

Entfluchtungsanalyse

ESAF 2013, Burgdorf (CH)

Mai 2013
Projekt Nr.: 2-5-2
15.05.2013



TraffGo HT GmbH
Bismarckstraße 142
47057 Duisburg
Deutschland

Berichtskontrollblatt

Auftraggeber: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Institut für Verkehrsplanung & Transportsysteme CH - 8093 Zürich		Auftragseingang: XX.XX.2012	
		Letzte Planänderung/Planstand: Arena: 29.11.2012 Bahnhof: unbekannt (SBB Plan) Verkehrskonzept: 24.08.2009	
Titel: Entfluchtungsanalyse ESAF 2013, Burgdorf (CH)			
Kurzbeschreibung: Zur Planung des Sicherheitskonzepts wurden für das Für die Sicherheitsplanung de Eidgenössische Schwinger- und Älplerfests 2013 in Burgdorf (CH) wurden drei Analysen angefertigt. Diese Analysen sind eine Entfluchtungsanalyse der Arena (Stadion), eine Personenstromanalyse des Abreiseverkehrs nach dem Fest (Sonntagnachmittag) und eine Betrachtung der Kapazitäten des Bahnhofs Burgdorf (Simulation und überschlägige Kapazitätsberechnung). Die Geometrien wurden vom Organisationskomitee des ESAF zur Verfügung gestellt und in die Simulation importiert. Die Randbedingungen (Population / Routen) wurden in Abstimmung mit dem ESAF festgelegt. Die hier dargestellten Ergebnisse wurden am 18.03.2013 in Burgdorf präsentiert.			
Abteilung: Fußgänger			
Bearbeiter	Tel.	Fax.	Email
Patrick Gessler	0203-87833602	0203-87833609	gessler@traffgo-ht.com
Hubert Klüpfel	0203-87833601	0203-87833609	kluepfel@traffgo-ht.com
			Datum der Ausgabe: 15.05.2013
Schlüsselwörter		Status	
<ul style="list-style-type: none"> - Entfluchtungsanalyse - Evakuierung - ESAF - Veranstaltung - Festival 		<input type="checkbox"/> Entwurf <input checked="" type="checkbox"/> abgeschlossen <input type="checkbox"/> TraffGo HT intern	
		Bericht Nr.: 1 Projekt Nr.: 2-5-2 Ausgabe Nr.: 1	
		Umfang: 82 Seiten	

Inhalt

1	Einleitung	6
1.1	Hinweis	6
1.2	Stand der Technik.....	6
1.3	Prinzipien der Simulation	6
1.4	Kalibrierung und Validierung.....	8
2	Aufgabenstellung und Szenarien	9
2.1	Detaillierte Aufgabenstellung	9
2.2	Detaillierte Szenarien.....	10
3	Ort und Gelände	12
3.1	Festgelände und Arena.....	12
3.2	Bahnhof	14
3.3	Plangrundlage.....	14
3.4	Bezug zum Sicherheitskonzept.....	15
4	Simulationsmodell	17
4.1	Software und Modellierung	17
4.2	Ausgänge.....	21
4.3	Routenführung	22
5	Population	24
5.1	Verteilung der Personen	24
5.2	Parameter der Population (Demographie)	25
6	Detaillierte Ergebnisse	27
6.1	Szenario 1 – Evakuierung der Arena	28
6.2	Szenario 2 (Festende)	33
6.3	Szenario 3 (Kapazität des Bahnhofs).....	38
7	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	43
7.1	Vergleich der Gesamtdauer und Dauer	43
7.2	Annahmen in der Simulation.....	44
7.3	Hinweis	45
7.4	Bewertung.....	45
	Anhang.....	47
A	Screenshots.....	47
A.1	Szenario 1 – Evakuierung der Arena	47
A.2	Szenario 2.....	60
A.3	Szenario 3.....	65
B	Visualisierung der Screenshots (Farbcodierung)	76
C	Mindestinhalt einer Evakuierungsanalyse nach RiMEA [10]	77
D	Kapazitätsanalyse.....	79
F	Literatur.....	82

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Layout der Wettkampfarena	13
Abbildung 2: Ausschnitt CAD - Zeichnung des Bahnhofs Burgdorf.....	14
Abbildung 3: Modellierung Arena	18
Abbildung 4: Modellierung Wegstrecke Festgelände - Bahnhof (Abreise)	19
Abbildung 5: Modellierung des Bahnhofs Burgdorf	20
Abbildung 6: Beispiel zur Verdeutlichung der Dichteberechnung.....	27
Abbildung 7: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Arena).....	29
Abbildung 8: Entfluchtungskurve Arena	30
Abbildung 9: Dichteplot der Arena.....	32
Abbildung 10: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Festende).	33
Abbildung 11: Ankunft am Bahnhof (Festende).....	34
Abbildung 12: Verlassen des Festgeländes	35
Abbildung 13: Dichteplot für die Wegstrecke Festgelände - Bahnhof	36
Abbildung 14: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Fall 3).	38
Abbildung 15: Personenströme Anreise Bahnhof Burgdorf.....	39
Abbildung 16: Personenbelegungen Wagen + Perron	40
Abbildung 17: Ausschnitt Dichteplot Bahnhof (Personenunterführung).....	41
Abbildung 18: Ausschnitt Dichteplot Bahnhof Burgdorf (Perrons)	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Plangrundlagen.	15
Tabelle 2: Personenbelegung der Arena.....	24
Tabelle 3: Populationsparameter der Personen in der Arena (Szenario 1)	26
Tabelle 4: Reaktionsdauern Szenario 2 und 3	26
Tabelle 5: Einordnung zur Bestimmung der Reaktionsdauern	25
Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.....	29
Tabelle 7: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.....	33
Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.....	38
Tabelle 9: Zusammenfassung der Dauern	43
Tabelle 10: Entleerungsdauern der einzelnen Bereiche.....	43
Tabelle 11: Farbzuoordnung der Screenshots.	76
Tabelle 12: Farbcodierung des Dichteplots.....	76
Tabelle 13: Tagesverlauf der Nachfrage Anreiseverkehr (Sonntag).	79
Tabelle 14: Leistungsfähigkeit des Bahnhofs (Personen pro Stunde).....	79
Tabelle 15: Kapazität Personenunterführungen.....	80
Tabelle 16: Detaillierte Kapazitätsbetrachtung Treppen.....	80
Tabelle 17: Verteilung der Nachfrage auf die Perrons (Abreise).....	81

1 Einleitung

1.1 Hinweis

Die Simulation stellt einen idealisierten Fall dar, bei dem sich die Personen gemäß den vorgegebenen Parametern und Routen bewegen.

Um eine Evakuierungssimulation (z.B. mit PedGo®) schnell und effizient durchführen zu können, basieren die verwendeten Algorithmen auf einem vereinfachten Modell. Daher wird nur ein Teil der in der Realität vorhandenen Einflüsse berücksichtigt. Im Wesentlichen wird die Realitätsnähe durch das Fundamentaldiagramm erzielt. Dieses beschreibt den Zusammenhang zwischen der Personendichte und der Gehgeschwindigkeit (bzw. dem Personenfluss). Ergebnisse zu psychologischen Aspekten, wie der Routenwahl und des Verhaltens, liegen bisher noch nicht quantifiziert und operationalisiert vor. Sie werden daher durch statistische Verhaltensweisen implementiert (stochastische Parameter). Da das Verhalten in der Realität durch den Einfluss psychologischer Aspekte variieren kann, wird die Realität nicht vollständig abgebildet.

1.2 Stand der Technik

Die Planung von Fluchtwegen beim Entwurf und Bau von Gebäuden gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dabei ist in letzter Zeit ein Wechsel von eher deskriptiven Methoden (Beschreibung rein geometrischer Eigenschaften der Fluchtwege) zu modernen Simulationsmodellen zu verzeichnen, die den Ablauf einer Evakuierung mit einbeziehen können.

Die Software PedGo® wird unter anderem für die Evakuierungsanalyse von Fahrgastschiffen eingesetzt und ist hierzu nach Maßgabe der *International Maritime Organisation* (kurz IMO) durch die See-Berufsgenossenschaft zertifiziert [9]. Weiterhin erfüllt sie alle Anforderungen der *Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungs-Analysen* des RiMEA-Projekts [10].

1.3 Prinzipien der Simulation

Die Grundlage der mikroskopischen Simulation ist die Darstellung einzelner Personen. Diese bewegen sich gemäß dem Evakuierungsplan zu den Ausgängen. Zu diesem Zweck wird der Grundriss in ein Gitter von quadratischen Zellen eingeteilt, die dem Raumbedarf einer Person im dichten Gedränge entsprechen. Durch die Berücksichtigung aller Personen wird eine übersichtliche und realitätsnahe Darstellung des Ablaufs einer Evakuierung ermöglicht. Nähere Details zum Modell sind in diversen Veröffentlichungen erläutert, die u. a. auf

der Homepage der TraffGo HT GmbH (www.traffgo-ht.com) zum Download bereit stehen. Außerdem enthält die Internetseite weiterführende Erläuterungen.

In der Simulation können, im Gegensatz zu so genannten Flussberechnungen, keine Personenflüsse vom Benutzer vorgegeben oder beeinflusst werden. Die Personenströme organisieren sich in Abhängigkeit der Dichte. Die Simulationsmodelle wurden dabei einmal so kalibriert, dass der Zusammenhang zwischen Personenstrom und Dichte (Fundamentaldiagramm) der Realität entspricht. Gemäß der Vorgaben IMO [9] darf der Personenstrom an Ausgängen 1,33 P/ms nicht überschreiten. Dieses Kriterium wird durch PedGo® erfüllt.

Die Routen in der Simulation sind durch das Potenzial definiert. Durch dieses Potenzialfeld ergibt sich die Laufrichtung der Personen als Gradient der Potenziallinien. Das Potenzialfeld kann damit als standortabhängiger Wegweiser für die Laufrichtung der Personen verstanden werden. Das Potenzial ist am niedrigsten an den Zielzellen, in diesem Fall bei den gesicherten Bereichen. Je entfernter sich diese Zielzellen von einem betrachteten Punkt befinden, desto höher ist an dieser betrachteten Stelle der Potenzialwert. Personen versuchen sich dabei zu den Zellen zu bewegen, die den niedrigsten Potenzialwert besitzen. Die Ausbildung des Potenzials kann im übertragenen Sinne mit einer Wellenausbreitung verglichen werden. Die Zielzellen sind dann der Ursprung der Wellenausbreitung.

Schwanken, Trägheit und Trödeln sind stochastische Parameter, welche die Abweichung vom direkten Weg bzw. das unvermittelte stehen bleiben zu Zwecken der Orientierung oder des Ausruhens erfassen. Die Schwankwahrscheinlichkeit S geht in die Berechnung der Laufrichtung gemäß der nachfolgenden Formel ein:

$$p_i = \exp\left(-\frac{(p_i - p_0) + S}{S}\right)$$

Da die Potentialdifferenz $p_i - p_0$ für einen Schritt „nach vorn“ -10 beträgt, bedeutet eine Schwankwahrscheinlichkeit von 5, dass ein Schritt nach vorn 16mal so wahrscheinlich ist wie ein Schritt zur Seite und 55mal so wahrscheinlich wie ein Schritt nach hinten. Je höher die Schwankwahrscheinlichkeit S wird, desto unwahrscheinlicher wird die Bewegung in Fluchtrichtung.

Im Gegensatz zum Schwanken führt die Trägheit dazu, dass die bisherige Laufrichtung beibehalten wird, d.h. eine Trägheit von 3 favorisiert die bisherige Laufrichtung mit diesem Faktor. Die Trägheit Θ wirkt sich wie folgt aus: Für einen Schritt nach vorn gilt:

$$p_{\text{Laufrichtung, neu}} = p_{\text{Laufrichtung}} \times \Theta$$

Die Trödelwahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Person aufgrund von Orientierungsschwierigkeiten, körperlicher Erschöpfung oder aus anderen Gründen kurz stehen bleiben muss. Eine Trödelwahrscheinlichkeit von 100% würde bedeuten, dass die Person sich nicht mehr bewegt, 5% bedeutet, dass die Personen im Schnitt 1/20 ihrer Zeit nutzen, um sich zu orientieren, auszuruhen oder aus sonstigen Gründen stehen zu bleiben.

Der Einfluss der Trödelwahrscheinlichkeit auf die resultierende Gehgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$v_{res} = v \cdot (1 - p_t) .$$

Die Reaktionsdauer beginnt mit der Wahrnehmung des Alarms und endet wenn die Personen mit der Fluchtbewegung beginnen. Richtwerte zur Reaktionsdauer liefert die Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RiMEA) [10]. Diese Tabellen sind ebenfalls im vfdb-Leitfaden für Ingenieurmethoden des Brandschutzes [15] vorhanden.

Da das Ergebnis einer Simulation statistisch verteilt ist, wird zunächst eine Mittelwertrechnung mit fünfhundert Simulationsdurchläufen durchgeführt. Hieraus ergibt sich eine Gesamtübersicht der möglichen Ergebnisse. Danach wird eine Rechnung wiederholt die der signifikanten Evakuierung entspricht, um detaillierte Daten auszuwerten.

1.4 Kalibrierung und Validierung

Die Simulationssoftware PedGo (und die maritime Version AENEAS) sind nach den Vorschriften der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) [9] auf ihre Modell-Annahmen, die Algorithmen und Funktionsfähigkeit hin validiert.

Die Software PedGo wurde für diverse Simulationen der Evakuierung von Gebäuden (Stadien, Bahnhöfe, Flughäfen, Bürogebäude), Schiffen (Ro-Ro-Fahrgastschiffe, Kreuzfahrtschiffe, Hochgeschwindigkeitsfähren), Zügen und Flugzeugen eingesetzt. Detaillierte Referenzen sind auf der Internetseite www.traffgo.ht.de abrufbar.

2 Aufgabenstellung und Szenarien

Für die Planung des Eidgenössischen Schwinger- und Älplerfestes 2013 in Burgdorf (CH) wurden die ETH Zürich, sowie die TU Berlin und die TraffGo HT GmbH (als Unterauftragnehmer) beauftragt Simulationen durchzuführen, die der Planung des Festes dienen.

2.1 Detaillierte Aufgabenstellung

Die TraffGo HT GmbH übernahm in diesem Rahmen als Unterauftragnehmer drei Aufgaben.

1. Entfluchtungsanalyse der Sportarena (Stadion)

Für den Fall einer Entfluchtung der Sportarena mit 54.600 Personen soll die signifikante Gesamtentfluchtungsdauer bestimmt werden. Dabei sollen die kürzesten, bzw. wahrscheinlichsten Routen gewählt werden

2. Personenstromanalyse nach dem Ende des Festes (Sonntag Nachmittag)

Der Veranstalter rechnet damit, dass bis zu 48.000 Personen nach dem Ende des Festes mit dem Zug über den Bahnhof Burgdorf abreisen werden. Die Aufgabe besteht in der Visualisierung und Bewertung dieser Situation.

3. Kapazitätsbetrachtung des Bahnhofs Burgdorf (CH)

Es wird das gleichzeitige Ankommen von zwei voll besetzten Personenzügen (je 960 Personen) simuliert und die Auswirkungen analysiert. Folgende weiteren Fragestellungen seitens der SBB wurden in tabellarischer Form anhand von Kapazitätsabschätzungen betrachtet (Originaltext SBB, zur besseren Lesbarkeit nur leicht verändert):

- Gesucht: Zeitbedarf, bis alle Personen (800 oder 500 Personen) das Perron (Gleis 2/3) verlassen haben, mit der Annahme, dass die Personenunterführung (PU) frei ist.
- Gesucht: Zeitbedarf, bis alle Personen (800 oder 500 Personen) das Perron (Gleis 2/3) verlassen haben, mit der Annahme, dass 5 Minuten vorher in Gleis 11 ein Zug mit 450 Personen eingetroffen ist, welche auch die PU West nehmen.
- Wieviele Personen können innerhalb von 10 Minuten vom Eingang PU (Seite Kirchbergstrasse) bis in den Zug kommen (Gleis 2/3)? Der Zug wird von der Mitte her gefüllt, damit die letzten Passagiere gleich bei der Treppe einsteigen können. Berechnet mit

der Annahme, dass die PU frei ist und die Personen in Massen daher kommen.

- Wieviele Pax innerhalb 10 Minuten, Eingang PU (Seite Kirchbergstrasse) bis alle Pax im Zug sind. Berechnet mit der Annahme, dass 30% der PU-Personen nach Gleis 1 gehen, 55% der PU-Personen nach Gleis 2/3 und 15% der PU-Personen nach Gleis 4/5.
- Zugeinfahrt: 6:21 Uhr Gleis 2, Zug mit 420 Passagieren / 6:27 Uhr Gleis 3, Zug mit 350 Passagieren / 6:30 Uhr Gleis 2, Zug mit 750 Passagieren / 6:37 Uhr Gleis 3, Zug mit 300 Passagieren. Gesucht: Ist die Kapazität der Laufwege und die der Perrons des Bahnhofs ausreichend?

Die Ergebnisse der zusätzlichen Fragen der SBB sind im Anhang des Dokuments tabellarisch aufgeführt und wurden im Vorfeld am 18.03.2013 Herrn Eichler (SBB) ausgehändigt und erläutert.

Als Population wurde die in der RiMEA-Richtlinie [10] als Standardpopulation definierte Personenzusammensetzung angenommen. Sie gibt die Altersverteilung und die Zusammenhänge zwischen Alter, Geschlecht und Gehgeschwindigkeiten in der Ebene und auf Treppen vor.

2.2 Detaillierte Szenarien

Jede Aufgabe wird nur in einem Szenario betrachtet, das jeweils im Wesentlichen der Planung des Organisationskomitees für das Fest entspricht. Dabei sollen eventuelle Schwachpunkte herausgestellt werden, damit das Organisationskomitee Entscheidungen über mögliche Anpassungen vornehmen kann.

Im Folgenden werden die Szenarien zu den drei Aufgaben beschrieben:

1. Im Falle einer nötigen Entfluchtung der Sportarena sollen alle Besucher die Sportstätte verlassen. Dabei wird angenommen, dass die Reaktionszeit zwischen 60 Sekunden und 180 Sekunden (nach RiMEA) liegt. Alle Personen nehmen den vermutlich für sie günstigsten Weg (optimal verteilt auf die Ausgänge). Das bedeutet, dass die Personen in der Regel den kürzesten Weg zu den Ausgängen nehmen. Für den unter den Mundlöchern liegenden Teil der Tribünen wird angenommen, dass mehr als die Hälfte der Besucher in dem Bereich den Weg über die Treppen nach unten, d.h. auf die Spielfläche, nehmen und dann über die ebenerdig liegenden Ausgänge das Stadion verlassen, obwohl es für sie nicht der kürzeste Weg (Laufweg in Metern) ist. Dadurch wird erreicht, dass

die Ausgänge zeitlich ungefähr gleich lang frequentiert werden, was zudem einer optimalen Verteilung der Personen in Bezug auf die Gesamtentfluchtungsdauer entspricht. Das bedeutet, dass für einzelne Personen auf der Tribüne der kürzeste Weg nicht der schnellste Weg sein muss, da ihn dort ein größerer Personenstau vor den Ausgängen erwarten würde.

2. Das ESAF 2013 erstreckt sich über ein ganzes Wochenende (Freitag – Sonntag) und endet am Sonntagnachmittag mit der Siegerehrung. Anschließend wird erwartet, dass alle Festbesucher gleichzeitig versuchen werden das Gelände zu verlassen, da es auf dem Festgelände nicht vorgesehen ist nach Beendigung der Siegerehrung Programm und Verpflegung anzubieten. Das Organisationskomitee rechnet damit, dass bis zu 48.000 Personen versuchen werden über den Bahnhof Burgdorf mit der Bahn abzureisen. Diese Menschen werden das Festgelände über zwei Ausgänge verlassen. Ausgang 1 führt auf den Eyfeldweg und von dort zum Bahnhof. Ausgang zwei führt über eine vier Meter breite Militärbrücke über die Emme auf einen Naturpfad, der in der Straße „Neumattschachen“ endet. Die beiden Personenströme treffen an der Kreuzung Neumattschachen / Eystraße / Felseggstraße zusammen. An dieser Kreuzung wird der dort vereinte Personenstrom auch gleichzeitig wieder so aufgesplittet, dass die beiden Personenunterführungen des Bahnhofs zu $\frac{2}{3}$ (32.000 Personen, Personenunterführung West) und $\frac{1}{3}$ (16.000 Personen) belastet werden. Die Schweizer Bundesbahn (SBB) nimmt dabei an, dass das Perron $\frac{2}{3}$ von 55%, das Perron 1 von 30% und das Perron $\frac{4}{5}$ von 15% aller Bahnreisenden für die Rückfahrt genutzt wird.
3. Damit die Kapazitäten des Bahnhofs abgeschätzt werden können, wird die Abwicklung des ankommenden und abfahrenden Verkehrs im Bahnhof Burgdorf von den Gleisen bis zum Bahnhofsausgang betrachtet. Dabei wird in einer Simulation angenommen, dass am Perron $\frac{2}{3}$ und am Perron $\frac{4}{5}$ gleichzeitig jeweils ein Zug mit 960 Personen ankommt. Die Reisenden verlassen die Perrons über den kürzesten Weg. Dazu stehen ihnen die Personenunterführungen West mit zwei Abgängen (1 Treppe, 1 Rampe) und die Personenunterführung Ost mit einem Treppenabgang zur Verfügung.

3 Ort und Gelände

Das Eidgenössische Schwinger- und Älplerfest (ESAF) findet vom 30.08.2013 – 01.09.2013 in Burgdorf (Schweiz) statt. Burgdorf liegt im Kanton Bern und dort im Verwaltungskreis Emmental. Die Gemeinde hat auf einer Fläche von 15,6 km² 15.584 Einwohner (Stand: 31.12.2011, Wikipedia). Im Norden der Kommune fließt die Emme in Ost – West Richtung. Nordwestlich des Kerns kann über eine Fernstraße in wenigen km Entfernung die Autobahn 1 (E 25) erreicht werden, über die man z.B. nach Bern fahren kann (Nord – Süd Verbindung).

3.1 Festgelände und Arena

Das Festgelände liegt nördlich des Gemeindekerns und wird im Süden durch die Emme begrenzt. Im Norden wird die Grenze des Geländes von der Straße Eyzälg und dem angrenzenden Wald bestimmt, im Westen und Osten werden die Grenzen durch Zäune realisiert. Das Fest wird hauptsächlich auf Weideböden ausgerichtet. Die westliche Hälfte des Geländes wird als Campingfläche ausgewiesen, während auf dem östlichen Teil das eigentliche Festgelände errichtet wird. Neben diversen Promotionständen und Festzelten wird auf dem Festgelände ca. zentral eine Wettkampfarena errichtet. Diese besteht aus sechs Haupttribünen, sowie jeweils vorgelagerten Vortribünen und Rasenplätzen, die zusammen die Form eines Hexagons bilden und Platz für 54.600 Personen bieten (vgl. Abbildung 1).

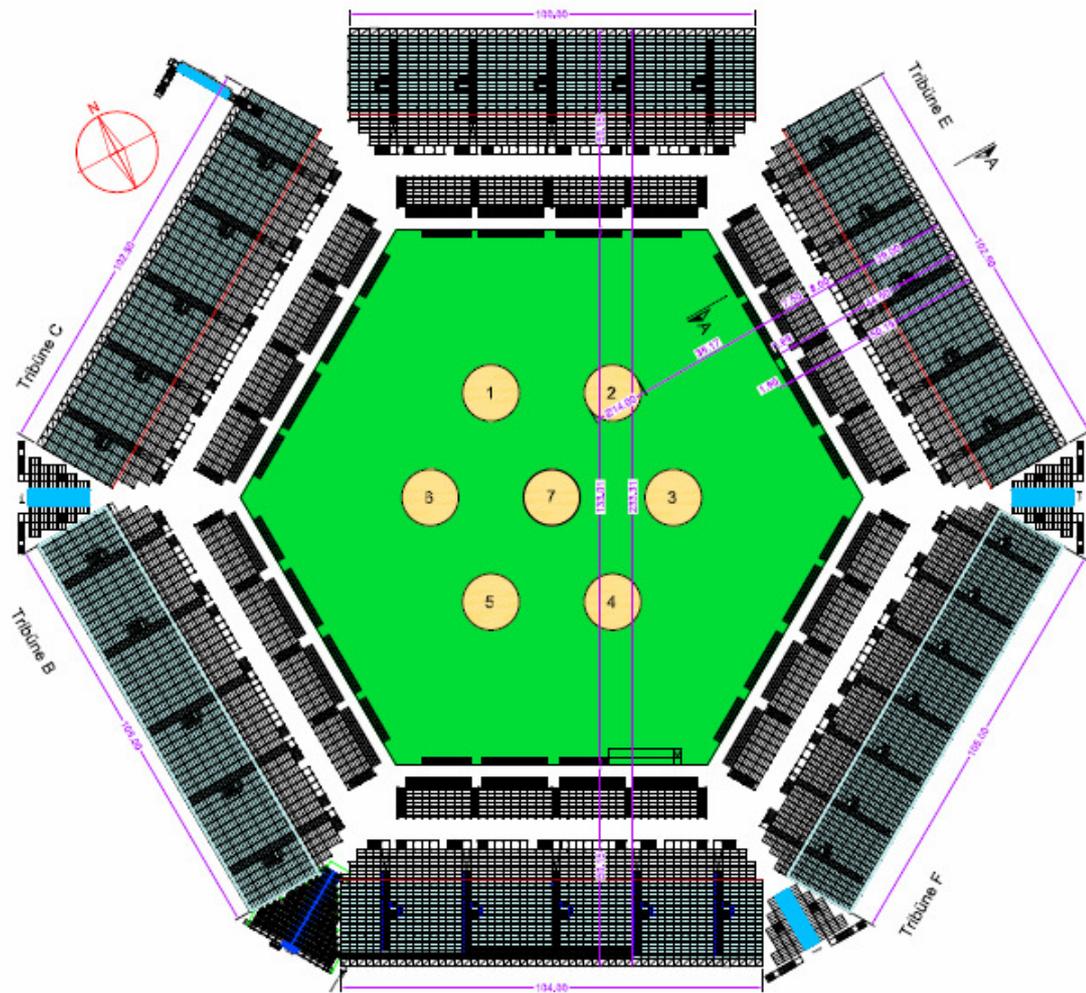


Abbildung 1: Layout der Wettkampfarena

Die Haupttribünen A bis E können jeweils über fünf Mundlöcher betreten und verlassen werden, während Haupttribüne F sieben Mundlöcher aufweist. Die Mundlöcher sind über eine Treppe unter der Tribüne mit dem Festgelände verbunden.

Die Verteilung der Personen auf die Reihen erfolgt über die pro Mundloch angrenzende Treppe auf der Tribüne. Sie weisen jeweils die gleiche Breite auf. Zusätzlich kann über diese Treppe am unteren Ende auch das Gelände im Innenraum der Arena erreicht werden, womit eine zweite Möglichkeit zum Betreten / Verlassen möglich ist.

Die sechs Vortribünen sind jeweils über fünf Treppen vom Innenraum erreichbar, die Rasenplätze liegen ebenerdig davor.

Zusätzlich weist das Wettkampfstadion in den Ecken zwischen den Haupttribünen A – B, B – C, E – F und F – A eine dreieckige Tribüne (Spickel) auf. Spickel

A – B ist als Pressetribüne vorgesehen, die drei anderen Tribünen sind Stehplatztribünen.

3.2 Bahnhof

Burgdorf besitzt einen Bahnhof mit insgesamt drei Perrons (Perron 1/11, 2/3 und 4/5), der an das Nah- und Fernverkehrsnetz der SBB angeschlossen ist. Die Gleise verlaufen in West – Ost Richtung. Sie werden von zwei Nord – Süd verlaufende Personenunterführungen unterirdisch gekreuzt und können so von Passagieren erreicht werden. Die westliche Personenunterführung verbindet die Kirchbergstraße in Höhe der Firma Kunz Kunath AG mit der Bahnhofstraße. Der Tunnel ist ca. 4,48 m breit und hat zu den Perrons 2/3 und 4/5 jeweils zwei Aufgänge, bestehend aus einer Treppe (Breite ca. 2 m) und einer Rampe (Breite ca. 2 m).

Die zweite Personenunterführung liegt ca. 150 m östlich, verläuft ca. parallel zum westlichen Tunnel und verbindet die Kirchbergstraße mit der Poststraße. Die Unterführung ist ca. 4,15 m breit und durch eine steile, ca. 2 m breite Treppe jeweils mit dem Perron 2/3 und dem Perron 4/5 verbunden.

Das Perron 1/11 liegt ebenerdig zur Bahnhofstraße und ist von dort auch begehbar (vgl. Abbildung 2).

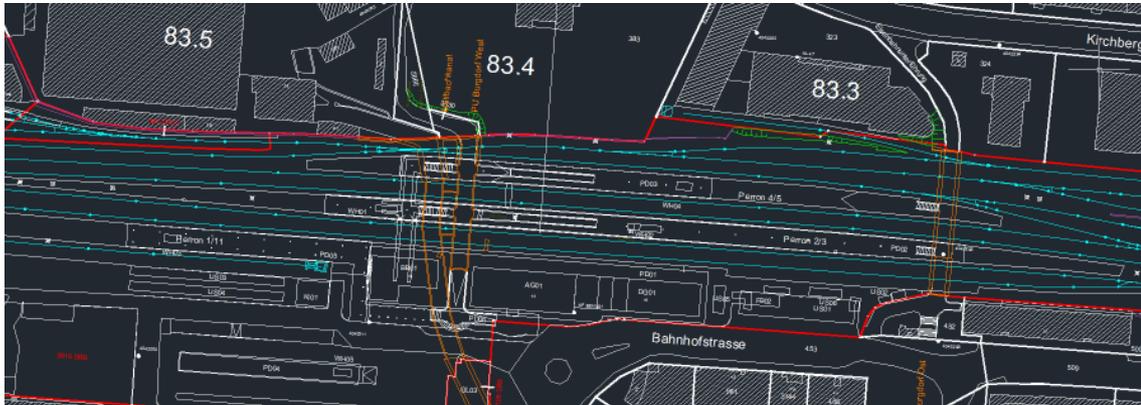


Abbildung 2: Ausschnitt CAD - Zeichnung des Bahnhofs Burgdorf

3.3 Plangrundlage

Die Aufteilung des Grundrisses in Zellen erfolgt anhand der vom Organisationskomitee des ESAF 2013 gelieferten Pläne. Die für die Simulation und die Erstellung des Modells verwendeten Unterlagen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Die Züge für das Szenario 3 wurden ohne Plangrundlage erstellt und stellen beispielhaft jeweils einen Zug mit sechs Wagen dar.

Datum	Uhrzeit.	Bytes	Dateiname
08.10.2012	09:14:08	26.617.977	2012-10-08 - Übersichtsplan.dxf

05.11.2012	16:03:16	8.270.415	ESAF2013_3D Ansicht Gelände.pdf
05.11.2012	16:02:40	2.691.715	ESAF2013_Übersichtsplan.pdf
30.05.2012	09:48:46	195.584	2012-02-02 - ESAF Umzug Aktennotiz 2.2.2012.doc
30.05.2012	09:48:43	125.200	2012-11-08 - Protokoll 28.03.12.pdf
02.11.2012	10:58:24	890.903	2012-11-02 - Bahnhof.dxf
02.11.2012	11:13:34	253.588	2012-11-02 - Bahnhof_burgdorf.dwg
02.11.2012	11:13:47	969.432	2012-11-02 - Bahnhof_burgdorf.dxf
05.11.2012	15:26:32	817.426	2012-11-05 - Fahrplan Samstag.pdf
05.11.2012	15:26:40	1.119.333	2012-11-05 - Fahrplan Sonntag.pdf
05.11.2012	15:26:47	253.515	2012-11-05 - Kapazitäten der einzelnen Züge.pdf
22.11.2012	10:16:31	3.141.561	2012-11-22 - Konzept Bahnhof V1.pdf
30.11.2012	14:31:24	3.694.995	2012-11-30 - Bahnhof Burgdorf.dwg
25.10.2012	16:46:41	1.465.071	2012-10-25 - aufgeraeumt_Situation_01.dwg
26.10.2012	10:44:34	4.289.801	2012-10-26 - aufgeraeumt_Situation_01.dxf
23.11.2012	15:50:51	509.200	2012-11-23 - Wegstrecke mit zwei Ausgängen.dwg
22.11.2012	10:12:16	308.465	Stauraumkonzept 2013_01.05.2012.pdf
22.11.2012	10:12:02	42.423	Tabelle Warte- und Stauräume.pdf
22.11.2012	10:12:07	342.312	Warte- und Stauräume.pdf
19.10.2012	08:48:22	1.112.546	2011-05-03 - Scan Mengengerüst Stand.pdf
26.02.2013	10:24:42	15.741	Mengengerüst für Simulationsmodell Kapo.docx
12.11.2012	10:44:46	3.141.561	2012-11-12 - Konzept Bahnhof V1.pdf
01.06.2012	11:19:38	816.872	2012-11-26 - Buslinien.pdf
01.06.2012	11:19:55	875.342	2012-11-26 - Fussgaengerfuehrung.pdf
30.05.2012	09:48:52	838.402	2012-11-26 - Info Fusswege ESAF 2013.pdf
14.12.2012	12:17:56	251.892	2012-12-14 - Stauraumkonzept.pdf
25.02.2013	12:28:27	1.511.117	2013-01-08 - Zugquerschnitte SBB.7z

Tabelle 1: Plangrundlagen.

3.4 Bezug zum Sicherheitskonzept

Die detaillierten Sicherheitsmaßnahmen (schriftliches Sicherheitskonzept) waren der Firma TraffGo HT GmbH zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Auswertung nicht bekannt. Die hier erstellten Analysen dienen als zusätzliche Planungsgrundlage für das Organisationskomitee, einerseits für die Erstellung des Sicherheitskonzepts, andererseits zur Abschätzung der benötigten Ressourcen / Infrastrukturen für die zu erwartenden Personenströme. Es wird angenommen, dass für das Festgelände die geltenden brandschutz- und sicherheitstechnischen Maßnahmen der Schweiz eingehalten werden. Dazu zählt insbesondere eine Lautsprecheranlage, um im Schadensfall die betroffenen Personen zu informieren, sowie geschulte Brandschutzhelfer. Festlegungen zum organisatorischen Brandschutz und zu organisatorischen Sicherheitsmaßnahmen sowie zur brandschutztechnischen und Sicherheits-Infrastruktur müssen im Sicherheits-

konzept aufgeführt sein. Die Voraussetzungen für die Gültigkeit der vorliegenden Personenstrom- und Evakuierungsanalyse (siehe hierzu auch RiMEA [10]) sind:

- Beschreibung der Vorkehrungen für den organisatorischen Brandschutz (z.B. Angaben zu verantwortlicher Person, Brandschutzbeauftragten, Sicherheitskräften nach SBauVO Teil 3 (deutsches Gesetz))
- Art der brandschutztechnischen Infrastruktur (z.B. Angaben zu BMA, ELA, Sicherheitsbeleuchtung, Fluchtwegkennzeichnung, Fluchtwegeleitsystem)

4 Simulationsmodell

4.1 Software und Modellierung

Die verwendete Software für die Entfluchtungsanalyse ist die Evakuierungssimulation PedGo® der TraffGo HT GmbH in der Version 2.5.0.8.

Die Grundlage dieser Simulation bildet ein so genanntes Multi-Agenten-Modell, welches auf einem Zellularen Automaten aufbaut. Somit werden Personen als Individuen mit eigenständigen Verhaltensweisen, Fähigkeiten und Zielen in diskretem Raum und diskreter Zeit repräsentiert.

Die Aufteilung des Raumes erfolgt in ein quadratisches Zellgitter mit einer jeweiligen Zellkantenlänge von 0,4 Metern. Die Zeitschrittweite beträgt 1 Sekunde. Durch die Zellkantenlänge ist die Dichte der Personen auf 6,25 m² begrenzt. Für weitere Informationen zur Software und dem zugrunde liegenden Rechenverfahren sei auf das Handbuch [8] verwiesen. Dieses ist unter www.traffgo.ht.com frei zum Download verfügbar.

Die Pläne werden in PedGo importiert und in ein diskretes Format umgewandelt. Korrekt modelliert werden nur die während der Entfluchtung von den Personen betretenen Flächen. Daraus ergeben sich die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Grundrisse. Bei der Modellierung der Arena wurden das Geländenniveau und die Tribünen auf zwei unterschiedlichen Ebenen erstellt. Für den Bahnhof wurden die Perrons mit den eingefahrenen Zügen auf einer Ebene modelliert, während die Personenunterführungen und Ausgänge auf einer zweiten Ebene liegen.

In der nachfolgenden Abbildung 3 ist der Grundriss der Arena dargestellt, wie er in der Simulation verwendet wird. Wie bereits erläutert, handelt es sich dabei um eine vereinfachte Darstellung, die sich auf die für die Analyse des Evakuierungsablaufs notwendigen Details beschränkt.

In der Abbildung sind zwei Ebenen dargestellt. Die Tribünen mit den Personen liegen auf der oberen Ebene. Auf der unteren Ebene liegt der Innenraum der Arena, in dem die Wettkämpfe stattfinden.

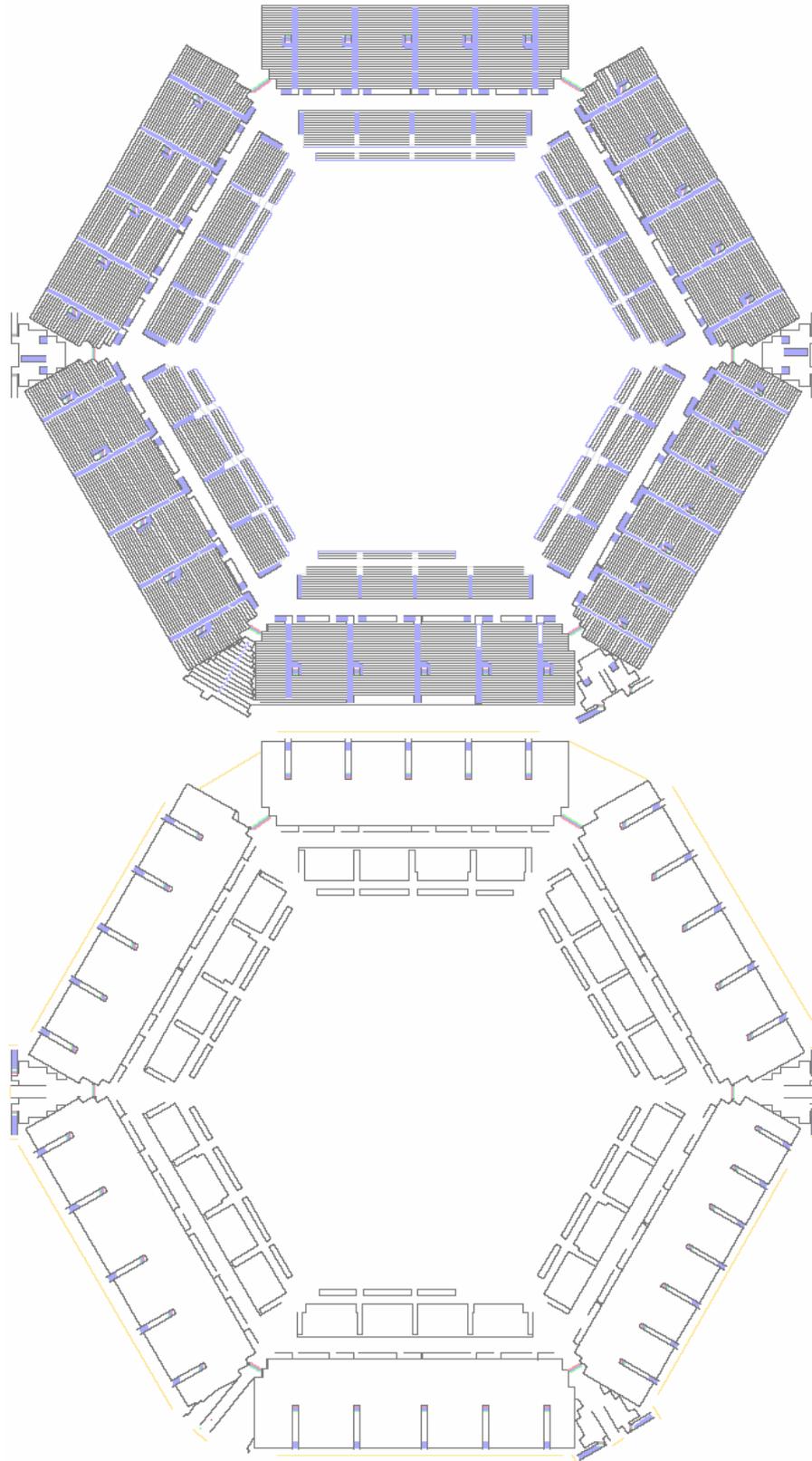


Abbildung 3: Modellierung Arena

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt das Straßennetz zwischen Festgelände und Bahnhof. Im Modell für den Abreiseverkehr wird der Grundriss verwendet, der in der Abbildung dargestellt ist. Es handelt sich wiederum um einen für die Zwecke der Simulation vereinfachten Grundriss.

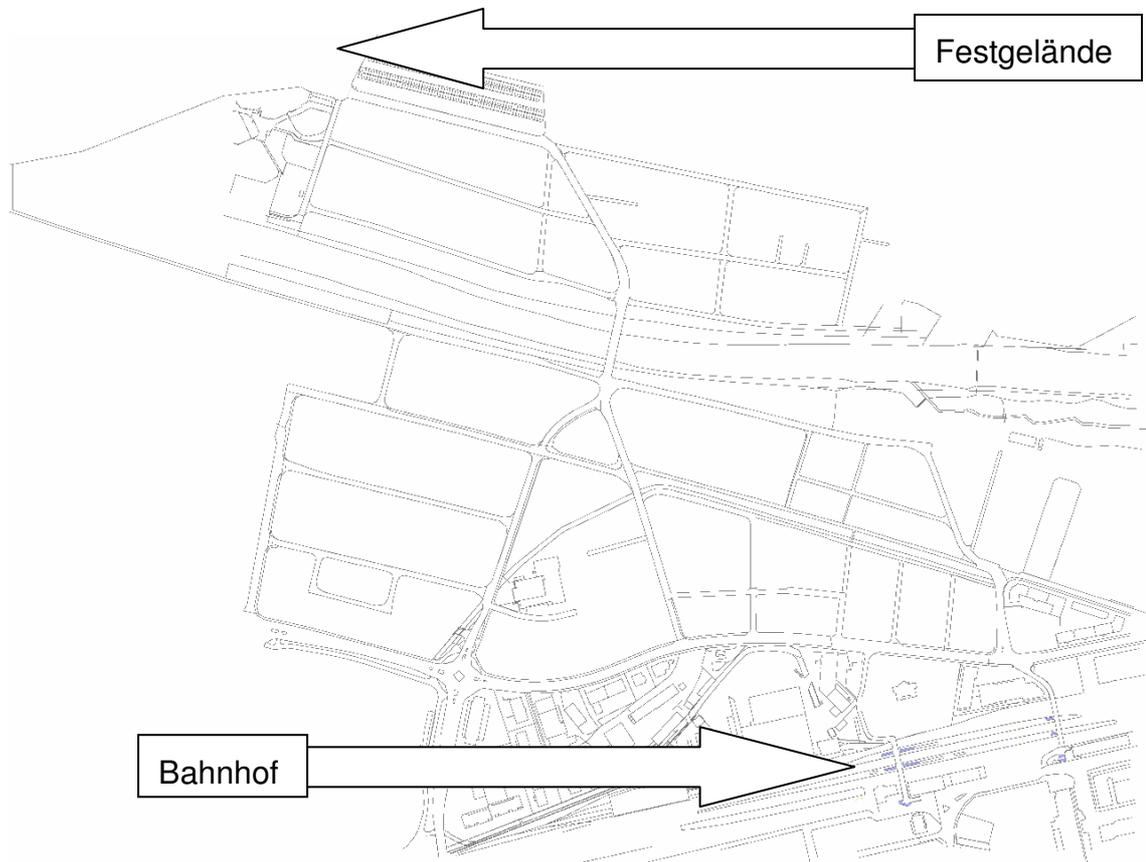


Abbildung 4: Modellierung Wegstrecke Festgelände - Bahnhof (Abreise)

In Abbildung 5 ist die Geometrie des Bahnhofes, wie sie in der Simulation verwendet wird, dargestellt. Die obere Ebene enthält nur die Perrons. Auf der unteren Ebene ist der Bahnhof einschließlich der Personenunterführungen und der Ein- und Ausgänge dargestellt.

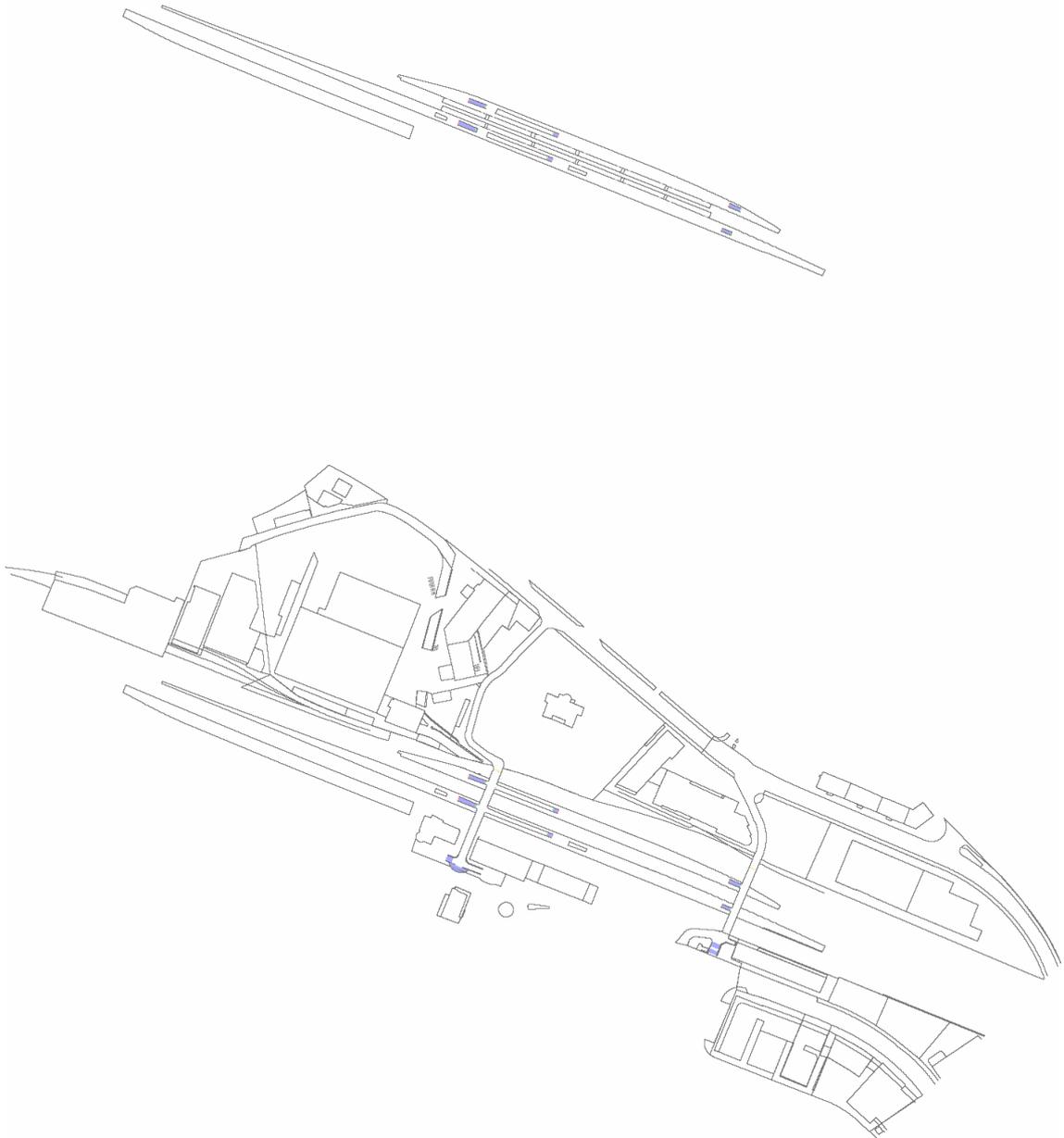


Abbildung 5: Modellierung des Bahnhofes Burgdorf

4.2 Ausgänge

4.2.1 Szenario 1 – Evakuierung der Arena

Die Arena besteht insgesamt aus sechs Tribünen. Die Tribünen A – E weisen jeweils fünf gleichmäßig verteilte Mundlöcher in ungefähr 2/3 der Tribünenhöhe auf. Von den Mundlöchern führt eine Treppe nach oben zur letzten Reihe und nach unten bis zur Reihe 1. Da die erste Reihe nicht auf der Höhe des Geländes liegt, wird der Anschluss daran über jeweils um 90° versetzte Anbautreppe gewährleistet. Die Mundlöcher selbst führen über je eine Treppe unterhalb der Tribünen ins Freie. Die Breite aller Mundlöcher und Treppen beträgt je 2,00 m.

Die Tribüne F wird mit 7 Mundlöchern in ungefähr gleicher Höhe wie auf den anderen Tribünen ausgebildet, ansonsten bleibt der weitere Verlauf über die Treppen gleich. Die Breite aller Mundlöcher und Treppen beträgt hier jedoch nur 1,50 m.

Die sechs Vortribünen können über jeweils 5 Treppen mit einer Breite von 1,50 m in den Innenraum verlassen werden.

Die Rasenplätze im Innenraum liegen auf Geländeneiveau.

Die Personen, die das Gelände nicht über die Mundlöcher verlassen, sondern über den Innenraum, können diesen durch sechs Ausgänge zwischen den Tribünen verlassen. In den vier Ecken, in denen die dreieckigen Tribünen (Spickel) aufgebaut werden, führt je ein 3,85 m breiter Tunnel unter den Spickeln ebenerdig hinaus auf das Festgelände. Die beiden anderen Ausgänge werden in der Breite durch die Anordnung der Tribünen begrenzt. Die Ausgangsbreite beträgt hier ca. 7,95 m an der schmalsten Stelle.

Die drei von Zuschauern besetzten Spickel weisen am oberen Ende der Tribünen zwei Treppenabgänge von 1,50 m Breite auf, sowie je zwei Mundlöcher im unteren Tribünendrittel mit einer Ausgangsbreite von je 2,00 m.

4.2.2 Szenario 2 – Abreiseverkehr ÖV (Festgelände – Bahnhof)

Auf dem Festgelände sind zwei Ausgänge für die Personen vorgesehen, die mit dem ÖV abreisen möchten. Der erste Ausgang liegt im Osten des Veranstaltungsgeländes und endet in der Straße Eyfeldweg. Diese weist anfänglich an der schmalsten Stelle eine Breite von ca. 5,50 m auf und ist somit auch die natürliche Begrenzung des Laufwegs. Der zweite Ausgang wird mittels einer provisorischen Militärbrücke über die Emme in Höhe des Eishockeyfeldes (Pulverweg) realisiert. Die Brücke selbst ist 6,00 m breit, endet jedoch auf einem unbe-

festigten Wanderweg mit einer Breite zwischen 2,20 m und 2,50 m (Neumattstraße).

Eingänge: Der Bahnhof besitzt zwei Personenunterführungen, von denen die westliche Unterführung ca. 4,50 m breit und die östliche Unterführung ca. 4,00 m breit ist. In die westliche Unterführung führen von den Perrons 2/3 und 4/5 eine Rampe und eine Treppe mit jeweils ca. 2,00 m Breite. Das Perron 1/11 ist ebenerdig über den Bahnhofsvorplatz (Südseite) begehbar.

4.2.3 Szenario 3 – Leistungsfähigkeit Bahnhof (Anreise)

Die modellierten Züge an den Perrons 2/3 und 4/5 bestehen jeweils aus sechs Wagen mit je zwei Ausgängen. Die Ausgänge haben jeweils eine Breite von 80 cm, also 1,60 m pro Wagen. Die Ausgänge des Bahnhofs entsprechen der Beschreibung der Eingänge aus dem vorherigen Absatz.

4.3 Routenführung

4.3.1 Szenario 1 – Evakuierung Arena

Für die Fluchtwegführung wurde angenommen, dass alle Fluchtwege über die Dauer der Entfluchtung uneingeschränkt nutzbar sind. Die Treppenabgänge, die Ausgänge und die weiteren Verkehrswege sind bekannt.

In der Arena wird angenommen, dass die Personen aus ca. den oberen zwei Dritteln der Stuhlreihen auf der Haupttribüne die Arena über die vorhandenen Mundlöcher verlässt. Die Personen aus dem unteren Drittel der Stuhlreihen laufen über die Treppen in den Innenraum und verlassen die Arena über den nächstgelegenen Ausgang zwischen den Tribünen.

Die Personen auf den Vortribünen verlassen ihren Sitzplatz über den Treppenabgang im Innenraum. Zusammen mit den Zuschauern auf den Rasenplätzen wählen sie den für sie kürzesten Weg zu den Ausgängen zwischen den Tribünen und verlassen darüber die Arena.

Die Personen auf den dreieckigen Tribünen (Spickel) verlassen diese über die beiden Treppenabgänge am oberen Ende.

4.3.2 Szenario 2 – Abreiseverkehr ÖV (Festgelände – Bahnhof)

Nach dem Ende des Festes wählen die Menschen, die mit dem ÖV abreisen wollen zwischen zwei Ausgängen. Im Osten des Festgeländes verlassen die Personen das Fest über den Eyfeldweg und biegen an der Kreuzung Eyfeldweg / Eystraße rechts in die Eystraße ab. Anschließend überqueren sie die Emme über die dortige Brücke und erreichen die Kreuzung Eymattstraße / Neumatt-

schachen / Felseggstraße. Gleichzeitig verlassen im Süden des Festgeländes Personen das Fest über eine provisorische Militärbrücke über die Emme und laufen am anderen Flussufer links auf die Neumattstraße. Diese geht fließend in die Straße Neumattschachen über und trifft an der Kreuzung mit Eymattstraße / Neumattschachen / Felseggstraße auf den ersten Personenstrom.

An dieser Stelle werden die beiden Personenströme auch gleichzeitig wieder von Ordnern aufgeteilt. Aus Kapazitätsgründen der Bahnhofseingänge (bzw. der Aufgänge zu den Perrons) werden 32.000 Personen (zwei Drittel aller Personen) weiter die Eystraße entlang laufen, nach links in den Meienweg einbiegen und anschließend wieder rechts über den Floraweg bis zur Kreuzung mit der Kirchbergstraße gehen. Dort überqueren die Personen die Kirchbergstraße und erreichen die westliche Personenunterführung.

Der zweite Personenstrom (16.000 Personen, ein Drittel aller Personen) wird über die Felseggstraße geführt. Die Personen folgen dem Straßenverlauf bis zur Kreuzung mit der Kirchbergstraße. Dort überqueren die Personen die Kirchbergstraße und erreichen die östliche Personenunterführung.

4.3.3 Szenario 3 – Leistungsfähigkeit Bahnhof (Anreise)

Beim Anreiseverkehr wird angenommen, dass die Personen aus den Zügen den für sie kürzesten Weg zu den Treppen-, bzw. Rampenabgängen in beide Personenunterführungen wählen. Anschließend verlassen sie das Bahnhofsgelände über die nördlichen Ausgänge (an der Kirchbergstraße).

Weitere Details über die von den Personen gewählten Wege können auch anhand der Animationen auf der beigefügten CD-ROM ersehen werden (siehe Anlage). Für die Darstellung der Animationen eignet sich besonders das Programm PedView, welches auf der Homepage www.traffgo-ht.com frei erhältlich zum Download bereit gestellt wird.

5 Population

5.1 Verteilung der Personen

5.1.1 Szenario 1 (Evakuierung Arena)

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Personenbelegung in der Arena für das Szenario 1 – Evakuierung.

Tribüne	Haupttribüne	Vortribüne	Rasenplätze	Stehplätze	Gesamt
A	6.088	1.395	752	316	8.551
B	6.256	1.340	848	304	8.748
C	6.330	1.340	848	304	8.822
D	6.190	1.340	848	268	8.646
E	6.330	1.340	848	304	8.877
F	6.429	1.340	848	144	8.761
Spi. B-C				725	725
Spi. E-F				725	725
Spi. F-A				725	725
Rollstuhl					20
Gesamt					54.600

Tabelle 2: Personenbelegung der Arena

Die Angaben der Tabelle sind den offiziellen Kapazitätsangaben des Organisationskomitees entnommen. Organisationskomitees. Es wird davon ausgegangen, dass die Arena voll besetzt ist.

Die Organisatoren des ESAF 2013 rechnen damit, dass am letzten Tag des Festes nach der Siegerehrung alle Personen gleichzeitig das Festgelände verlassen werden, davon ca. 48.000 Personen über die unter 4.3 genannten Ausgänge in Richtung des Bahnhofs (Szenario 2).

Bei der Betrachtung des Anreiseverkehrs werden insgesamt 1.920 Personen gleichmäßig auf zwei Züge mit je sechs Wagen verteilt. Das entspricht einer Personenzahl von 160 Personen pro Wagen (Szenario 3).

5.2 Parameter der Population (Demographie)

5.2.1 Szenario 1

Die Parameter ergeben sich aus einer durchschnittlichen Alters- und Geschlechtsverteilung für Deutschland [2]. Aus dieser Altersverteilung werden anhand einschlägiger empirischer Erkenntnisse Gehgeschwindigkeits- und Reaktionszeitverteilungen gewonnen [10], [11].

Anhand der Tabellen zur Bestimmung der Reaktionsdauer wurden die folgenden Kategorien für das Szenario 1 (Arena) festgelegt:

Nutzungsart:	B
Komplexität:	B1
Alarmierungssystem:	A1-A2
Brandschutzmanagement:	M1

Tabelle 3: Einordnung zur Bestimmung der Reaktionsdauern

Aus den Kategorisierungen erfolgt, dass $t_1 = 1 \text{ Min.}$ und $\Delta t_{99} = 2 \text{ Min.}$ betragen. Die Berechnung der minimalen und maximalen Reaktionsdauer ergibt sich zu:

$$t_{\text{Reakt, min}} = t_1$$

$$t_{\text{Reakt, max}} = t_1 + \Delta t_{99}$$

Hierdurch ergeben sich eine minimale Reaktionsdauer von 1 Minute und eine maximale Reaktionsdauer von 3 Minuten. Die Verteilung der Reaktionsdauer auf die Personen erfolgt normalverteilt.

Es handelt sich um überwiegend nicht-ortskundiges Publikum. Die Nutzungsart entspricht der einer Versammlungsstätte, daher erfolgt die Kategorisierung zu Nutzungsart B. Die Komplexität des Geländes wird zu Kategorie B1 eingestuft. Es handelt sich um einen einfachen, offenen und eingeschossigen Grundriss, bei dem die Ausgänge direkt sichtbar sind und nach außen führen.

In Bezug auf das Alarmierungssystem wird vorausgesetzt, dass alle Bereiche gleichzeitig alarmiert werden können. Außerdem gilt hinsichtlich der Kategorisierung des Brandschutzmanagements zu M1, dass eine ausreichende Zahl gut ausgebildeter Sicherheitskräfte vorhanden ist, die die Besucher zur Evakuierung des Veranstaltungsgebietes auffordern.

Nachfolgend sind die Populationsparameter für die das Szenario 1 (Arena) abgebildet. Die Verteilung der jeweiligen Parameter auf die Personen erfolgt anhand einer Gauß-Normalverteilung mit abgeschnittenen Rändern.

Population:						
	min	max	Mittel	SD	Verteilung	Einheit
v_{\max} :	0,8	2,0	1,2	0,4	Normal	m/s
Schwanken:	1	1	1	2	Normal	%
Reaktionsdauer:	60	180	120	20	Normal	sek
Trödeln:	0	30	15	5	Normal	%
Trägheit:	1	5	3	2	Normal	-

Tabelle 4: Populationsparameter der Personen in der Arena (Szenario 1)

In den vorangegangenen Tabellen steht die Abkürzung SD für Standardabweichung, v_{\max} bezeichnet die freie Gehgeschwindigkeit. Sie ist die maximal mögliche Gehgeschwindigkeit einer Person. Diese wird nur auf ebener Fläche, z.B. in einem Gang erreicht, sofern keine anderen Personen mit geringeren Gehgeschwindigkeiten die nachfolgenden Personen blockieren.

5.2.2 Reaktionsdauer für den Abreiseverkehr (Festgelände – Bahnhof)

Für die Szenarien zwei und drei wurde jeweils die Reaktionsdauer angepasst.

	min	max	Mittel	SD	Verteilung	Einheit
Reaktionsdauer	0	10	5	2	Normal	sek

Tabelle 5: Reaktionsdauern Szenario 2 und 3

Für das Szenario zwei und drei wurden die Reaktionsdauern jeweils auf 0 – 10 Sekunden herabgesetzt, da mit dem Start der Simulation auch mit einer sofortigen Bewegung der Personen zu rechnen ist. Für das Szenario zwei wurde vorgegeben, dass alle Personen gleichzeitig (sofort) versuchen werden das Festgelände zu verlassen. In Szenario 3 stellt der Start der Simulation das Öffnen der Zugtüren dar und damit auch das sofortige Verlassen der Bahnen. Die restlichen Parameter entsprechen denen der Tabelle 4, da es sich immer um die gleiche Personengruppe in einem anderen Szenario handelt.

5.2.3 Reaktionsdauer für den Anreiseverkehr (Bahnhof)

Es gilt das gleiche wie für den Abreiseverkehr (Abschnitt 6.2.2).

6 Detaillierte Ergebnisse

Zur statistischen Analyse der einzelnen Szenarien wird eine so genannte Mittelwertrechnung durchgeführt, die aus bis zu 500 Simulationsdurchläufen pro Fall besteht. Aus diesen Mittelwertrechnungen lassen sich die statistischen Eigenschaften der Verteilung der Gesamtentfluchtungsdauern ermitteln. Zur detaillierten Auswertung und Visualisierung von Stauungen wird eine Simulation wiederholt, deren Entfluchtungsdauer gerade länger als 95% der ermittelten Fälle ist.

Der zeitliche Ablauf der Entfluchtung mit der Bildung und Auflösung von Staus ist anhand der Bilder zu erkennen (siehe auch Erläuterung im Anhang).

Staus werden besonders deutlich durch Dichteplots dargestellt, die eine Zusammenfassung des gesamten Entfluchtungsablaufs wiedergeben. Um das Ergebnis richtig deuten zu können, ist es entscheidend, das Berechnungsverfahren für die Dichte und die Einfärbung der Dichteplots im Detail zu erläutern.

Mit Hilfe des diskreten Gitters für den Grundriss wird die Personendichte für eine Zelle über sie und ihre Nachbarzellen bestimmt (siehe Abbildung 6). Hieraus ergibt sich ein Wert mit der Einheit Personen pro Quadratmeter. Im gezeigten Beispiel beträgt die Dichte etwa 3,5 Personen/m².

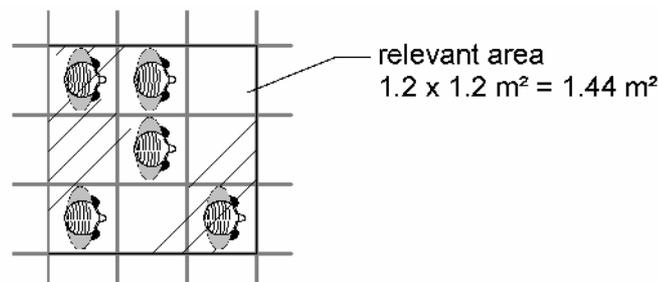


Abbildung 6: Beispiel zur Verdeutlichung der Dichteberechnung.

Um signifikante Staus [10] hervorzuheben, wird deshalb wie folgt vorgegangen: Ein signifikanter Stau tritt auf, wenn die lokale Personendichte 4 Personen/m² überschreitet. Nach jedem Zeitschritt in der Simulation wird deshalb für alle Zellen die Dichte berechnet. Ist sie gleich oder größer als der o.g. Schwellenwert, so wird der Zähler der jeweiligen Zelle um eins erhöht. Am Ende der Entfluchtung kann somit bestimmt werden, wie häufig der Schwellenwert pro Zelle überschritten wurde. Dieser Wert wird anhand des grün-roten Farbverlaufs angezeigt.

Die maximal mögliche Personendichte ist 6,25 Personen/m² (9 Personen/1,44 m² – vgl. Abbildung 6). Dichten von 6 Personen/m² treten nur in besonders dicht gedrängten Personengruppen auf.

6.1 Szenario 1 – Evakuierung der Arena

Die Gesamtentfluchtungsdauer T ergibt sich aus der Addition mehrerer Einzeldauern. Die Formel zur Berechnung der Gesamtentfluchtungsdauer lautet:

$$T = t_{\text{Detektion}} + t_{\text{Alarmierung}} + t_{\text{Reaktion}} + t_{\text{Lauf}}$$

Die Simulation der Entfluchtung deckt den Zeitraum ab der Alarmauslösung bis zum Erreichen eines gesicherten Bereiches durch die Personen ab. Nach der oben dargestellten Formel für die Berechnung der Gesamtentfluchtungsdauer entspricht dieser Zeitraum der Reaktionsdauer (t_{Reaktion}) und der Laufdauer (t_{Lauf}). Detektions- und Alarmierungsdauer sind abhängig von der brandschutztechnischen Infrastruktur und einem möglichen eintretenden Brandereignis. Detektions- und Alarmierungsdauer lassen sich für eine Beurteilung nachträglich auf die dargestellten Ergebnisse aufaddieren.

6.1.1 Gesamtdauer (Mittelwertrechnung mit 100 Durchläufen)

Durch die Variation der Personenparameter und stochastische Einflüsse im Modell (Entscheidungen der Personen, Orientierung, Trödelwahrscheinlichkeit) ergeben sich gewisse Schwankungen in der Berechnung der Gesamtdauer. Daher wird diese im Wesentlichen durch die Parameter einer Verteilung (Mittelwert, 95% Signifikanzniveau und Standardabweichung) charakterisiert.

Als signifikanter Wert gilt der Wert, für den 95% aller Fälle eine kürzere Gesamtentfluchtungsdauer ergeben. Nach 100 Simulationsdurchläufen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Dauern.

Entfluchtungsdauer:

Mittelwert [min:s]:	21:53
Standardabweichung [min:s]:	00:11
95% < [min:s]:	22:15
Minimum [min:s]:	21:25
Maximum [min:s]:	22:20

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.

Die signifikante Entfluchtungsdauer nach Beginn der Alarmierung beträgt 22:15 Minuten.

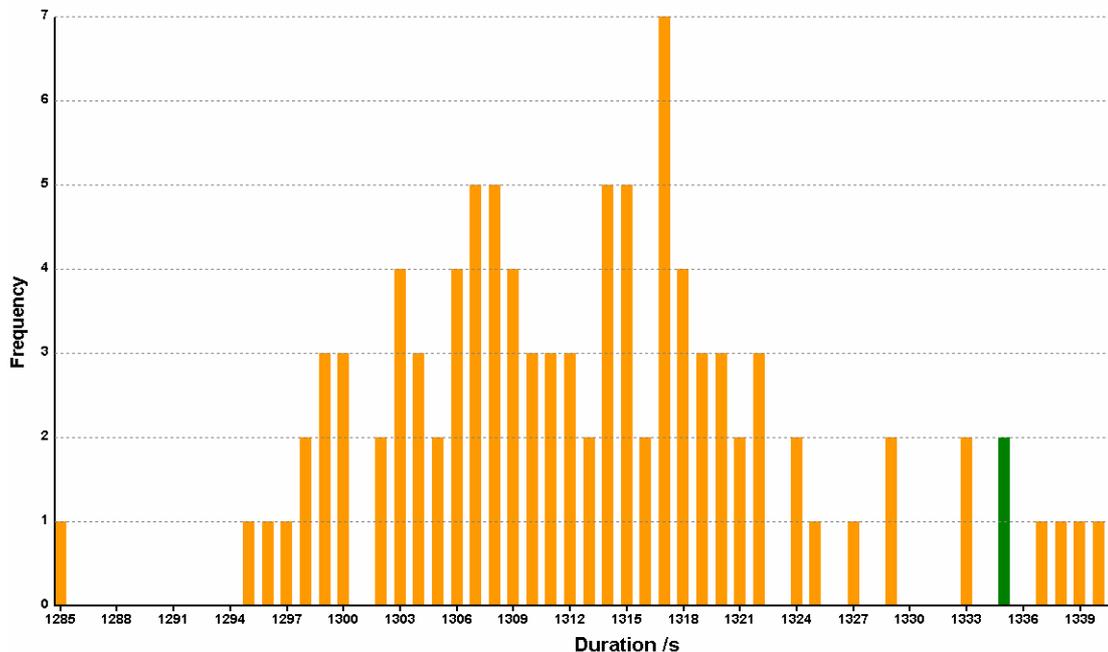


Abbildung 7: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Arena).

Die Dauer, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, ist grün markiert und gilt i.a. als signifikant.

Die Entfluchtungskurve (Abbildung 8) beschreibt die Anzahl der Personen, die die Arena verlassen haben über der Zeit. Das bedeutet, dass man zu jedem Zeitpunkt die Anzahl der Personen ablesen kann, die das Stadion bereits verlassen haben. Dargestellt sind vier verschiedene Kurven. Aus der statistischen Auswertung der Mittelwertrechnung werden Minimal-, Maximal-, mittlere und die

signifikante Entfluchtungsdauer ausgegeben. Die jeweiligen Verläufe werden über die Zeitachse aufgetragen. Die Steigung der Kurven gibt den Fluss an, je steiler, desto größer ist der (über alle Ausgänge summierte) Personenfluss.

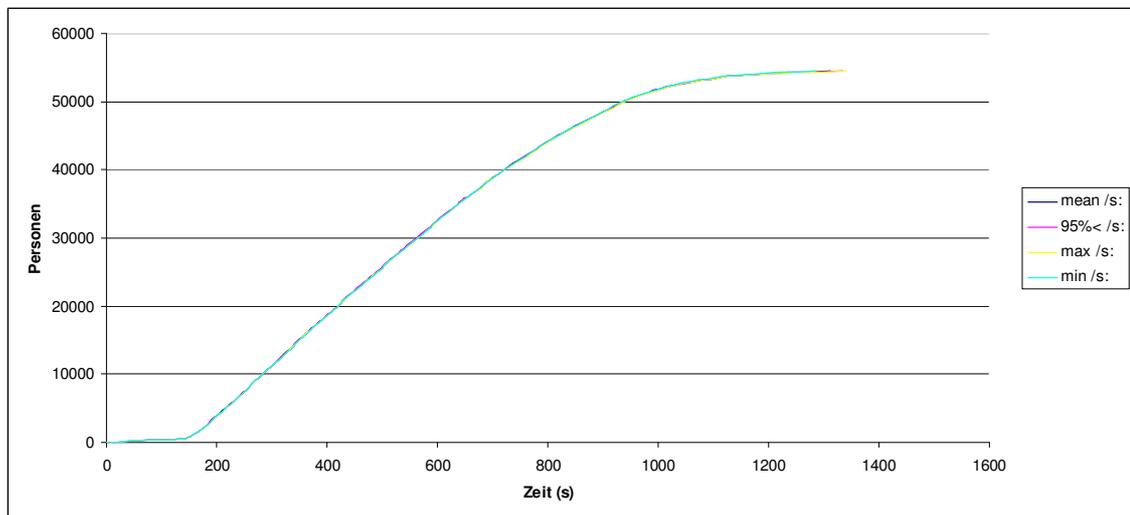


Abbildung 8: Entfluchtungskurve Arena

Die Kurve steigt zunächst bis zur 180. Sekunde nur sehr flach an. Das liegt daran, dass für die Population der Arenagäste eine Reaktionszeit von ein bis drei Minuten eingestellt ist. Das bedeutet, dass erst ab der vierten Minute alle Personen des Geländes einen Ausgang aufsuchen.

Anschließend nimmt die Steigung der Kurve stark zu und bleibt bis ca. zur 15. Minute konstant. In dieser Zeit werden die Ausgänge gleichzeitig mit einem konstanten Personenstrom genutzt.

Schließlich flacht die Entfluchtungskurve ab und verläuft mit einer sehr flachen Steigung bis zum Ende, da die Haupttribünen über die Mundlöcher nahezu komplett geleert sind und sich nur noch Gäste im Innenraum durch die sechs Ausgänge zwischen den Tribünen bewegen. Der Entfluchtungskurve kann man entnehmen, dass sich zu dieser Zeit noch ca. 7.000 Personen im Stadion befinden. Zur Veranschaulichung sind auch die Screenshots im Anhang geeignet.

6.1.2 Einzelwertrechnung

Für die Einzelwertrechnung wurde der signifikante Wert der Entfluchtungsauern näher betrachtet. Die signifikante Dauer der Entfluchtung ist die Dauer, die größer ist als 95% aller übrigen Fälle. Das heißt, die Ergebnisse für die Einzelwertrechnung in dieser Betrachtung spiegeln genau den Fall wider, für den die Entfluchtung 22:15 Minuten dauert.

Neben der Entfluchtungskurve, die den zeitlichen Verlauf verdeutlicht, sind Dauer, Größe und räumliche Verteilung der Stauungen entscheidend für die Bewertung der Entfluchtung. Dichteplots sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

6.1.2.1 Personenbelegung

Die Personen wurden anhand der Tabelle 2: Personenbelegung der Arena verteilt.

6.1.2.2 Screenshots

Screenshots zu den einzelnen Zeitschritten sind im Anhang dargestellt.

6.1.2.3 Dichteplots

In der nachfolgenden Abbildung ist die Staubildung für den signifikanten Durchlauf dargestellt. Dichteplots stellen die aufsummierte Personendichte dar. Das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen beträgt 10 % der Entfluchtungsdauer. Dies entspricht den Vorgaben der RiMEA [10]. Die roten Bereiche in den nachfolgenden Abbildungen sind also solche, für die eine Dichte von mehr als 3,5 Personen/m² für eine Zeit länger als 10% der Gesamtdauer auftrat. Für das Szenario 1 beträgt das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen 133 Sekunden.

Eine Erläuterung zur Farbcodierung des Dichteplots ist im Anhang enthalten.

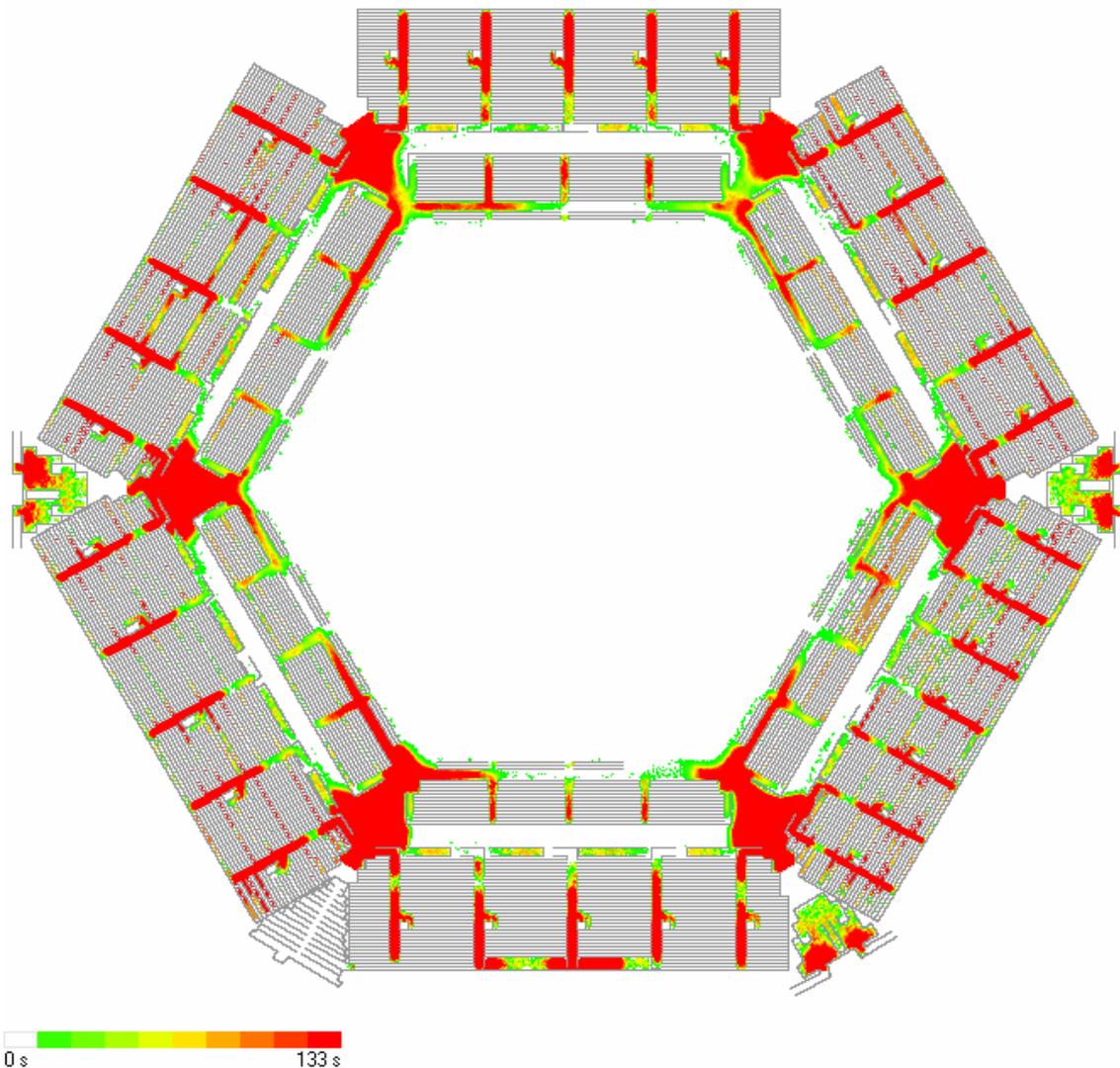


Abbildung 9: Dichteplot der Arena

Der Dichteplot zeigt, dass es vor allen Mundlöchern und Ausgängen des Stadions zu Stauungen kommt. Die Mundlöcher der Haupttribüne sind die natürliche Engstelle des Bauwerks und bewirken eine Rückstauung auf die Treppen. Die sechs Ausgänge zwischen den Haupttribünen bilden die Engstelle beim Verlassen des Innenraums. Dadurch kommt es zu großen Personenansammlungen im Innenraum, die sich auf das Verlassen der jeweils äußeren Treppen der Haupttribünen verzögernd auswirken.

6.2 Szenario 2 (Festende)

Im Szenario 2 wird das Verlassen des Festgeländes nach Ende des Schwingerfestes simuliert.

6.2.1 Gesamtdauer (Mittelwertrechnung mit 10 Durchläufen)

Als signifikanter Wert gilt der Wert, für den 95% aller Fälle eine kürzere Gesamtentfluchtungsdauer ergeben. Nach 10 Simulationsdurchläufen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Dauern.

Dauer:	
Mittelwert [h:min:s]:	4:19:35
Standardabweichung [min:s]:	00:25
95% < [h:min:s]:	4:20:13
Minimum [h:min:s]:	4:18:54
Maximum [h:min:s]:	4:20:13

Tabelle 7: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.

Die signifikante Entfluchtungsdauer nach Beginn der Alarmierung beträgt 4:20:13 Stunden.

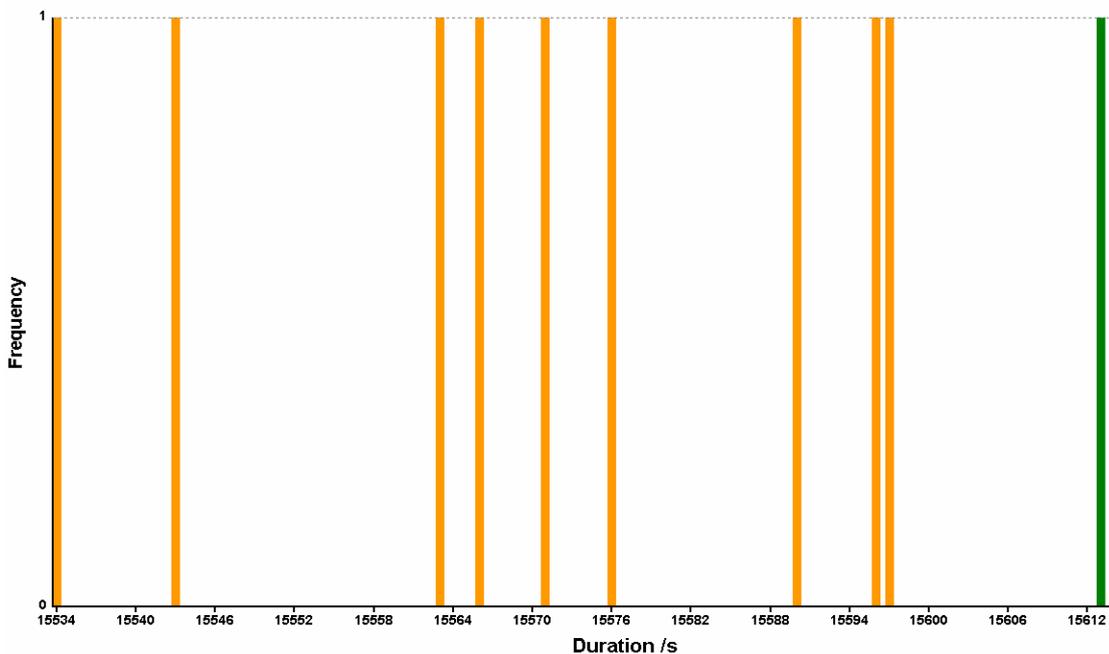


Abbildung 10: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Festende).

Die Dauer, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, ist grün markiert und gilt i.a. als signifikant.

Das nachstehende Diagramm (Abbildung 11) zeigt die Anzahl der Personen, die nach dem Ende des Festes den Bahnhof erreicht und betreten haben im Verlauf über die Zeit. Dargestellt sind vier verschiedene Kurven. Aus der statistischen Auswertung der Mittelwertrechnung werden Minimal-, Maximal-, mittlere und die signifikante Entfluchtungsdauer ausgegeben. Die jeweiligen Verläufe werden über die Zeitachse aufgetragen. Die Steigung der Kurven gibt den Fluss an, je steiler, desto größer ist der (über alle Ausgänge summierte) Personenfluss.

Es dauert ca. 20 Minuten, bis die ersten Personen den Bahnhof erreichen. Von diesem Zeitpunkt an bis ca. zum Zeitpunkt drei Stunden, bleibt der Personenstrom in den Bahnhof konstant, nimmt dann jedoch ganz leicht ab.

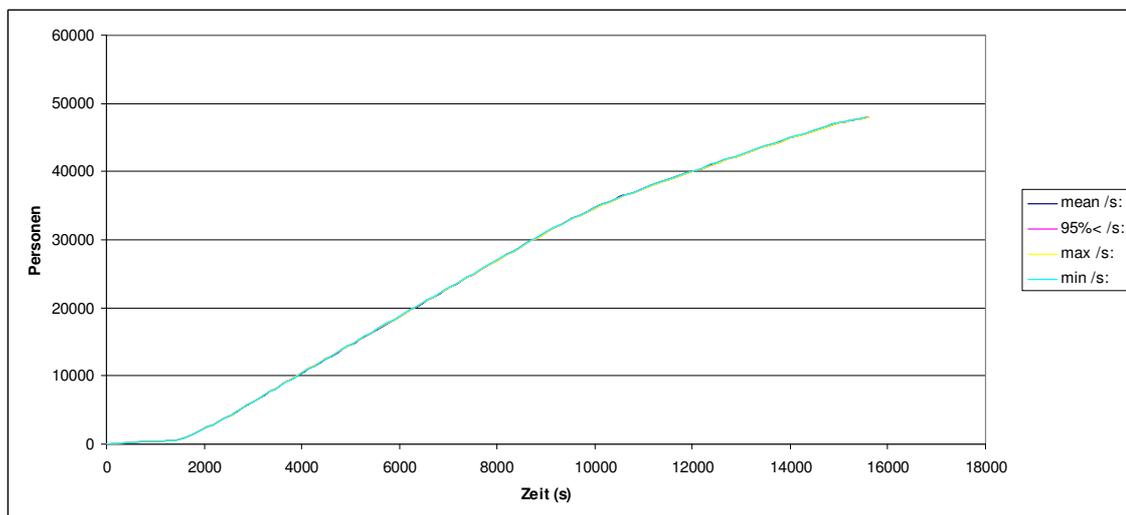


Abbildung 11: Ankunft am Bahnhof (Festende)

Der Zeitpunkt 0 spiegelt das Ende des Festes und somit das Losgehen der ersten Personen wider.

6.2.2 Einzelwertrechnung

Für die Einzelwertrechnung wurde der signifikante Wert der Personenstromdauern näher betrachtet. Die signifikante Dauer ist die Dauer, die größer ist als 95% aller übrigen Fälle. Das heißt, die Ergebnisse für die Einzelwertrechnung in dieser Betrachtung spiegeln genau den Fall wider, für den die Entfluchtung 4:20:13 Minuten dauert.

Neben der Entfluchtungskurve, die den zeitlichen Verlauf verdeutlicht, sind Dauer, Größe und räumliche Verteilung der Stauungen entscheidend für die

Bewertung der Entfluchtung. Dichteplots sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

6.2.2.1 Personenbelegung

Die Personenanzahl wurde vom Organisationskomitee des ESAF 2013 auf 48.000 Personen festgelegt. Das Festgelände wird bei der Personenstromanalyse nicht komplett abgebildet, sondern nur die Fläche vor den Ausgängen, die als „Personenreservoir“ dient. Dabei liegt die Annahme zu Grunde, dass die beiden beschriebenen Ausgänge des Festgeländes die Engstelle bilden und sich die Personen auf dem Festgelände frei bewegen können.

Das nachfolgende Diagramm (Abbildung 12) stellt den zeitlichen Verlauf des Festendes im signifikanten Durchlauf dar. Der Zeitpunkt 0 Sekunden stellt das Ende der Siegerehrung da. Nach Angaben des Organisationskomitees werden dann 48.000 Personen gleichzeitig das Festgelände Richtung Bahnhof über die in 4.2 genannten Ausgänge verlassen. Bis ungefähr zum Zeitpunkt 6.300 Sekunden (1:45 h) ist der Personenstrom gleichmäßig, nimmt danach jedoch ab, da der Ausgang zum Eyfeldweg nicht mehr aufgesucht wird. Die Personen konzentrieren sich dann vor dem Ausgang der Militärbrücke.

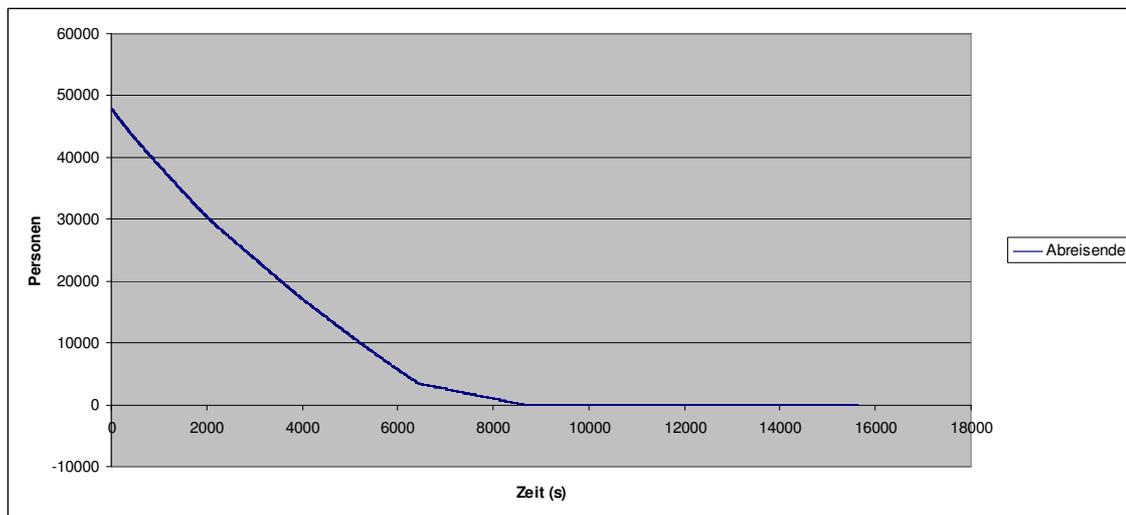


Abbildung 12: Verlassen des Festgeländes

6.2.2.2 Screenshots

Screenshots zu den einzelnen Szenarien sind im Anhang dargestellt.

6.2.2.3 Dichteplots

In der nachfolgenden Abbildung ist die Staubildung für den signifikanten Durchlauf dargestellt. Dichteplots stellen die aufsummierte Personendichte dar. Das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen beträgt 10 % der Entfluchtungs-dauer. Dies entspricht den Vorgaben der RiMEA [10]. Die roten Bereiche in den nachfolgenden Abbildungen sind also solche, für die eine Dichte von mehr als 3,5 Personen/m² für eine Zeit länger als 10% der Gesamtdauer auftrat. Für das Szenario 2 beträgt das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen 1561 Sekunden (26:01 Minuten).

Eine Erläuterung zur Farbcodierung des Dichteplots ist im Anhang enthalten.



Abbildung 13: Dichteplot für die Wegstrecke Festgelände - Bahnhof

Der Dichteplot zeigt, dass die beiden Ausgänge des Festgeländes eine Engstelle bilden, vor der die Leute beim Verlassen warten müssen. Direkt hinter den Ausgängen sind die Wege ebenfalls teilweise rot eingefärbt, da dort die Personendichte durch die Engstelle noch sehr hoch ist. Erst im weiteren Verlauf verringern sich die Dichten aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Personen (z.B. unterschiedliche Gehgeschwindigkeiten). Die westliche Personen-

unterführung bildet für den erwarteten Besucherstrom eine Engstelle, die zu einem Rückstau bis zur Kreuzung Eymattstraße / Neumattschachen / Felseggstraße führt.

6.3 Szenario 3 (Kapazität des Bahnhofs)

6.3.1 Gesamtdauer (Mittelwertrechnung mit 500 Durchläufen)

Als signifikanter Wert gilt der Wert, für den 95% aller Fälle eine kürzere Gesamtentfluchtungsdauer ergeben. Nach 500 Simulationsdurchläufen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Dauern.

Dauer:	
Mittelwert [min:s]:	08:21
Standardabweichung [min:s]:	00:18
95% < [min:s]:	08:54
Minimum [min:s]:	07:44
Maximum [min:s]:	09:46

Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse für die Gesamtdauer.

Die signifikante Entfluchtungsdauer nach Beginn der Alarmierung beträgt 08:54 Minuten.

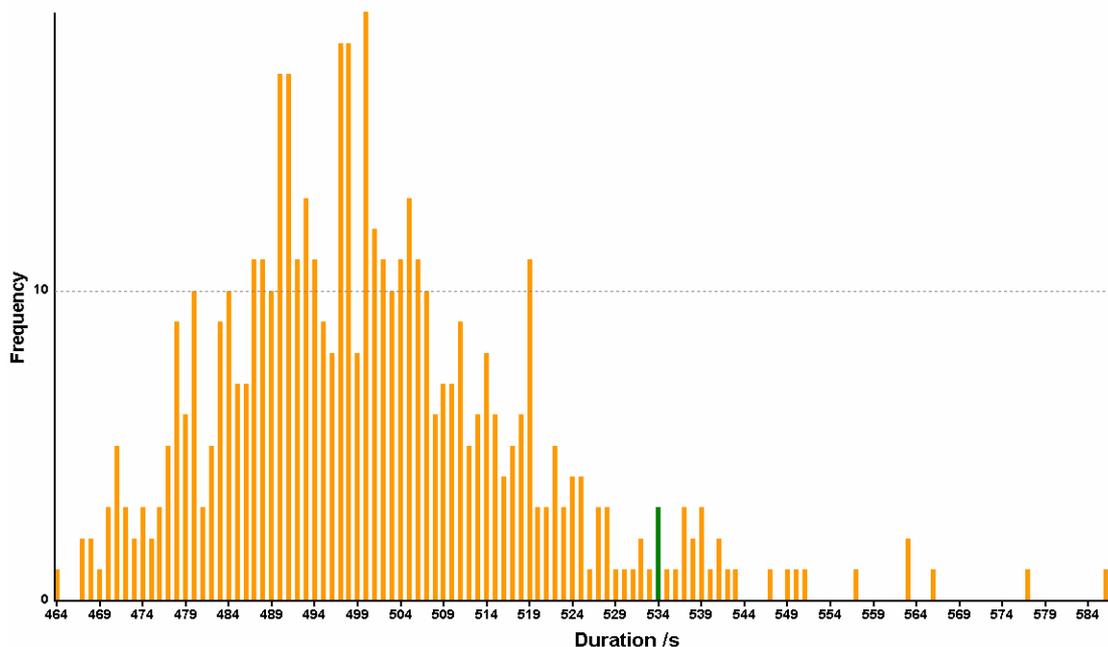


Abbildung 14: Verteilung der ermittelten Entfluchtungsdauern (Fall 3).

Die Dauer, die größer oder gleich 95% der ermittelten Fälle ist, ist grün markiert und gilt i.a. als signifikant.

Die in der Tabelle gezeigten Charakteristika der statistischen Verteilung der Gesamtentfluchtungsdauer spiegeln sich auch im Histogramm wider.

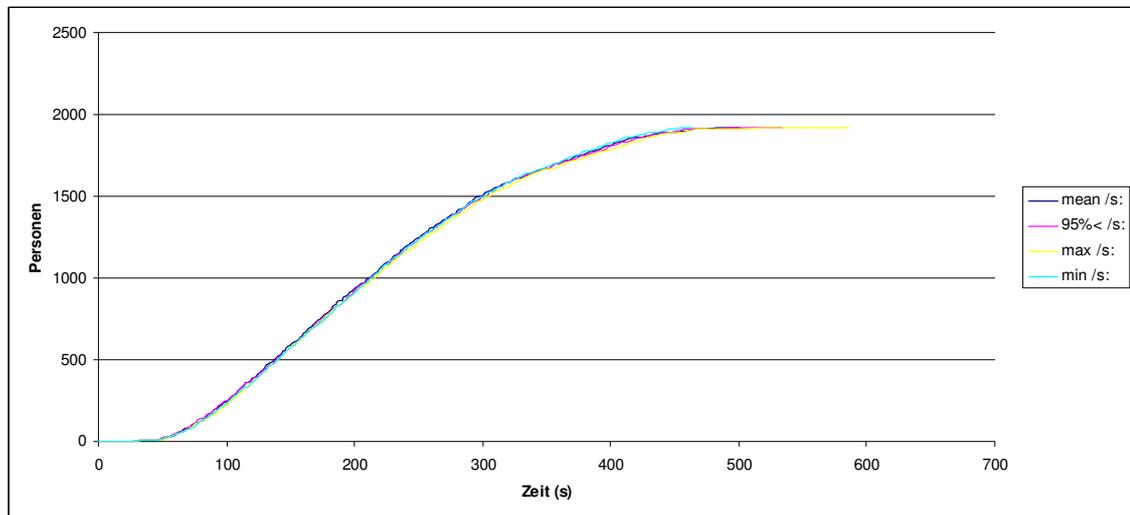


Abbildung 15: Personenströme Anreise Bahnhof Burgdorf

Die Kurve (Abbildung 15) zeigt den zeitlichen Verlauf an den Ausgängen des Bahnhofs Burgdorf. Nach rechts ist die Zeit aufgetragen, nach oben die Anzahl der Personen, die den Bahnhof verlassen haben. Dargestellt sind vier verschiedene Kurven. Aus der statistischen Auswertung der Mittelwertrechnung werden Minimal-, Maximal-, mittlere und die signifikante Dauer ausgegeben. Die jeweiligen Verläufe werden über die Zeitachse aufgetragen. Die Steigung der Kurven gibt den Fluss an, je steiler, desto größer ist der (über alle Ausgänge summierte) Personenfluss.

Die entsprechenden Dauern für das Verlassen des Bahnhofs können der Tabelle 8 entnommen werden.

6.3.2 Einzelwertrechnung

Für die Einzelwertrechnung wurde der signifikante Wert der Entfluchtungsdauern näher betrachtet. Die signifikante Dauer der Entfluchtung ist die Dauer, die größer ist als 95% aller übrigen Fälle. Das heißt, die Ergebnisse für die Einzelwertrechnung in dieser Betrachtung spiegeln genau den Fall wider, für den die Entfluchtung 08:54 Minuten dauert.

Neben der Entfluchtungskurve, die den zeitlichen Verlauf verdeutlicht, sind Dauer, Größe und räumliche Verteilung der Stauungen entscheidend für die Bewertung der Entfluchtung. Dichteplots der Situation sowie Screenshots in be-

stimmten Zeitintervallen zur Darstellung der Stauungen sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

6.3.2.1 Personenbelegung

Das nachfolgende Diagramm zeigt die zeitliche Verteilung der Personen in den Waggons und auf dem Bahnsteig (Perron). Insgesamt befinden sich 1920 Personen zum Zeitpunkt 0 Sekunden in 12 Wagen (je 160 Personen) an zwei Bahnsteigen. Nach ca. 100 Sekunden sind die Züge komplett entleert, die Bahnsteige (Perrons) sind nach 343 Sekunden (5:43 Minuten) frei von Personen.

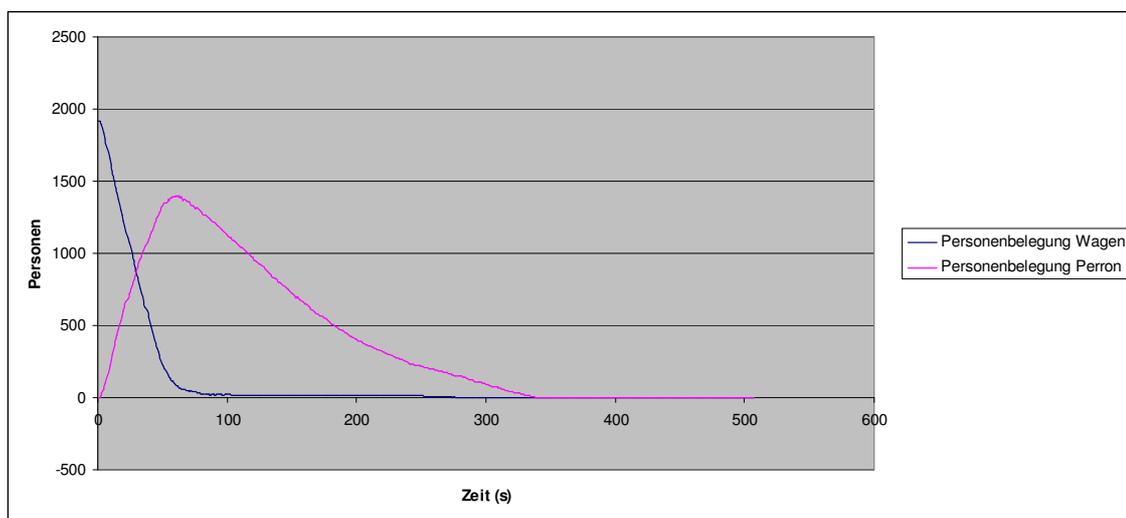


Abbildung 16: Personenbelegungen Wagen + Perron

6.3.2.2 Screenshots

Screenshots zu den einzelnen Szenarien sind im Anhang dargestellt.

6.3.2.3 Dichteplots

In den nachfolgenden Abbildungen ist die Staubildung für den signifikanten Durchlauf dargestellt. Dichteplots stellen die aufsummierte Personendichte dar. Das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen beträgt 10 % der Entfluchtungsdauer. Dies entspricht den Vorgaben der RiMEA [10]. Die roten Bereiche in den nachfolgenden Abbildungen sind also solche, für die eine Dichte von mehr als $3,5 \text{ Personen/m}^2$ für eine Zeit länger als 10% der Gesamtdauer auftrat. Für den Fall 1 beträgt das Zeitkriterium zur Beurteilung der Stauungen 53 Sekunden.

Eine Erläuterung zur Farbcodierung des Dichteplots ist im Anhang enthalten.

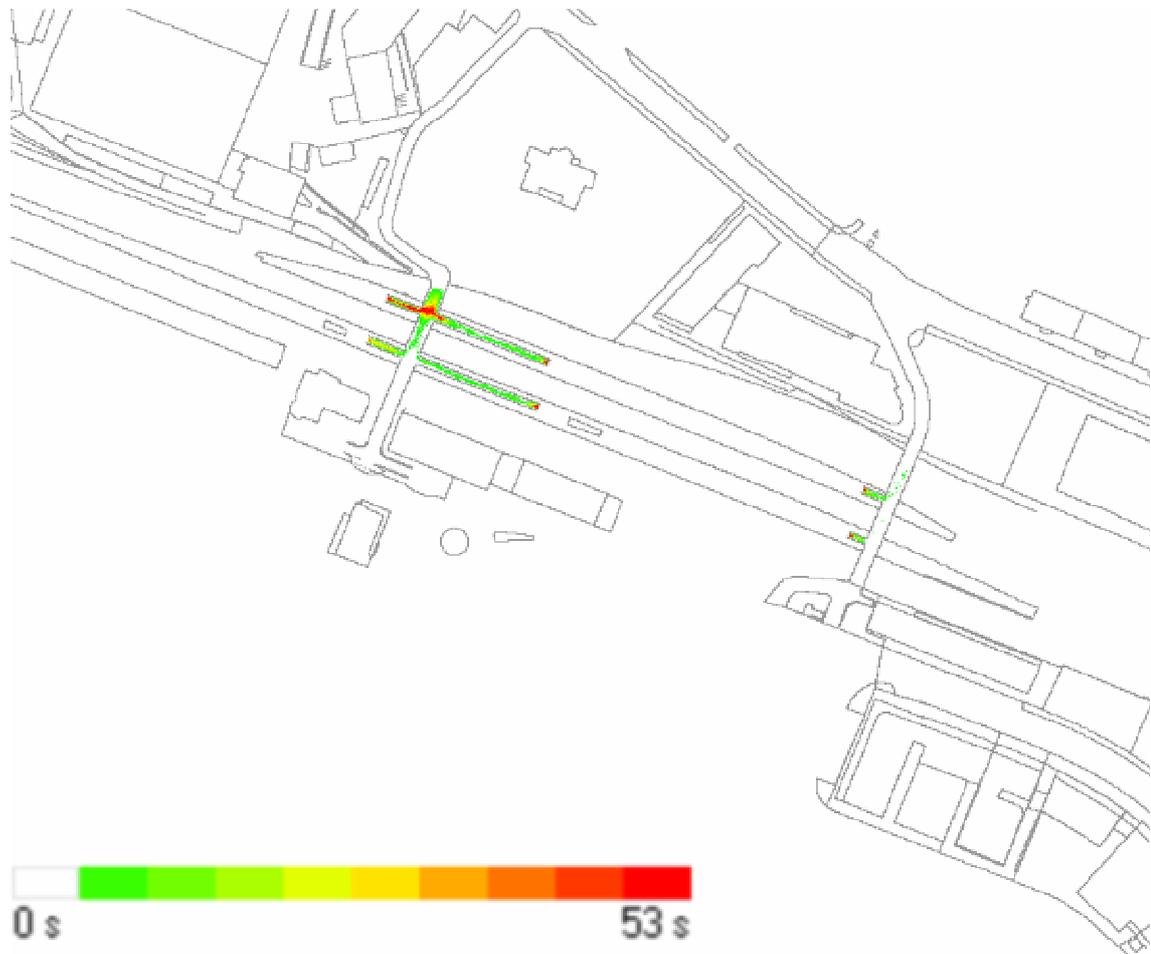


Abbildung 17: Ausschnitt Dichteplot Bahnhof (Personenunterführung)

Die Abbildung 17 zeigt den Dichteplot der Bahnhofsebene, auf der die Personenunterführungen und die Treppen (bzw. Rampen) abgebildet sind. In der Personenunterführung West ist zu erkennen, dass am Abgang des nördlich liegenden Perrons 4/5 ein Stau an der Stelle entsteht, wo die Personenströme des Perrons 2/3 auf die Personen des Perrons 4/5 treffen.

In der nachfolgenden Abbildung 18 ist der Dichteplot für die Ebene der Bahnsteige (Perrons) abgebildet. Vor den Abgängen in die Personenunterführungen West und Ost sind jeweils Stauungen zu erkennen, da die Treppen und Rampen eine Engstelle bilden und diese zudem langsamer begangen werden, als die Ebene Fläche.

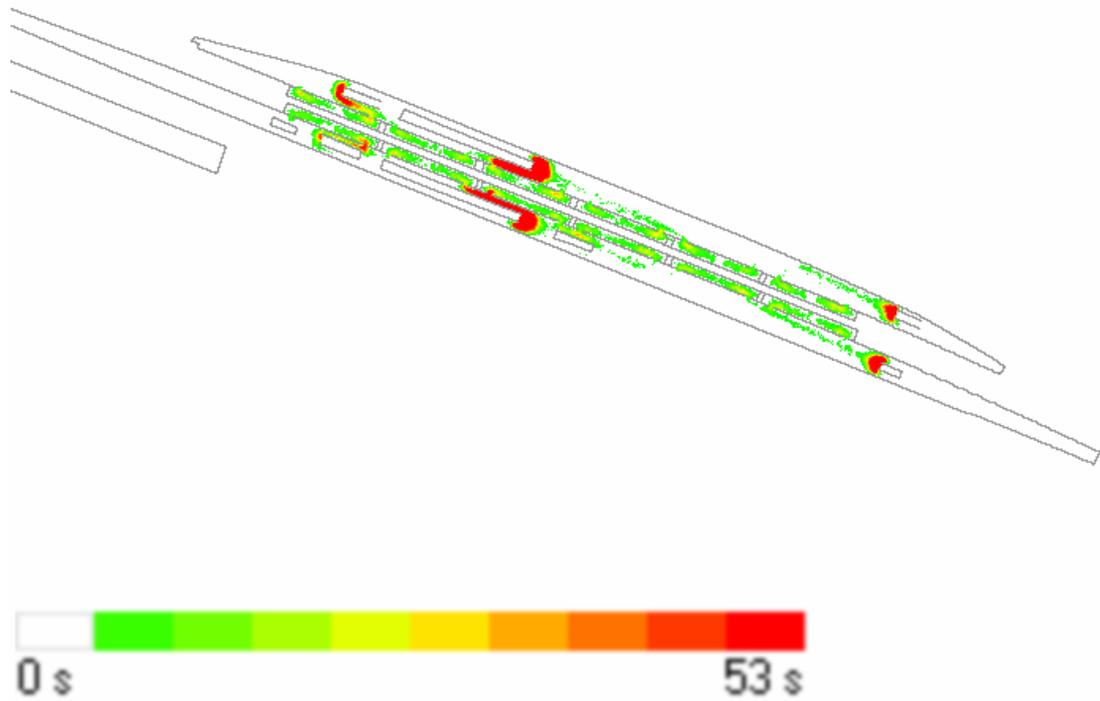


Abbildung 18: Ausschnitt Dichteplot Bahnhof Burgdorf (Perrons)

7 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

7.1 Vergleich der Gesamtdauer und Dauer

Die hier ermittelten Ergebnisse der Entfluchtungsdauer entsprechen einer erforderlichen Entfluchtungsdauer (RSET – **Required Safe Egress Time**). Diese Dauer muss anhand der zur Verfügung stehenden Entfluchtungsdauer (ASET – **Available Safe Egress Time**) verglichen werden.

$$\text{ASET} > \text{RSET}$$

ASET ergibt sich aus üblicherweise aus dem angenommenen Schadensfall und dessen Ausbreitung (z.B. Rauchausbreitung im Brandfall).

7.1.1 Gesamtdauer

Die tabellarische Darstellung der Dauern zeigt die Entfluchtungsdauern ab Beginn der Alarmierung. Detektions- und Alarmierungsdauern können nachträglich auf die angegebenen Dauern hinzuaddiert werden. Nachfolgend sind für die untersuchten Fälle die Entfluchtungsdauern, bzw. „Reisedauern“ zusammengefasst.

Dauern	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Mittelwert [h:min:s]:	21:53	4:19:35	08:21
Standardabweichung [min:s]:	00:11	00:25	00:18
95% < [h:min:s]:	22:15	4:20:13	08:54
Minimum [h:min:s]:	21:25	4:18:54	07:44
Maximum [h:min:s]:	22:20	4:20:13	09:46

Tabelle 9: Zusammenfassung der Dauern

Nachfolgend sind die Entleerungsdauern des Festgeländes (Szenario 2) und die der Züge (Szenario 3) dargestellt.

	Dauer
Festgelände	2:30 h
Züge	~ 100 s

Tabelle 10: Entleerungsdauern der einzelnen Bereiche

Tabelle 10 zeigt, dass das Festgelände nach etwa 150 Minuten geleert ist. Die Züge sind nach ca. 100 Sekunden geleert und können dann wieder aus dem Bahnhof ausfahren.

7.1.2 Dichte

7.1.2.1 Szenario 1 (Evakuierung Arena)

Auf dem Dichteplot der Arena sind signifikante Stauungen vor allen Ausgängen auf den Tribünen und auch im Innenraum erkennbar. Auch auf den Treppen kommt es zu signifikanten Stauungen, die teilweise durch hohe Personendichten vor dem Abgang der Treppen begünstigt werden.

7.1.2.2 Szenario 2 (Leerung des Festgeländes)

Auf dem Dichteplot der Personenströme vom Festgelände sind deutliche signifikante Stauungen auf dem Festgelände zu erkennen. Ebenfalls ist eine signifikante Stauung vor der Personenunterführung West zu erkennen, die sich bis zur Kreuzung Eymattstraße / Neumattschachen / Felseggstraße erstrecken.

7.1.2.3 Szenario 3 (Anreise ÖV – Bahnhof)

Der Dichteplot des Szenarios 3 zeigt signifikante Stauungen auf den Perrons vor allen Abgängen in die Personenunterführung. In der Personenunterführung West kommt es zu einem signifikanten Stau zwischen den Abgängen des Perrons 4/5.

7.2 Annahmen in der Simulation

7.2.1 Generelle Annahmen

Die aus der Simulation gewonnenen Ergebnisse gelten unter nachfolgend stichpunktartig aufgeführten Bedingungen.

- Alle Fluchtwege / Laufwege sind zugänglich,
- Alle Fluchtwege / Laufwege bleiben frei von Behinderungen,
- Fluchtwege werden für die Dauer der Entfluchtung raucharm gehalten,
- Personen bewegen sich entlang der Fluchtwegführung und gekennzeichneten Wege,
- Verteilung der Personen erfolgt wie in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben,
- Art der Aufforderung zum Verlassen wird von den Besuchern verstanden,
- Fluchtwege / Laufwege sind ausreichend gekennzeichnet (beschildert) und gut sichtbar,

- Gut geschulte Sicherheitskräfte nach SBauVO Teil 3 sind in der im Brandschutzkonzept festgelegten Anzahl einzusetzen, um die Aufteilung auf die Treppenträume zu unterstützen und ggf. zu optimieren,
- Gut geschulte Sicherheitskräfte teilen die Personenströme an den notwendigen Punkten und leiten die Besucher zu ihren jeweiligen Zielen
- Personenfluss darf nicht unterbrochen werden, stetiges Weiterlaufen wird vorausgesetzt.

7.2.2 Hinweis: Personen mit eingeschränkter Mobilität

Neben den Annahmen in der Simulation muss hinsichtlich der Barrierefreiheit ergänzend erwähnt werden, dass eine explizite Annahme mobilitätsbehinderter Personen nicht vorgenommen wurde. Es sind zwar mit der RiMEA Standardpopulation Personen mit Mobilitätseinschränkungen implizit berücksichtigt, jedoch beschränkt sich diese Berücksichtigung hauptsächlich auf die Gehgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass Personen mit besonderen Bedürfnissen hinsichtlich der Barrierefreiheit (Elternteile mit Kinderwagen, Personen im Rollstuhl) nicht explizit in der Simulation erfasst werden können. Bei diesen Personengruppen sind organisatorische Brandschutzmaßnahmen notwendig. Hierbei muss der Eingriff der Sicherheitskräfte erfolgen, damit diese Personengruppen bei der Evakuierung unterstützt werden und der Personenfluss nicht behindert wird.

7.2.3 Annahmen zur Reaktion und Orientierung

Annahme in der Simulation ist, dass sich alle Personen innerhalb der festgelegten Reaktionsdauer eigenständig zu den Ausgängen begeben. Besonders bei Kindern ohne Eltern / Begleitperson ist es notwendig über Betreuungspersonal zu verfügen. Außerdem muss beachtet werden, dass die Reaktionsdauer von dem Verhalten des Aufsichtspersonals abhängt. Ohne Aufforderung zum Verlassen vom Aufsichtspersonal werden Kinder entsprechenden Alters nicht eigenständig einen Bereich verlassen. Dazu sind entsprechende organisatorische Maßnahmen vorzusehen. Maßnahmen sind beispielsweise regelmäßige Einweisungen durch Brandschutzbeauftragte, Taschenkarten mit Handlungsanweisungen und Evakuierungsübungen.

7.3 Bewertung

7.3.1 Vorbemerkung zur Laufgeschwindigkeit

Im Hinblick auf den Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der TU Berlin (Simulation mit MATSim) ist festzuhalten, dass dort mit einer einheitlichen Laufgeschwindigkeit von 1,66 m/s gerechnet wird. Dies ist etwas hö-

her als die freie Laufgeschwindigkeit bei PedGo, die zwischen 0,8 und 2,0 m/s liegt. Daher ergibt sich auch ein etwas höherer Personenfluss bei MATSim und demzufolge eine etwas geringere Gesamtdauer. Berücksichtigt man diesen Umstand zusammen mit der Tatsache, dass es sich bei den MATSim Ergebnissen um eine untere Schranke für die Gesamtdauer handelt, sind die Ergebnisse sehr gut vergleichbar.

7.3.2 Bewertung der Evakuierung (Szenario 1)

Die Evakuierung der Arena ist zügig möglich. Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Ausgänge außerhalb der Arena weitgehend frei von Personen sind. D.h., es muss im Falle einer Evakuierung gewährleistet sein, dass auch außerhalb der Arena auf dem Festgelände entsprechende Hinweise erteilt werden, damit ausreichend Raum für die aus der Arena zu evakuierenden Personen zur Verfügung steht.

7.3.3 Bewertung der Wegstrecke vom Festgelände zum Bahnhof

Bei der Abreise wurde für die Zwecke der vorliegenden Simulation eine Personenzahl von 48.000 angenommen, die mit dem ÖV abreist. D.h., diese Personen bewegen sich vom Festgelände zum Bahnhof. Das dauert in der Simulation etwas über vier Stunden. Es kommt also zu erheblichen Wartezeiten. Dennoch ist hier eine Beschleunigung nicht wünschenswert, denn die verkehrliche Leistungsfähigkeit des Bahnhofes lässt keine schnellere Abreise zu. Es ist im Gegenteil wünschenswert, dass sich die Abreise und insbesondere die Ankunft der Besucher am Bahnhof über diesen Zeitraum erstreckt. Des Weiteren ist eine frühzeitige, umfassende und kontinuierliche Information und Versorgung erforderlich, um Sicherheit und Komfort der abreisenden Besucher zu gewährleisten.

7.3.4 Anreiseverkehr und Leistungsfähigkeit Perron

In Szenario 3 wurde der Ausstieg anreisender Besucher untersucht. Es ergab sich eine Dauer von ca. 9 Minuten für 1.920 Personen, die aus den Zügen aussteigen und den Bahnhof verlassen. Wie im Anhang unter „Kapazitätsberechnung“ dargelegt ist, stimmt dieser Wert gut mit der Leistungsfähigkeit der übrigen Wegelemente (Treppen, Rampen, Personenunterführungen) überein. Weitere Details finden sich in Anhang D.

Duisburg, 15. Mai 2013

i.A. Patrick Gessler



Dr. Hubert Klüpfel

Anhang

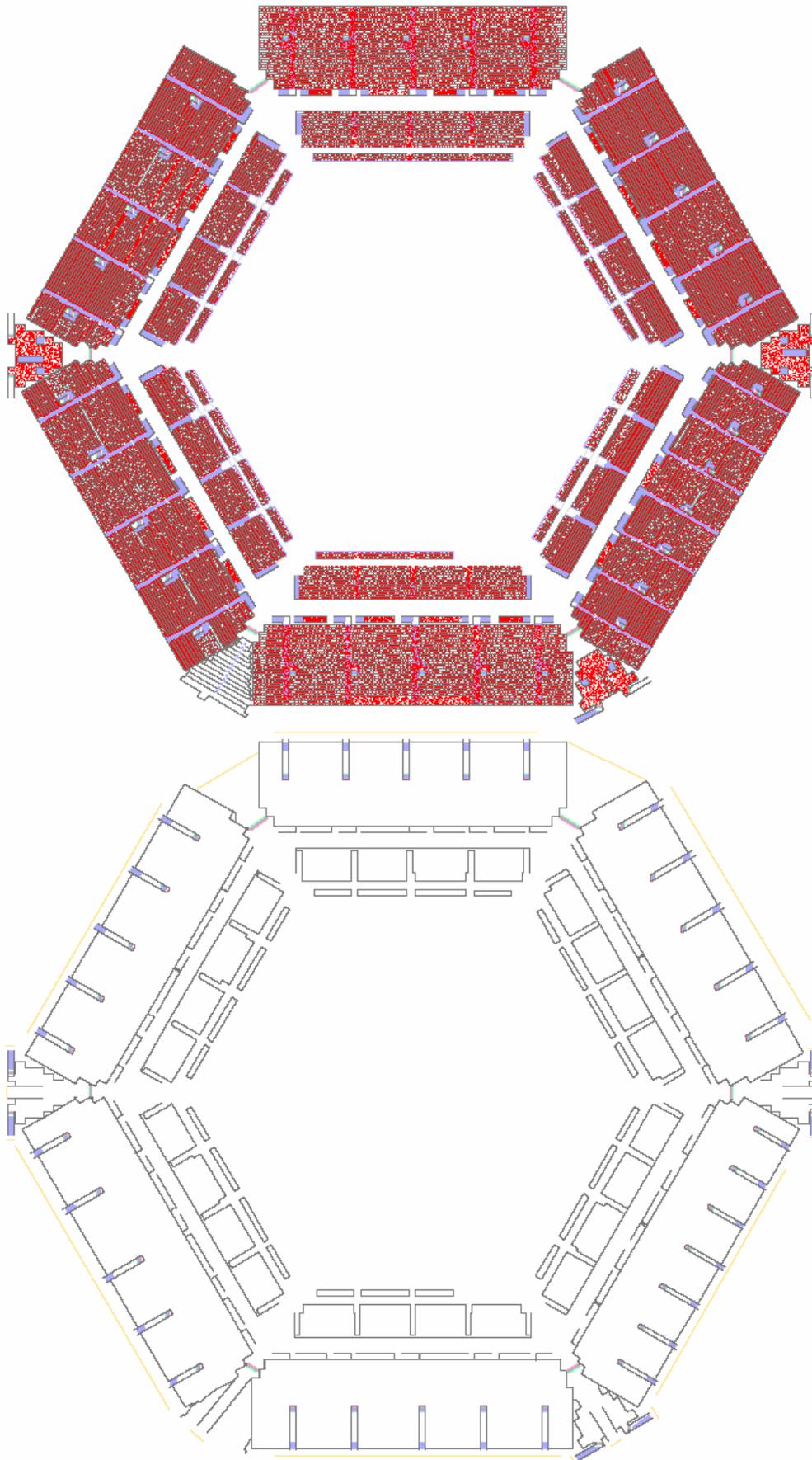
A Screenshots

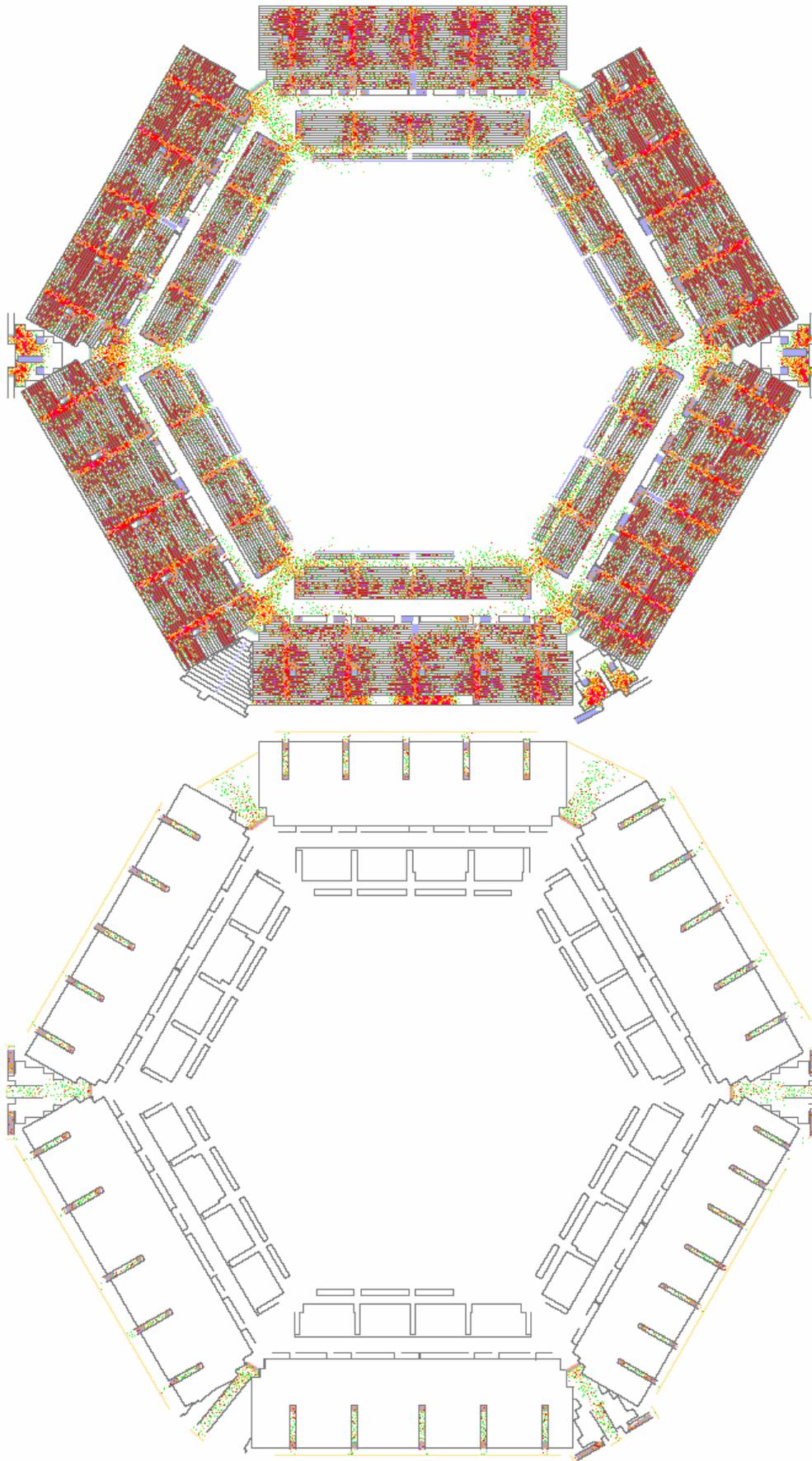
Stehende Personen werden in den nachfolgenden Abbildungen durch rote Punkte repräsentiert. Personen, die sich bewegen, werden in den Farben gelb und grün dargestellt. Eine Farbcodierung zu den nachfolgenden Abbildungen ist im Anhang enthalten.

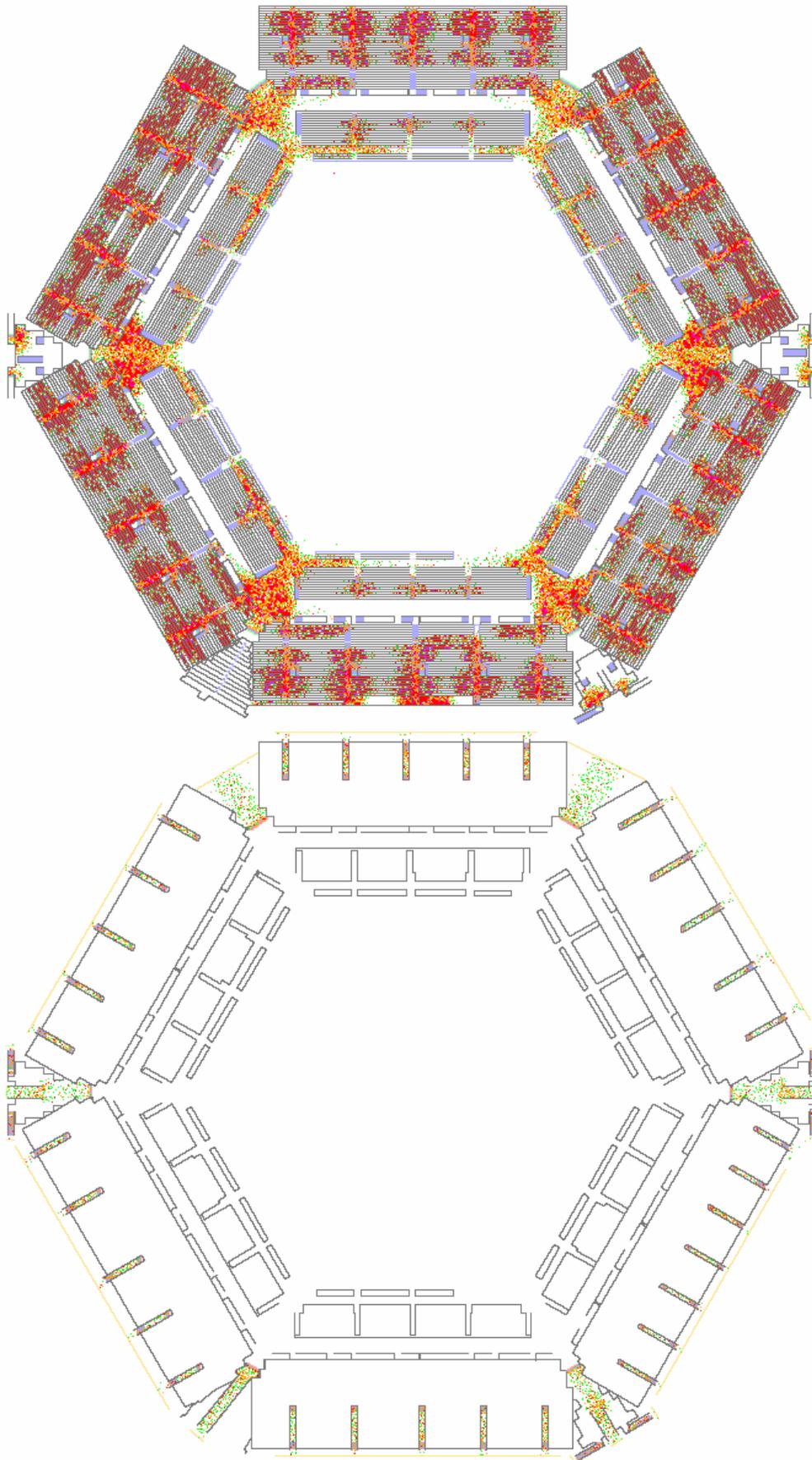
Weitere Screenshots sind auf der mitgelieferten CD-ROM enthalten.

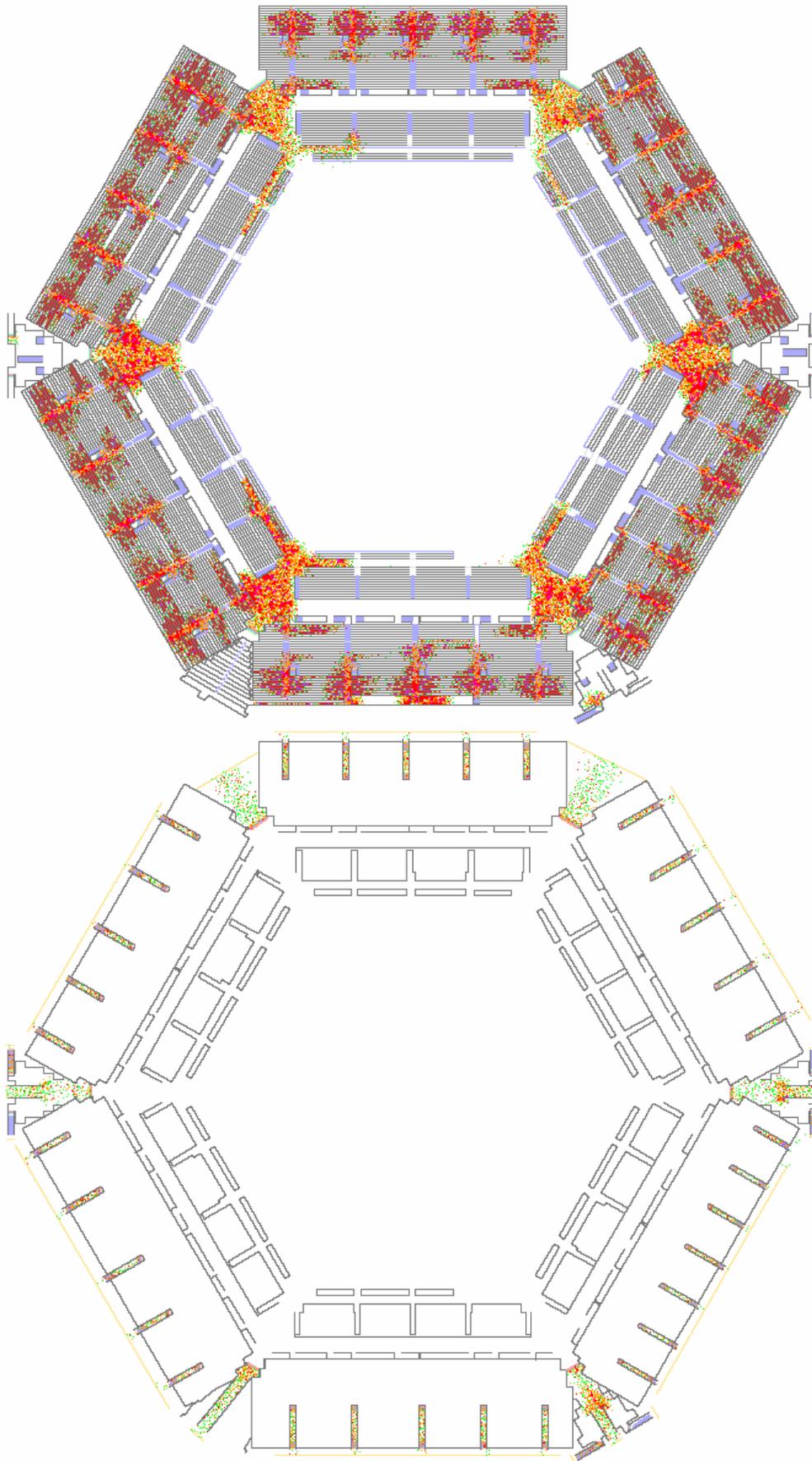
A.1 Szenario 1 – Evakuierung der Arena

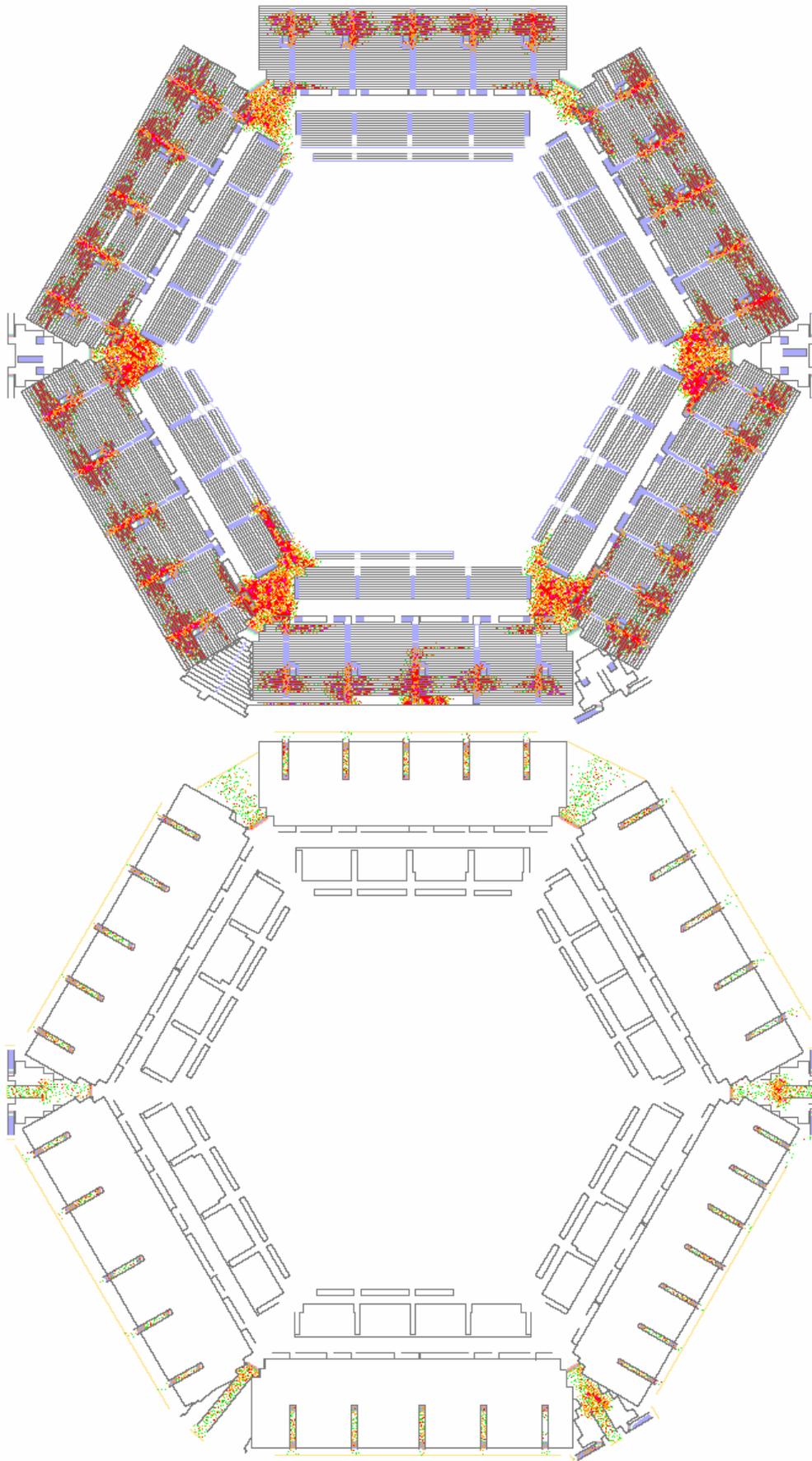
Auf den nachfolgenden Seiten sind die Screenshots für den signifikanten Einzeldurchlauf der Entfluchtung der Arena abgebildet. Die erste Abbildung zeigt den Zeitpunkt $t = 60$ Sekunden, die weiteren Abbildungen je zwei Minuten später bis hin zu $t = 21$ Minuten (1260 Sekunden). Das letzte Bild zeigt den Zeitpunkt nach $t = 22$ Minuten (1320 Sekunden).

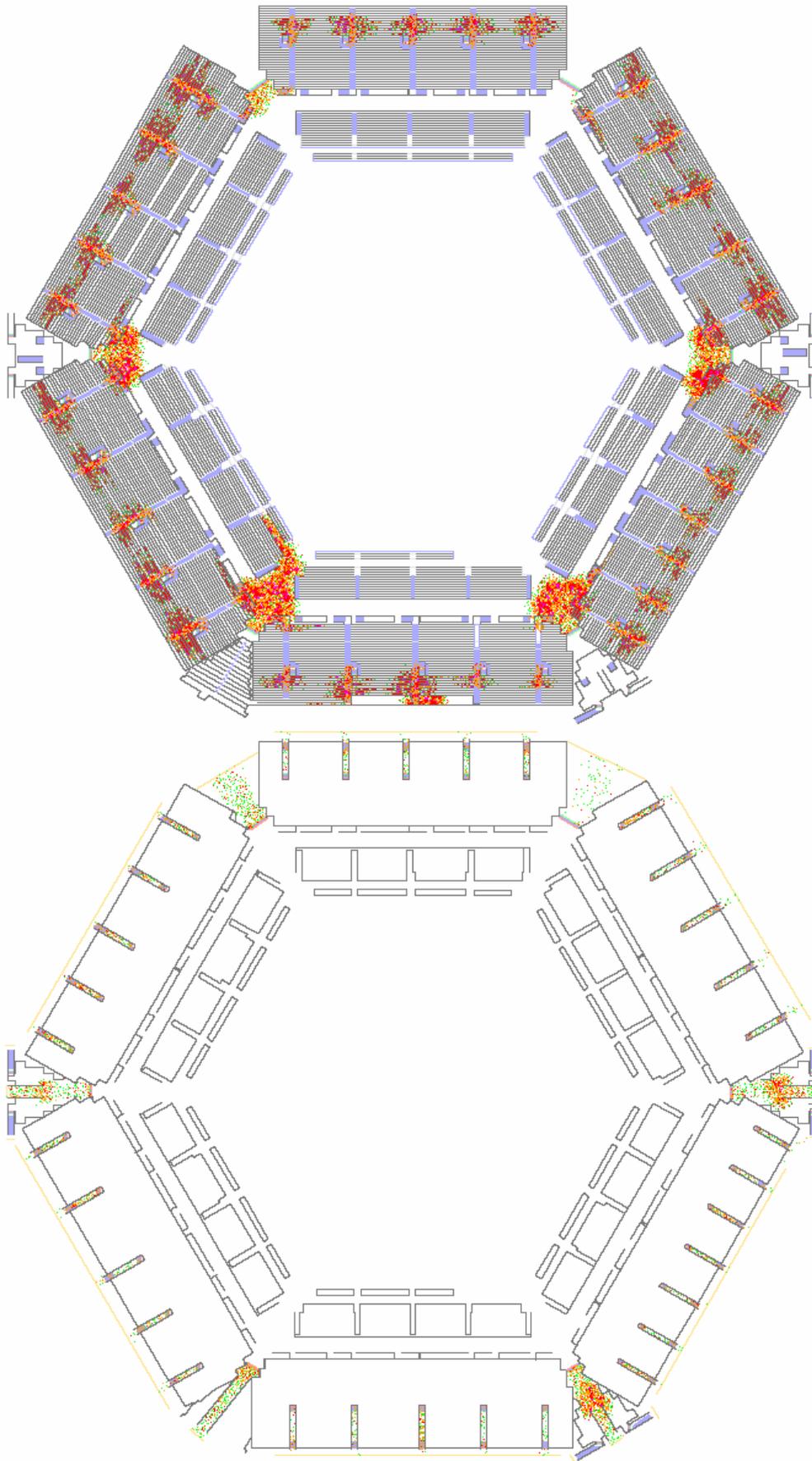


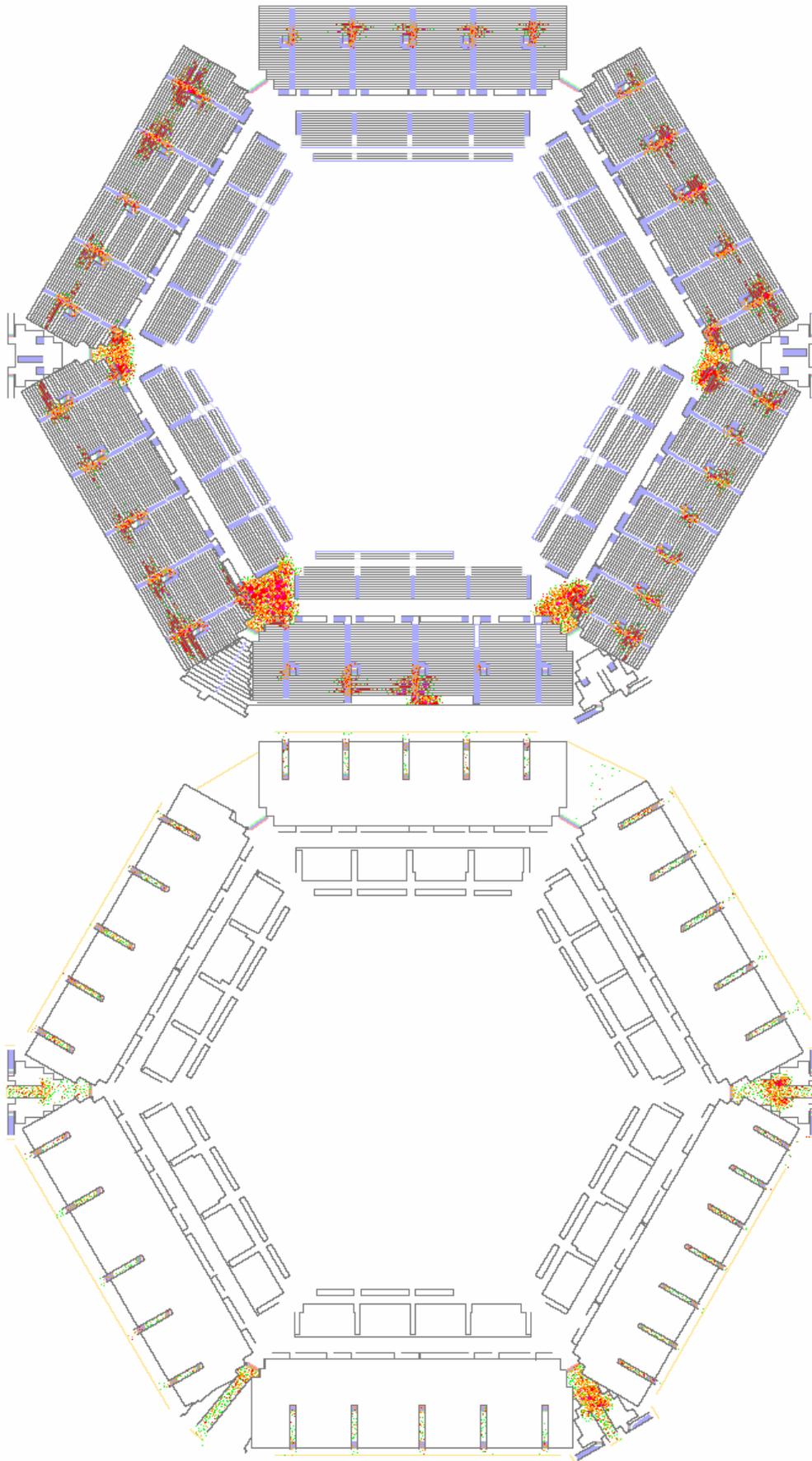


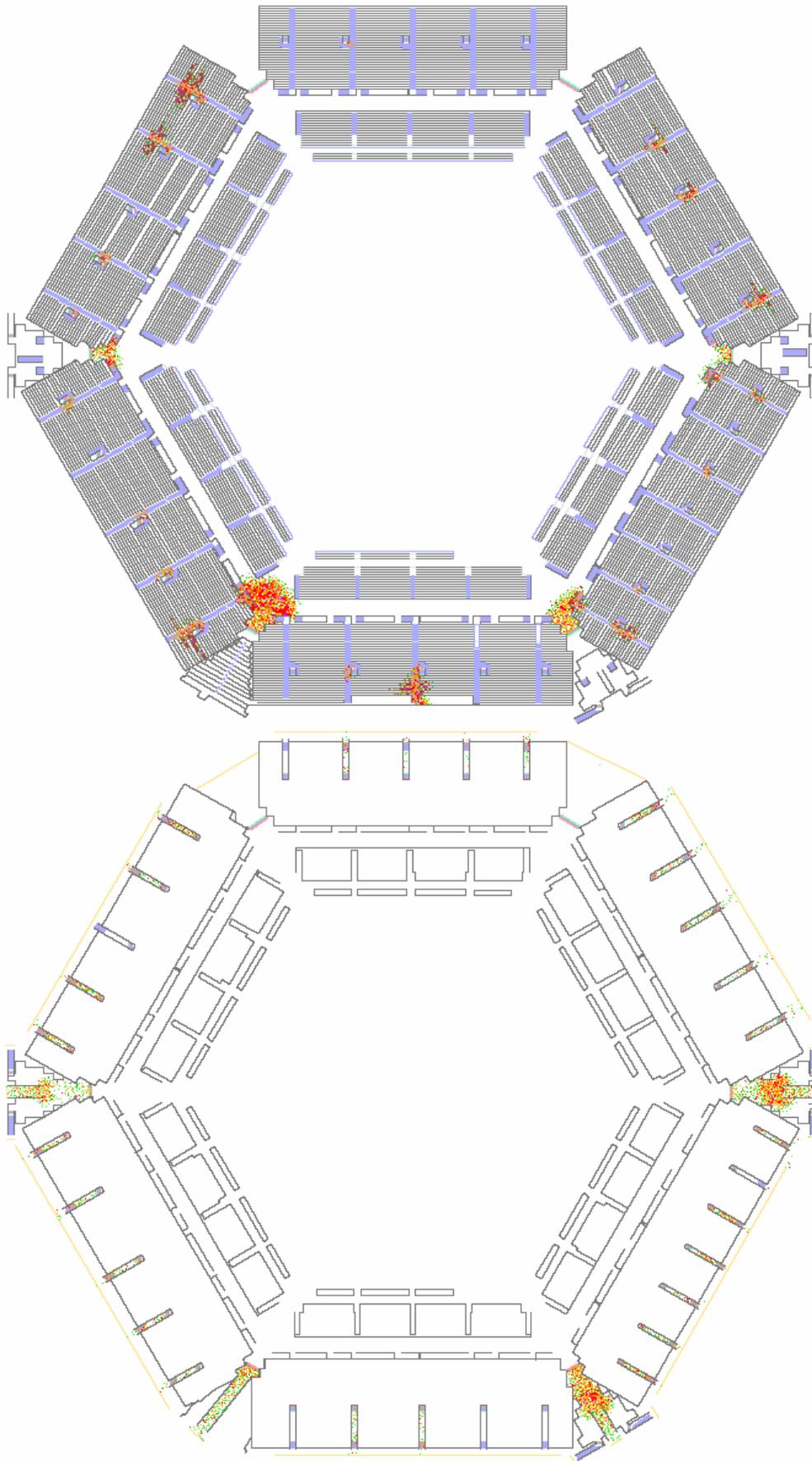


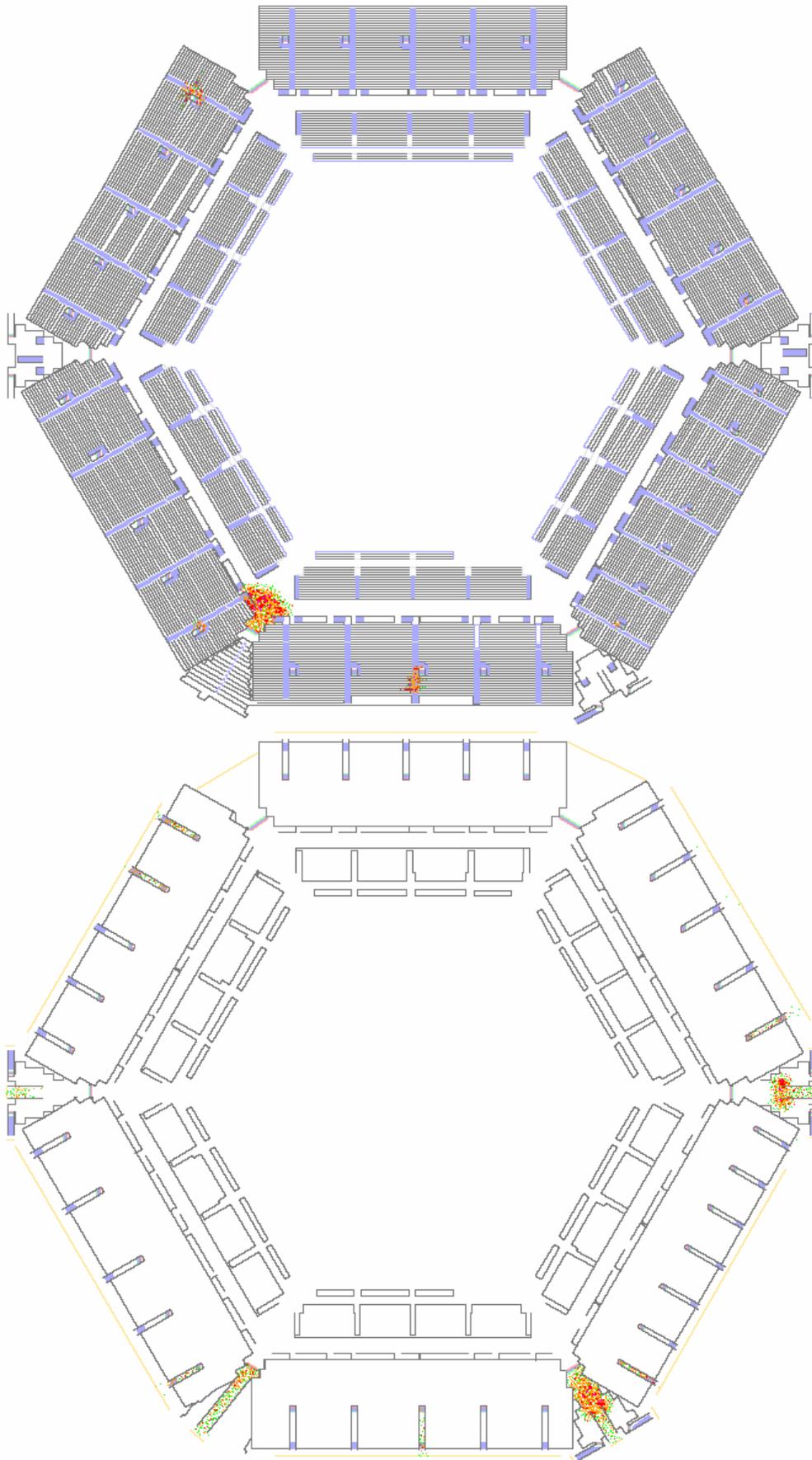


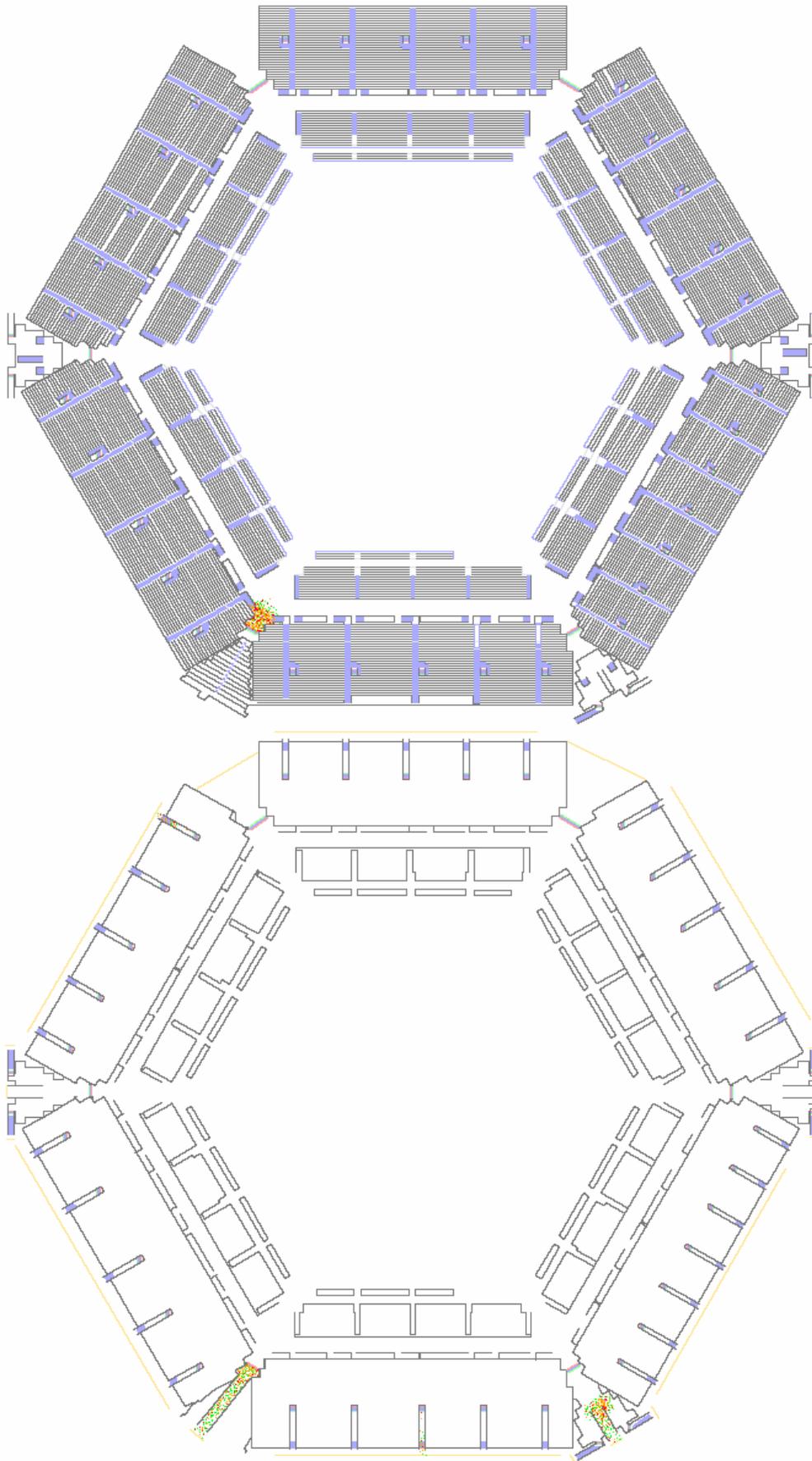


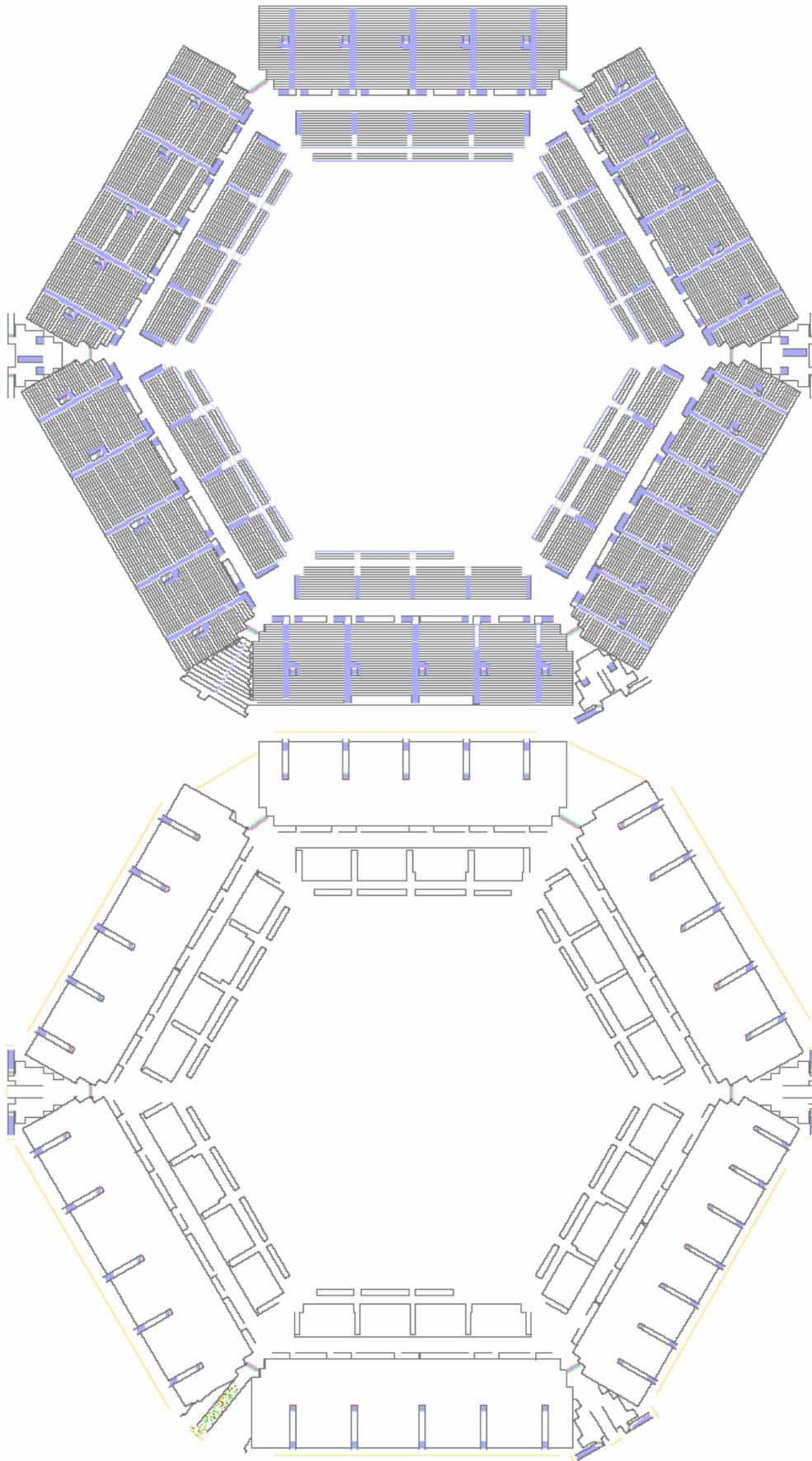


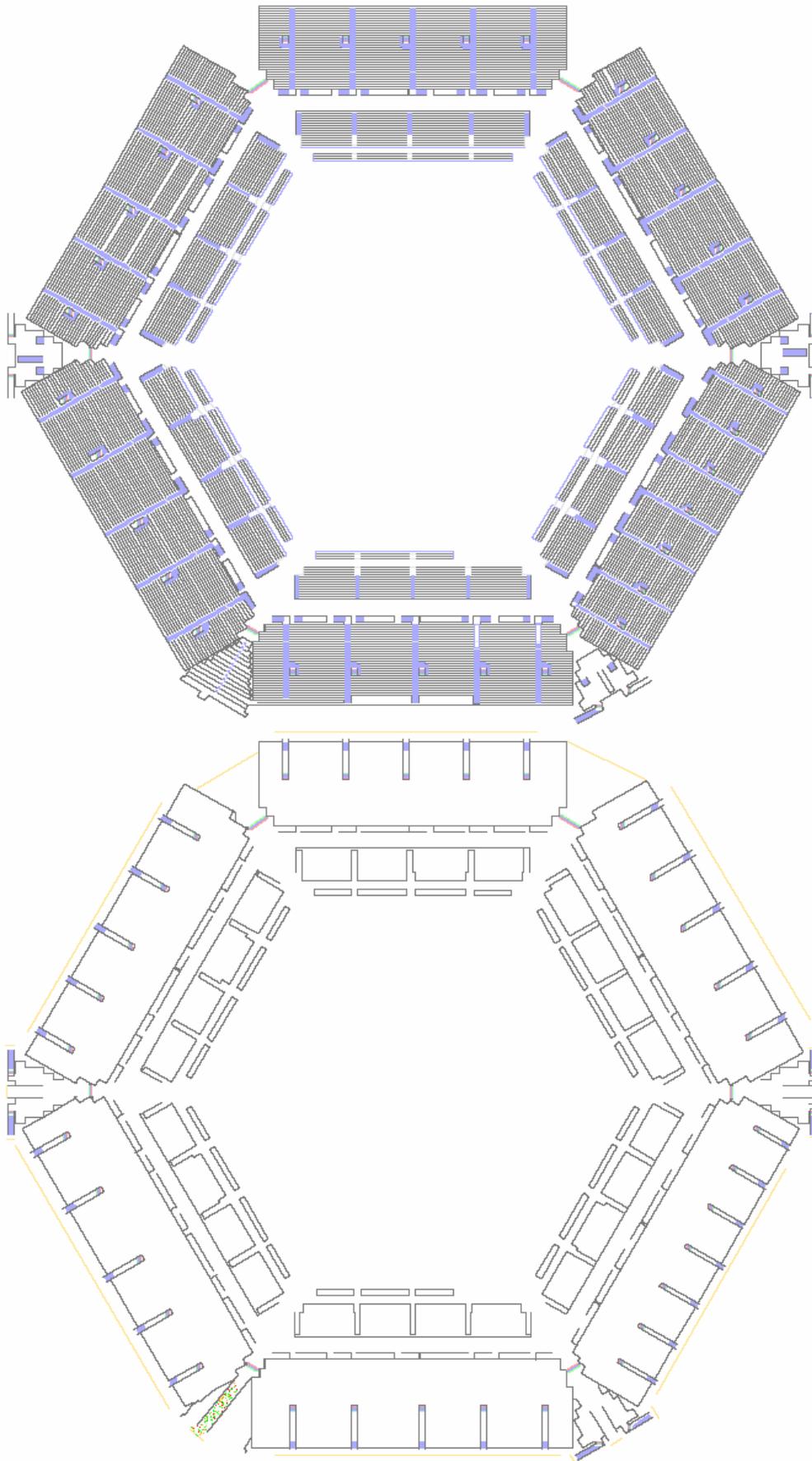






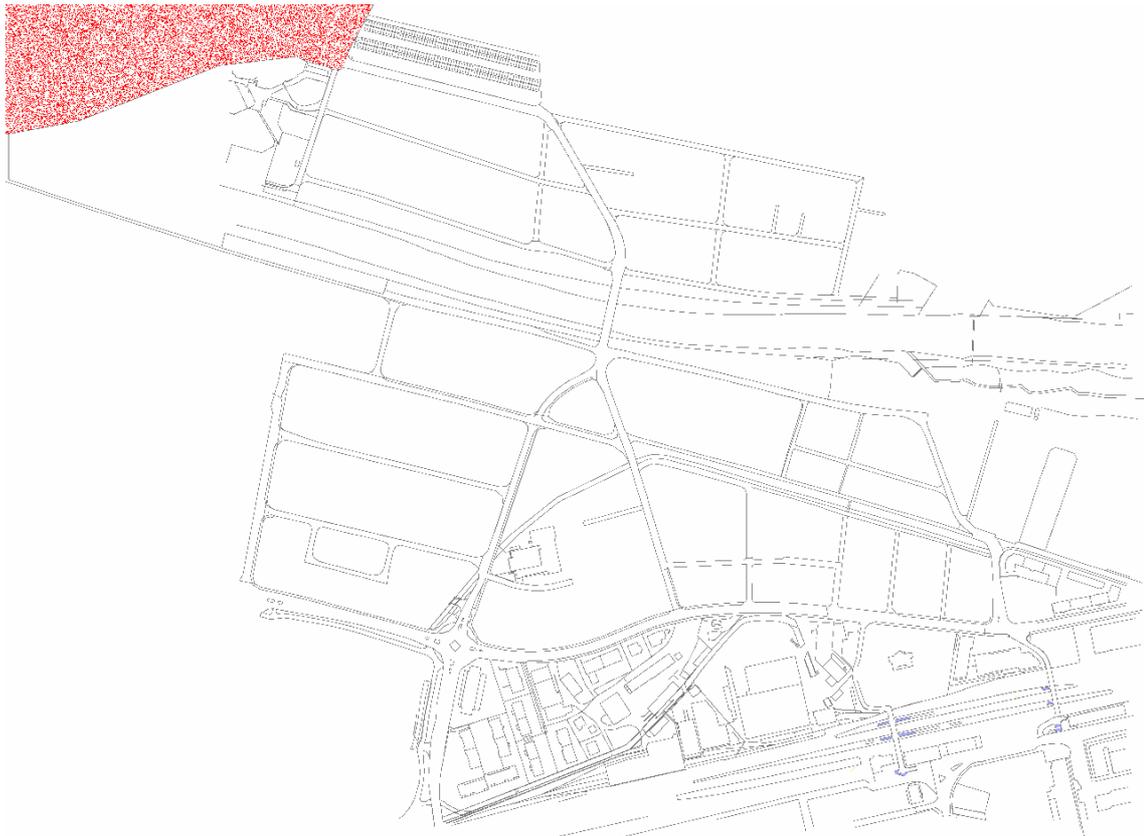


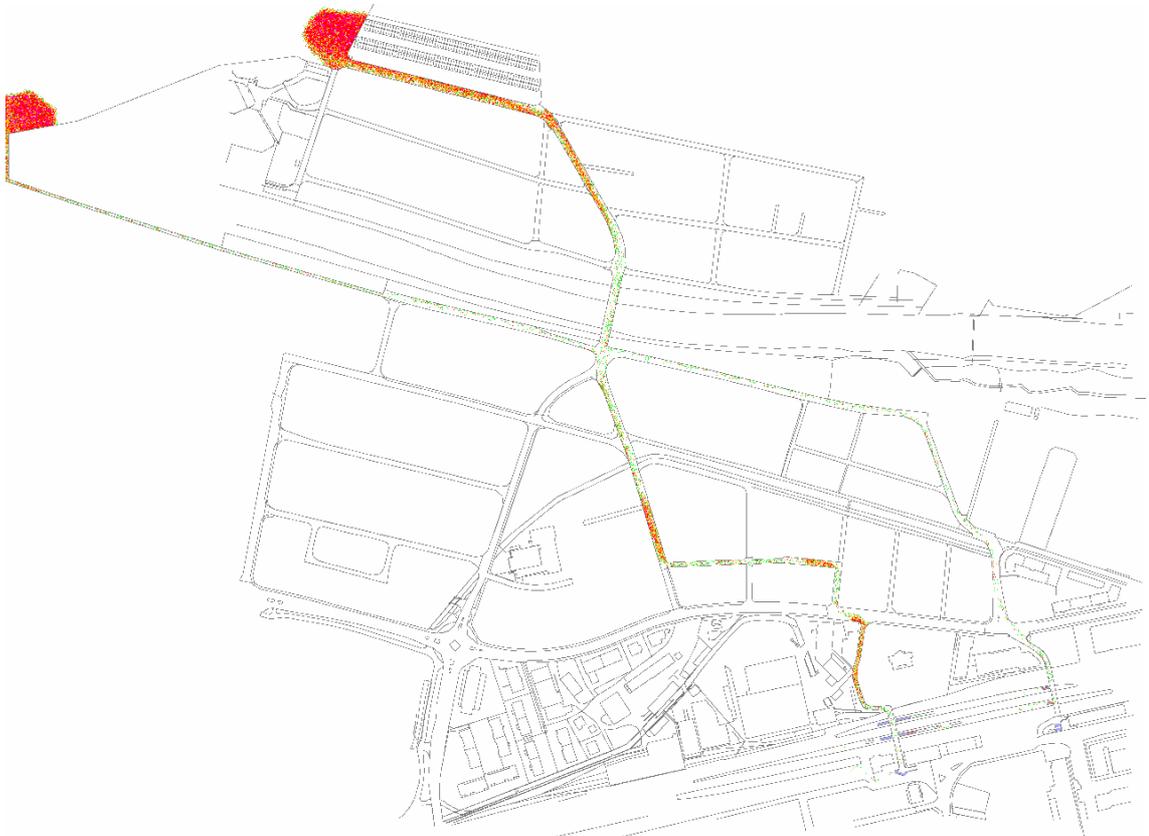
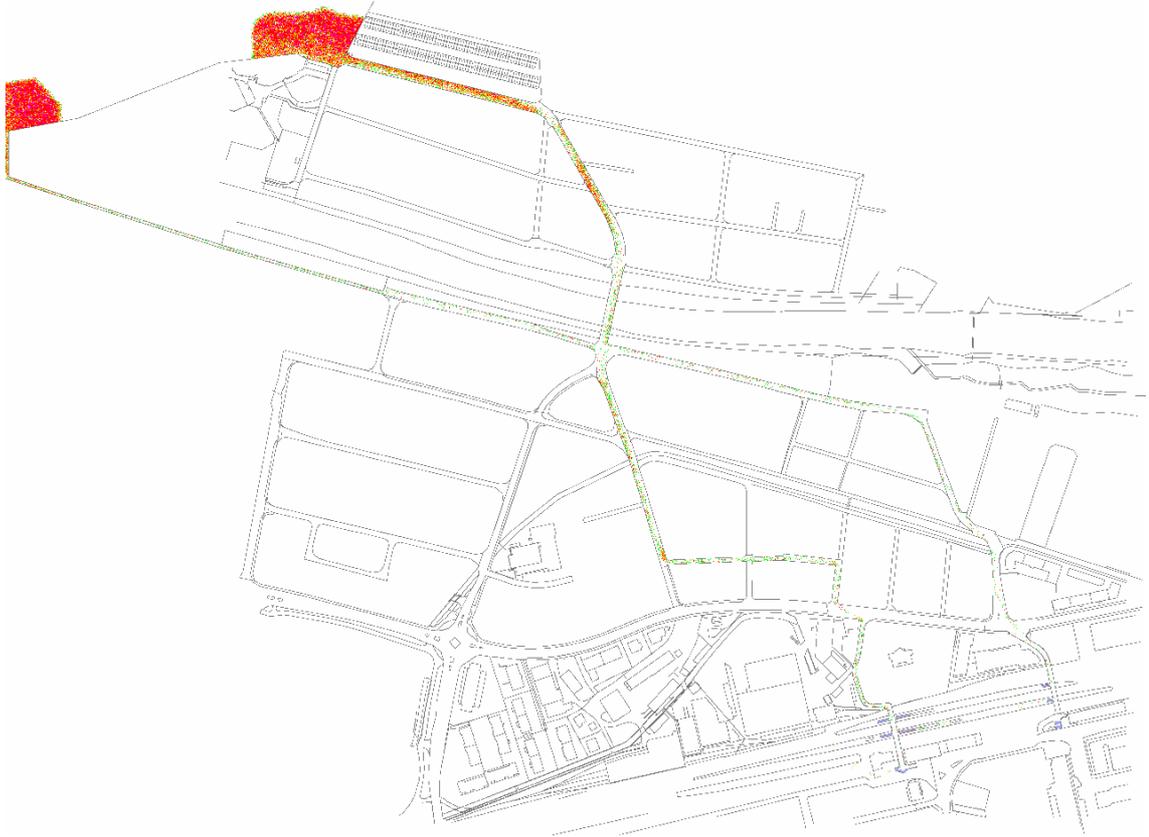


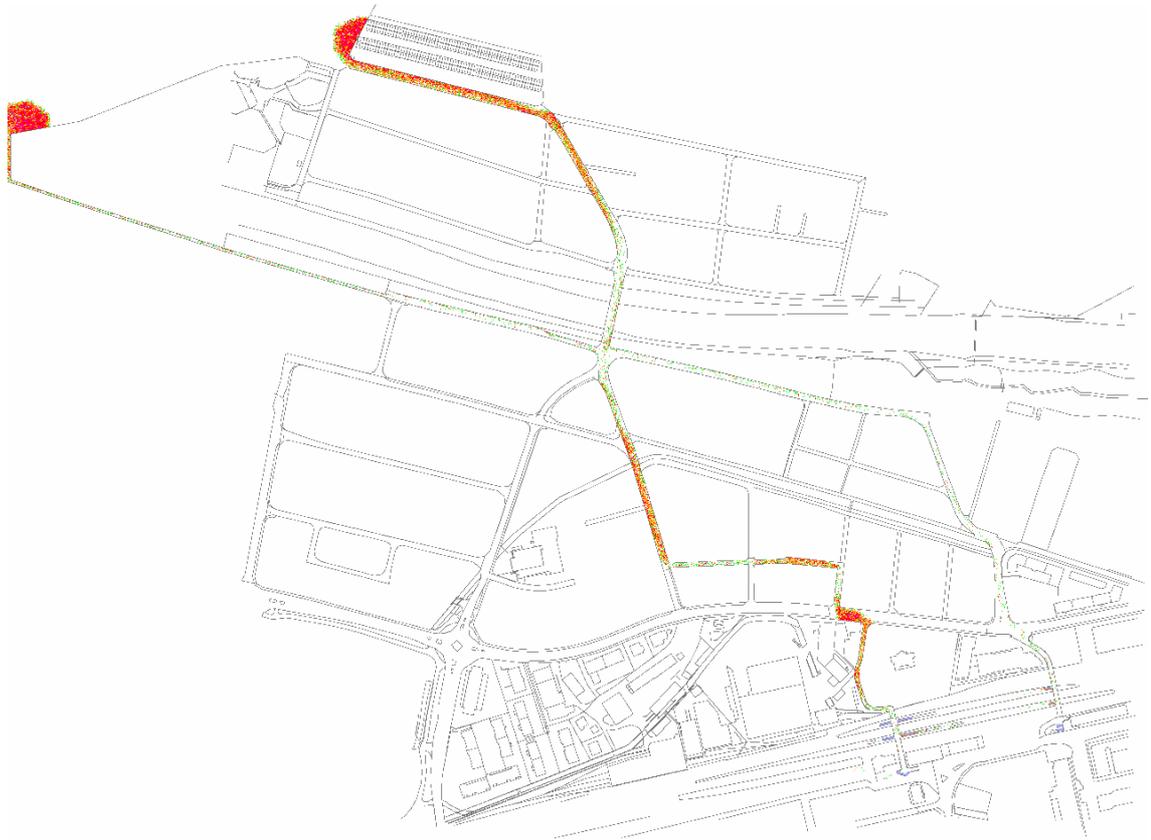


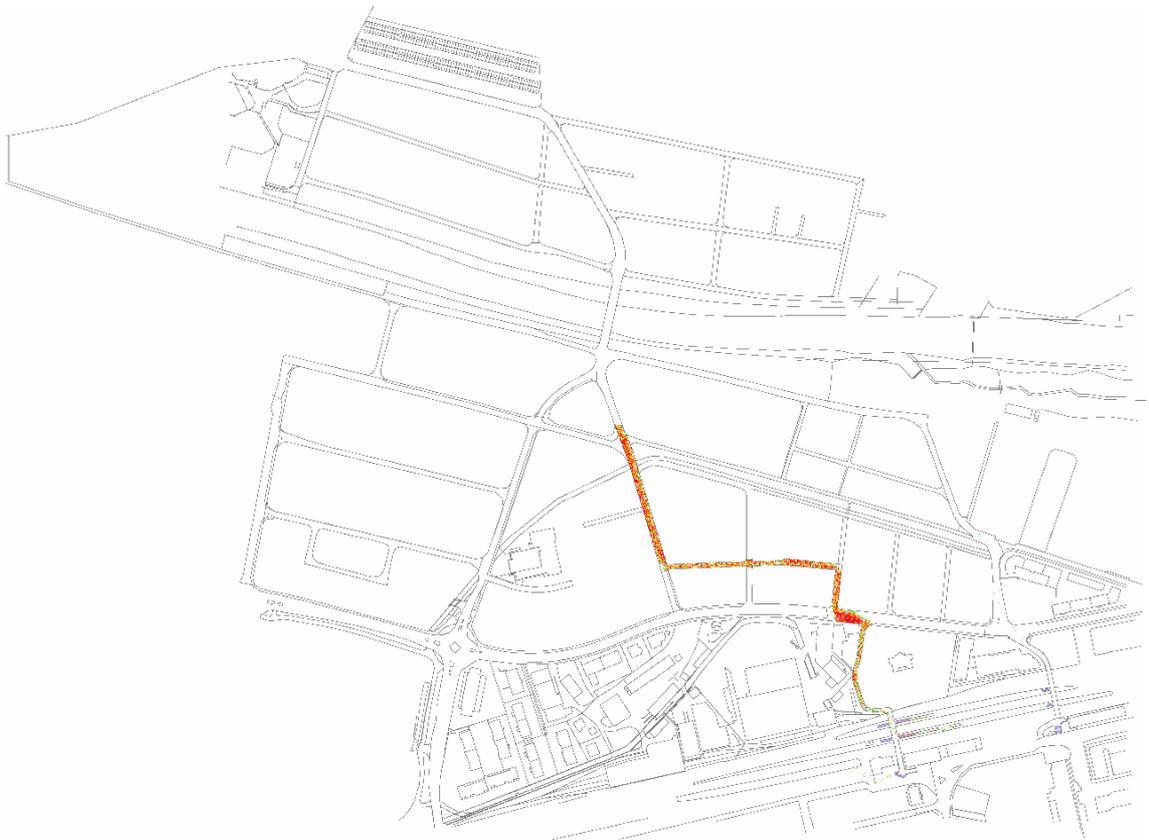
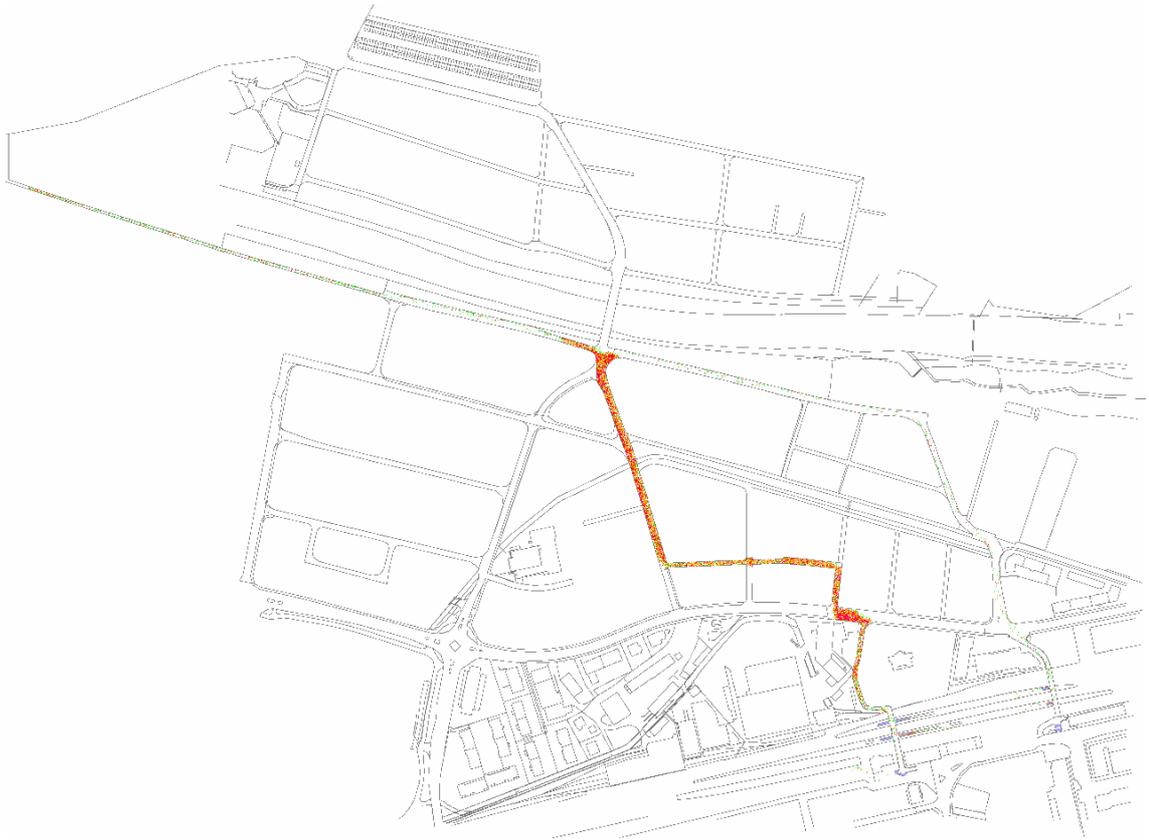
A.2 Szenario 2

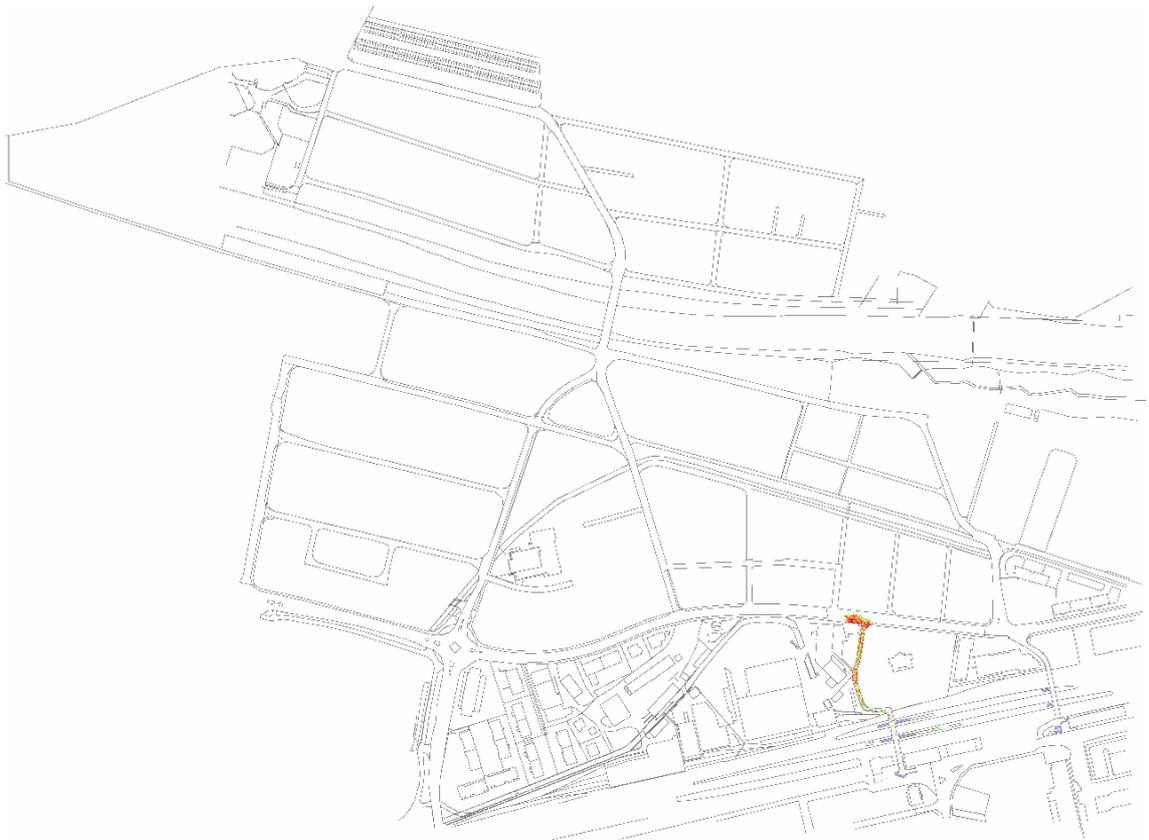
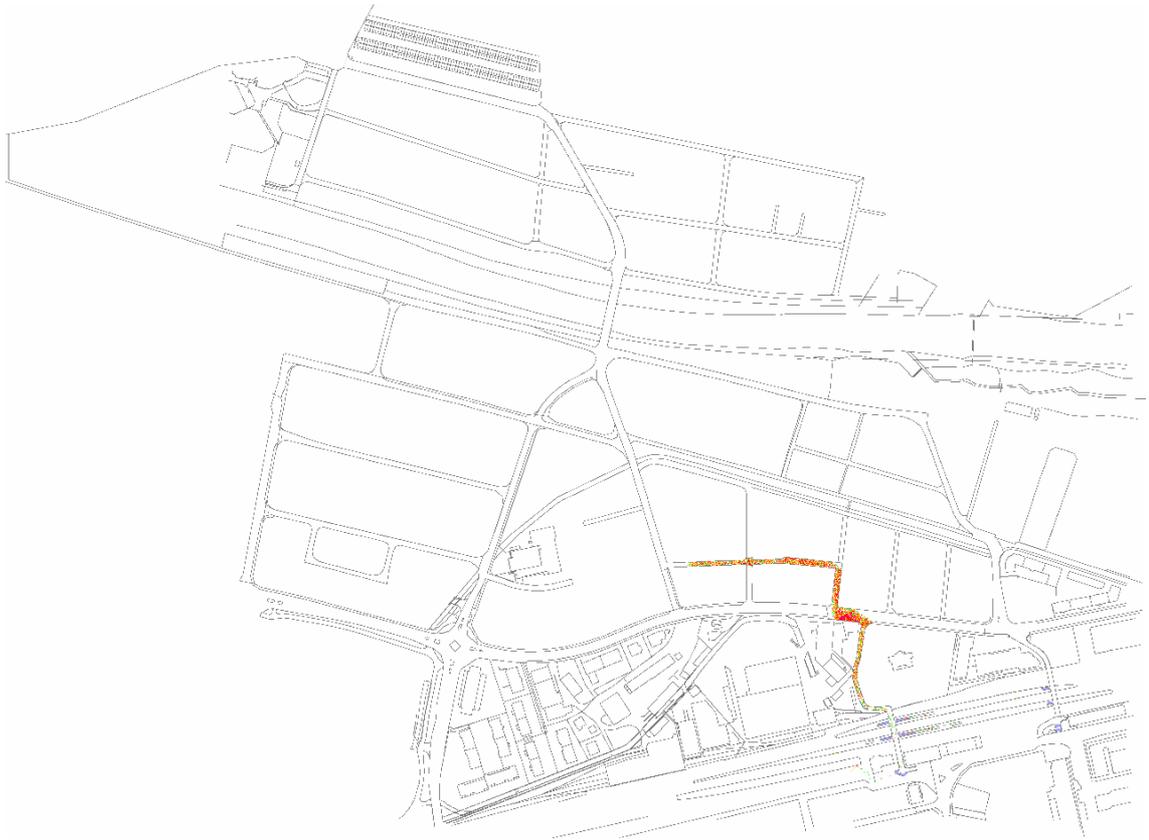
Auf den nachfolgenden Seiten wird der Personenstrom vom Festgelände zum Bahnhof in chronologischer Reihenfolge in Form von Screenshots dargestellt. Die erste Abbildung zeigt den Zeitpunkt $t = 0$ Minuten, die weiteren Abbildungen je dreißig Minuten später bis hin zu $t = 240$ Minuten / 4h (14400 Sekunden). Anschließend folgt die Aufnahme der Schlussituation nach $t = 260$ Minuten / 4:20:00 h.

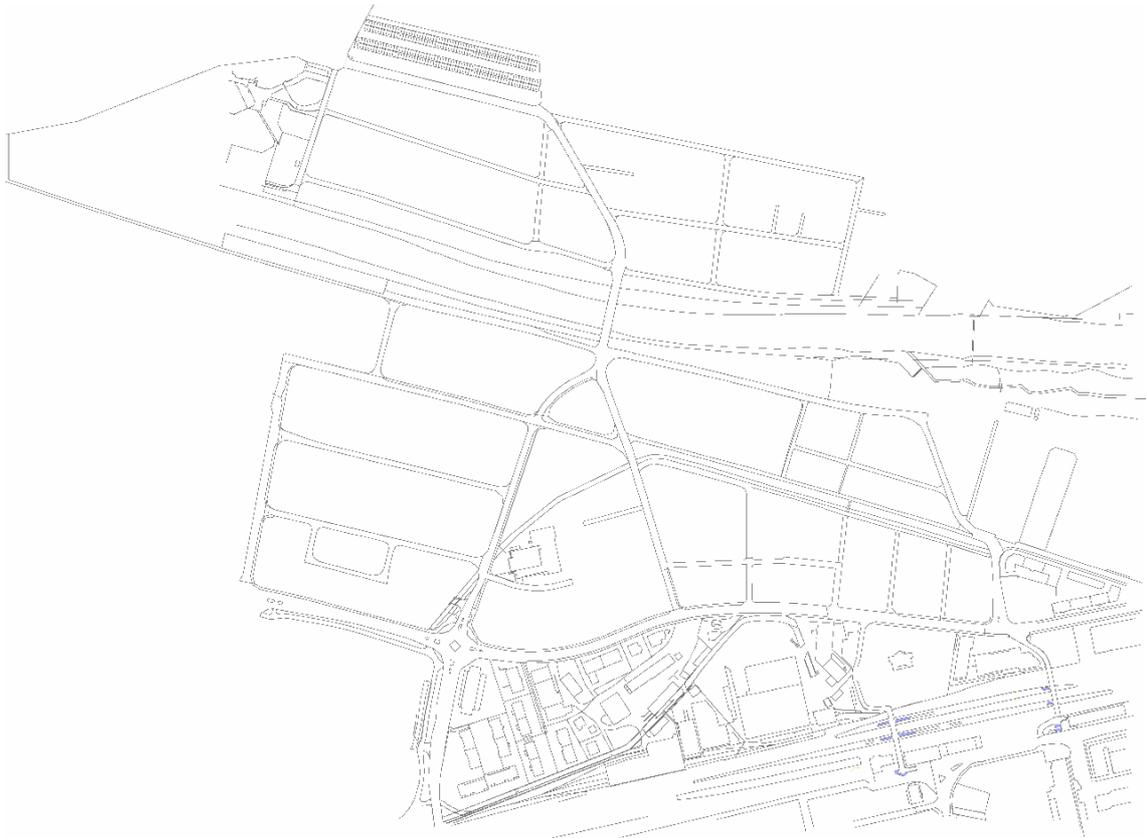






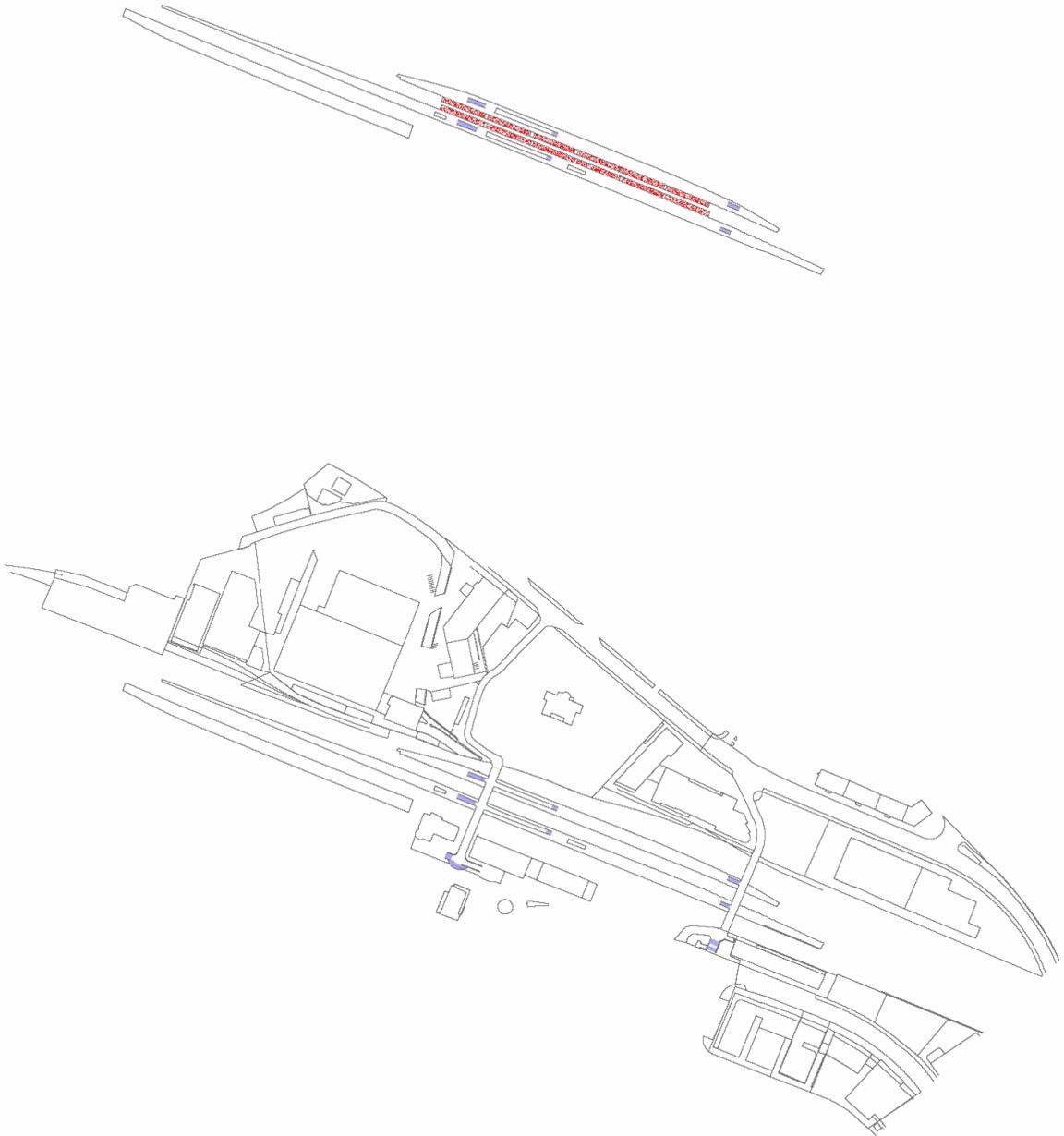


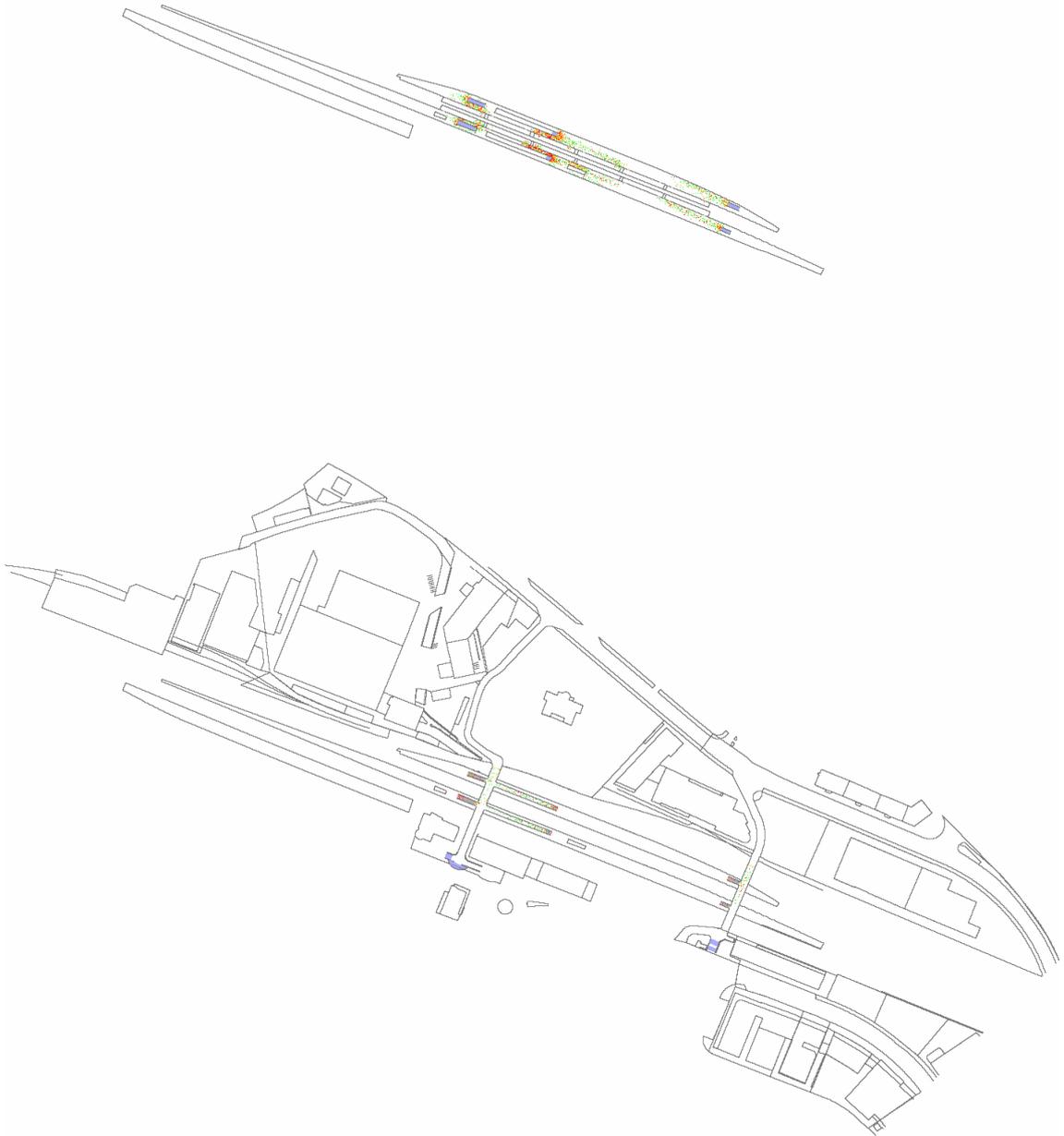


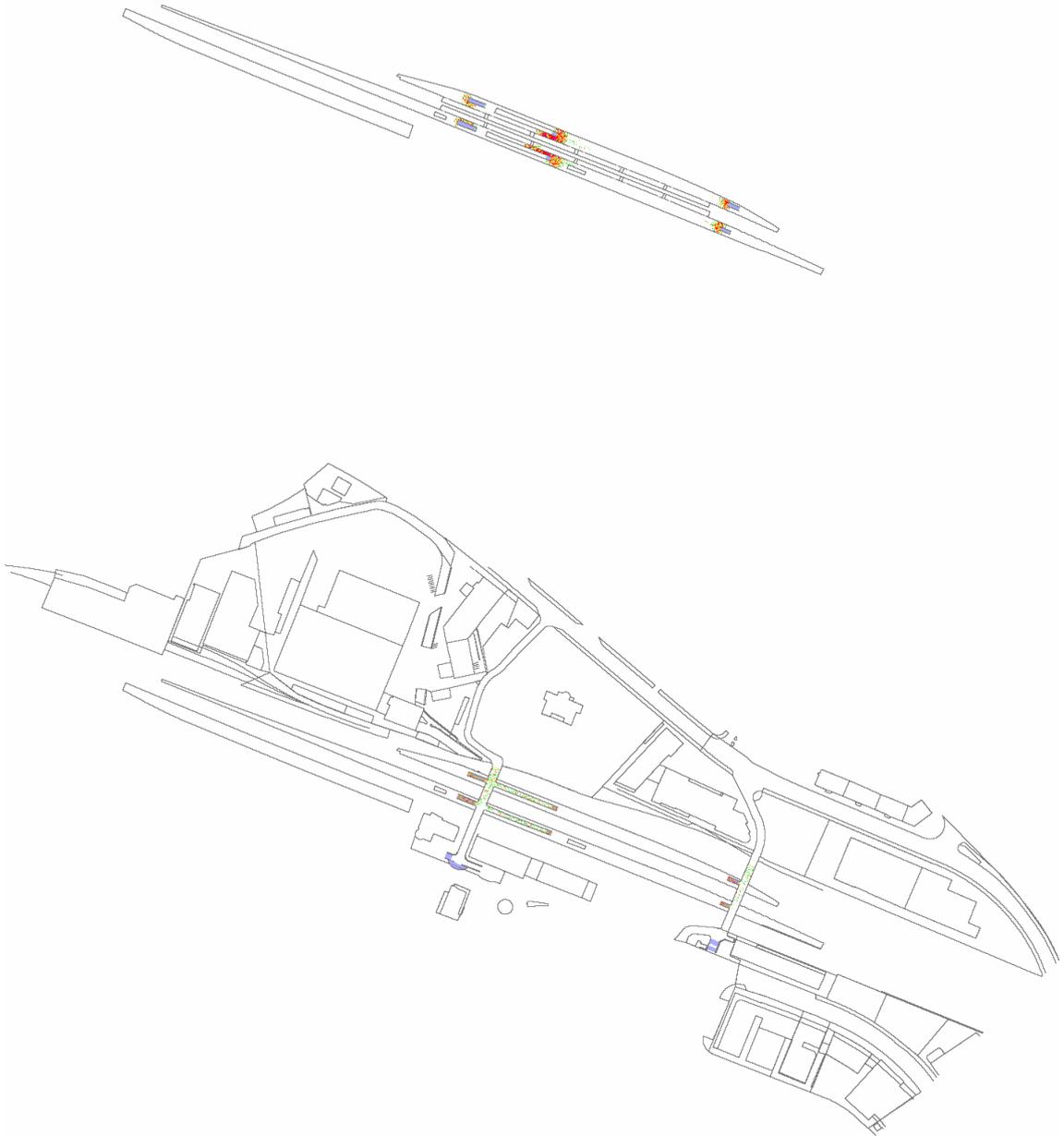


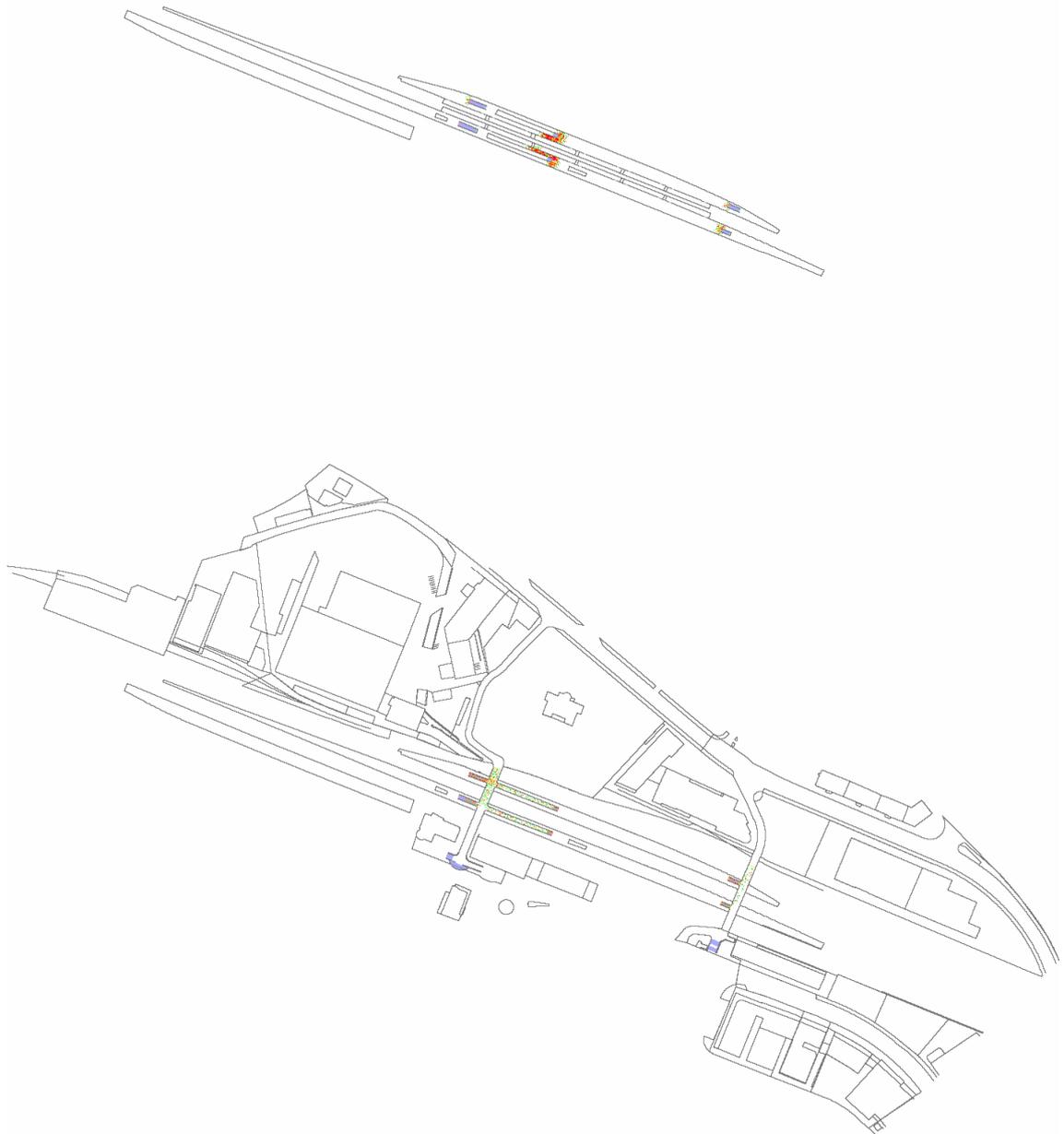
A.3 Szenario 3

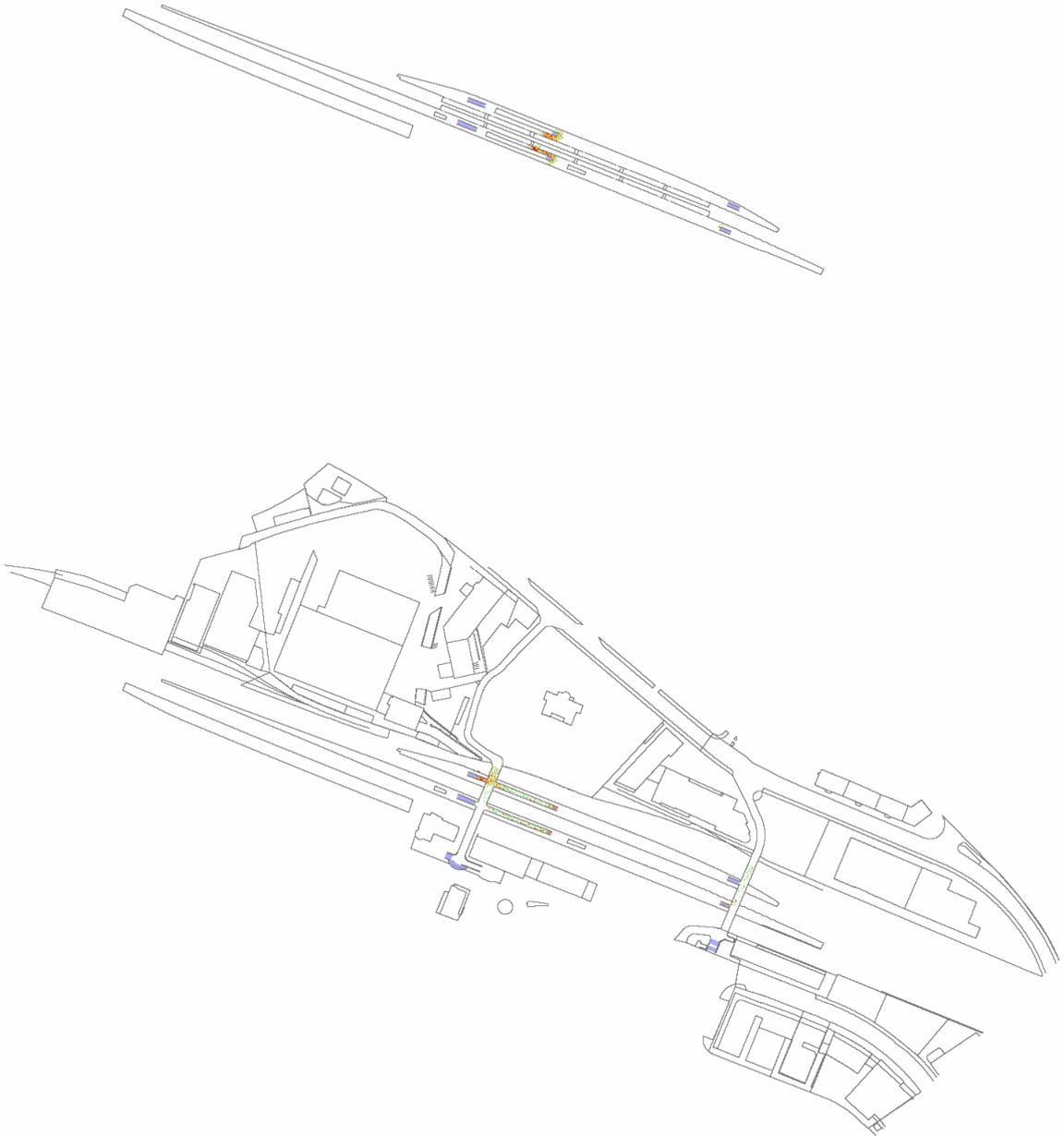
Auf den nachfolgenden Seiten sind jeweils die beiden Ebenen des Bahnhofs dargestellt und zeigen die Personenströme des beschriebenen Szenarios. Der obere Bildteil zeigt die Situation auf den Perrons, der untere Teil die Situation auf den Treppen / Rampen und den Personenunterführungen. Die erste Abbildung zeigt den Zeitpunkt $t = 0$ Minuten, die weiteren Abbildungen je eine Minute später bis hin zu $t = 8$ Minuten (480 Sekunden). Das letzte Bild zeigt die Schlusssituation der Simulation nach $t = 8,5$ Minuten (510 Sekunden).

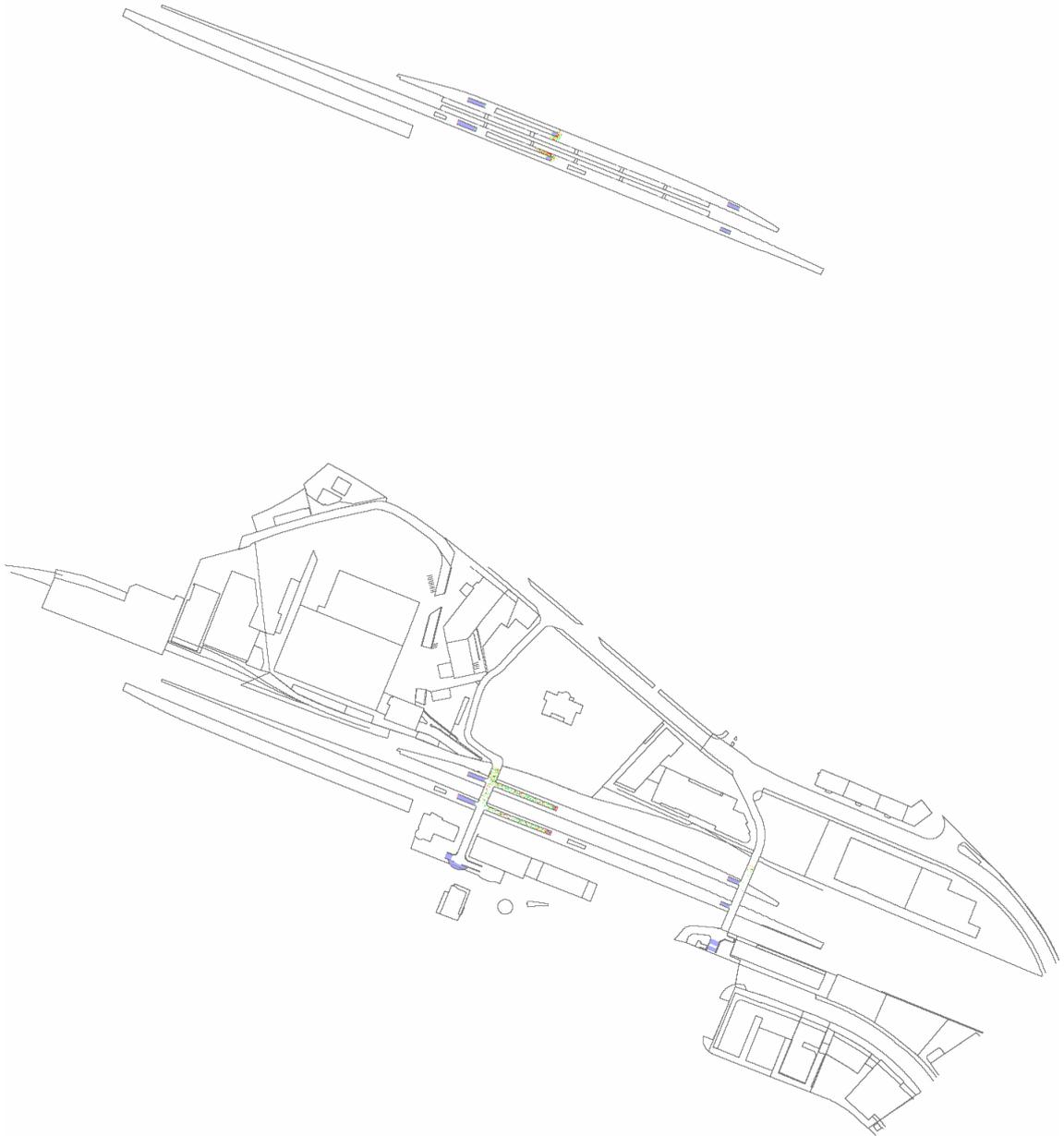


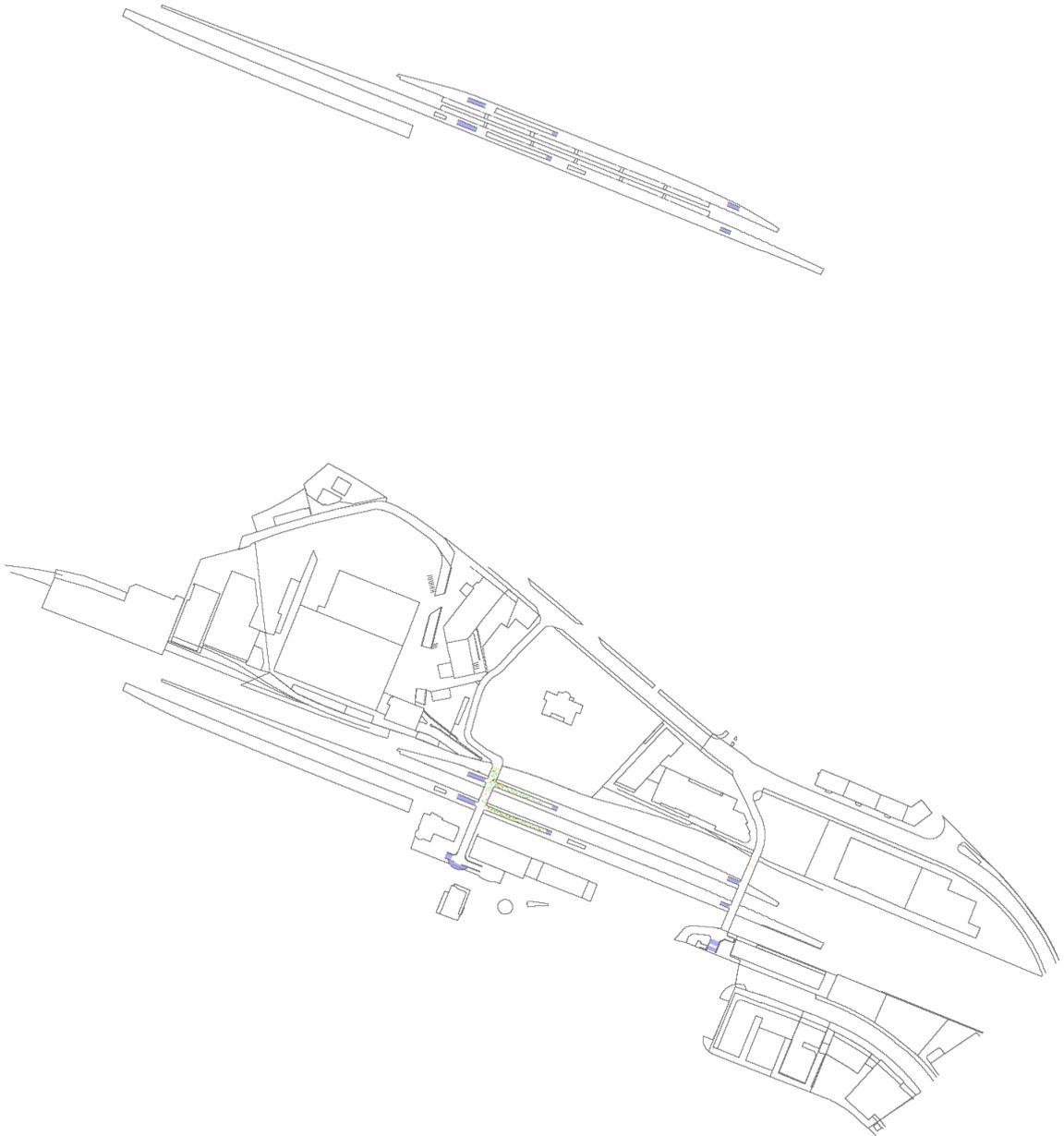


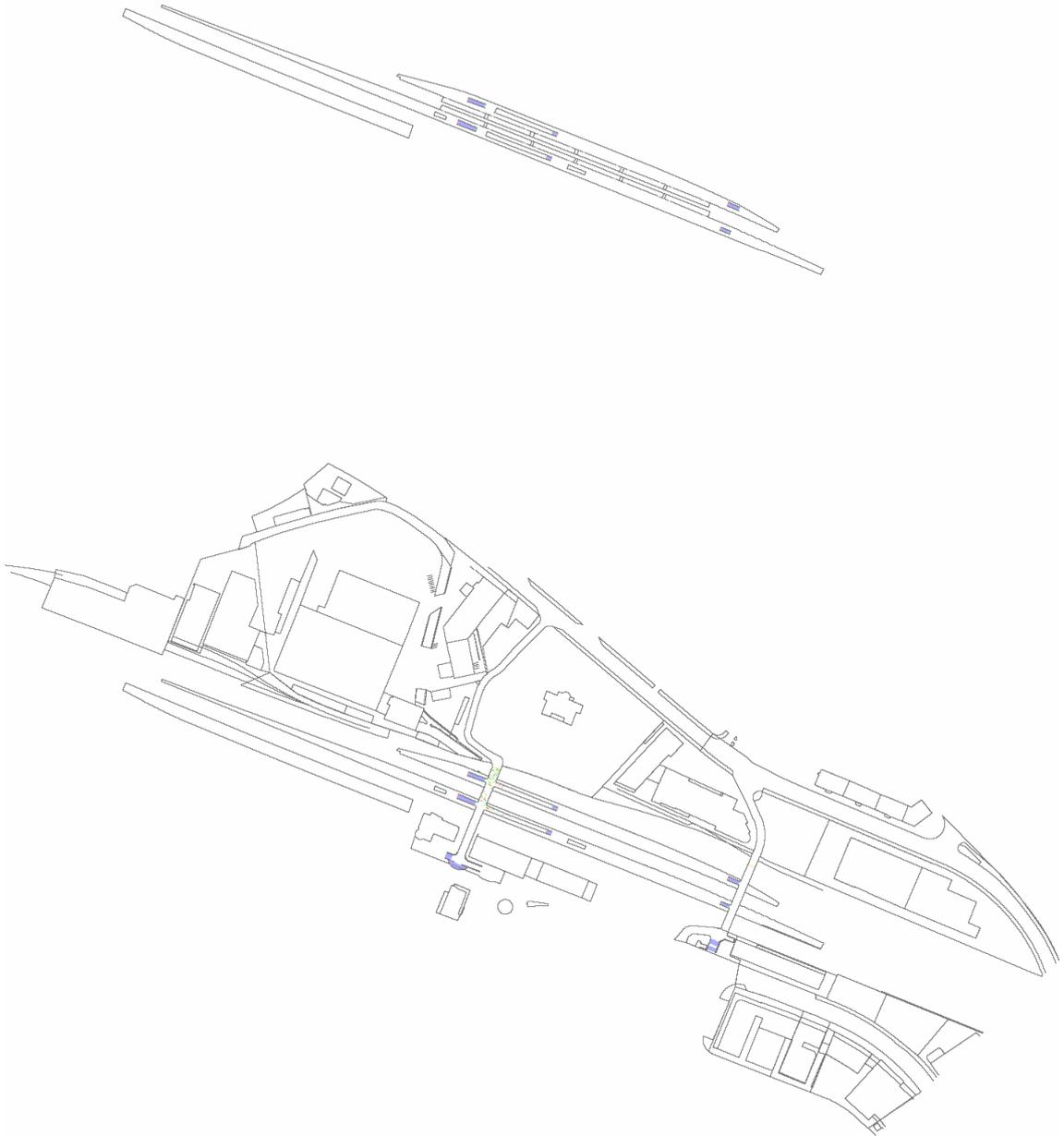


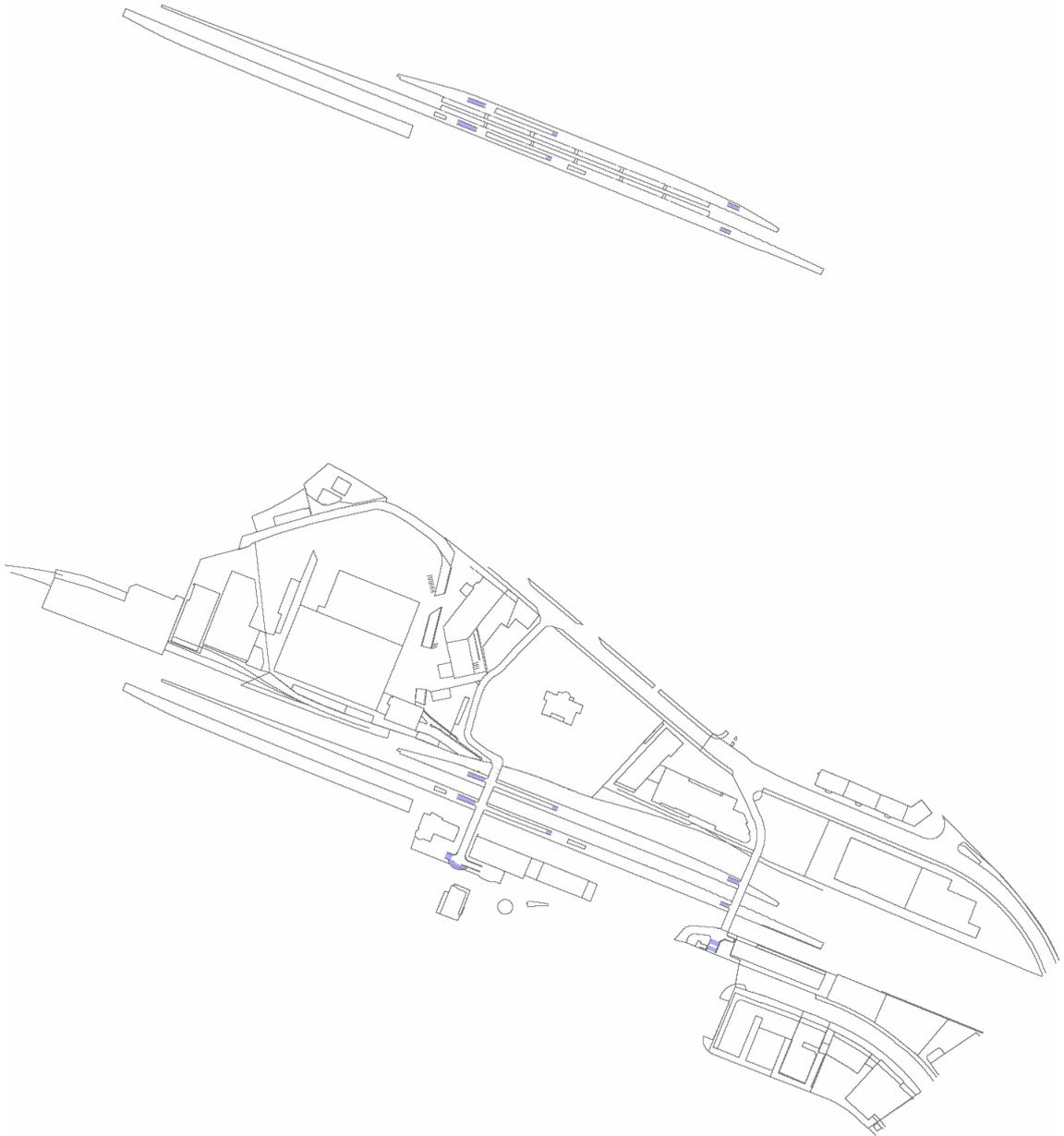


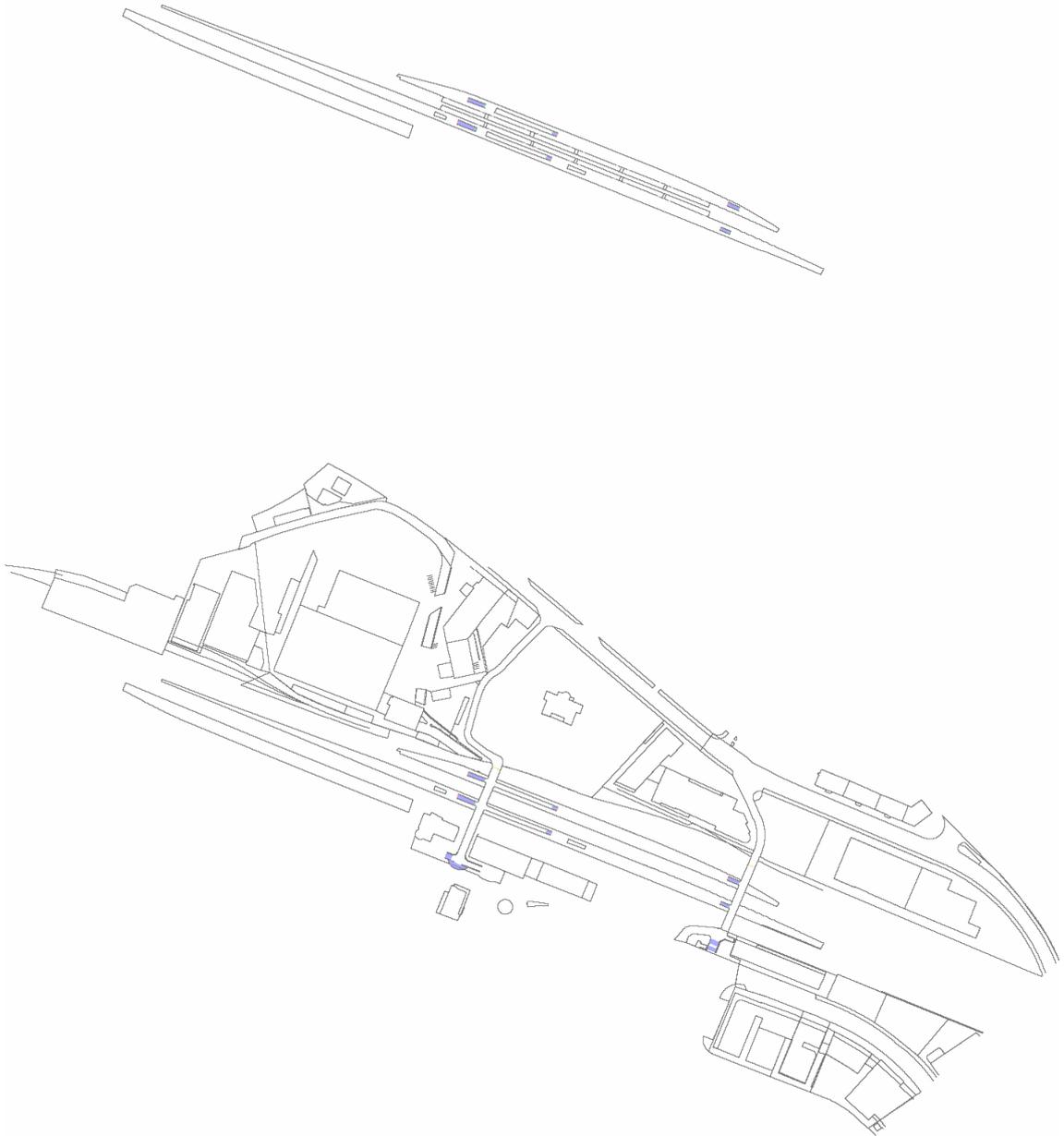












B Visualisierung der Screenshots (Farbcodierung)

Die Farben in den Grundrissen, für die Screenshots und für die Dichteplots sind anhand der nachfolgenden Tabellen definiert.

Tabelle 11: Farbzuordnung der Screenshots.

Weiß	: Zugängliche Zelle
Grau	: Nicht zugänglich (Wand)
Blau	: Treppen
Hellblau	: Türen und Barrieren
Rot	: Stehende Personen
Gelb	: Personen mit mittlerer Geschwindigkeit
Grün	: Personen mit freier (maximaler) Geschwindigkeit
Orange	Ausgänge

Für den Dichteplot werden die lokalen Dichten über die Zeit integriert. Als Kriterium für die Identifikation signifikanter Staus (rote Flächen) dienen sowohl die Dichte als auch die Dauer, über die dieses Dichte beobachtet werden kann.

Tabelle 12: Farbcodierung des Dichteplots.

Farbe	Prozent	Farbzusammensetzung (rot, grün, blau)
	100% (Dichte >4 p/m ² für 10% der Gesamtdauer)	(255, 0, 0)
	75%	(255, 120, 0)
	50%	(255, 255, 0)
	25%	(120, 255, 0)
	1% (Dichte >4 p/m ² für 1 Sekunde)	(0, 255, 0)

C Mindestinhalt einer Evakuierungsanalyse nach RiMEA [10]

Nachfolgend aufgeführt ist die Gliederung über den Mindestinhalt einer Evakuierungsanalyse gemäß der Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen.

Gliederung nach RiMEA:

0. Titelblatt

Informationen über den Auftrag

- Art der Darstellung (Analyse, Gutachten, ...)
- Thema
- Erstellungsdatum, ggf. Stand der vorliegenden Fassung (z.B. bei Fortschreibung)
- Auftraggeber, Auftragsdatum, Geschäftszeichen
- Gutachter
- Datum und Index der beurteilten Planunterlagen
- Umfang von Text und Anhang

1. Anlass und Fragestellung

- Beschreibung, warum die Analyse bzw. das Gutachten erstellt wird und Erläuterung der Problemstellung
- Beschreibung des Schutzziels

2. Objektbeschreibung

Beschreibung des Objektes (Raum- / Gebäudegeometrien) evtl. mit Grafik / Bild

- Flächen
- Nutzungsarten
- Nutzungszeiten / -dauer
- Beschreibung der Vorkehrungen für den organisatorischen Brandschutz (verantwortliche Person, BSB, BSH, Räumungsbeauftragte, -helfer)
- Anzahl und Art der Ausgänge mit Abmessungen
- Brandschutztechnische Infrastruktur (BMA, ELA, Sicherheitsbeleuchtung, Sprinkleranlage, RWA, Fluchtweg-Kennzeichnung / -Leitsysteme, Brandsicherheitswache)
- Definition des „sicheren Bereiches“ mit Begründung

3. Beschreibung der verwendeten Software / des Modells

- Name, Hersteller, Version der Simulationssoftware
- Zugrunde liegendes Modell, Rechenverfahren (grob)
- Max. Personendichten, Geschwindigkeiten

4. Beschreibung der Evakuierungsszenarien

Erläuterung der Annahmen und Randbedingungen

- Anzahl der Simulationsdurchläufe
- Gewählte Annahmen zur Population mit Begründung (ggf. Hinweis auf Besonderheiten wie Behinderung o.ä.)
- Anzahl, Verteilung im Objekt
- Mittlere Dichte, mittlere Geschwindigkeit; Häufigkeitsverteilung
- Sonstige vom Anwender festzulegenden Randbedingungen zur Simulation
- Gewählte / erforderliche Vereinfachungen des Simulationsmodells mit Begründung
- Zuordnung von Personen zu Ausgängen mit Begründung (szenarioabhängig)

5. Ergebnisse / Besonderheiten

- Darstellung der Simulationsergebnisse
 - Absolute Evakuierungsdauer; detaillierte Darstellung des Evakuierungsverlaufs in Zeitschritten von $\Delta t \leq T_{\text{gesamt}}/10$
 - Ggf. maßgebliche Teilabschnitte
 - Grafische Darstellung (Momentaufnahmen) von Dichteverläufen / -maxima (zeitlich, räumlich)
- Auffälligkeiten / Besonderheiten während der Simulation (z.B. Auftreten von Stauungen)

6. Interpretation der Ergebnisse

- Erläuterung / Interpretation der Ergebnisse
- Vergleich mit gesetzlichen Vorgaben
- Vergleich mit Literatur / allgemein anerkannten Regeln der Technik
- Vergleich der Ergebnisse mit Resultaten (Randbedingungen) aus Brandsimulationen, Behördenvorgaben, ...

7. Schlusswort / Fazit

- Abschließende Bewertung der Ergebnisse / Simulationen
- Zusammenfassung / Fazit der Analyse

Die im Folgenden dargestellte Verweismatrix dient der Zuordnung der Themen der vorliegenden Analyse zu den in RiMEA geforderten Inhalten.

	0. Titelblatt	1. Anlass und Fragestellung	2. Objektbeschreibung	3. Beschreibung der verwendeten Software / des Modells	4. Beschreibung der Evakuierungsszenarien	5. Ergebnisse / Besonderheiten	6. Interpretation der Ergebnisse	7. Schlusswort / Fazit
Document Control Sheet								
1. Einführung								
2. Aufgabenstellung								
3. Szenarien								
4. Objekt								
5. Simulationsmodell								
6. Personen								
7. Ergebnisse								
8. Zusammenfassung und Bewertung								

D Kapazitätsanalyse

In der nachfolgenden Tabelle ist ein möglicher zeitlicher Verlauf (Tagesgang) für die An- und Abreise am Sonntag dargestellt.

Sonntag	Ankunft				Abreise				
	Gesamt	MIV	ÖV/SBB	Bus- se	Sonst	Gesamt	MIV	ÖV/SBB	Bus- se
6	35.000	16.000	14.000	5.000					
7	40.000	24.000	16.000						
8	10.000	6.000	4.000						
9	10.000	6.000	4.000						
10	10.000	6.000	4.000						
11	5.000	3.000	2.000						
12	5.000	3.000	2.000						
13	5.000	3.000	2.000						
14									
15									
16									
17									
18						120.000	67.000	48.000	5.000
19									
20									
21									
Summe	120.000	67.000	48.000	5.000					
Leistungsfähigkeit Bahnhof	P/h						15.015		
Wartezeit Bahnhof	Stunden						3,2		

Tabelle 13: Tagesverlauf der Nachfrage Anreiseverkehr (Sonntag).

Für den Anreiseverkehr wurde im Szenario 3 (Leistungsfähigkeit Bahnhof, Anreise) mit einer Personenzahl von 1.920 simuliert. Diese verlassen die Perrons in ca. 9 Minuten, so dass sich ein Wert von ca. 12.000 Personen pro Stunde ergibt. Da hier Perron 1/11 nicht mit betrachtet wurde, sind die Ergebnisse konsistent mit der in Tabelle 13 dargestellten überschlägigen Berechnung.

Die Zeile „Leistungsfähigkeit Bahnhof“ in Tabelle 13 ist aus Tabelle 14 übernommen. Sie leitet sich aus der Breite der Wegelemente und der Annahme eines spezifischen Flusses von 1 P/m/s ab.

Leistungsfähigkeit ÖV	Abstand der Züge	4,5	Minuten (2 Gleise)
Züge pro Stunde pro Gleis	6,6	→	13,33 Züge pro Stunde
Gleise	5		
Personen pro Zug	455		
Summe			15.015

Tabelle 14: Leistungsfähigkeit des Bahnhofs (Personen pro Stunde).

Der nächste Schritt bei der Kapazitätsbetrachtung des Gesamtsystems (Bahnhof, baulich und verkehrlich und Wegenetz) ist ein Vergleich mit der Kapazität

der Personenunterführungen. Diese ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

	Breite / m	P / h	P/m/s
PU West (Richtung N)	4,48	16.128	1
PU Ost (Richtung N)	4,15	14.940	1
Summe		31.068	
Nach Norden zum Festgelände (Fußgängerbrücke)	7,51	32.443	1,2

Tabelle 15: Kapazität Personenunterführungen.

Es zeigt sich, dass die Kapazität der Personenunterführungen und auch des Wegenetzes in etwa doppelt so groß ist wie die angenommene verkehrliche Kapazität des Bahnhofs (Zugverkehr).

Abschließend ist in Tabelle 16 die detaillierte Analyse der Kapazitäten der Treppen und Rampen aufgelistet. Hierbei ist zu beachten, dass für die Treppen und Rampen von einem spezifischen Fluss von 0,8 P/m/s für die Treppen und 1 P/m/s für die Rampen ausgegangen wurde.

	L	B	Fläche	Dichte	Personen
Perron 4/5	200	3,5	700	2	1.400
Perron 2/3	200	3,5	700	2	1.400
Perron 1/11					
	Breite / m	Typ	Steigung / %	K / P/h	K / P/s
Treppe NW	4/5 nach PU West	2 Treppe	70	5.760	0,8
Treppe SW	2/3 nach PU West	2 Treppe	70	5.760	0,8
Rampe NW	4/5 nach PU West	2 Rampe	7	7.200	1
Rampe SW	2/3 nach PU West	2 Rampe	7	7.200	1
Treppe NO	4/5 nach PU Ost	2 Treppe	80 – 100	4.320	0,6
Treppe SO	2/3 nach PU Ost	2 Treppe	80 – 100	4.320	0,6
Summe				34.560	

Tabelle 16: Detaillierte Kapazitätsbetrachtung Treppen.

Aus den oben dargestellten Überlegungen ergibt sich, dass für die Anreise die Kapazität in Richtung des Personenstroms zunimmt. D.h., die geringste Kapazität ist durch die verkehrliche Begrenzung des Zugverkehrs zu erwarten. Dabei sind mit Hilfe der Simulation einfache Ausstiegsszenarien betrachtet worden. Es ist davon auszugehen, dass für den Einstieg der Fahrgäste bei der Abreise keine höheren Kapazitäten zu erzielen sind.

Verteilung auf die Gleise nach Fahrtziel		K / P/h
PU West und Ost (aus N)		31.068
nach Gl. 1	30%	9.320
nach Gl. 2/3	55%	17.087
nach Gl. 4/5	15%	4.660
Treppe SW	2/3 nach PU West	5.760
Rampe SW	2/3 nach PU West	7.200
Treppe SO	2/3 nach PU Ost	4.320
Summe	Gl. 2/3	17.280

Tabelle 17: Verteilung der Nachfrage auf die Perrons (Abreise).

In Tabelle 17 ist insbesondere für Gl. 2/3 die drei Zugänge (eine Treppe und eine Rampe zur PU West und eine Treppe zur PU Ost). Die Bezeichnung „SW“ ergibt sich daher, dass Gl. 2/3 südlich von Gl. 4/5 liegt. Die einzelnen Kapazitäten sind Tabelle 16 entnommen. Angenommen wurde weiterhin, dass 55% der Besucher zu Gl. 2/3 gehen. Damit ergibt sich eine Kapazität der Zugänge zu den PU (West und Ost) aus Norden vom Festgelände kommend von ca. 17.000 und auch eine Kapazität der Zugänge zum Perron (Treppen und Rampen) von etwas über 17.000. In einer Zeitspanne von 10 Minuten ergibt sich also für Gl. 2/3 eine Nachfrage von 2.880 (17.280 dividiert durch 6). Dies übersteigt die verkehrliche Leistungsfähigkeit (siehe Tabelle 14). Dort wurde für fünf Gleise eine Leistungsfähigkeit von ca. 15.000 pro Stunde ermittelt. Dementsprechend ergäbe sich für Perron 2/3 eine Leistungsfähigkeit von 6.000 pro Stunde.

Da prognostiziert ist (Angabe SBB), dass 55% der Personen über Perron 2/3 abreisen wollen ergibt sich hier insgesamt eine Annahme von 26.400 Personen. Geht man weiterhin davon aus, dass die Personen vom Festgelände weitgehend gleichmäßig über drei Stunden verteilt am Bahnhof ankommen (aufgrund der Engstellen des Wegenetzes, wie sie auch in der Simulation zu sehen sind), so ergibt sich hier eine unmittelbare Nachfrage von insgesamt max. 16.000 pro Stunde und 8.800 für Perron 2/3. Bei einer Verteilung der Ankunft am Bahnhof über vier Stunden ergäbe sich ein Wert von 6.600 pro Stunde für Perron 2/3, der dann in der Größenordnung der verkehrlichen Leistungsfähigkeit läge. Dementsprechend ist ein schnelles Ankommen der Personen vom Festgelände im Sinne der sicheren und möglichst komfortablen Gestaltung der Abreise nicht wünschenswert.

E Literatur

- [1] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, Chpt. 13 Pedestrians
- [2] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Statistisches Taschenbuch 2007. Wiesbaden, 2007. www.destatis.de
- [3] U. Weidmann, Transporttechnik der Fußgänger, Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs, Literaturlauswertung, Schriftenreihe des IVT 90, ETH Zürich/Switzerland, Jan. 1992
- [4] H. Klüpfel, A Cellular Automaton Model for Crowd Movement and Egress Simulation, Dissertation, Universität Duisburg, 2003
- [5] H. Klüpfel, Tim Meyer-König, and Michael Schreckenberg: Models for Crowd Movement and Egress Simulation. In: S. Hoogendoorn et. al.: Traffic and Granular Flow 2003. Springer, Berlin, 2004.
- [6] H. Klüpfel: The Simulation of Crowds at very large Events. In: A. Schadschneider et. al.: Traffic and Granular Flow 2005. Springer, Berlin, 2006.
- [7] H. Klüpfel: The simulation of crowd dynamics at very large events. Calibration, empirical data, and validation. In: N. Waldau et. al.: Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005. Springer, Berlin, 2006.
- [8] PedGo Users Manual, TraffGo HT GmbH, 2008. www.traffgo-ht.com/de/pedestrians/downloads
- [9] International Maritime Organization (IMO), Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships, MSC.1/Circ.1238, November 2007
- [10] RiMEA-Projekt, Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen, www.rimea.de
- [11] Purser, D. & Bensilium, M. (2001), Quantification of Behaviour for Engineering Design Standards and Escape Time Calculations, Safety Science 38(2), 158-182.
- [12] Transportation Research Board: Highway Capacity Manual. Washington, DC, 1994. Chapter 13, pedestrians.
- [13] J.S. Tubbs and B.J. Meacham: Egress Design Solutions. Wiley, New York, 2007.
- [14] A. Schadschneider, W. Klingsch, H. Klüpfel, T. Kretz, C. Rogsch, and A. Seyfried: Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications. Accepted for Publication at Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer, Berlin, 2009. <http://ped-net.org/fileadmin/data/Literature/encyclopedia.pdf>
- [15] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes; Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009.