung der Nachricht der Absage beitragen.

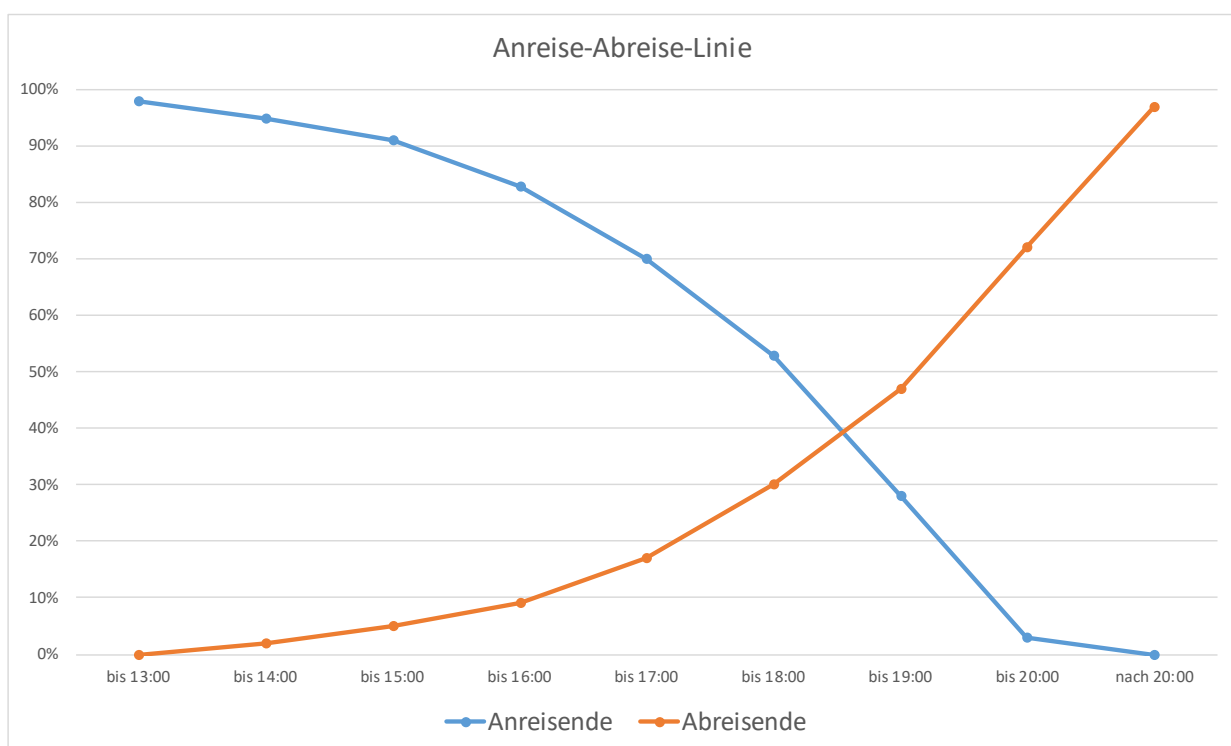


Abbildung 28: Theoretische Anreise und Abreise Verhältnisse im Fall einer Absage (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8)

In Abbildung 28 ist das Anreiseverhalten abstrahiert und so aufgetragen, dass der Graph für Abreisende die Menschen abbildet, die zum Zeitpunkt das Gelände verlassen, und der Graph für Anreisende die Menschen abbildet, die zum Zeitpunkt noch auf dem Weg zur Veranstaltung sind. Der Schnittpunkt bei 18:30 Uhr markiert die Uhrzeit, bei der sich die jeweils größten Personenmengen begegnen würden.

Aufgrund der Literaturrecherche kann davon ausgegangen werden, dass der ungünstigste Zeitpunkt einer Absage der Veranstaltung zum Beginn der Spitzenlastphase, ca. um 18:30 Uhr ist. Folglich wäre der optimale Zeitpunkt soweit davor wie möglich.

8 Fazit

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass es für das Veranstaltungsgelände Flughafen Tempelhof verschiedene Einschränkungen mit sich bringt, auf die Nutzung des Tempelhofer Feldes für den Ein- und Auslass zu verzichten. Obwohl der Einlass für mindestens 50.000 Besucherinnen und Besucher nur über Tor 10 sicher gewährt werden kann, wird insbesondere der Auslass nach einem Konzertende durch die im Jahr 2023 neu errichteten Innentore A und B (Abbildung 3, Seite 30) massiv verlangsamt. Unter den gegebenen Bedingungen liegt der Grenzwert für die maximale Besucherzahl unter 40.000 PAX. Der genaue Wert sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Insbesondere der Idealisierungsgrad der simulierten Szenarien sollte dabei kritisch betrachtet werden.

Im hier betrachteten Bereich der Personenströme bei Veranstaltungen im Freien ist noch viel Potential für weitere Untersuchungen. Im Hinblick auf die Vorgaben für Räumungszeiten fehlen bisher normative Vorgaben gänzlich (*RiMEA*, 2022, p. 30).

Wünschenswert wäre eine empirische Datenbasis zu Reaktionszeiten, Räumungsdauern und weiteren sicherheitsrelevanten Merkmalen, welche speziell auf Großkonzerten und Festivals im Freien erhoben wurden. Ein Beispiel für eine bereits begonnene Erhebung aus dem Bereich des Brandschutzes ist die vfdb-Brandschadenstatistik. Sie ist ein erster Versuch den Bedarf an statistischen Grundlagen zu befriedigen (Festag and Döbbeling, 2020, p. 1).

Die stetige Weiterentwicklung und wachsende Komplexität der Veranstaltungssicherheitsplanung, sollte Anlass genug für genauere Analysen sein.

Literaturverzeichnis

Alexy, L., Fisahn, A., Hähnchen, S., Mushoff, T., Trepte, U., 2020. Das Rechtslexikon: Begriffe, Grundlagen, Zusammenhänge, 1st ed. Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn.

Allgemeine Prüfungs- und Studienordnung für Bachelor- und Masterstudiengänge der Ingenieur-, Natur- und Gesundheitswissenschaften sowie der Informatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (APSO-INGI) in der Fassung vom 1. Juni 2012 (Hochschulanzeiger Nr. 77/2012, S. 23), in der die Änderung vom 20. Mai 2021 (Hochschulanzeiger Nr. 168/2021, S. 54) sowie die Änderung vom 2. Dezember 2021 (Hochschulanzeiger Nr. 177/2021, S. 16) eingearbeitet sind, 2012.

ArbSchG: Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) in der Fassung vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), zuletzt geändert durch Artikel 6k des Gesetzes vom 16. September 2022 (BGBl. I S. 1454), 1996.

Ärzte-Konzert auf dem Tempelhofer Feld abgesagt [WWW Document], 2022. . rbb24. URL <https://www.rbb24.de/kultur/beitrag/2022/08/berlin-aerzte-konzert-tempelhofer-feld-wegen-unwetter-abgesagt.html> (accessed 8.26.23).

ASOG Bln, 2006. Allgemeines Sicherheits- und Ordnungsgesetz in der Fassung vom 11. Oktober 2006, zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 09.02.2023 (GVBl. S. 38).

BauO Bln: Bauordnung für Berlin (BauO Bln) in der Fassung vom 29. September 2005), zuletzt geändert durch Artikel 23 des Gesetzes vom 12.10.2020 (GVBl. S. 807), 2005.

BBK, 2023. Glossar Begriff: Krisen-management, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe [WWW Document]. www.bbk.bund.de. URL https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Krisenmanagement/krisenmanagement_node.html (accessed 4.8.23).

BetrVO: Verordnung über den Betrieb von baulichen Anlagen (Betriebs-Verordnung - BetrVO) in der Fassung vom 10. Oktober 2007 (GVBl. S. 516), zuletzt geändert durch

Verordnung vom 17. März 2017 (GVBl. S. 277) (Inkrafttreten am 08. April 2017), 2007.

DIN EN 13200-7:2014-06, Zuschaueranlagen_- Teil_7: Eingangs- und Ausgangsanlagen und Wege; Deutsche Fassung EN_13200-7:2014, 2014.
<https://doi.org/10.31030/2052730>

Empfehlungen zum Verkehrs- und Crowdmanagement für Veranstaltungen Vorgaben, Standards und Handlungsoptionen zur Berücksichtigung bei der Planung, bei Genehmigungsprozessen und bei der Durchführung von Veranstaltungen, 2022. , R2. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Köln.

Espich, G., 2016. Entscheidungshilfen der Obersten Bauaufsicht (EHB) bis 12/2016.

Festag, S., Döbbling, E.-P., 2020. vfdb-Brandschadenstatistik Untersuchung der Wirksamkeit von (anlagentechnischen) Brandschutzmaßnahmen (Technischer Bericht No. 14– 01), Technische Berichte. Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Münster.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Verkehrsplanung Empfehlungen zum Verkehrs- und Crowdmanagement für Veranstaltungen (EVC): Vorgaben, Standards und Handlungsoptionen zur Berücksichtigung bei der Planung, bei Genehmigungsprozessen und bei der Durchführung von Veranstaltungen, 2022.

Fritzen, B., Hummel, S., Schmidt, D.J., 2021. TB 09-01 Leitfaden Krisenmanagement für Behörden und Unternehmen (Technischer Bericht No. 09–01), Technische Berichte. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V.

Gesetz über den Rettungsdienst für das Land Berlin (Rettungsdienstgesetz - RDG) in der Fassung vom 8. Juli 1993, zuletzt geändert durch Gesetz vom 23.01.2023 (GVBl. S. 18), 1993.

Gesetz zum Erhalt des Tempelhofer Feldes (ThF-Gesetz) in der Fassung vom 14. Juni 2014, zuletzt geändert durch Gesetz vom 04.02.2016 (GVBl. S. 31, 55), 2014.

GG: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, in der veröffentlichten bereinigten Fassung vom 23. Mai

1949, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2478), 1949.

Groneberg, C., 2019. Veranstaltungskommunikation, 1st ed. Springer VS, Siegen.

Handbuch PedGo/AENEAS, 2013.

Helbing, D., Mukerji, P., 2012. Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love Parade disaster. EPJ Data Sci. 1, 7. <https://doi.org/10.1140/epjds7>

Lange, T., Mosler, K., 2017. Statistik kompakt, Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53467-0>

MANAGEMENTVERTRAG für das Entwicklungsprojekt Gebäude des ehemaligen Zentralflughafen Tempelhof, 2010.

Merkblatt Flucht- und Rettungswege bei Veranstaltungen im Freien, 2015.

Messerer, J., 2008. Sicherheitskonzepte für Versammlungsstätten Checkliste bzw. Inhaltsstichpunkte zur Aufstellung eines Sicherheitskonzeptes gemäß § 43 MVStättV für Versammlungsstätten.

Mohnen, S., 2022a. Sicherheitskonzept Konzertsaison 2022 Flughafen Tempelhof, Version V2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2022b. Anlage V. Verkehrskonzept, V 2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2022c. Anlage I. Risikoanalyse. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2022d. Anlage 10. Einsatzorte mit erhöhtem Steuerungsbedarf, V 2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Berlin.

Mohnen, S., 2022e. Anlage 1. Kapazitätsnachweis, V 2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2022f. Anlage 1. Kapazitätsnachweis Berechnungen, V 2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2022g. Anlage VI. Räumungskonzept, V 2.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., 2013. Sicherheitskonzept Konzertsaison 2013 Flughafen Tempelhof. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Hamburg.

Mohnen, S., Rogall, M., 2022a. A THF 2022 DTH DÄ Veranstaltungsgelände. THF 2022 DTH DÄ.

Mohnen, S., Rogall, M., 2022b. E THF 2022 DTH DÄ Flächennutzungsplan. THF 2022 DTH DÄ.

Mohnen, S., Rogall, M., 2022c. B THF 2022 DTH DÄ Veranstaltungsgelände mit FURW. THF 2022 DTH DÄ.

Musterbauordnung (MBO) in der Fassung von November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020, 2002.

Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb Fliegender Bauten (M-FIBauR) vom Juni 2010, 2010.

Muster-Richtlinien über Flächen für die Feuerwehr, 2009.

MVStättVO: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung - MVStättVO) in der Fassung von Juni 2005, das zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014, 2014.

MVStättVO: Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung - MVStättVO) in der Fassung von Juni 2005, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014 - Begründung der Änderungen -, 2014.

Olek, M., 2022a. Anlage IV. Sicherheitskonzept Stellungnahme zum Brandschutz, V 1.0. ed. im Auftrag der Loft Concerts GmbH, Berlin.

Olek, M., 2022b. Brandschutzordnung. im Auftrag der Loft Concerts GmbH.

OpenStreetMap [WWW Document], 2023. . OpenStreetMap. URL <https://www.openstreetmap.org/> (accessed 8.8.23).

PedGo, 2023.

Petermann, T., Bradke, H., Lüllmann, A., Poetzsch, M., Riehm, U., 2011. Was bei einem Blackout geschieht : Folgen eines langandauernden und großräumigen Stromausfalls. edition sigma, Berlin.

Predtechenski, W.M., Milinski, A.I., 1971. Personenströme in Gebäuden– Berechnungsmethoden für die Projektierung, 1st ed. Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin.

Produktdatenblatt Elektrowerkzeuge für Handwerk & Industrie Laser-Entfernungsmesser GLM 50 C, 2023.

Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen in der Version 4.0.0 vom 28.04.2022, 2022.

Ronft, S. (Ed.), 2021. Eventpsychologie: Veranstaltungen wirksam optimieren: Grundlagen, Konzepte, Praxisbeispiele. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-28888-4>

Sakschewski, T., Ebner, M., Klode, K., Paul, S., 2019. Sicherheitskonzepte für Veranstaltungen Grundlagen für Behörden, Betreiber und Veranstalter, 3. ed. Beuth Verlag GmbH, Berlin · Wien · Zürich.

Schenke, W.-R., 2023. Polizei- und Ordnungsrecht, 12th ed, Schwerpunkt Pflichtfach. C.F. Müller, Heidelberg.

TB 04-01 Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes (Technischer Bericht No. 04–01), 2020. , Technische Berichte. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V., Münster, Braunschweig.

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) A1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2013.

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) A1.8 Verkehrswege - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2022.

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR) A2.3 Fluchtwege und Notausgänge - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2022.

Technischer Bericht Statische und dynamische Personendichten bei Großveranstaltungen (Überprüft Dez. 2017) (Technischer Bericht No. 13– 01), 2012. , Technische Berichte. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V., Münster.

THFlive [@thflive], 2022. 1/ Achtung: Aufgrund eines aufziehenden Unwetters sind wir gezwungen, die Veranstaltung aus Sicherheitsgründen zu beenden. Bitte verlasst zu eurer Sicherheit den Bereich des Veranstaltungsgeländes auf den ausgewiesenen Wegen. Bleibt ruhig und achtet auf eure Mitmenschen. Bitte. Twitter.

Timtschenko, F., 2021. Professionelles Sicherheitsmanagement für Unternehmen: Leitfaden für erfolgreiche Corporate Security. Springer Fachmedien, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-35047-5>

VersFG BE: Versammlungsfreiheitsgesetz Berlin (VersFG BE) in der Fassung vom 23. Februar 2021 (GVBl. S. 180), 2021.

Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB Bln) vom 25.04.2022 (Abl. S. 1096), 2022.

Weidmann, U., 1993. Transporttechnik der Fußgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs, Literaturlauswertung. ETH Zür., IVT Schriftenreihe 90 90, 109.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächenaufteilung nach Flächengebern (basierend auf Anlage 1 Thf-Gesetz, 2014; Anlage 2 "ManagementvertragTP," 2010)	5
Abbildung 2: : Lage des VA-Geländes mit Bühne im Bezug zum Flughafengebäude (basierend auf Anlage 2 "ManagementvertragTP," 2010; Mohnen and Rogall, 2022a).	6
Abbildung 3: aktuell vorhandene Tore am ehemaligen Flughafen Tempelhof (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).....	30
Abbildung 4: Übersichtsplan für Szenario I (basierend auf "OpenStreetMap," 2023) ..	33
Abbildung 5: Übersichtsplan für Szenario II (basierend auf "OpenStreetMap," 2023).	36

Abbildung 6: Übersichtsplan mit Detailausschnitt für Szenario III (basierend auf “OpenStreetMap,” 2023).....	39
Abbildung 7: Übersichtsplan für Szenario IV (basierend auf “OpenStreetMap,” 2023).	43
Abbildung 8: Anteil der Anreisenden pro Stunde in % (basierend auf Mohnen, 2022f)	46
Abbildung 9: Anteil der Anreisenden nach Anreisedistanz in % (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8)	47
Abbildung 10: Situation am Einlass mit 10.000 Agenten nach 58 Minuten (“PedGo,” 2023)	49
Abbildung 11: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 10.000 Agenten (basierend auf “PedGo,” 2023).....	50
Abbildung 12: Situation am Einlass mit 12.500 Agenten nach 63 Minuten (“PedGo,” 2023)	52
Abbildung 13: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 12.500 Agenten (basierend auf “PedGo,” 2023).....	53
Abbildung 14: Situation am Einlass mit 15.000 Agenten nach 73 Minuten (“PedGo,” 2023)	54
Abbildung 15: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario I mit 15.000 Agenten (basierend auf “PedGo,” 2023).....	55
Abbildung 16: Situation während des Auslasses mit 36000 Agenten nach 20 Minuten (“PedGo,” 2023).....	57
Abbildung 17: Situation während des Auslasses mit 36000 Agenten nach 35 Minuten (“PedGo,” 2023).....	58
Abbildung 18: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario II (basierend auf “PedGo,” 2023).....	59
Abbildung 19: Situation am Tor 9 während der Räumung nach 10 Minuten (“PedGo,” 2023)	61
Abbildung 20: Situation am Tor 9 während der Räumung nach 25 Minuten (“PedGo,” 2023)	62
Abbildung 21: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario III (basierend auf “PedGo,” 2023).....	63
Abbildung 22: Situation am Bahnhof Tempelhof nach 10 Minuten (“PedGo,” 2023) ...	65
Abbildung 23: Situation am Bahnhof Tempelhof nach 50 Minuten (“PedGo,” 2023) ...	65

Abbildung 24: Situation auf dem Bahnsteig der U-Bahn nach 40 Minuten, kurz bevor die nächste Bahn einfährt (“PedGo,” 2023)	66
Abbildung 25: Situation auf dem Bahnsteig der S-Bahn nach 20 Minuten, kurz bevor die nächste Bahn einfährt (“PedGo,” 2023)	67
Abbildung 26: Agentenanzahl in Abhängigkeit der Zeit in Szenario IV (basierend auf “PedGo,” 2023).....	67
Abbildung 27: Verkehrsmittel nach Anreisedistanz (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8)	69
Abbildung 28: Theoretische Anreise und Abreise Verhältnisse im Fall einer Absage (basierend auf Mohnen, 2022b, p. 8).....	78

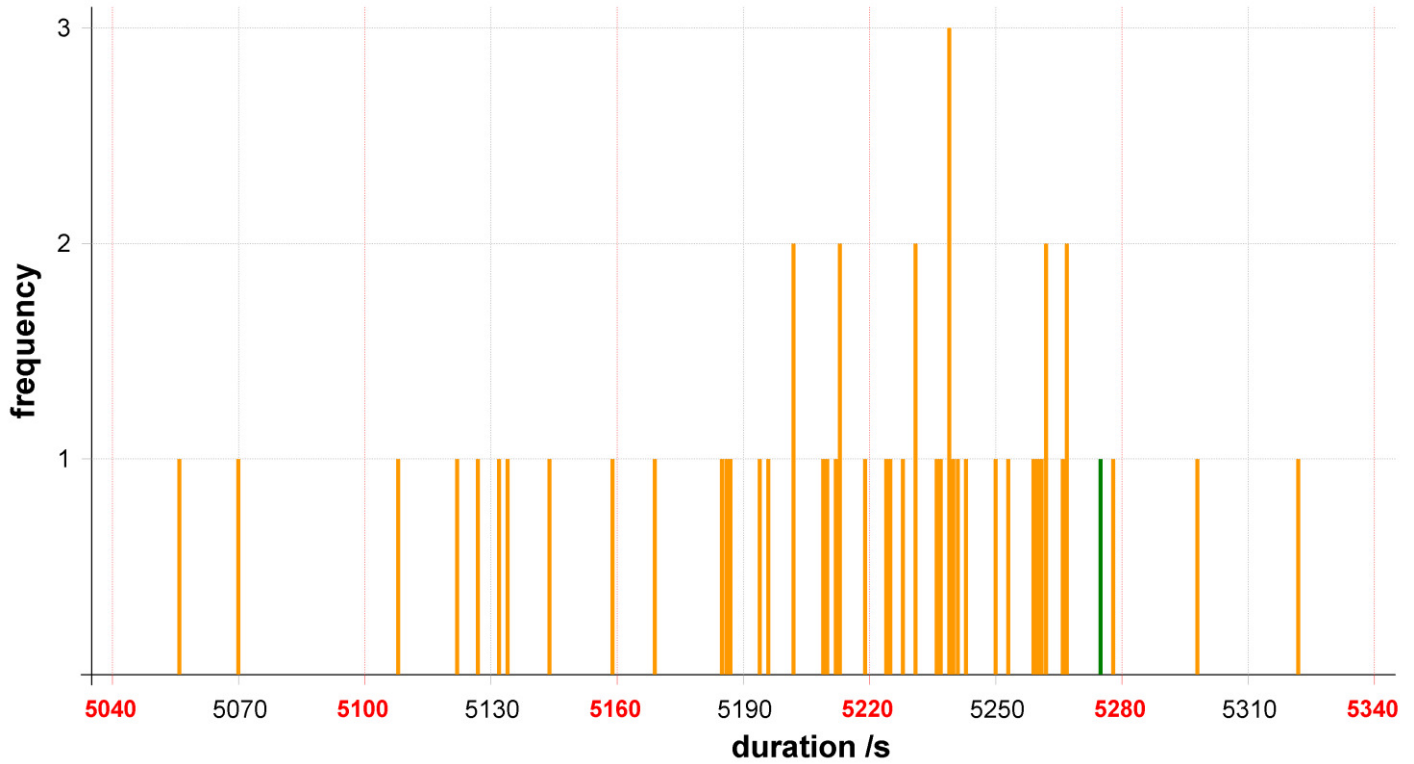
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: aktuell vorhandene Tore am ehemaligen Flughafen Tempelhof	31
Tabelle 2: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario I	71
Tabelle 3: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario II	73
Tabelle 4: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario III	74
Tabelle 5: Bewertung der Einhaltung der Limitationen in Szenario IV	76

Anhang

Szenario I mit 10.000 Agenten

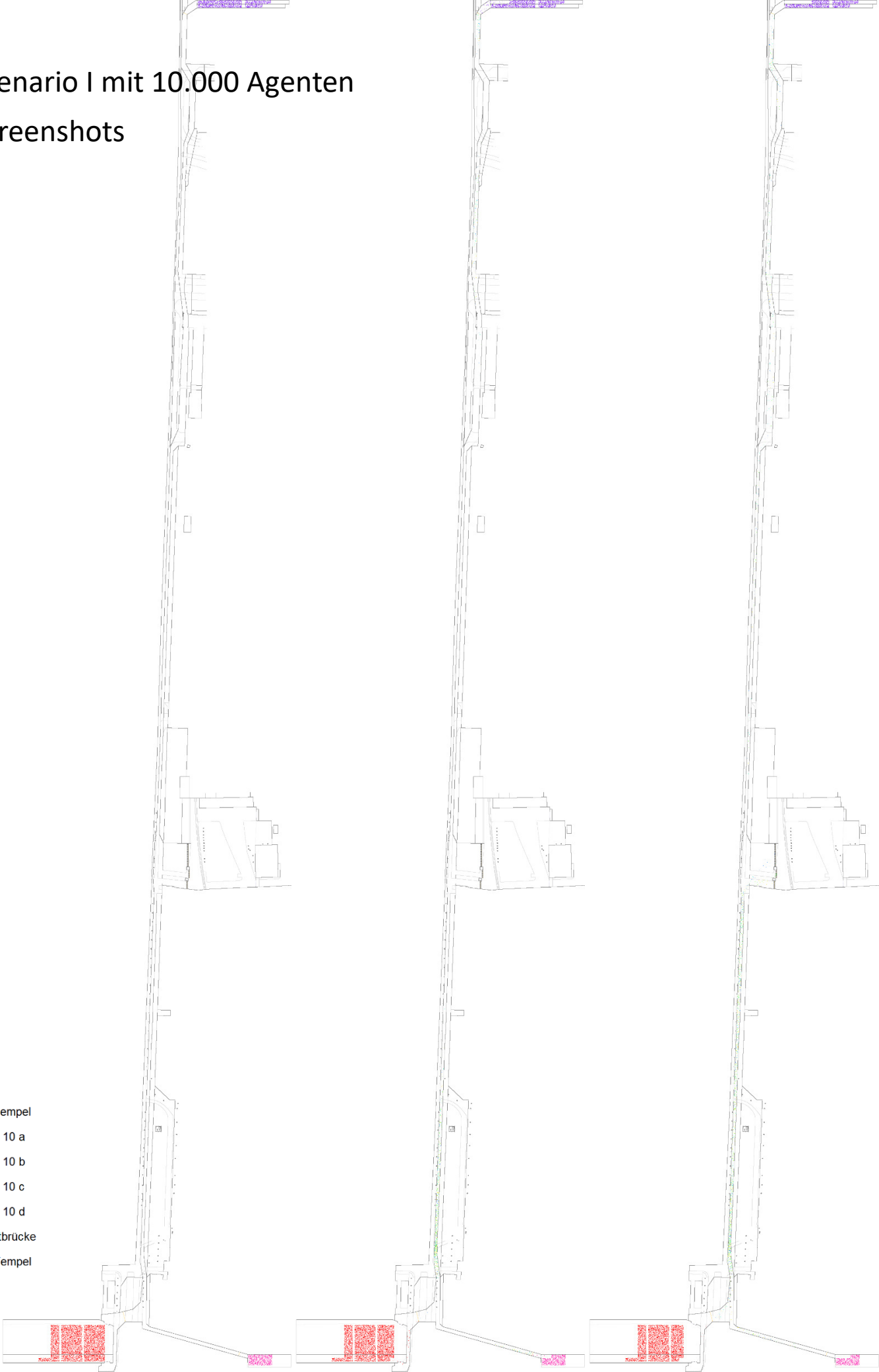
Häufigkeitsverteilung



Szenario I mit 10.000 Agenten

Screenshots

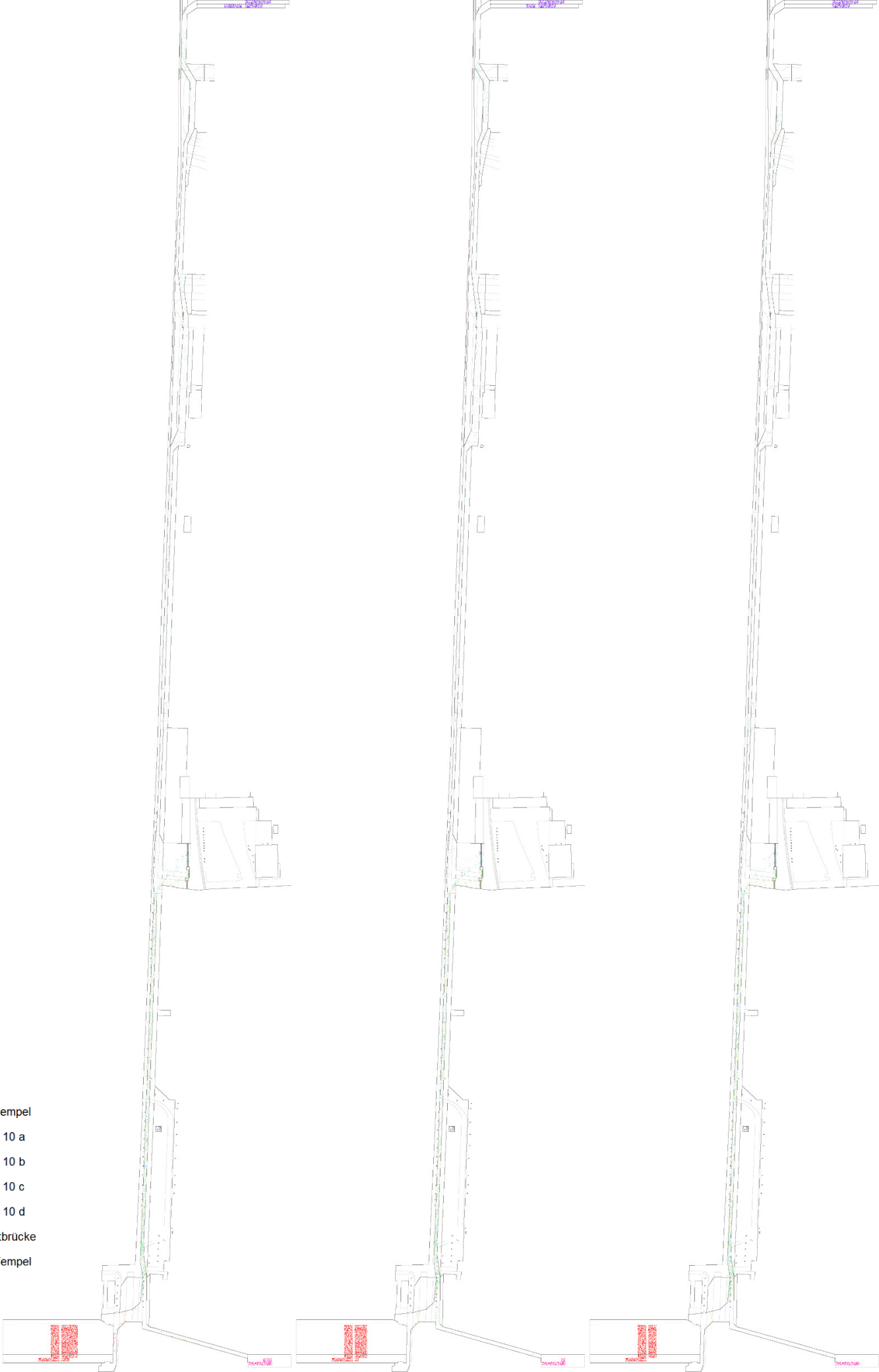
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



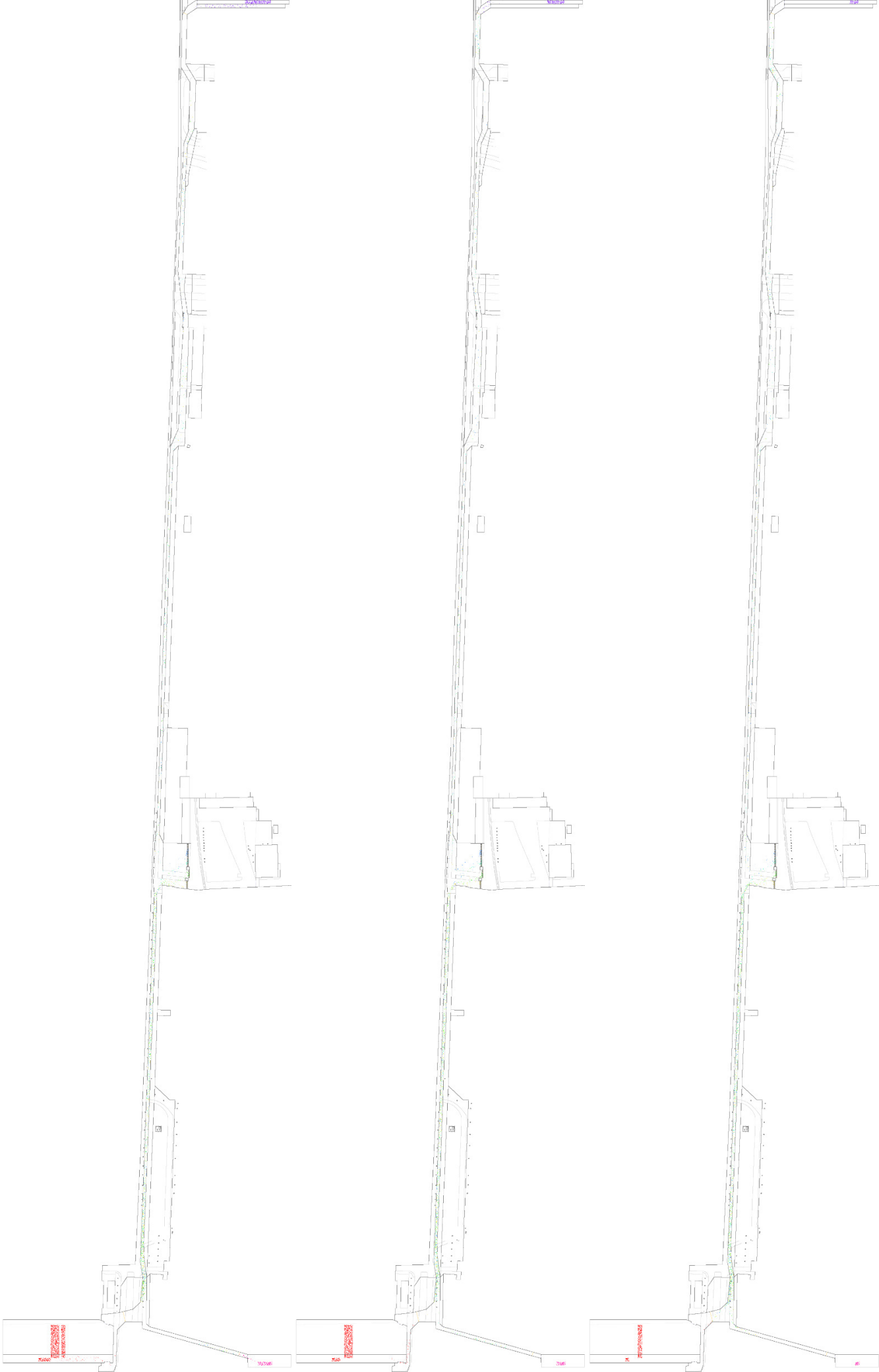
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel

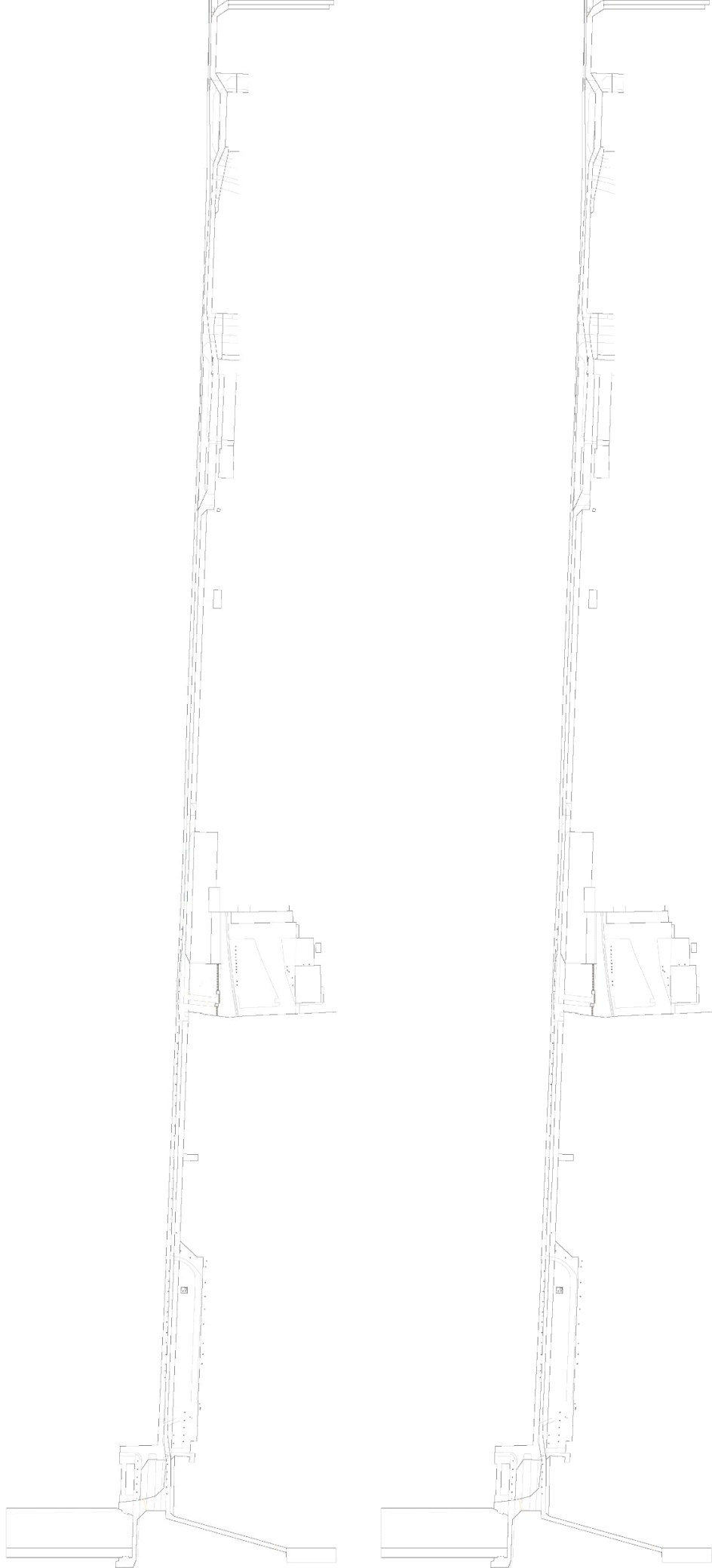


- S T
- Tor
- Tor
- Tor
- Tor
- Luf
- U T



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel

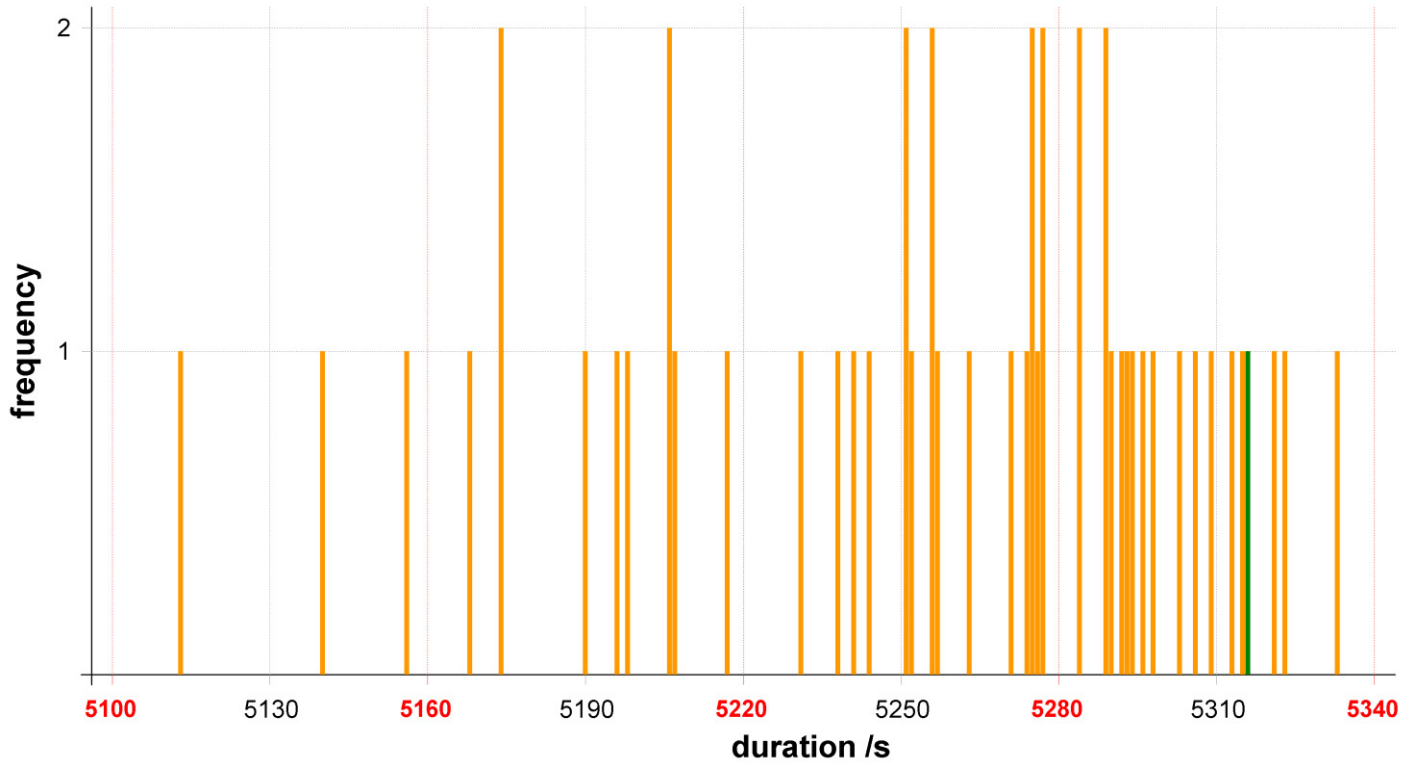




- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel

Szenario I mit 12.500 Agenten

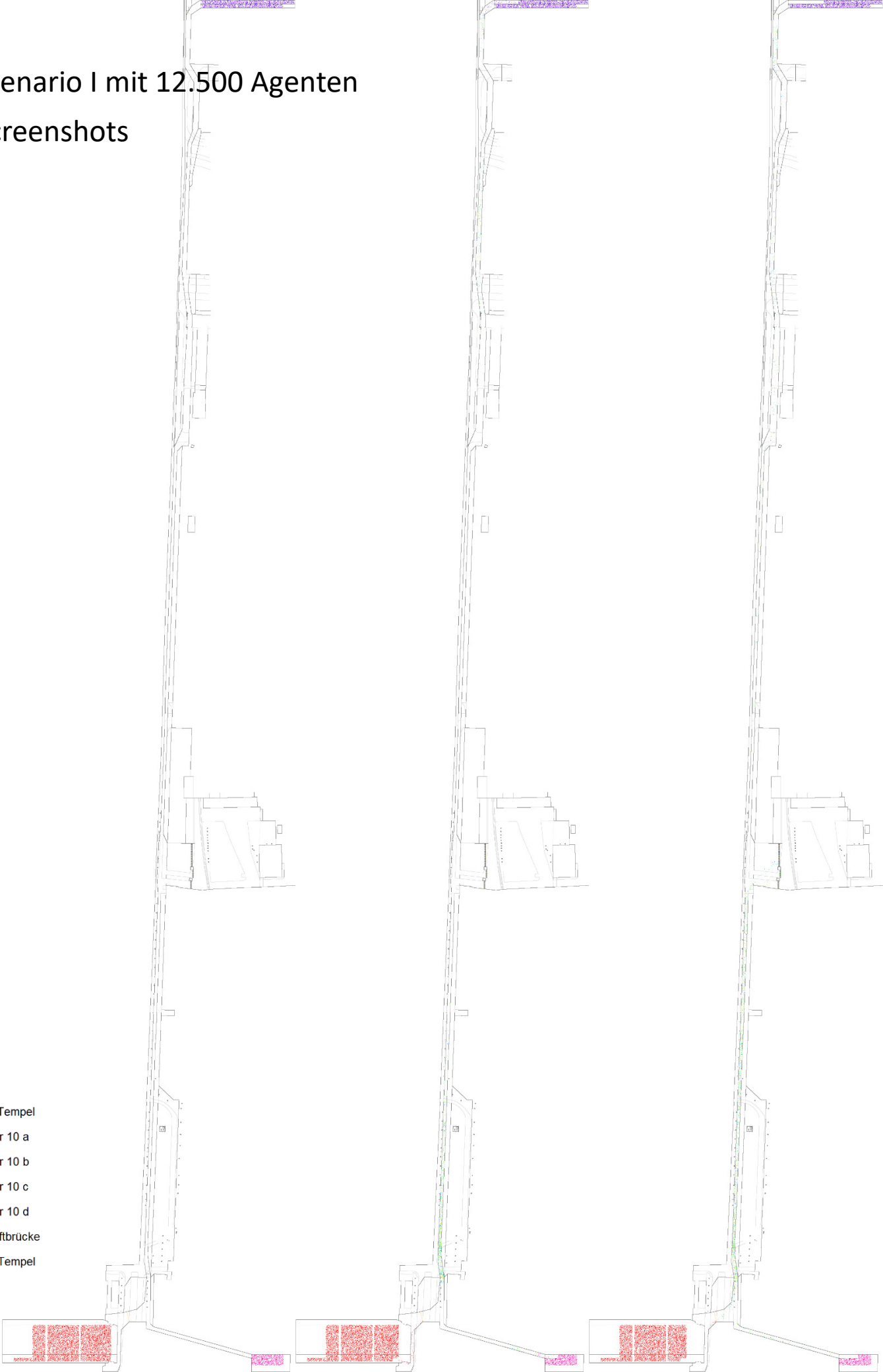
Häufigkeitsverteilung



Szenario I mit 12.500 Agenten

Screenshots

- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



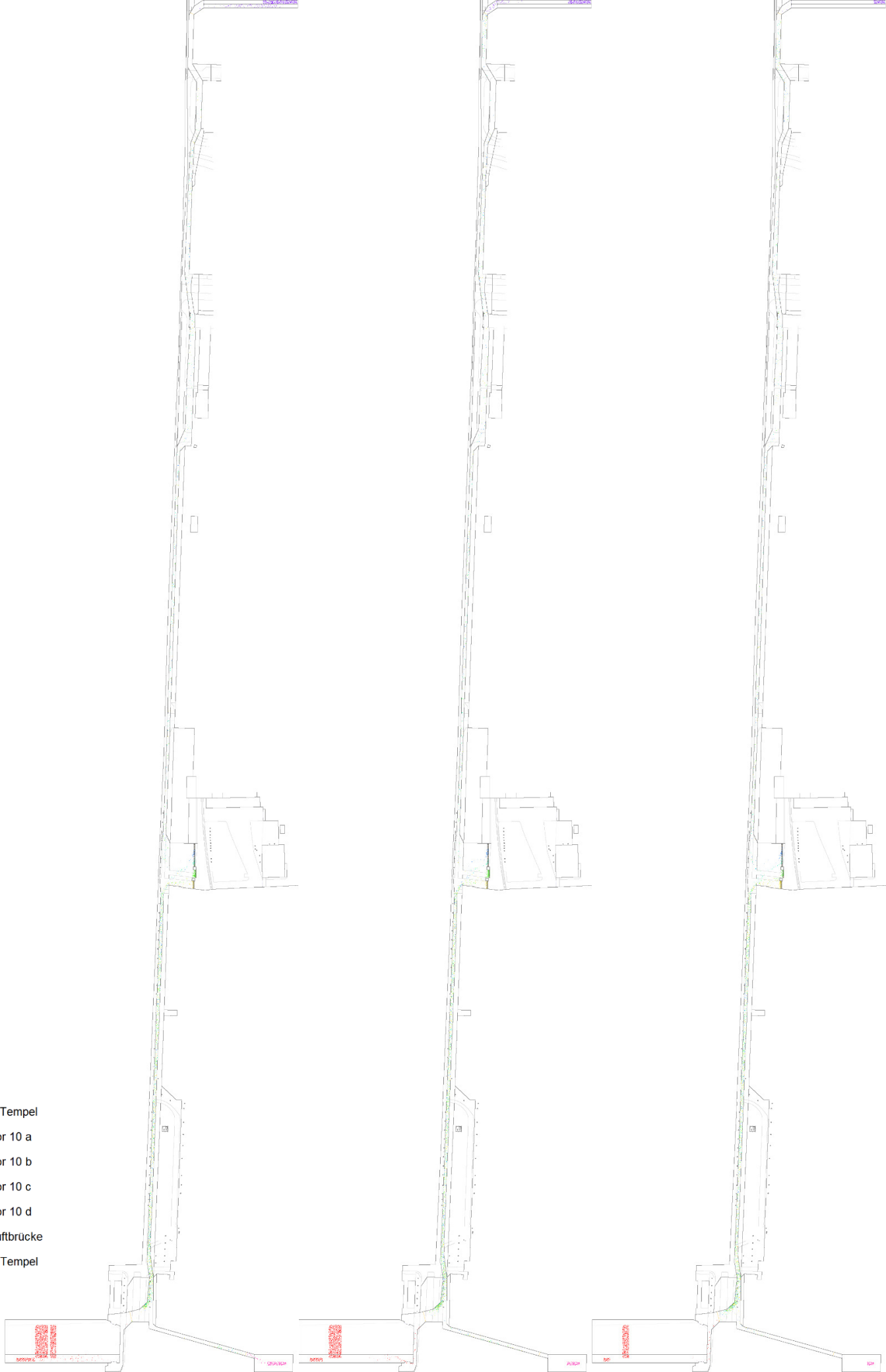
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



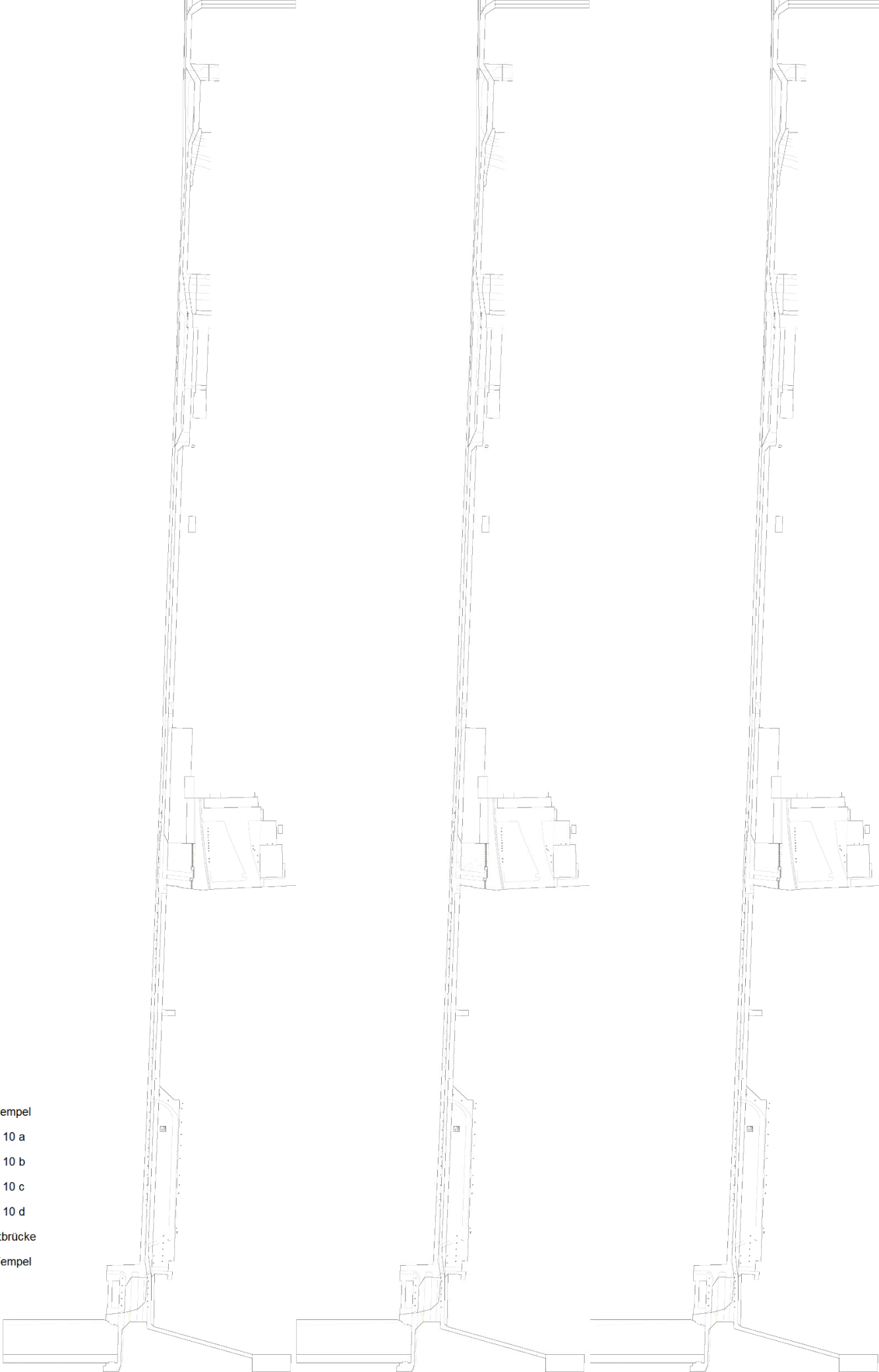
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



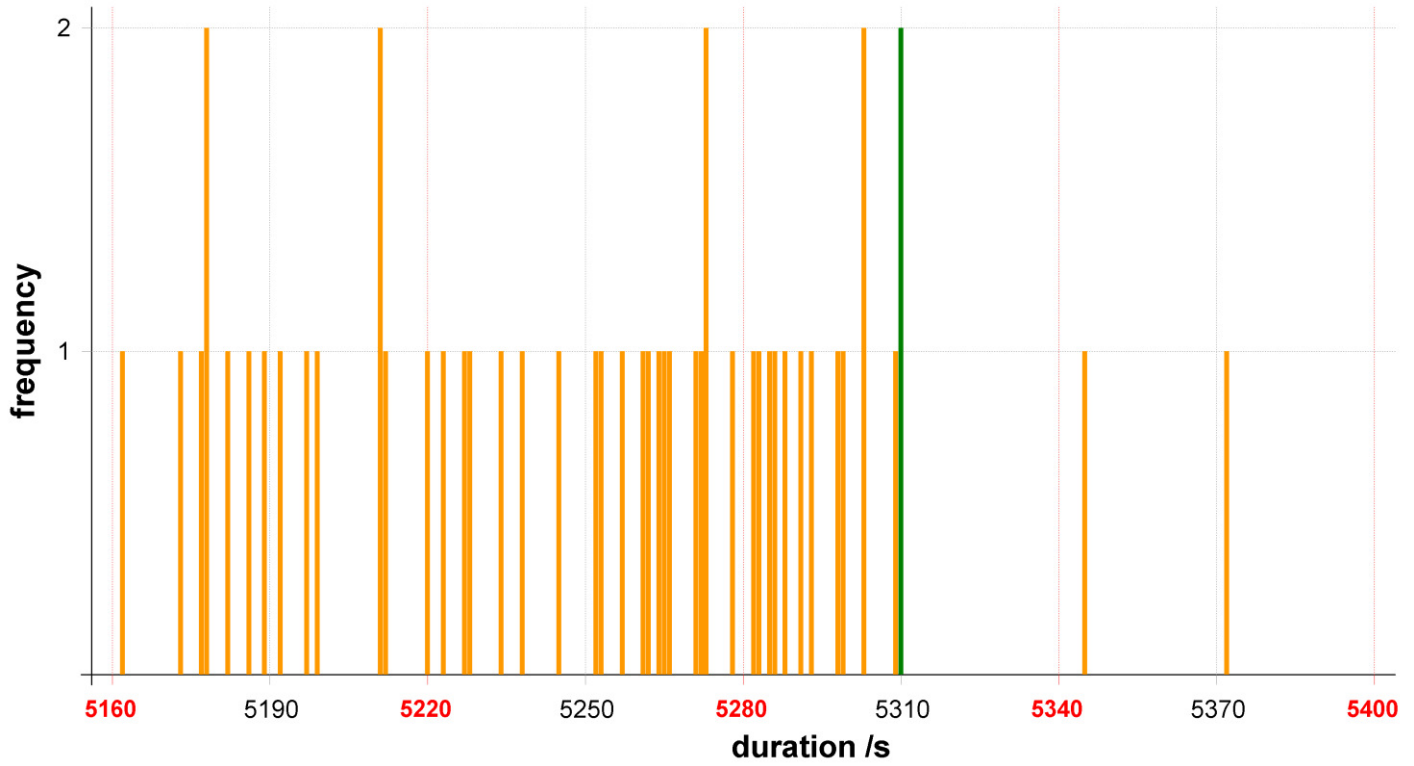
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel



Szenario I mit 15.000 Agenten

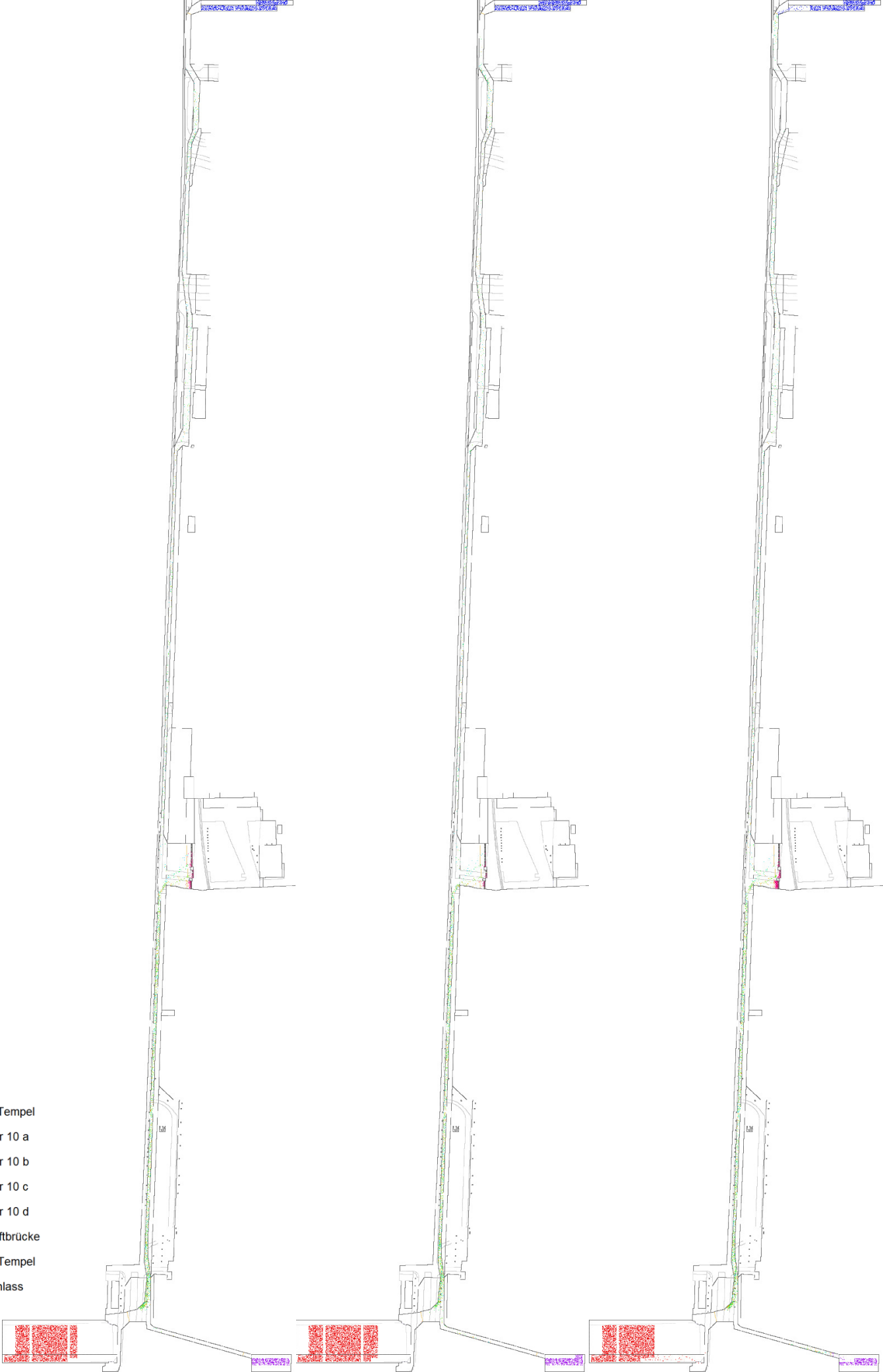


Szenario I mit 15.000 Agenten

Screenshots



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel
- Einlass



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel
- Einlass



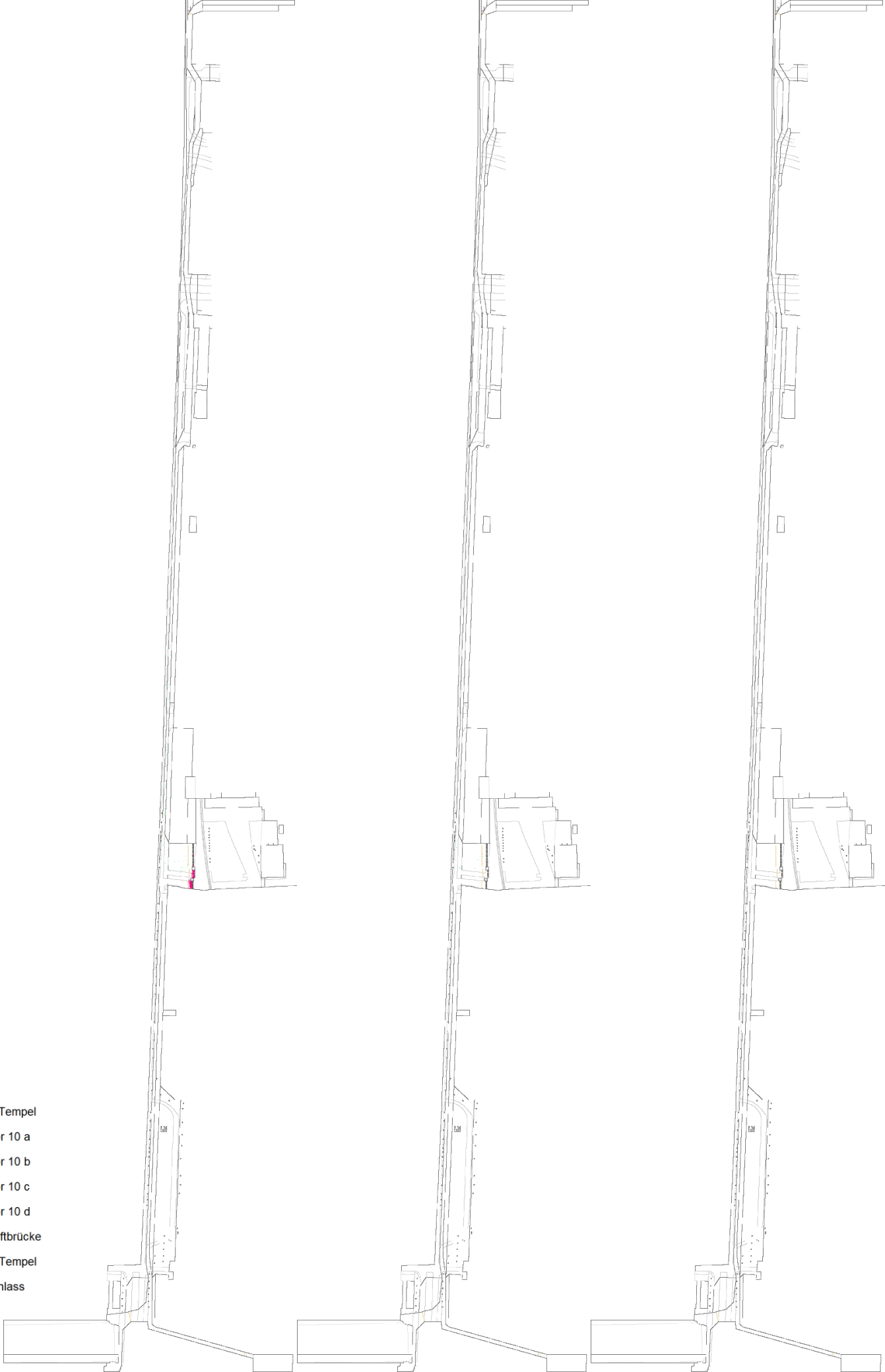
- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel
- Einlass



- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel
- Einlass

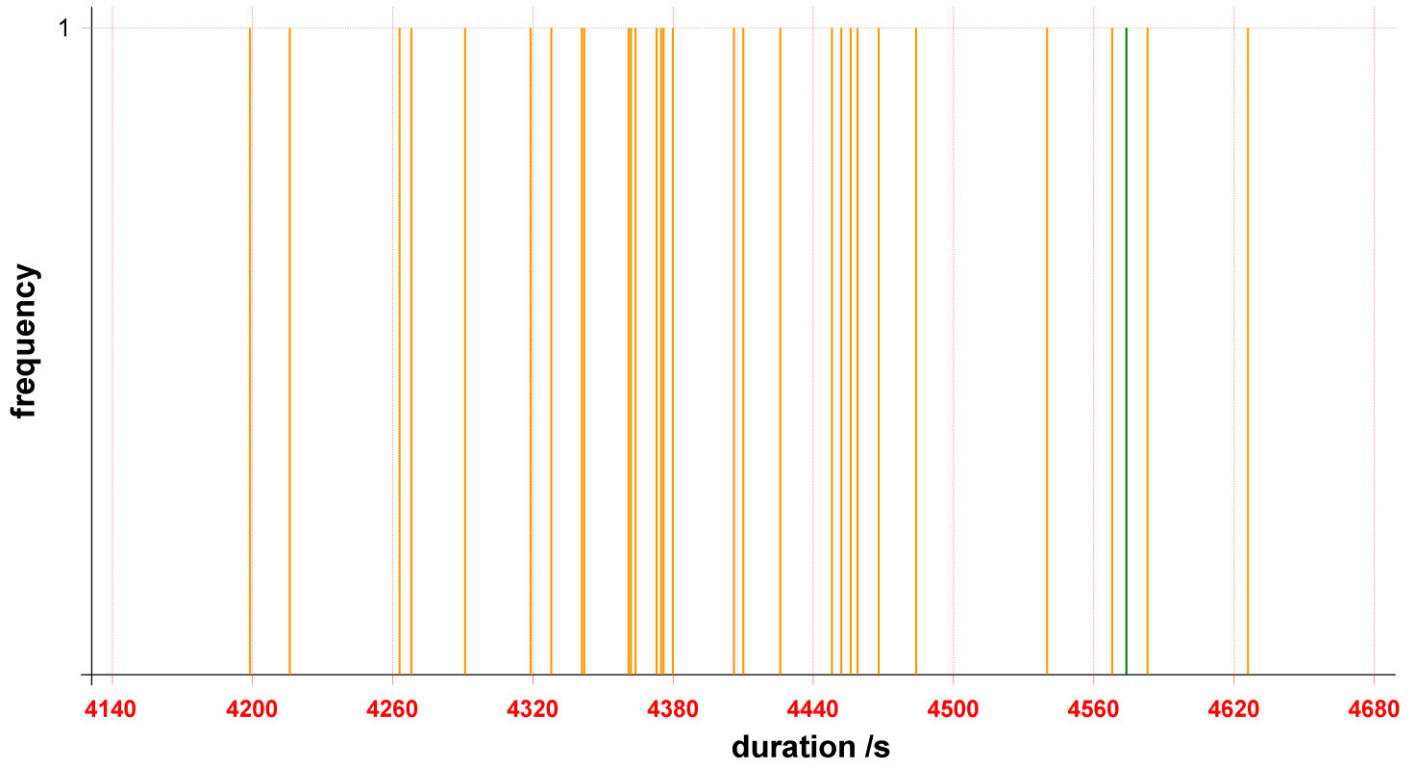


- S Tempel
- Tor 10 a
- Tor 10 b
- Tor 10 c
- Tor 10 d
- Luftbrücke
- U Tempel
- Einlass



Szenario II mit 36.000 Agenten

Häufigkeitsverteilung



Szenario II mit 36.000 Agenten

Screenshots

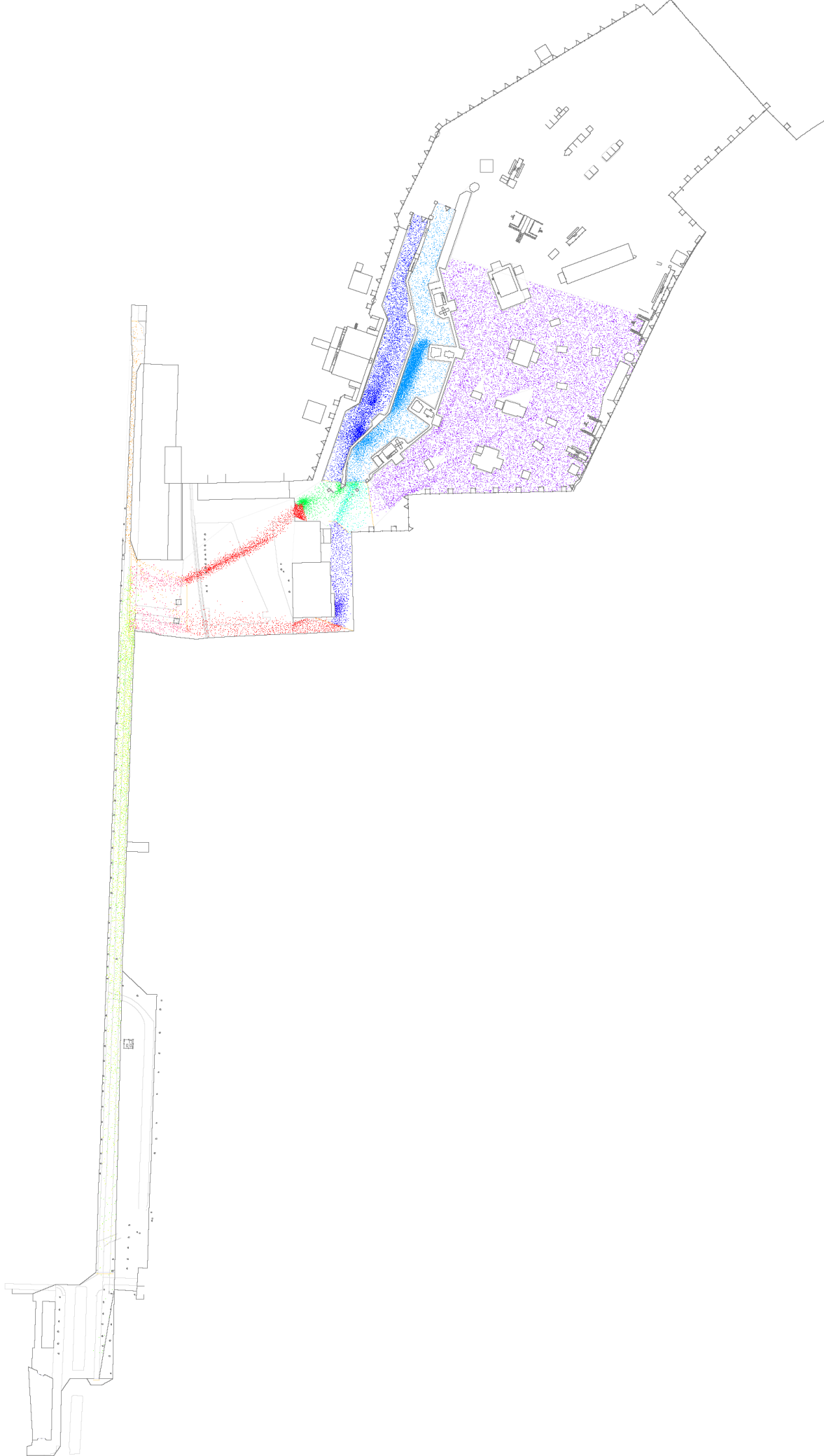


- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10

- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



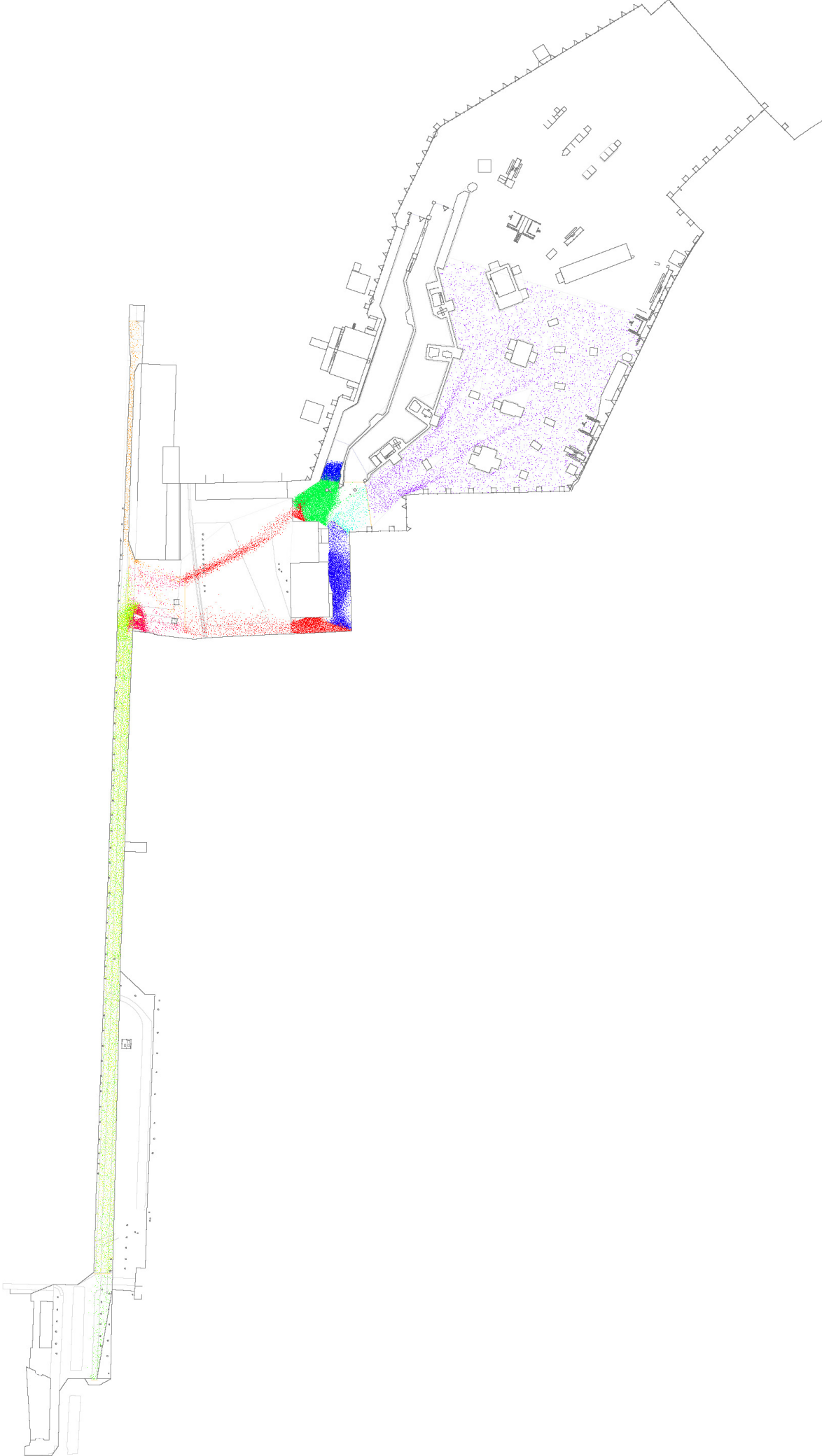
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



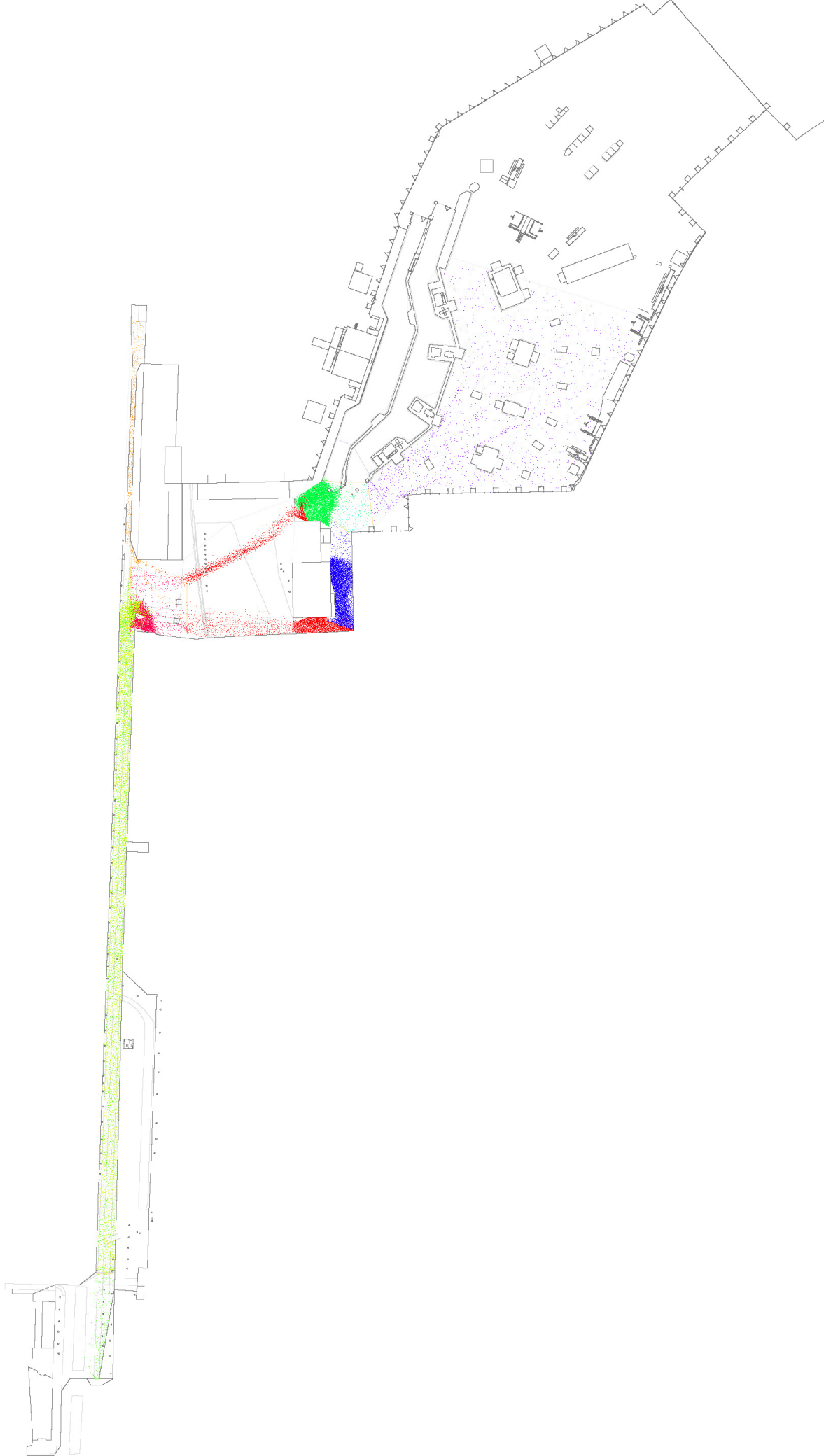
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



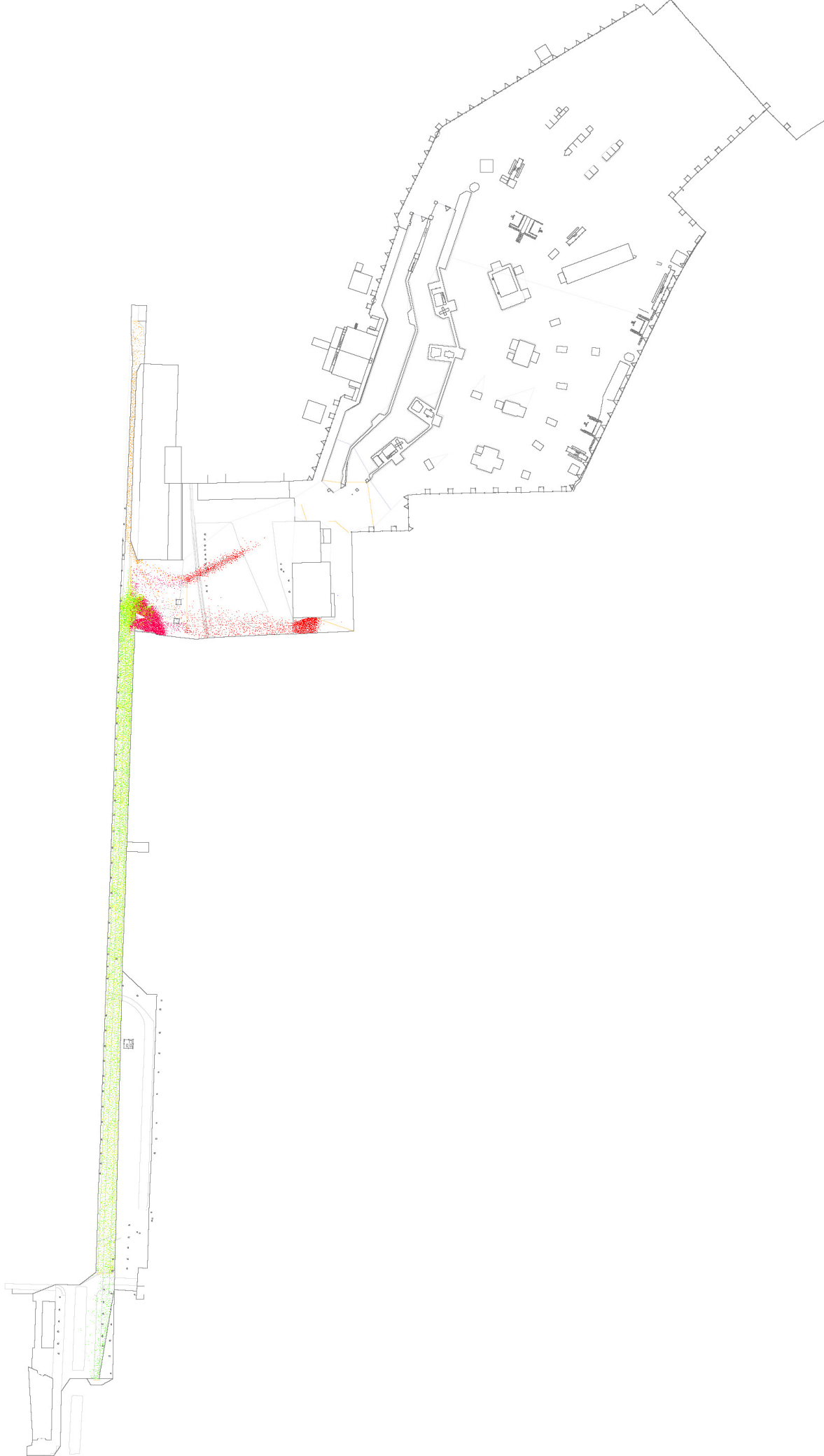
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



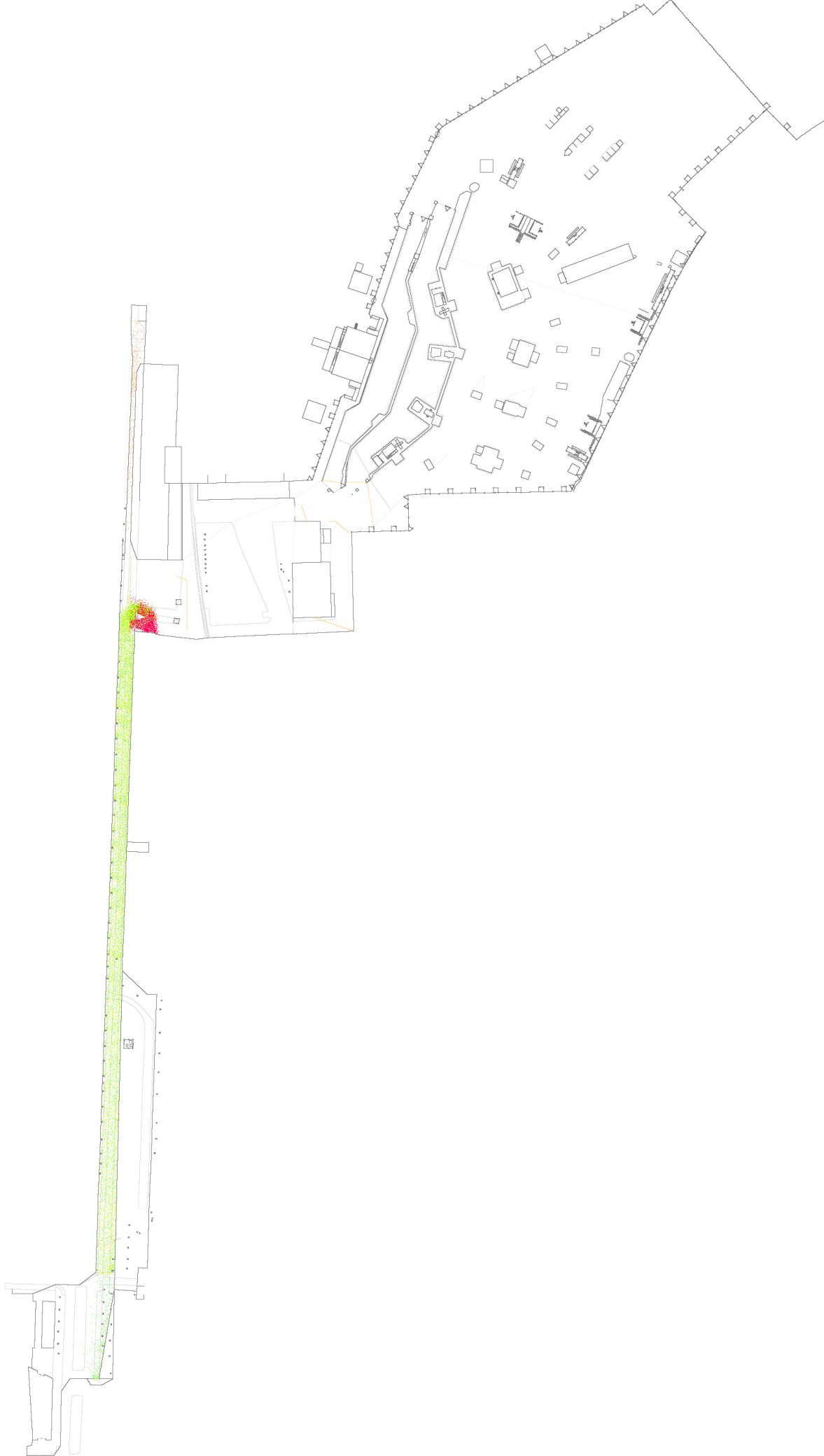
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



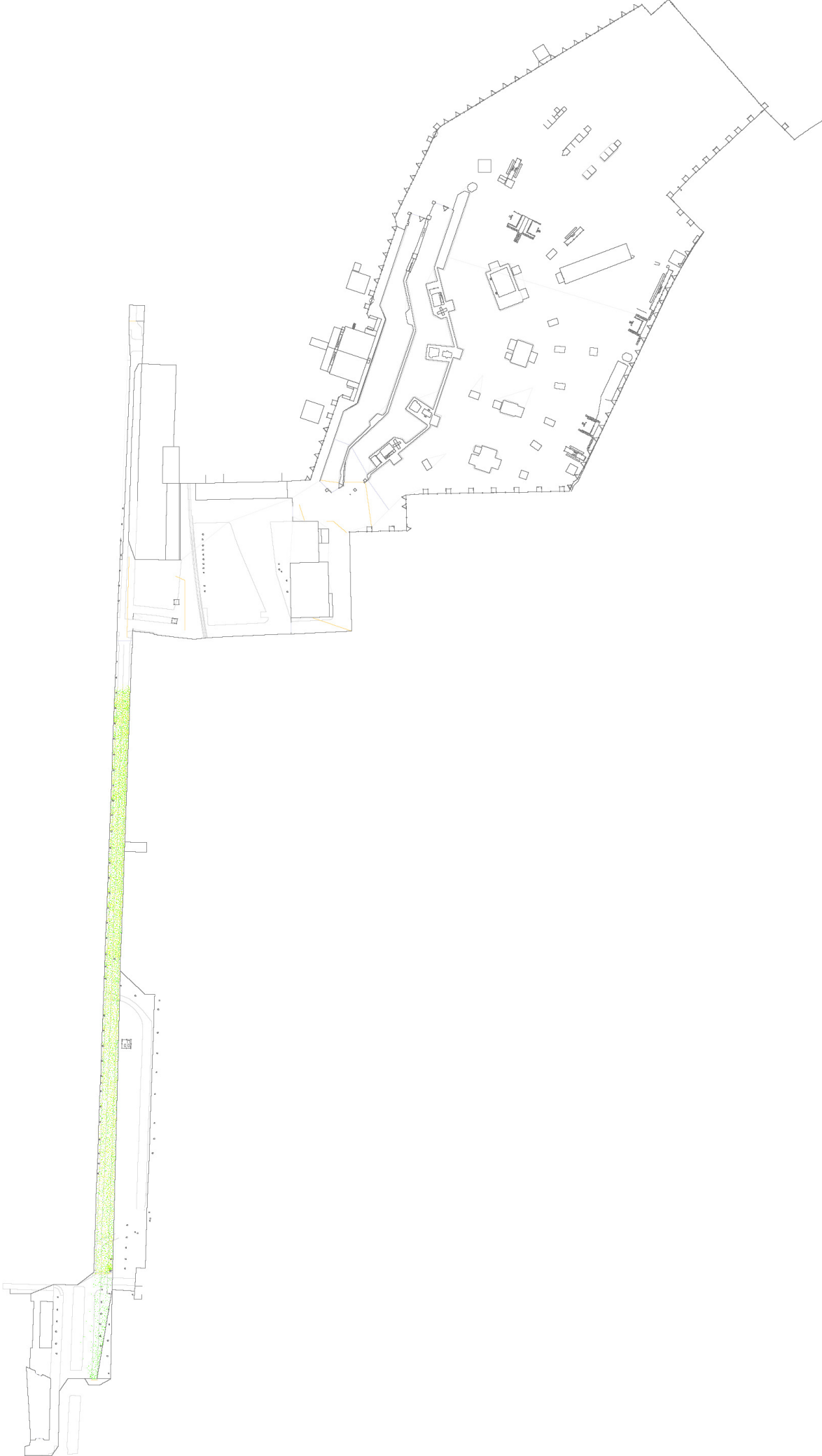
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



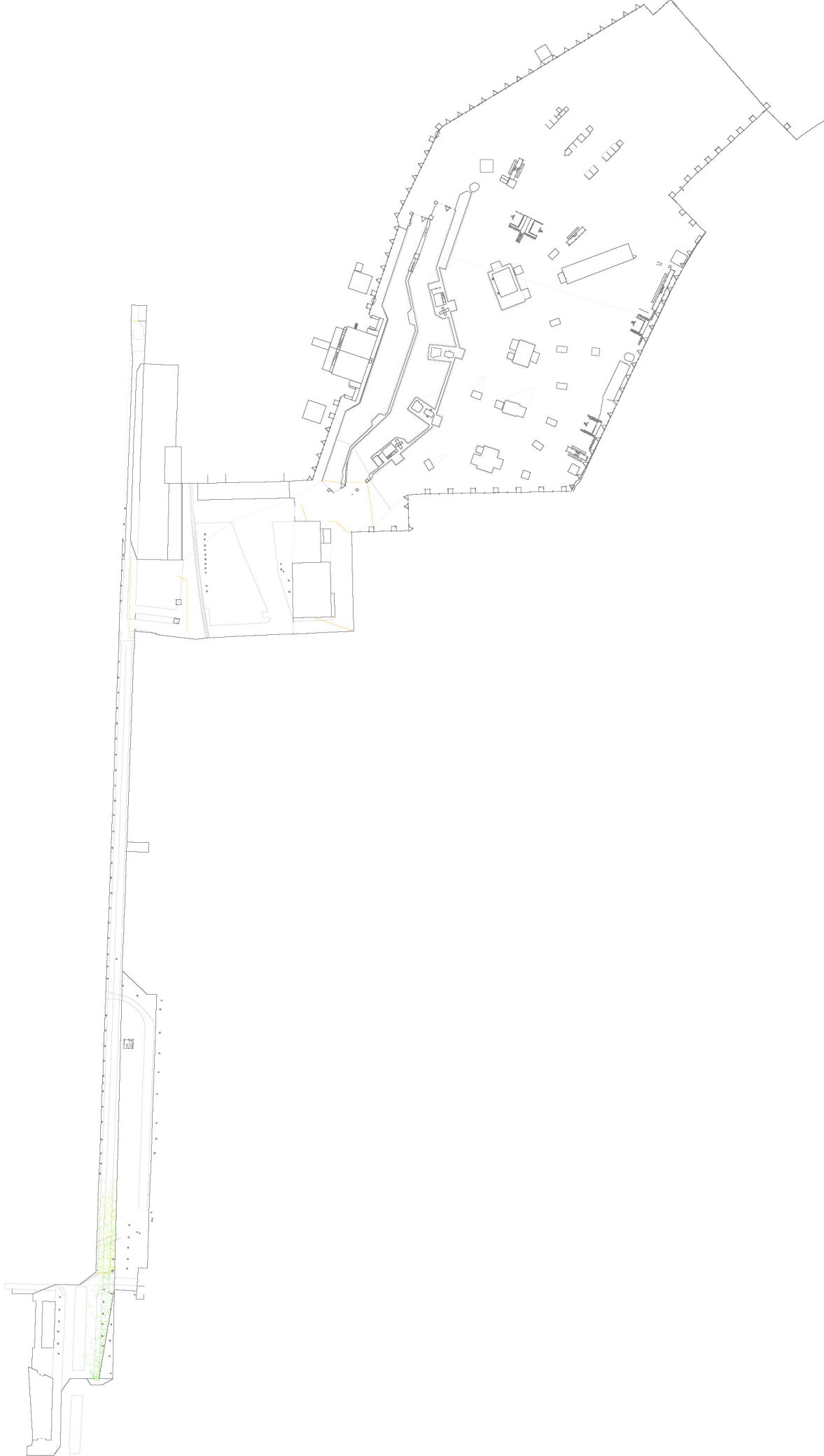
- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10

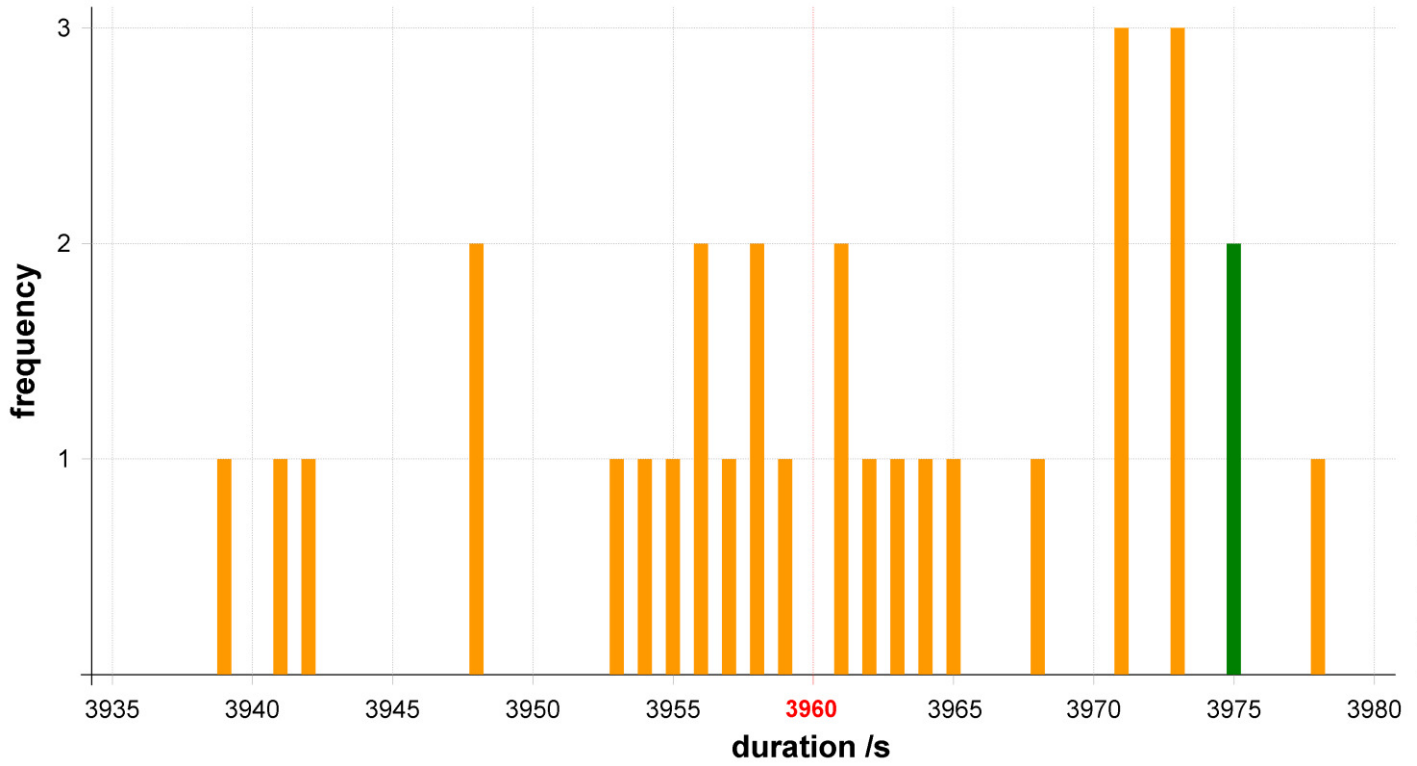


- Tor 10
- Luftbrücke B
- S Tempel
- U Tempel
- Kurve A
- Kurve B
- FOS 2
- FOS 1
- FOS 3
- Kurve C
- Kurve Tor 10



Szenario III mit 24.000 Agenten

Häufigkeitsverteilung



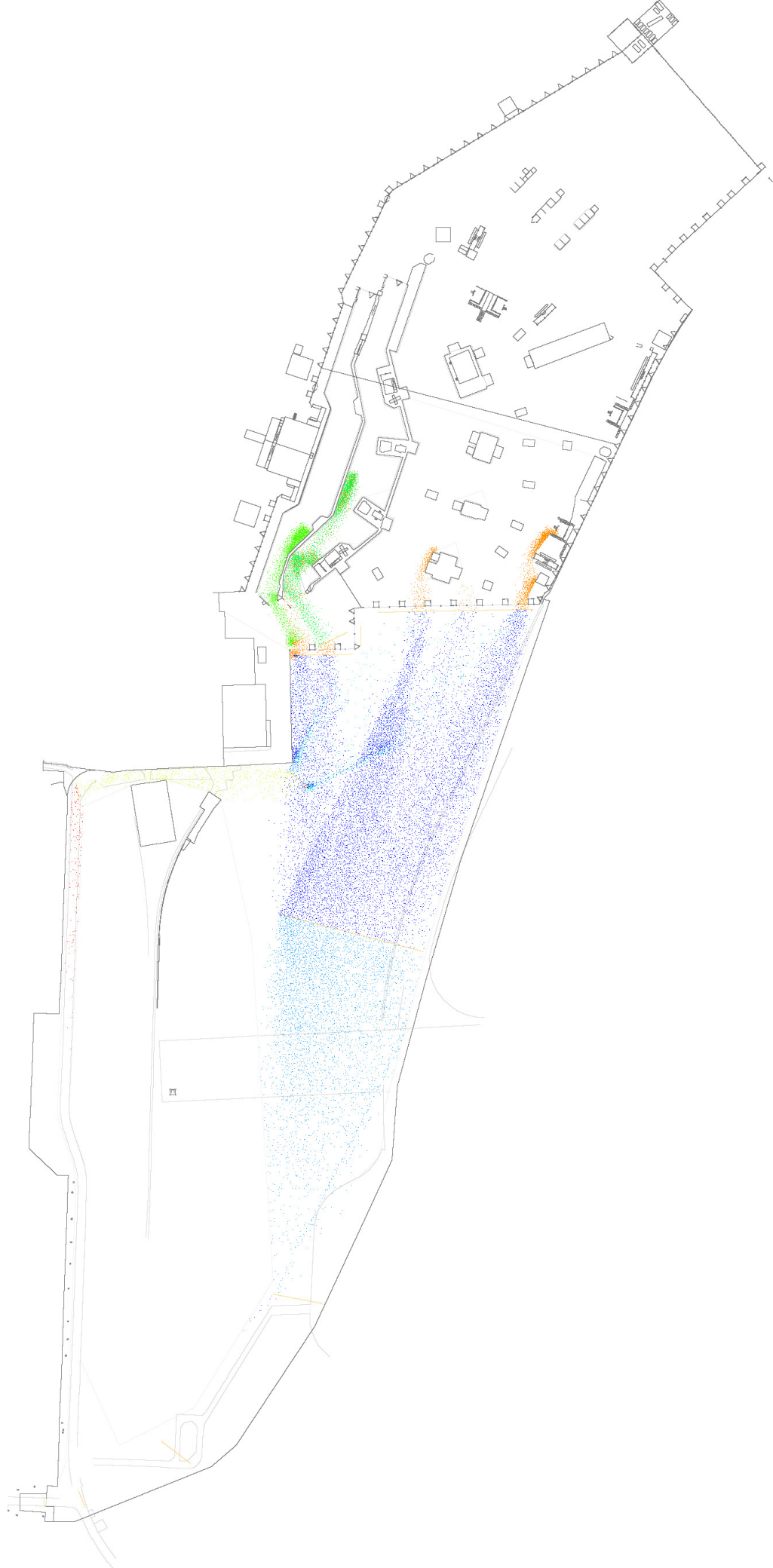
Szenario III mit 24.000 Agenten

Screenshots

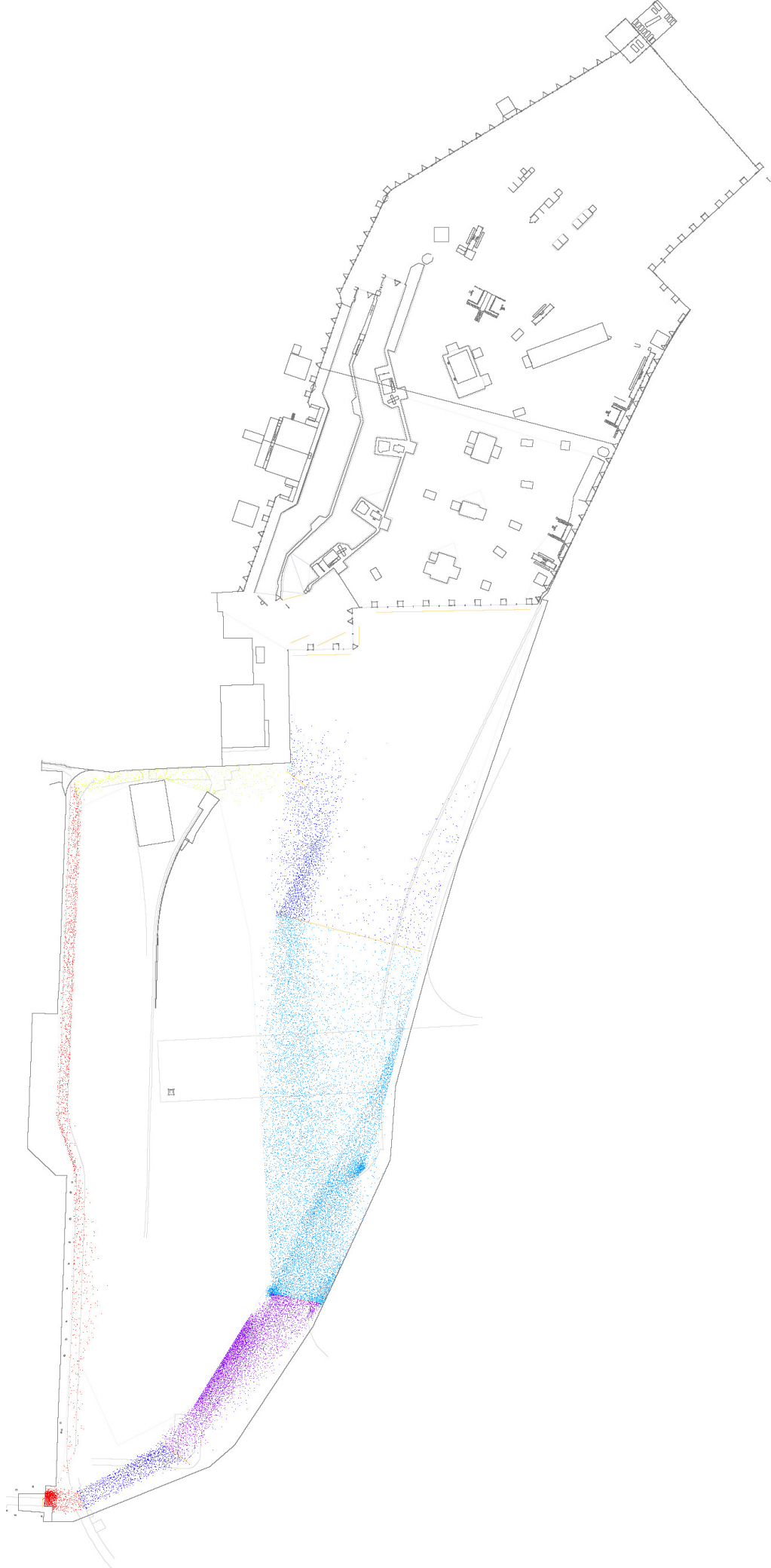


- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta

- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



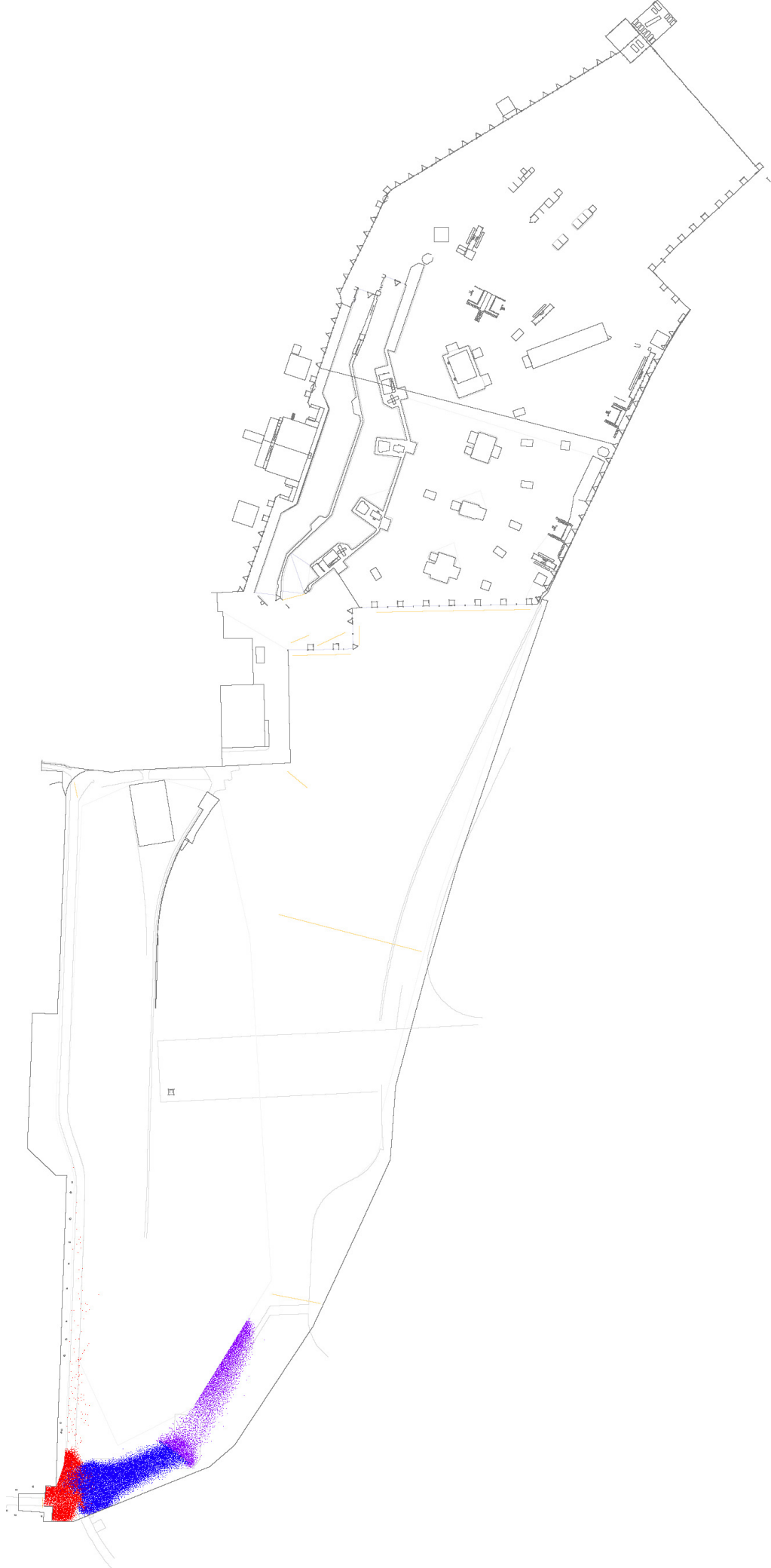
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



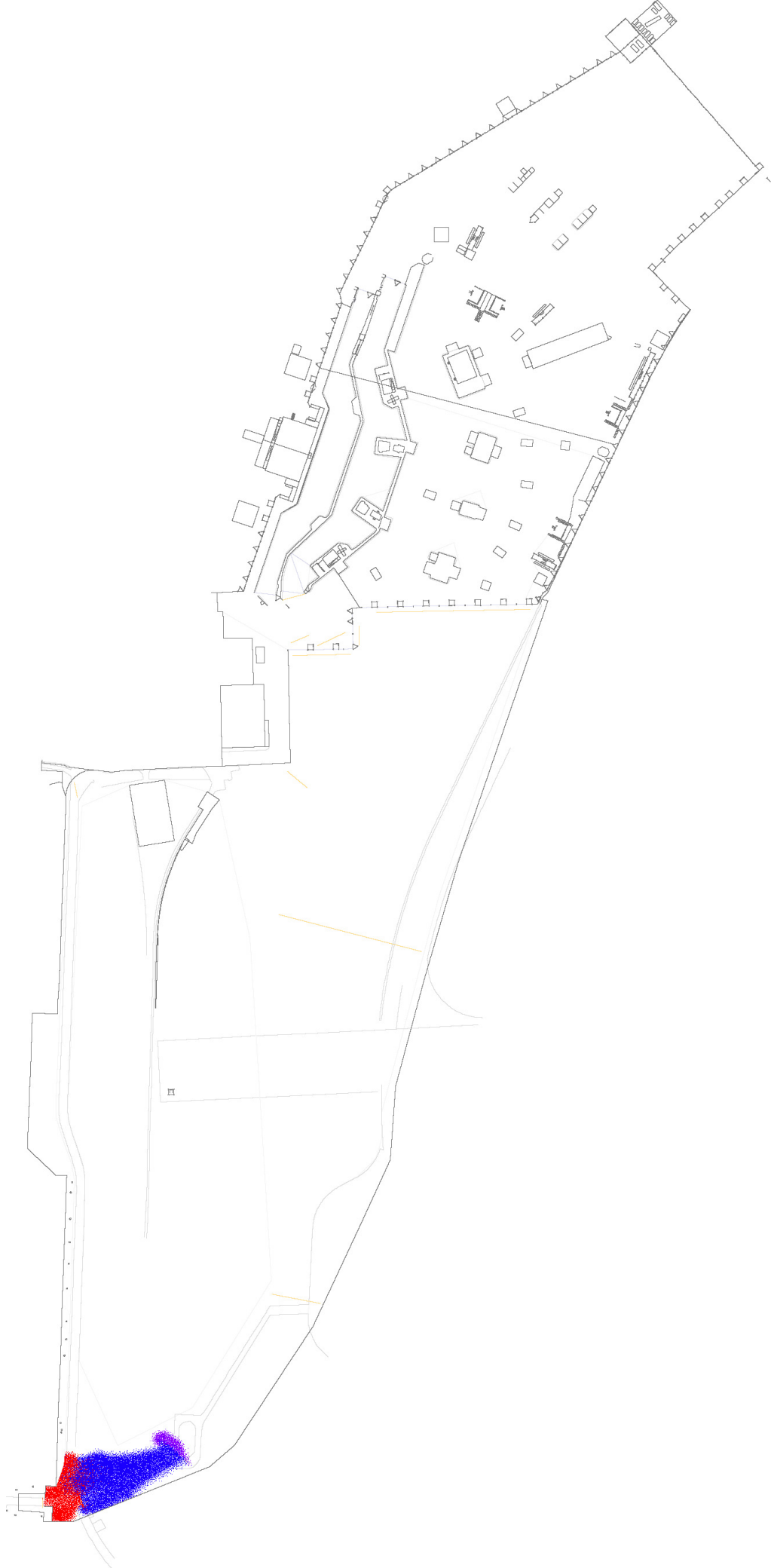
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



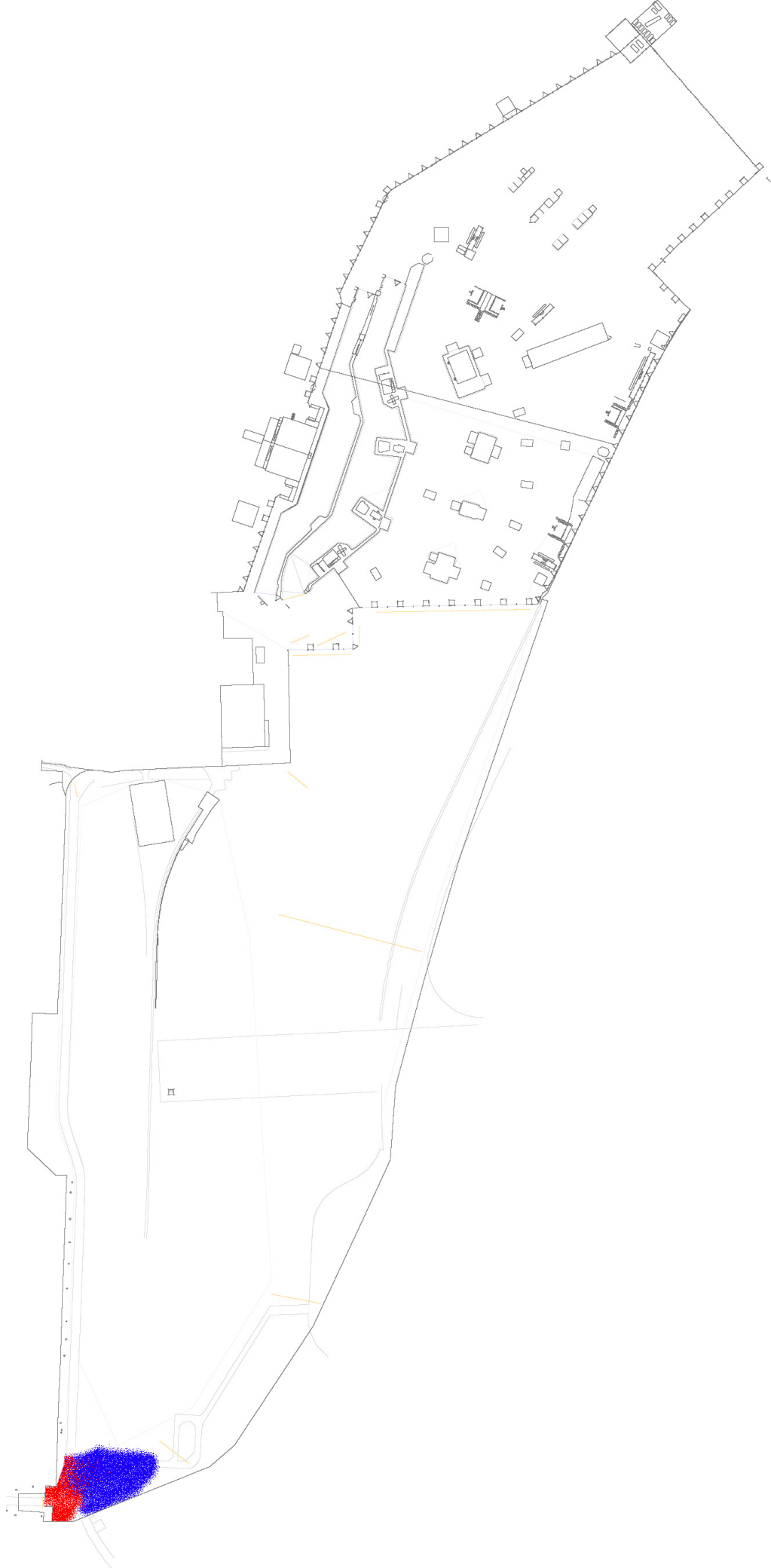
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



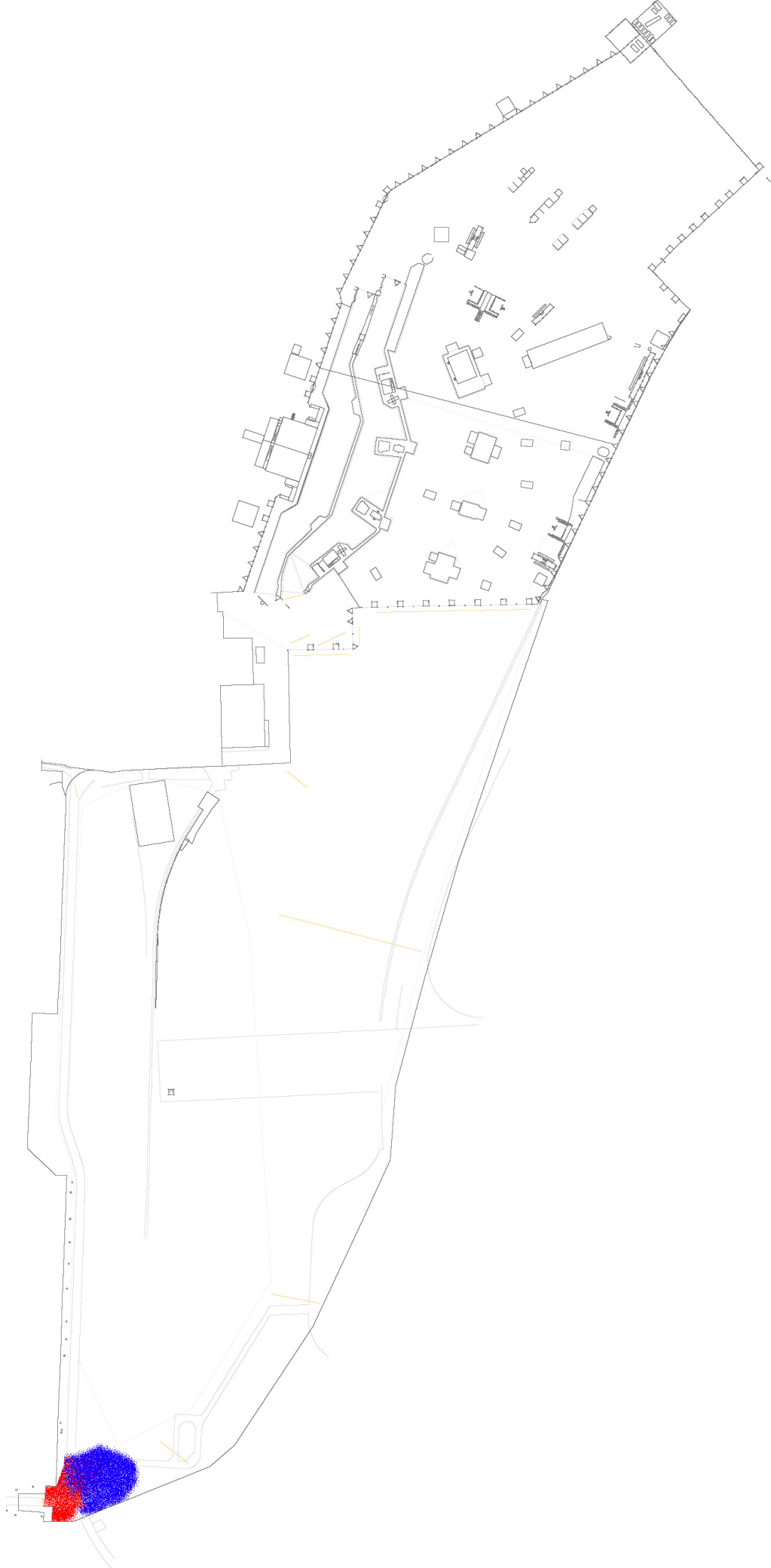
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



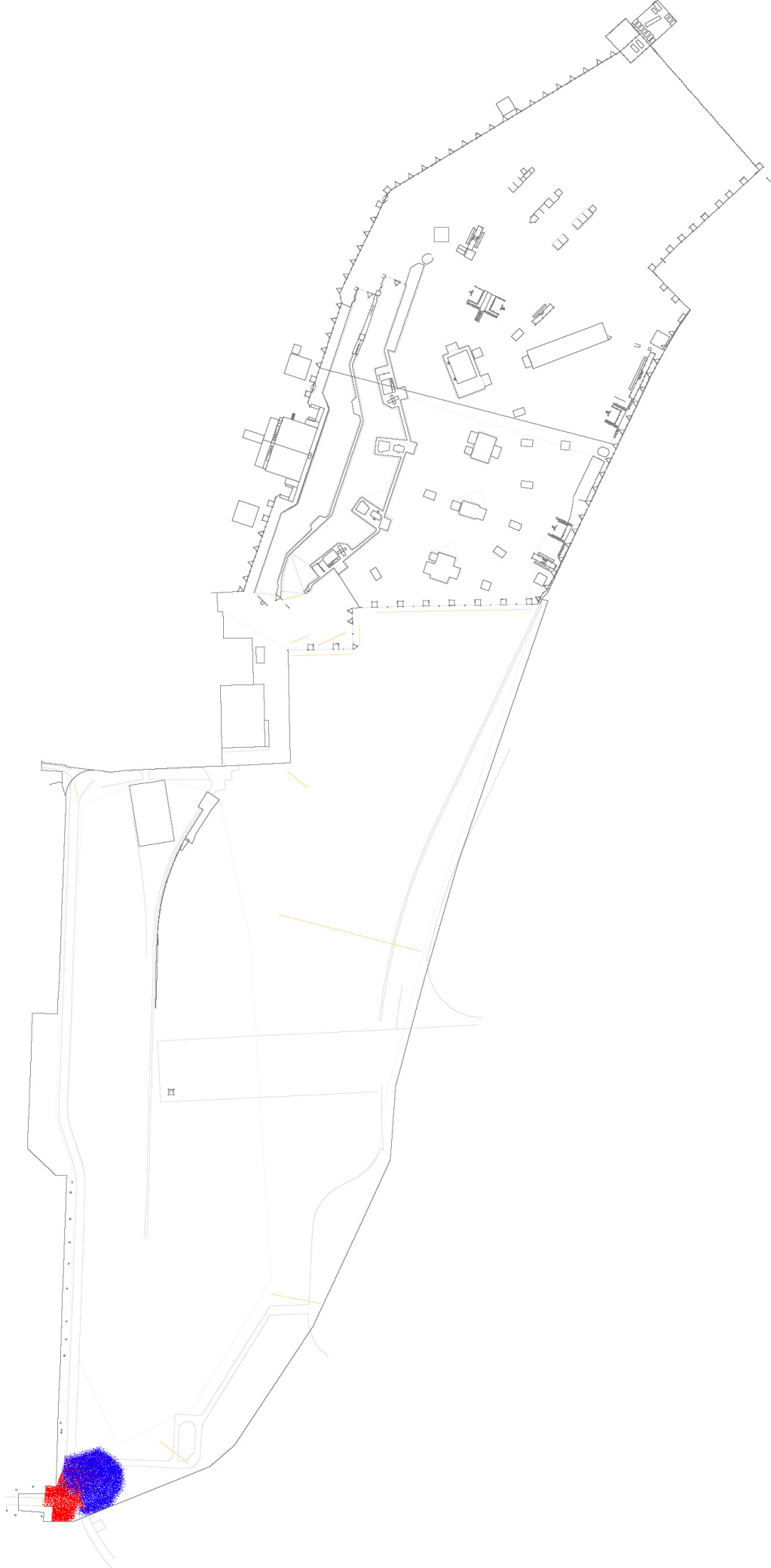
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



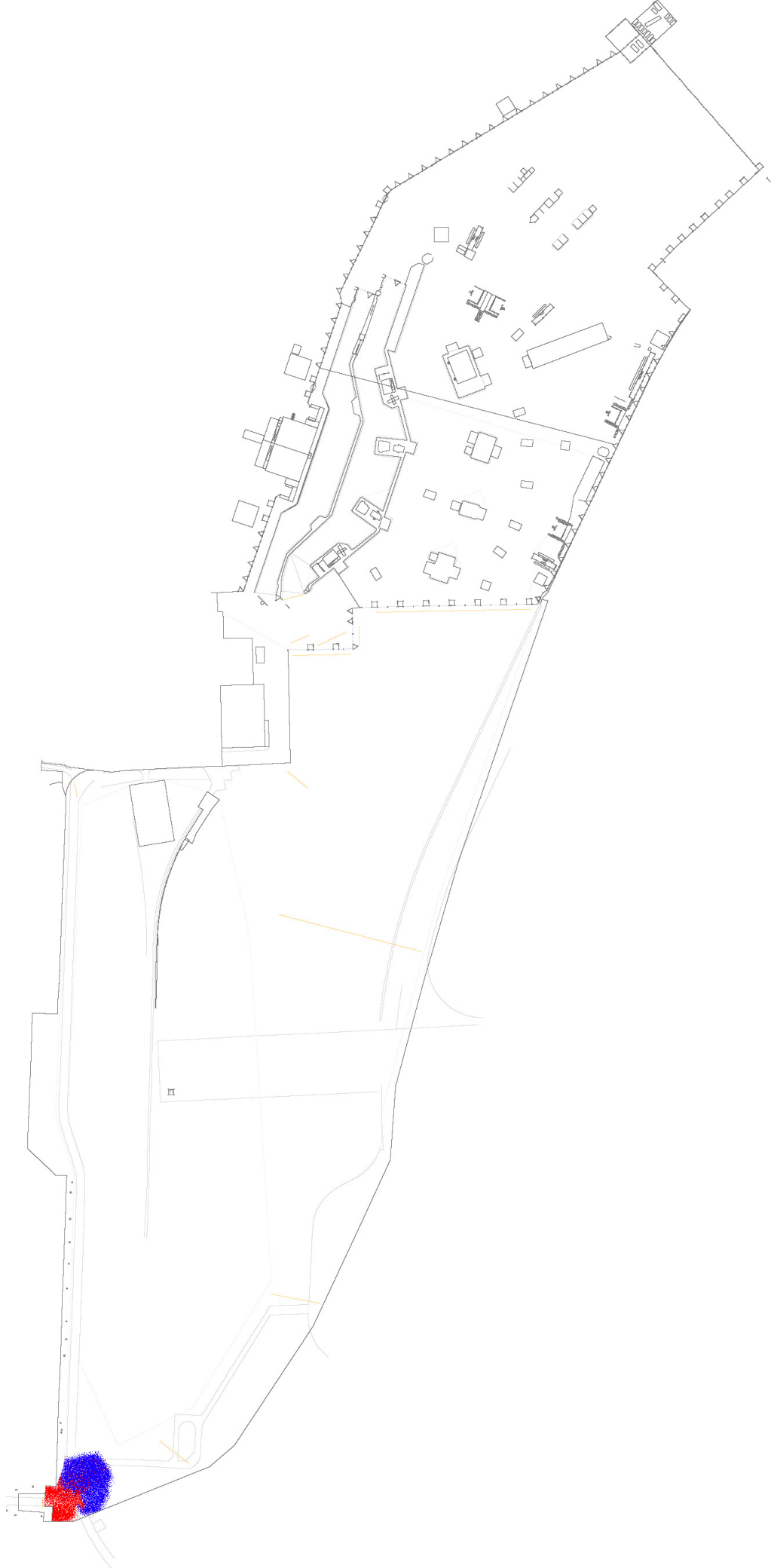
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



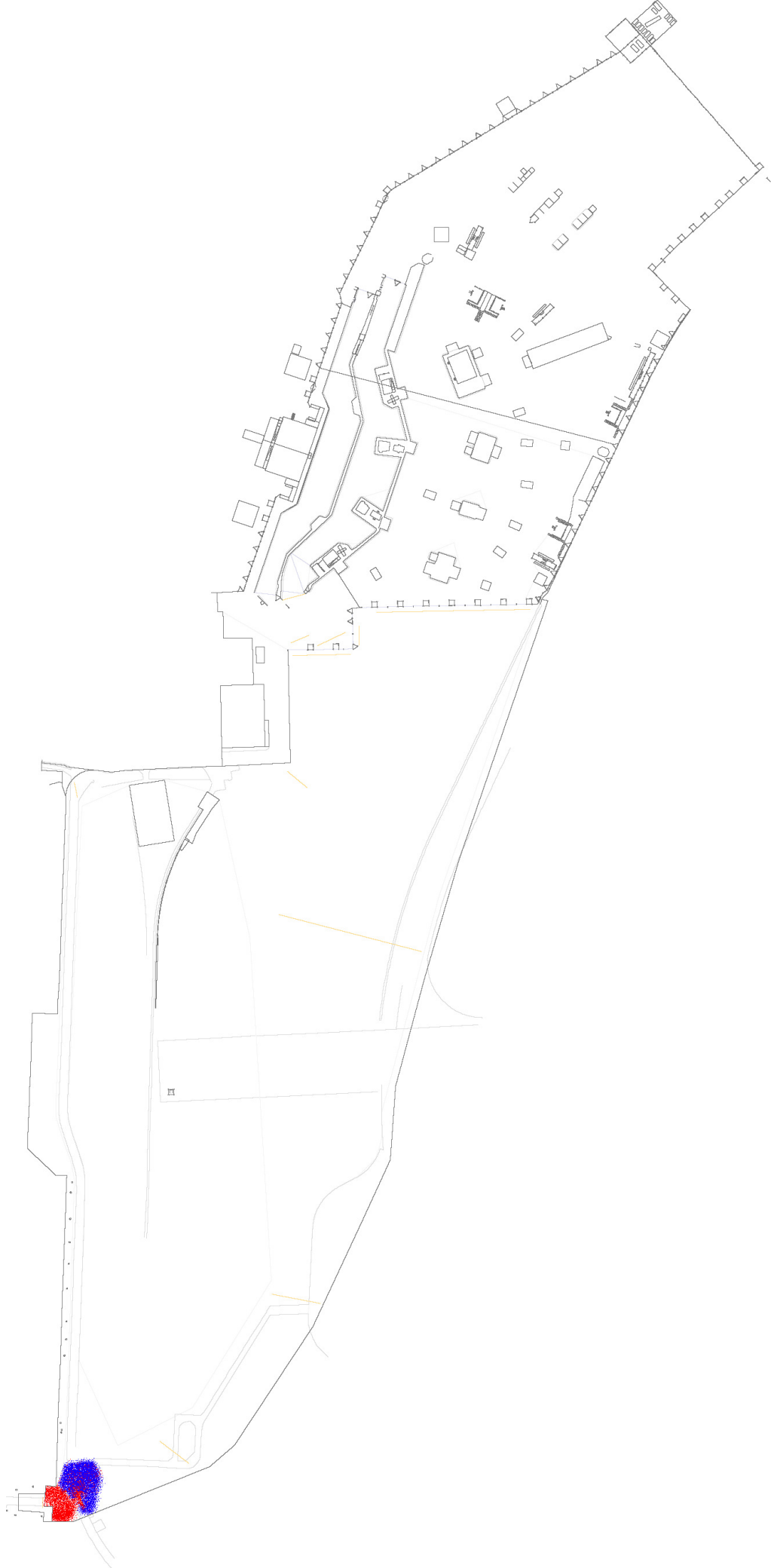
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



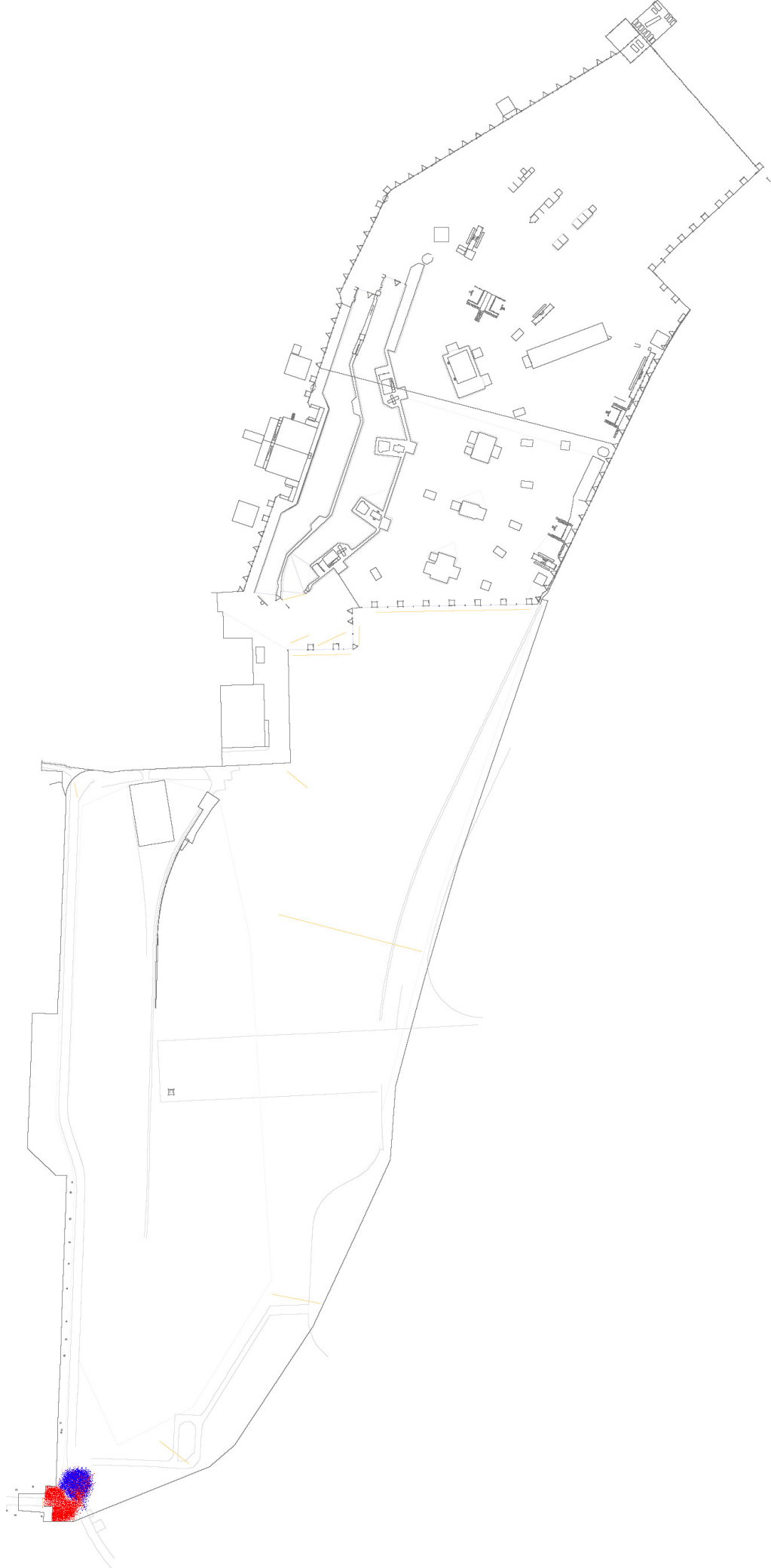
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



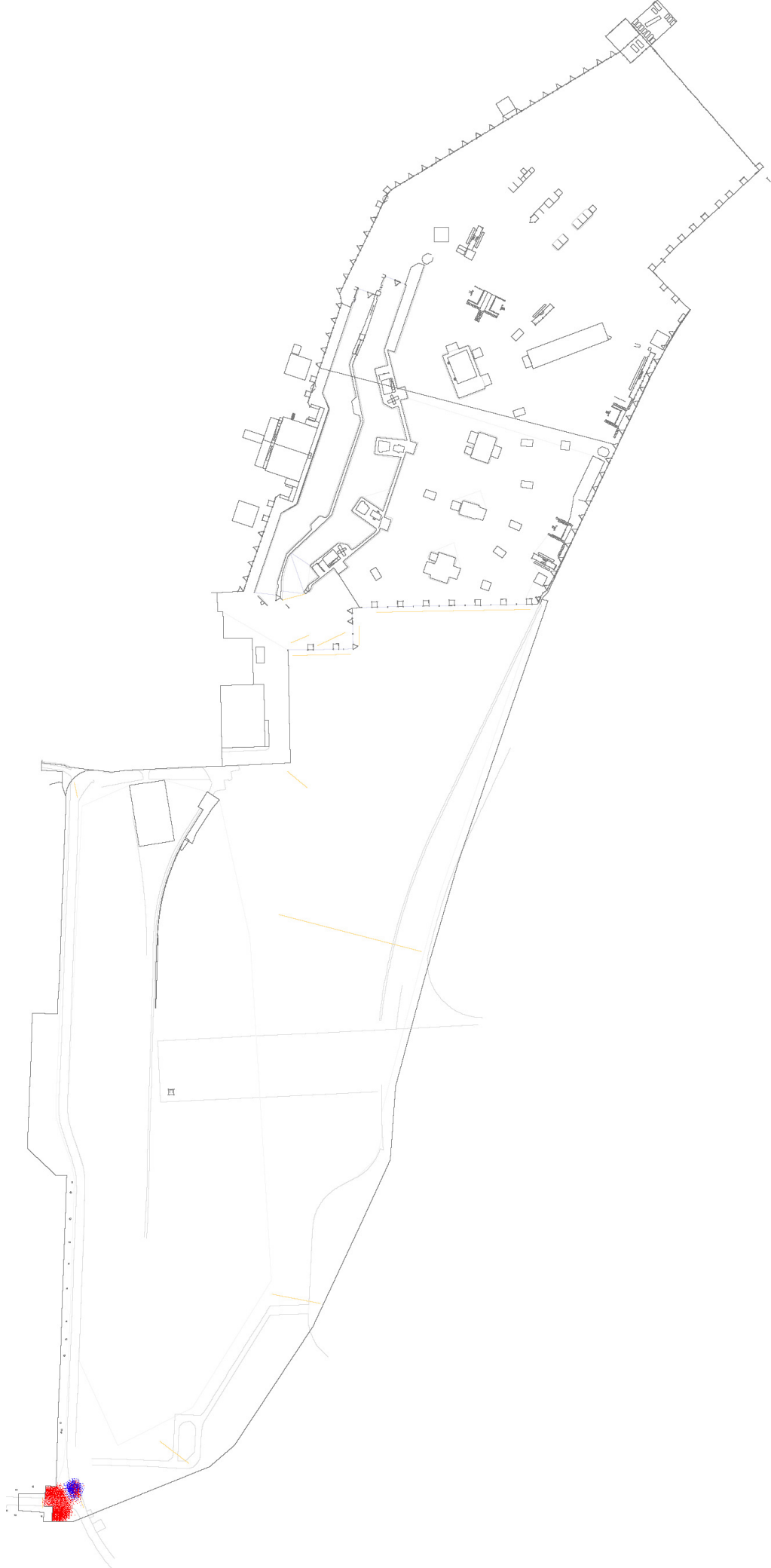
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



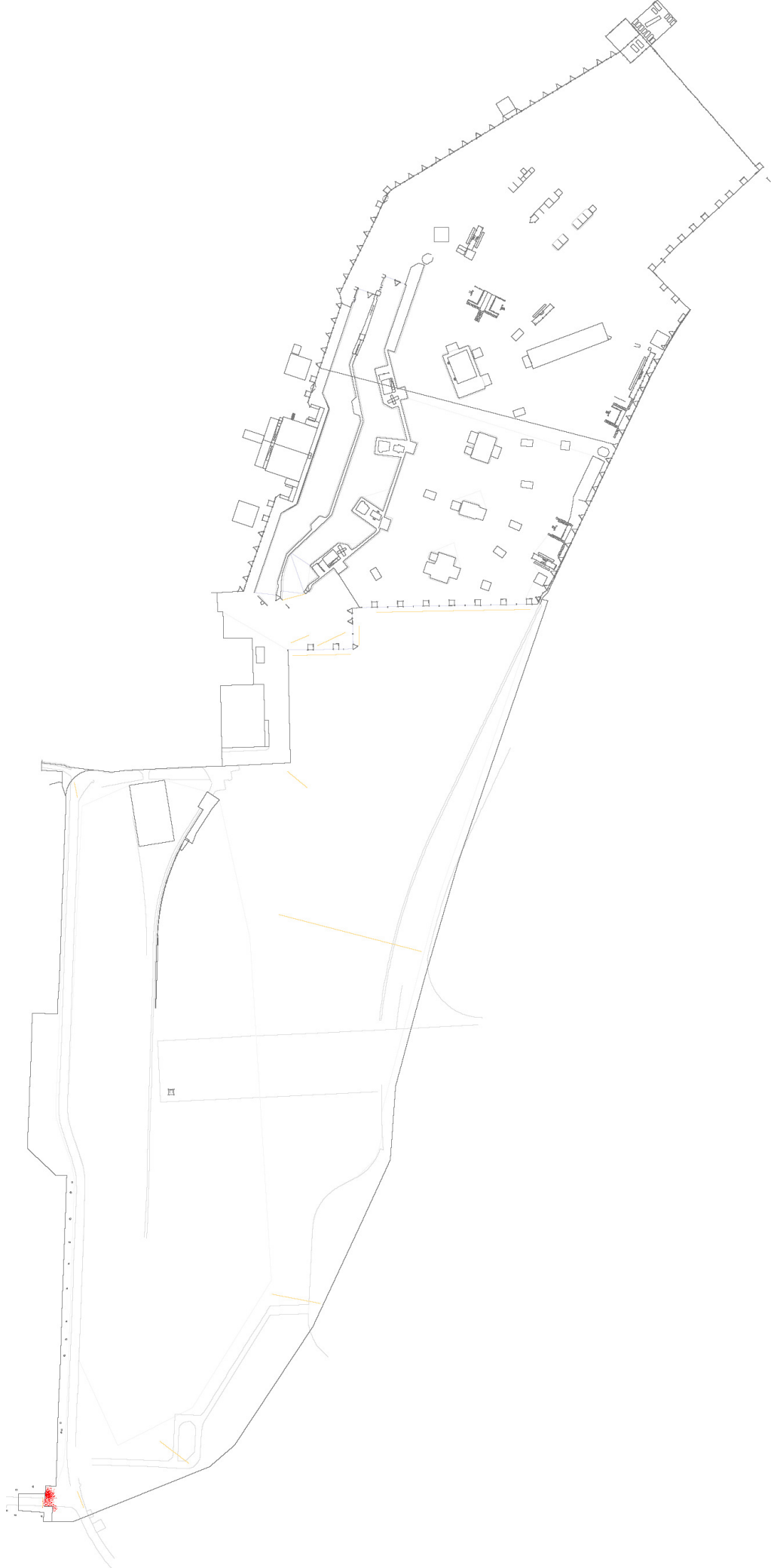
- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta

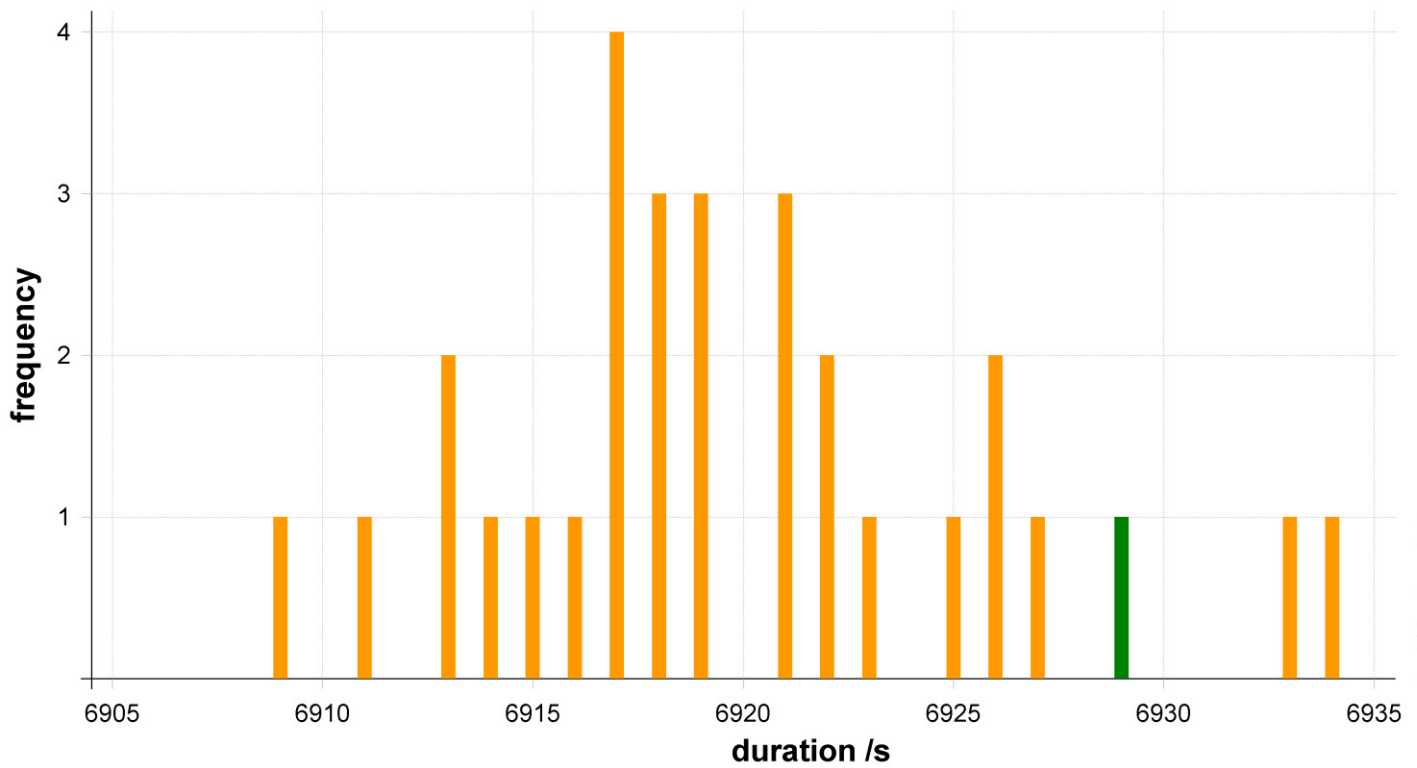


- Tor 9
- Auslass Süd
- Tor 10a
- FOS 1
- FOS 2
- Kurve A
- Kurve B
- Auslass Süd 2
- Kurve C
- Kurve D
- FOS 2 beta



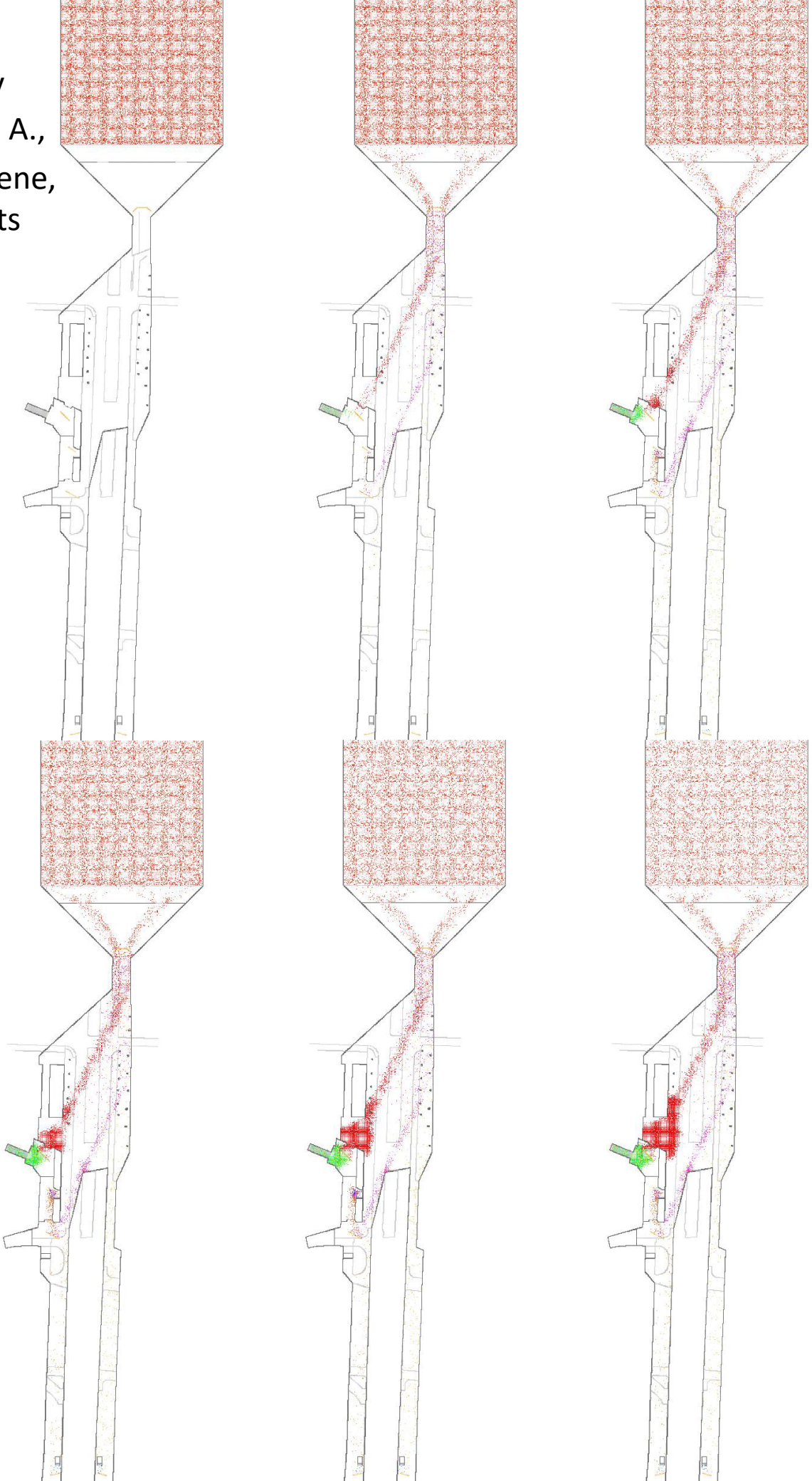
Szenario IV mit 36.000 Agenten

Häufigkeitsverteilung

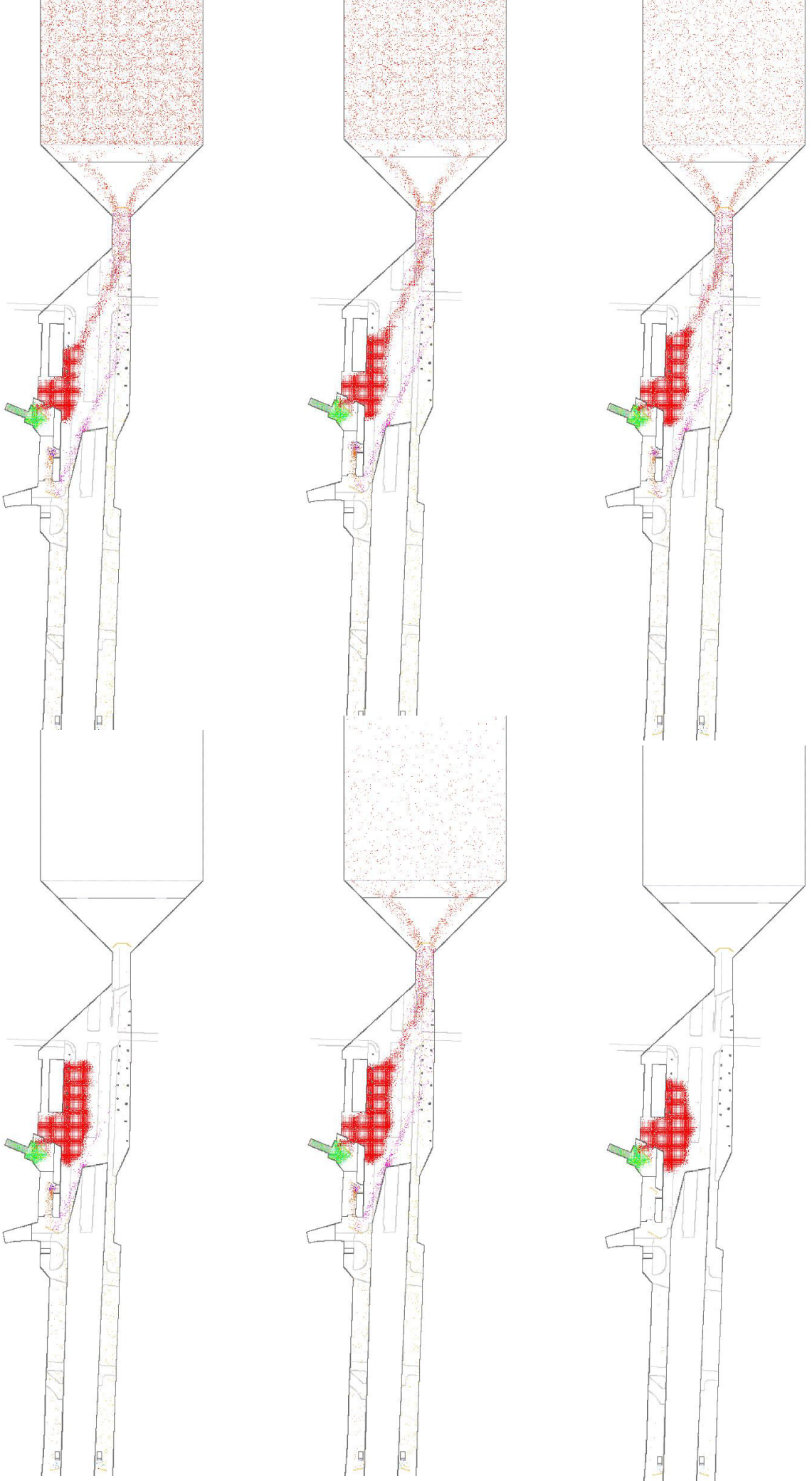


Szenario IV mit 36.000 A., Straßenebene, Screenshots

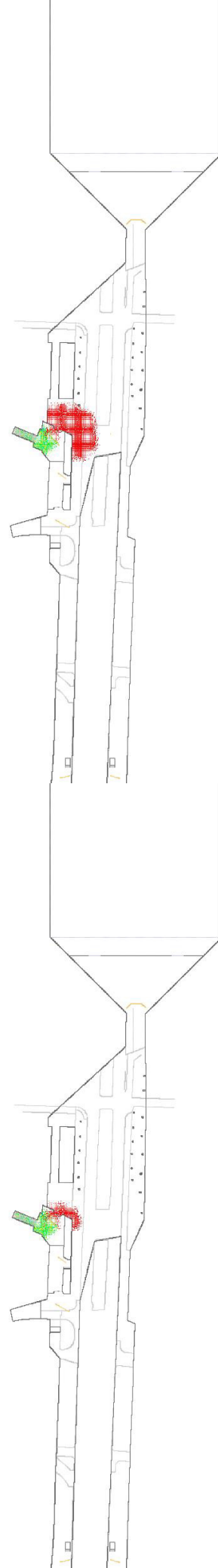
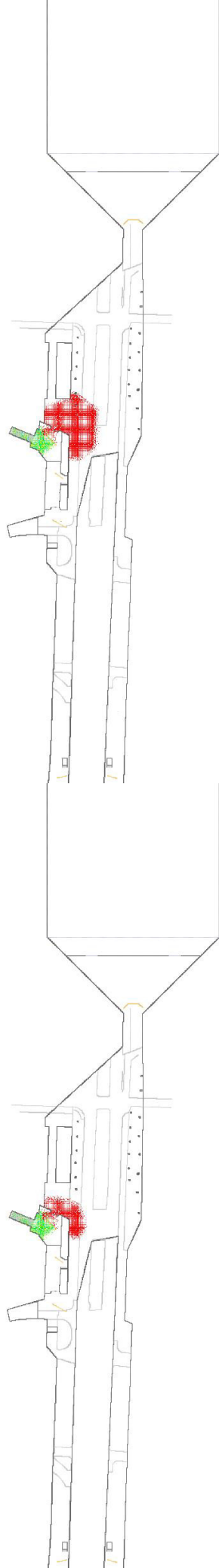
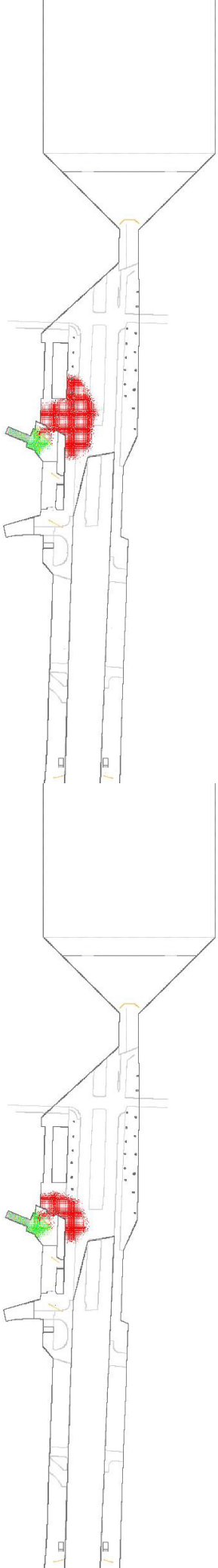
- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A



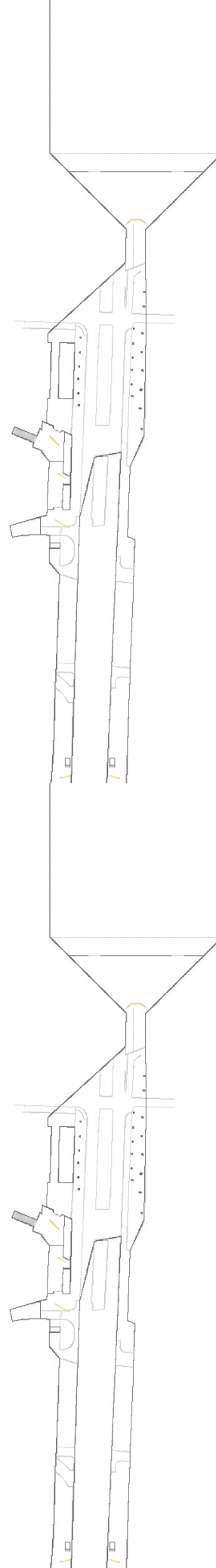
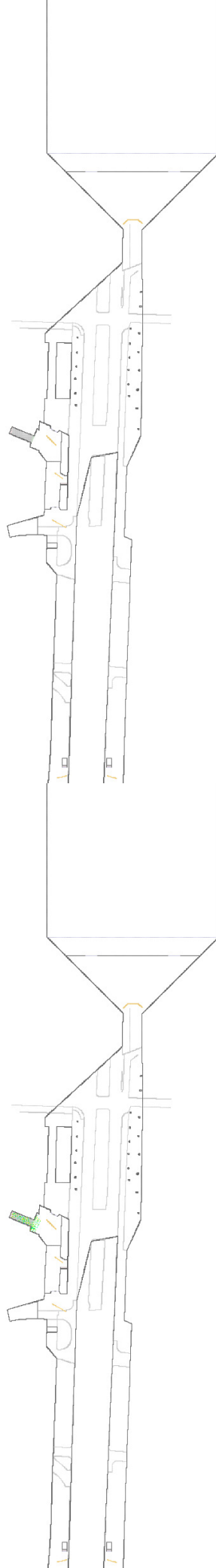
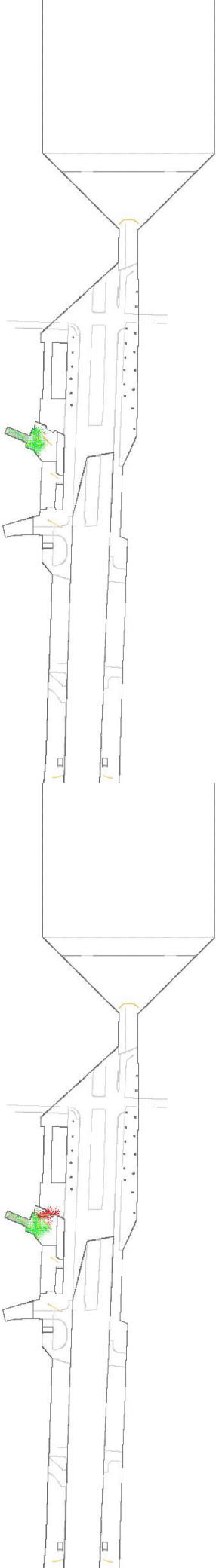
- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A



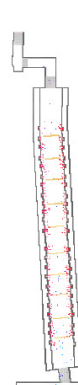
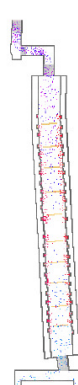
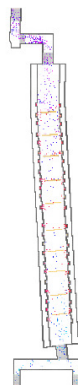
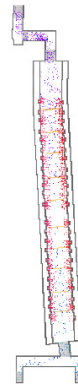
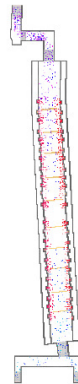
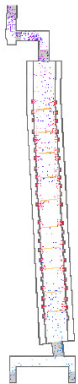
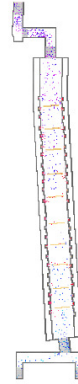
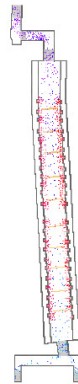
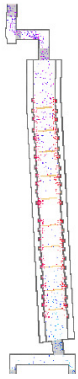
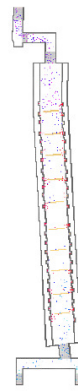
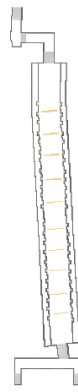
- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A



- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A

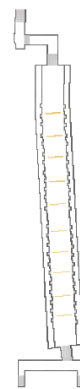
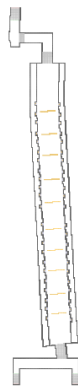
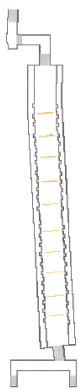
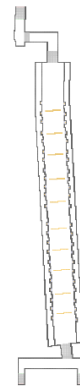
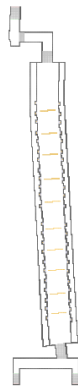
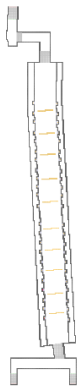
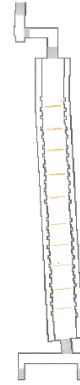
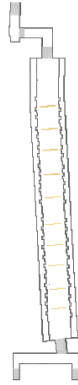
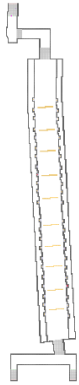
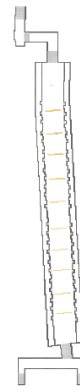
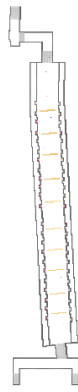
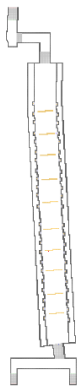


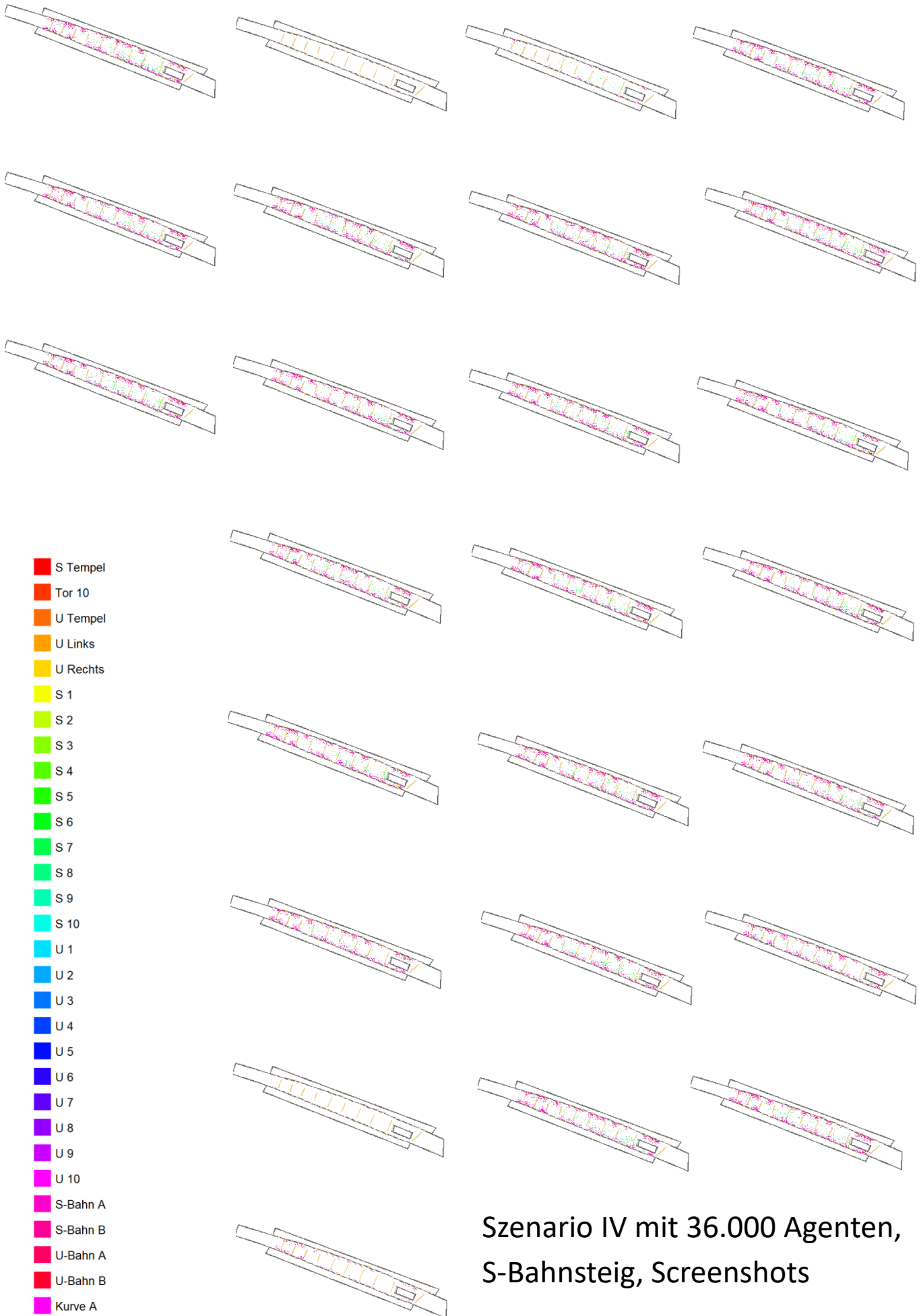
Szenario IV mit 36.000 A., U-Bahnsteig, Screenshots



- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A

- S Tempel
- Tor 10
- U Tempel
- U Links
- U Rechts
- S 1
- S 2
- S 3
- S 4
- S 5
- S 6
- S 7
- S 8
- S 9
- S 10
- U 1
- U 2
- U 3
- U 4
- U 5
- U 6
- U 7
- U 8
- U 9
- U 10
- S-Bahn A
- S-Bahn B
- U-Bahn A
- U-Bahn B
- Kurve A





Szenario IV mit 36.000 Agenten,
S-Bahnsteig, Screenshots

Eidesstattliche Erklärung

Nach § 15 Absatz 6 versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht (*APSO-INGI*, 2012).

Hamburg, den 31. August 2023

Michael Junker