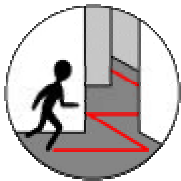


Evakuierungsübung und Vergleich mit Simulationsergebnissen

Saal eines Multiplex-Kinos

Dezember 2000



Physik von Transport und Verkehr
Gerhard Mercator Universität Duisburg
Lotharstraße 1
47057 Duisburg

Evakuierungsübung in einem Multiplex-Kino

Physik von Transport und Verkehr
Gerhard-Mercator-Universität Duisburg

Zusammenfassung

Die Evakuierung eines Saales eines Multiplex-Kinos wurde nachgestellt. Teilnehmer waren Studenten. Es standen drei Ausgänge zur Verfügung, davon zwei reine Notausgänge, der dritte ein regulärer Zugang. Zur Gewinnung detaillierter Daten über das Verhalten und die Bewegung einzelner Personen wurden an die Teilnehmer Hüte mit einer eindeutigen Kennzeichnung vergeben und die gesamte Übung wurde mit Hilfe von fünf Videokameras aufgezeichnet.

Das Verlassen des Gebäudes dauerte weniger als 70 Sekunden. Insgesamt war der Ablauf sehr geordnet und zügig. Es zeigt sich, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Wahl des Ausgangs und der individuellen Zeitdauer für das Verlassen des Gebäudes besteht.

Die Bewegung der Personen wurde simuliert. Die Ergebnisse stimmen gut mit den gemessenen Daten überein.

1 Szenario

Die Evakuierungsübung diente zwei Zielen: der Gewinnung empirischer Daten über das Verhalten der Personen im nachgestellten Evakuierungsfall und dem Vergleich des Ablaufes einer solchen Übung mit Ergebnissen einer Computersimulation zum Evakuierungsablauf.

Den Teilnehmern war bekannt, dass es sich um eine Übung handelt und sie wurden vor Beginn entsprechend eingewiesen.

Insbesondere wurden folgende Punkte betont:

- Die Teilnehmer sollten zügig den Saal verlassen, sich aber dennoch umsichtig Verhalten, insbesondere nicht über Stühle klettern oder durch andere Kinosäle laufen.
- Die Hüte mussten aufbehalten werden. Die Schrift sollte nach vorne zeigen.
- Alle Fluchtwege konnten benutzt werden.
- Die Sammelstelle war außerhalb des Gebäudes an einer Bushaltestelle, ca. 150 m vom Ausgang des Gebäudes entfernt.
- Die Freivorstellung, die als Anreiz für die Teilnahme diente, fand in einem anderen Saal statt.

1.1 Teilnehmer

Die Teilnehmer waren ausschließlich Studenten. Dadurch war das Alter begrenzt. Es handelte sich also um eine homogene Gruppe aus Personen ohne nennenswerte Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Zur Anwerbung von Teilnehmern wurden sowohl Plakate aufgehängt, als auch eine Internet-Seite geschaltet. Die Anmeldung erfolgte hauptsächlich online mit Hilfe eines Formulars. Diese Vorgehensweise hat sich sehr gut bewährt, da so eine einfache Handhabung der Anmeldungen möglich war und weitere Informationen per Email an die Teilnehmer gegeben werden können.

1.2 Ausrüstung

5 Videokameras, davon 4 Digitalkameras, eine VHS-Kamera (Kassetten, Akkus)
 Papierhüte, laufend durchnummeriert von 1-100
 Stoppuhren (die Videokameras verfügen über einen internen Timecode, der auf die Kassette gespeichert wird)

1.3 Kamerastandorte

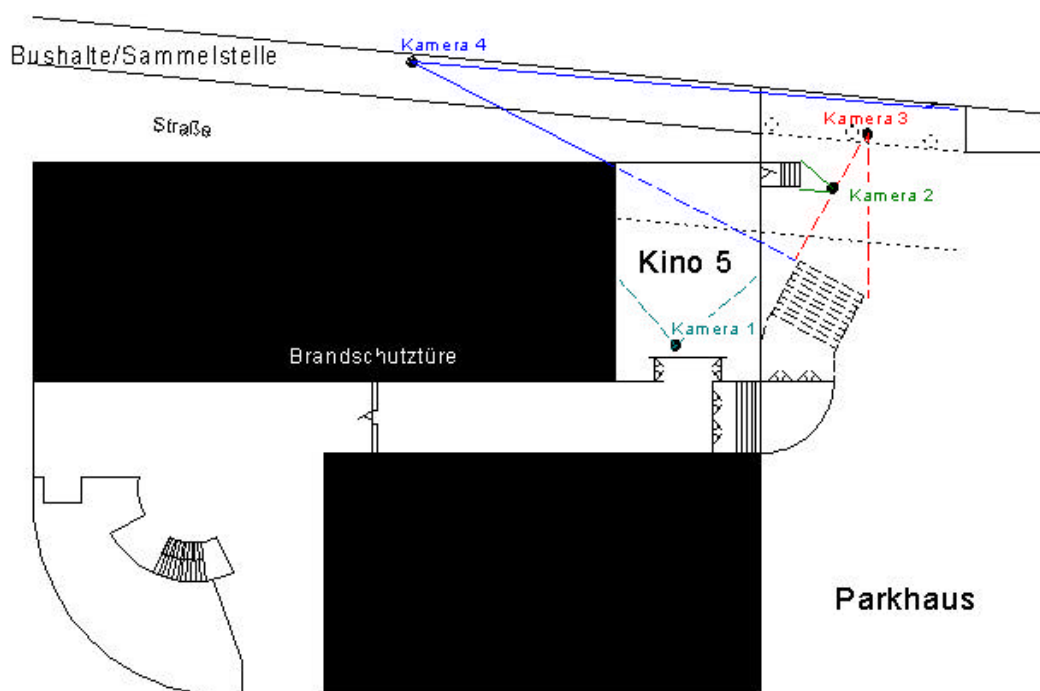


Abbildung 1: Grundriss und Standorte der Videokameras.

1.4 Personenverteilung im Saal

Die Personen konnten sich frei im Kinosaal verteilen. Dadurch wurde gewährleistet, dass eine wirklichkeitsgetreue Situation entsteht.

Im Kino finden maximal 174 Personen Platz. An der Übung nahmen 101 Personen teil. Die genaue Personenverteilung ist aus dem folgenden Diagramm ersichtlich.

Reihe Platz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1												X	X	X
2													X	X
3	X	X	X	X	X	X			X					
4					X	X	X	X		X				
5	X	X	X	X		X	X		X	X	X			
6	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X		
7		X		X	X	X		X	X		X	X	X	X
8		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
9		X	X	X		X			X	X	X	X		X
10	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	
11	X	X	X		X		X	X	X		X	X		X
12					X	X	X	X		X	X			
13				X	X	X	X	X	X	X		X		

Tabelle 1: Belegung der Sitzplätze vor Beginn der Evakuierungsübung. Die belegten Plätze sind mit einem X gekennzeichnet. In Reihe 12 und 13 stehen jeweils 10 Sitzplätze zur Verfügung, so dass sich insgesamt 174 Sitzplätze ergeben.

2 Ablauf

2.1 Registrierung der Teilnehmer

Die Teilnehmer waren alle vorher registriert. Vor Beginn der Übung wurden nummerierte Hüte verteilt, so dass später eine eindeutige Zuordnung der Teilnehmer zu den Sitzplätzen auf den Videoaufzeichnungen möglich war.

2.2 Ablauf der Übung

- 12:15 **Aufbau, Festlegung der Kameraposition**
 Ausrüstung: 5 Kameras (Digcam (PTV), Digcam, VHS (AVMZ), 2 Handycams), 4 Mini-DV Kassetten, eine VHS-Kassette, vollgeladene Akkus, vorgefertigte Hüte, Mikro
Aktion: Kameras und Stative aufbauen, Uhren synchronisieren, Fluchtwege checken, Empfang aufbauen
Personen: 5 Kameras, 1 Kontrolle Saal, 4 Sicherung Fluchtwege, 1 Leitung Sammelstelle
- 13:30 **Aktion:** Teilnehmer werden registriert, und suchen sich einen Platz.
- 14:00 **Aktion:** Einweisung, Verteilung der Hüte, Registrierung der Teilnehmer
 Erläutern des Ablaufs: „Hüte aufsetzen, im Werbeblock kommt zu unvorhergesehenem Zeitpunkt die Evakuierungsaufforderung, jeder Fluchtweg (außer durch andere Kinos) steht frei zur Verfügung; zügig den Saal verlassen und sich an der Bushaltestelle vor dem HBF Osteingang sammeln; bei Verlassen des Gebäudes werden alle Personen gefilmt. Danach können alle wieder auf dem regulären Weg zurück ins Kino.“
 Nach der Erläuterung wurde der Werbeblock gestartet.
- 14:13 Ansage, Brandschutztür auf der Kinoebene geschlossen, Licht geht an (volle Beleuchtung).
 Personen verlassen den Saal über die Fluchtwege und sammeln sich an der Bushaltestelle Osteingang Hbf.

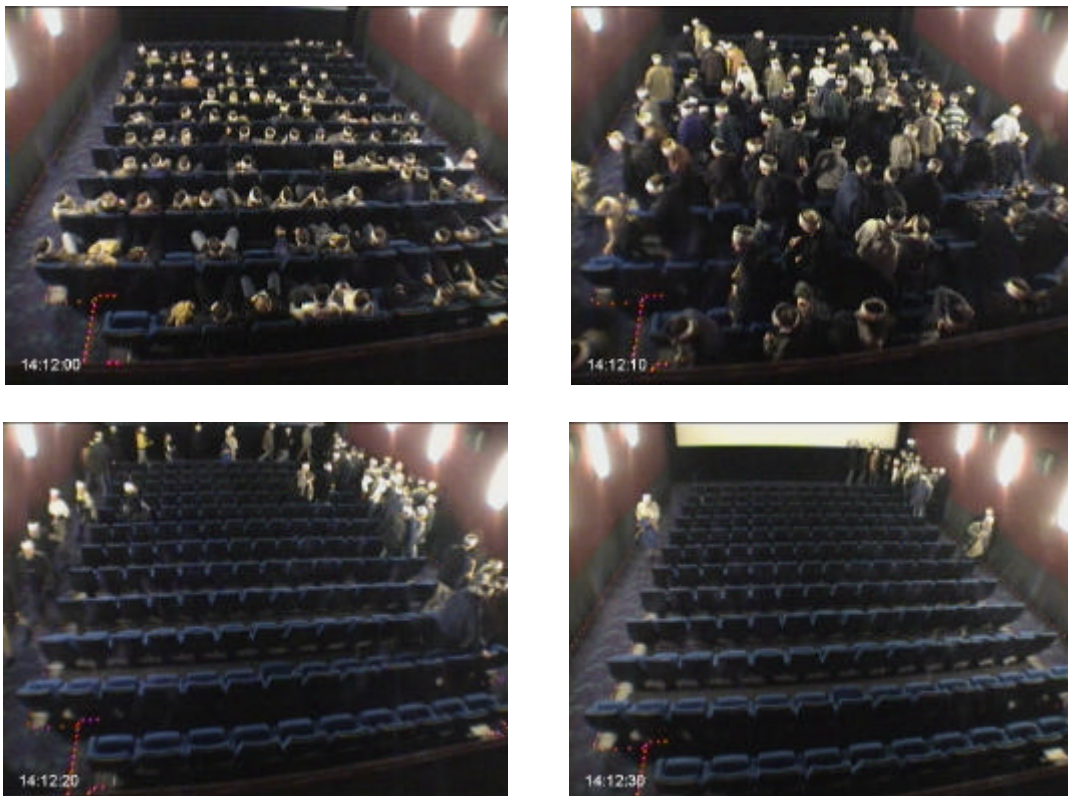


Abbildung 2: Bildfolge des Evakuierungsablaufs im Kinosaal. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Bildern beträgt jeweils 10 Sekunden. Vorne rechts ist einer der Notausgänge zu sehen. Die Person im letzten Bild links ist einer der Mitarbeiter, der den Saal als letzter verlassen wird.

2.3 Verbesserungsmöglichkeiten

Die Kameras waren vor Beginn der Übung während des Aufbaus für die Teilnehmer sichtbar. Dadurch wurde die Aufmerksamkeit möglicherweise auf die Fluchtwege, insbesondere die Türen zu den Notausgängen und die entsprechenden Fluchtwegweiser, gelenkt.

Die Hüte waren fortlaufend von 1-100 nummeriert. Allerdings wurde die Nummer 33 versehentlich ausgelassen und ein beschädigter Hut musste ersetzt werden. Außerdem trug einer der Organisatoren aus Demonstrationszwecken auch einen Hut. Deshalb sind insgesamt nur 97 Personen in der Auswertung berücksichtigt worden.

3 Ergebnisse

Im Hinblick auf statistische Ergebnisse interessieren vor allem die Zeiten für das Verlassen des Gebäudes, der Ablauf der Evakuierung sowie die Wahl des Fluchtweges (Routenwahl). Im Folgenden sind zunächst die Zeiten für jede einzelne erfasste Person und dann die mittleren Zeiten zum Verlassen des Gebäudes für die jeweiligen Reihen und Plätze (gemittelt über die Reihen) dargestellt. Es zeigt sich, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Wahl des Ausgangs und der Zeit für das Verlassen des Gebäudes besteht.

	Übung	Simulation
Anzahl der Personen	97	101
Anzahl der Sitze	174	174
Belegungsgrad	0,56	0,58
Gesamt		
Dauer	66 Sekunden	68 Sekunden
Mittlere Evakuierungszeit	44,0 Sekunden	38,4 Sekunden
Median der Evakuierungszeit	45 Sekunden	39 Sekunden
Vorderer Ausgang		
Dauer	45 Sekunden	68 Sekunden
Mittlere Evakuierungszeit	31,1 Sekunden	35,0 Sekunden
Median der Evakuierungszeit	31 Sekunden	35 Sekunden
Hinterer Ausgang		
Dauer	66 Sekunden	63 Sekunden
Mittlere Evakuierungszeit	53,1 Sekunden	42,0 Sekunden
Median der Evakuierungszeit	53 Sekunden	44 Sekunden

Tabelle 2: Wesentliche Parameter und Ergebnisse der Übung. Vier Personen, deren Evakuierungszeit bei der Übung wegen fehlender Hüte nicht eindeutig ermittelt werden konnte, wurden bei der Simulation berücksichtigt.

3.1 Individuelle Evakuierungszeiten

Die Aufnahme der Übung mit Videokameras ermöglichte die detaillierte Auswertung und damit die Ermittlung der individuellen Laufzeit für alle Personen (siehe Tabelle 3).

Platz Reihe	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1												14		12
2														
3	23	20	28	30	39	30			17					
4					35	31	32	25		24				
5	35	34	37	36		63	66		31	20	19			
6	25	28			60	61	61	41	38	38	28	26		
7		56		58	55	59		45	44		40	26	23	25
8		49	56	55		65	64	61	42	42	42		33	
9		48	48	46		43			44	60	60	60		41
10	47	44	47		49	57	62	62	51		53	58	42	
11	49	48	47		47		62	62	61		58	58		60
12					50	41	51	51		50	46			
13				53	52	39	38	39	45	43		52		

Tabelle 3: Individuelle Evakuierungszeiten (bis zum Verlassen des Gebäudes). Die Zeilen stellen die Reihen dar, die Spalten entsprechen den Platznummern. Leer Zellen sind freie Plätze. Die grauen Zellen kennzeichnen diejenigen Personen, die den hinteren Ausgang (siehe Abbildung 1, Bereich Kamera 3) benutzt haben.

3.2 Vergleich mit der Simulation

Die Evakuierungsübung wurde mit Hilfe des Programms „FlightSim“ simuliert. In der folgenden Abbildung sind einige Screenshots der Bildschirmausgabe dargestellt.

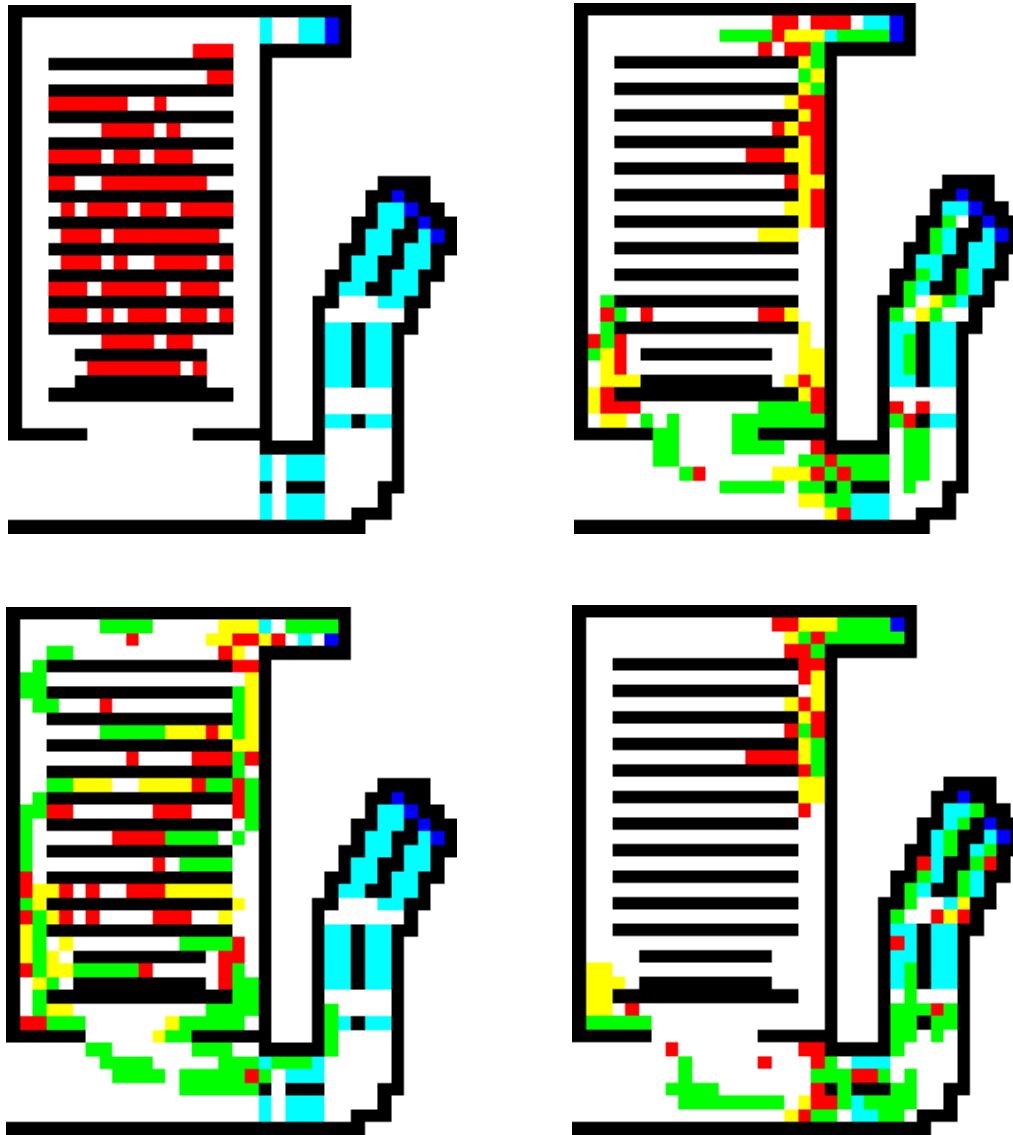


Abbildung 3: Bildfolge des simulierten Evakuierungsablaufs im Kinosaal. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Bildern beträgt jeweils 10 Sekunden (von links oben nach rechts unten: Anfang, 10 s, 20 s, 30 s). Die Notausgänge befinden sich oben rechts und in der Mitte rechts. Die blau gekennzeichneten Felder sind die Punkte, an denen die Personen das Gebäude verlassen und als evakuiert gelten. Die Bildfolge entspricht der in Abbildung 2.

Analog zur Darstellung in Abschnitt 3.1 sind in der folgenden Tabelle die individuellen Evakuierungszeiten für die einzelnen Personen dargestellt, die mit Hilfe der Simulation ermittelt wurden. Aus einem Vergleich mit Tabelle 3 können die Gemeinsamkeiten und Abweichungen zwischen Übung und Simulation ermittelt werden.

Platz Reihe	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1												8	8	5
2													12	3
3	12	23	38	42	27	9			18					
4					47	51	39	23		10				
5	15	36	32	63		61	53		58	40	18			
6	15	41			20	52	56	56	34	24	25	16		
7		25		59	33	44		57	60		54	51	30	42
8		18	34	37		64	59	64	48	50	30	28	45	
9			30	44	35		61		46	50	54	43		21
10	40	32	50		45	68	32	60	41		60	21	19	
11	29	56	60		60		48	48	55		47	39		22
12					27	54	44	38		21	28			
13				25	23	56	58	62	30	39		34		

Tabelle 4: Individuelle Evakuierungszeiten (bis zum Verlassen des Gebäudes) in der Simulation. Die Zeilen stellen die Reihen dar, die Spalten entsprechen den Platznummern. Leer Zellen sind freie Plätze. Die grauen Zellen kennzeichnen diejenigen Personen, die den hinteren Ausgang (siehe Abbildung 1, Bereich Kamera 3) benutzt haben. Die Personenverteilung entspricht derjenigen des realen Falles. Allerdings gibt es Unterschiede bei der Wahl des Ausgangs, weil diese nicht deterministisch erfolgt, sondern mit einem stochastischen Faktor behaftet ist.

Platz	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Übung														
Anzahl	5	8	6	6	8	10	8	8	9	7	8	8	5	5
Anteil Ausgang 1	40%	63%	67%	67%	75%	80%	88%	63%	33%	43%	50%	50%	20%	20%
Mittl. Zeit	35,8	40,9	43,8	46,3	48,4	48,9	54,5	48,3	41,4	39,6	43,3	42,0	32,7	34,5
Simulation														
Anzahl	5	8	6	6	8	10	8	8	9	7	8	8	5	5
Anteil Ausgang 1	40%	75%	83%	83%	50%	40%	63%	50%	44%	43%	38%	50%	20%	20%
Mittl. Zeit	22,2	32,6	43,0	43,5	35,3	52,0	48,6	51,0	43,3	33,4	39,5	30,0	22,8	18,6

Tabelle 5: Statistische Daten für die einzelnen Plätze (gemittelt über die Reihen).
Ausgang 1 führt über die Außentreppe ins frei

Reihe	Übung			Simulation		
	Anzahl	Anteil Ausgang 1	Mittl. Zeit	Anzahl	Anteil Ausgang 1	Mittl. Zeit
1	3	0%	13,0	3	0%	7,0
2	2	0%	0,0	2	0%	0,0
3	7	0%	26,7	7	0%	24,1
4	5	0%	29,4	5	0%	34,0
5	9	22%	37,9	9	22%	41,8
6	10	30%	40,6	10	30%	33,9
7	10	40%	43,1	10	20%	45,5
8	11	55%	50,9	11	27%	43,4
9	9	78%	50,0	9	78%	42,7
10	11	100%	52,0	11	91%	42,5
11	10	100%	55,2	10	100%	46,4
12	6	100%	48,2	6	100%	35,3
13	8	100%	45,1	8	100%	40,9

Tabelle 6: Statistische Daten für die einzelnen Reihen (gemittelt über die Plätze).
Anzahl ist die Zahl der Personen in der Reihe, die in der Simulation entsprechend dem realen Fall gewählt wurde.

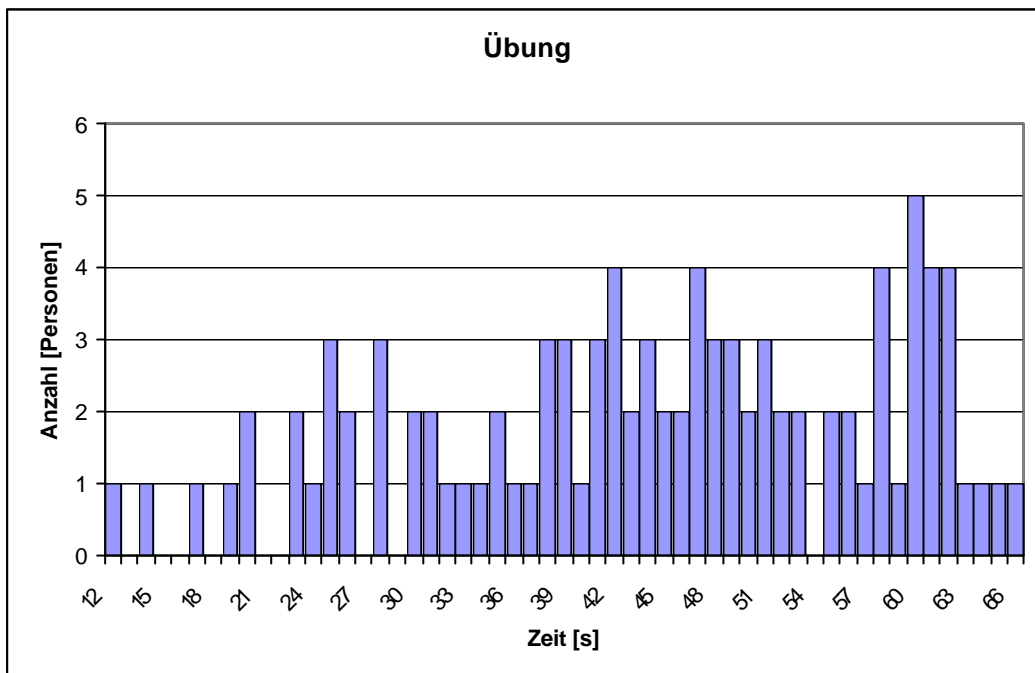


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der individuellen Evakuierungszeiten im Experiment.

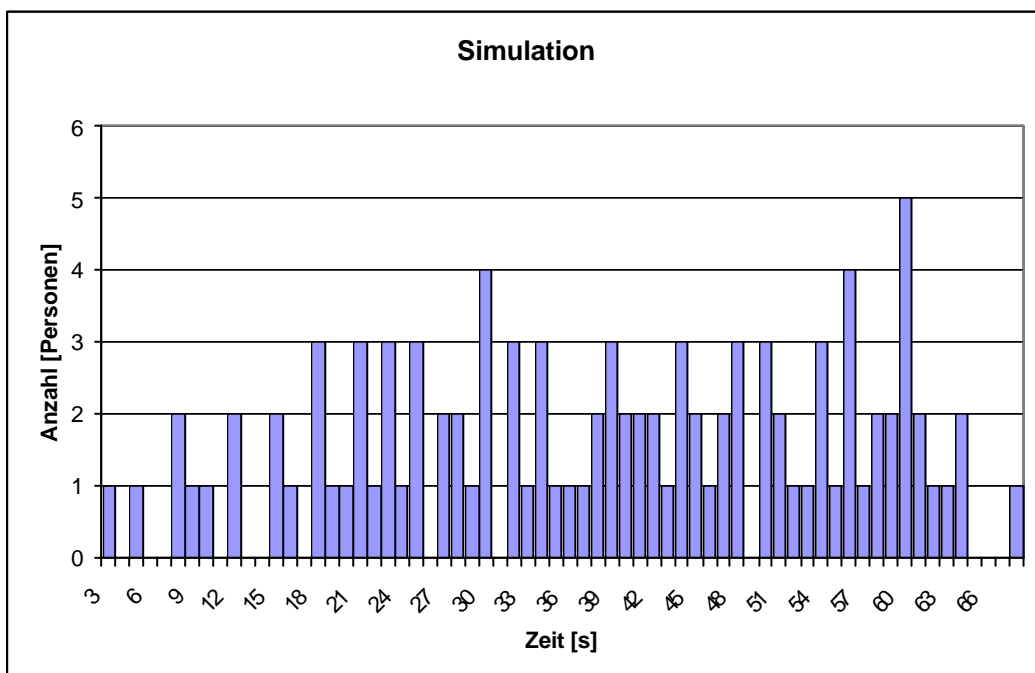


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der individuellen Evakuierungszeiten in der Simulation.

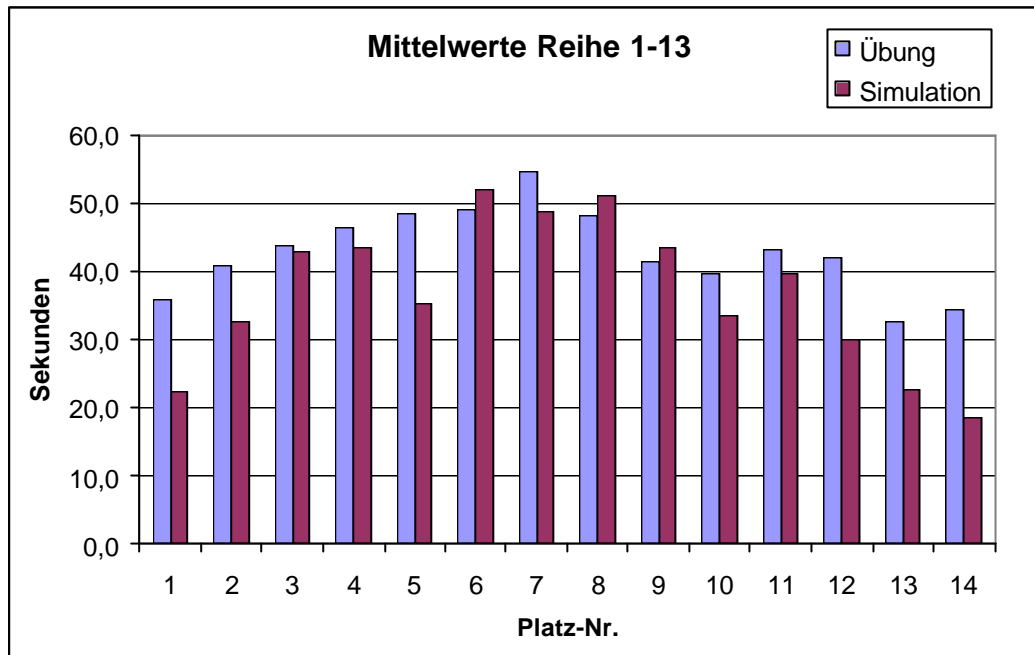


Abbildung 6: Mittlere Evakuierungsdauer für die Plätze 1-14. Gemittelt wurde über die Reihen (1-13). In den Reihen 12 und 13 stehen jeweils nur 10 Sitzplätze zur Verfügung (siehe Tabelle 1), so dass für Platz 1, 2, 13 und 14 nur über die Reihen 1 bis 11 gemittelt wurde.

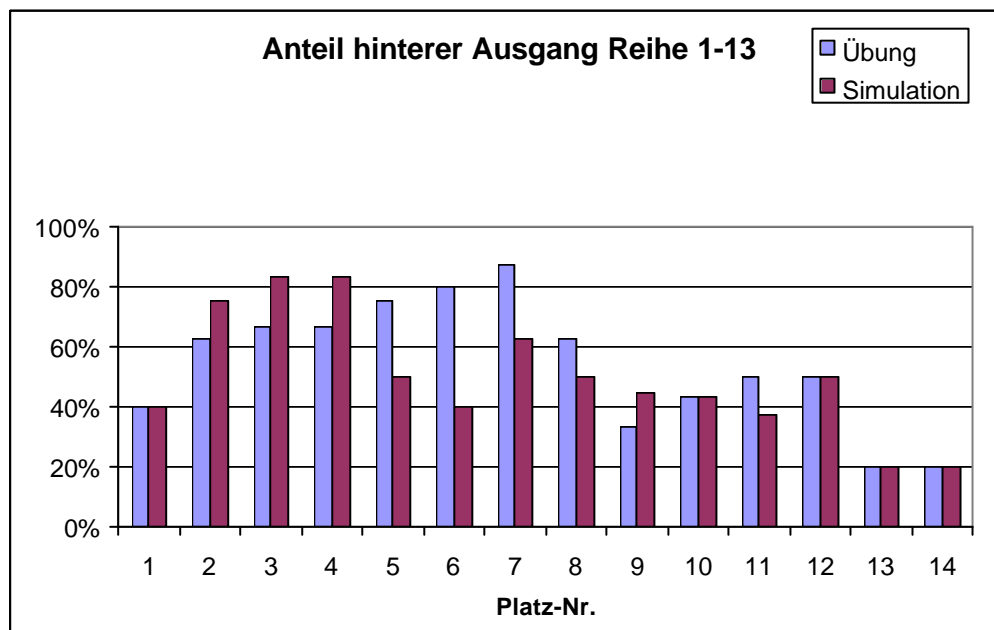


Abbildung 7: Anteil der Personen, die den Saal über den hinteren Ausgang (rechts oben in Abbildung 1) verlassen haben in Abhängigkeit von der Platznummer (Position in der Sitzreihe). Gemittelt wurde über die Reihen 1-13.

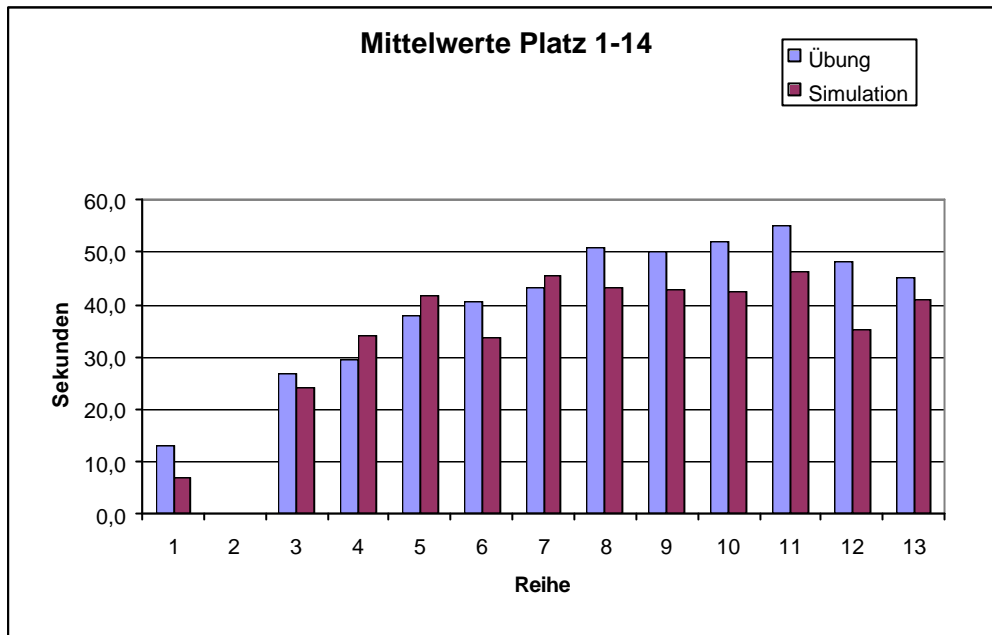


Abbildung 8: Mittlere Evakuierungsdauer für die Reihen 1-13. Gemittelt wurde über die Plätze 1-14. In den Reihen 12 und 13 stehen jeweils nur 10 Sitzplätze zur Verfügung (siehe Tabelle 1). Die Personen in Reihe zwei waren nicht mit einer Nummer gekennzeichnet und somit nicht identifizierbar. Deshalb wurden sie bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

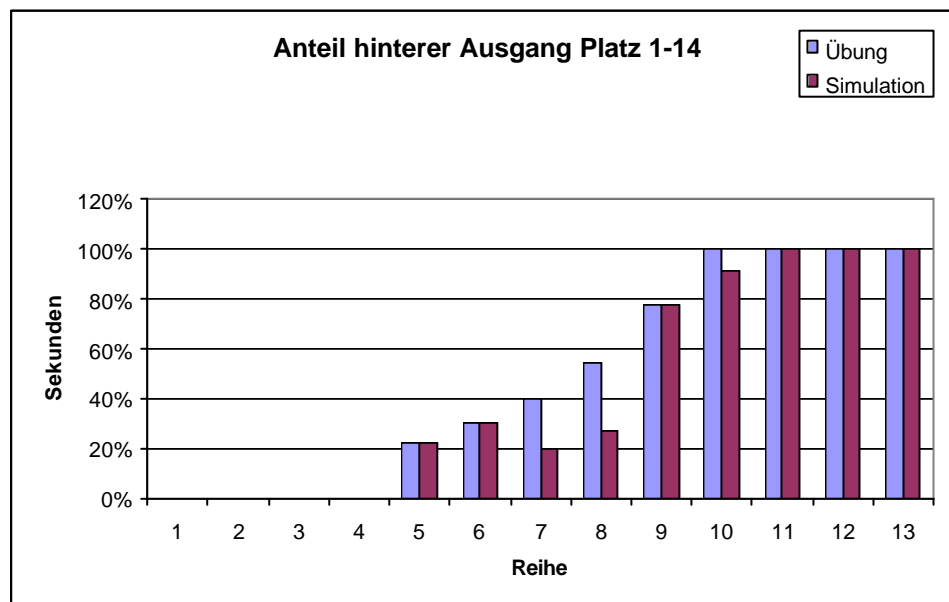


Abbildung 9: Anteil der Personen, die den Saal über den hinteren Ausgang (Aufnahmebereich der Kamera 3 in Abbildung 1) verlassen haben in Abhängigkeit vom Sitzplatz. Gemittelt wurde über die Plätze 1-14, bzw. 1-10 (siehe auch Abbildung 7).

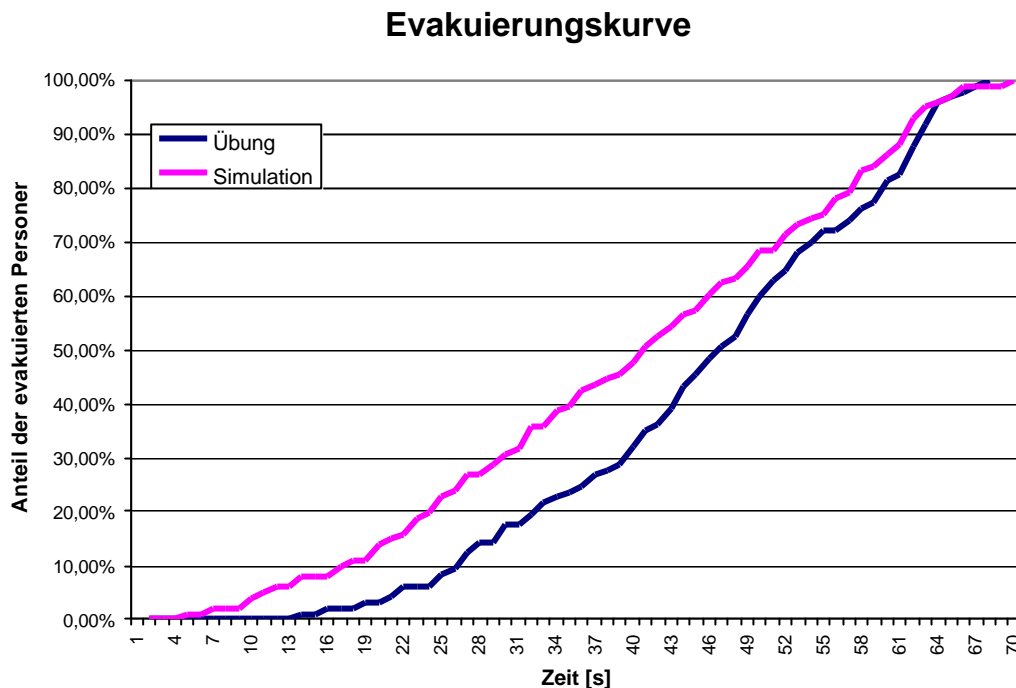


Abbildung 10: Anzahl der evakuierten Personen (in Prozent der Gesamtzahl) über die Zeit. Nach 66 Sekunden hatten bei der Übung alle Personen das Gebäude verlassen. In der Simulation dauerte dies 68 Sekunden.

3.3 Korrelation zwischen der mittleren Evakuierungszeit und der Wahl des Ausgangs

Aus Tabelle 5 und 6 und Abbildung 6 bis 8 lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Wahl des Ausgangs und der individuellen Laufzeit vermuten. Dies bestätigt sich bei der Berechnung der entsprechenden Korrelationskoeffizienten.

Korrelation Zeit/Anteil hinten für Reihe 0,809544492

Korrelation Zeit/Anteil hinten für Platz 0,92109662

Diese Koeffizienten zeigen, dass die Evakuierungsdauer (bei Annahme eines linearen Zusammenhangs) sehr stark von dem gewählten Ausgang abhängt.

4 Danksagung

Unser Dank gilt der UCI Kinowelt Duisburg, insbesondere Herrn Louis Carpaij, der die Durchführung dieses Experiments ermöglicht und mit tatkräftiger Hilfe unterstützt hat. Wir danken dem Audiovisuellen Medienzentrum der Universität Duisburg für die Bereitstellung von Kameras und Stativen.

Und nicht zuletzt seien an dieser Stelle die Helfer erwähnt:

Robert Barlovic, Roland Chrobok, Stefan Förster, Thomas Grunewald, Christian Hinrichs, Torsten Huisinga, Oliver Kaumann, Andreas Keßel, Joachim Wahle, Guido Wolf.

5 Anhang

Im folgenden sind weitere statistische Daten dargestellt, die für eine genauere Bewertung hilfreich sind. Die individuellen Laufzeiten für das Verlassen des Gebäudes werden nach Reihe und Platznummer geordnet dargestellt.

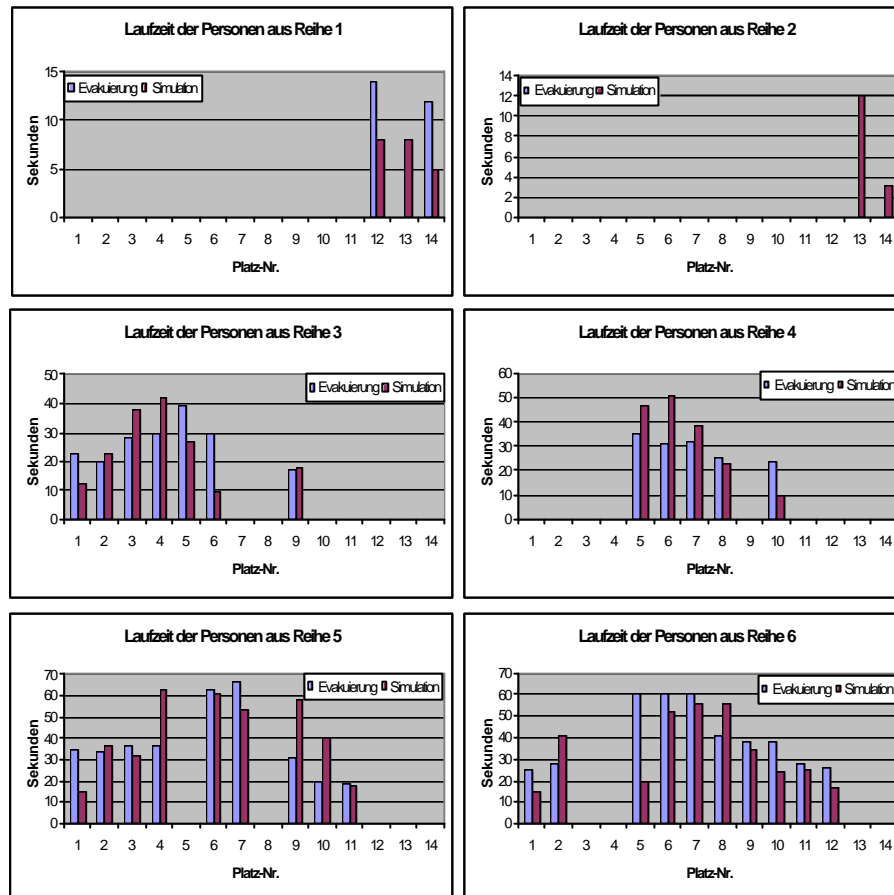


Abbildung 11: Evakuierungszeiten für die Personen in den einzelnen Reihen (Reihe 1 bis 6).

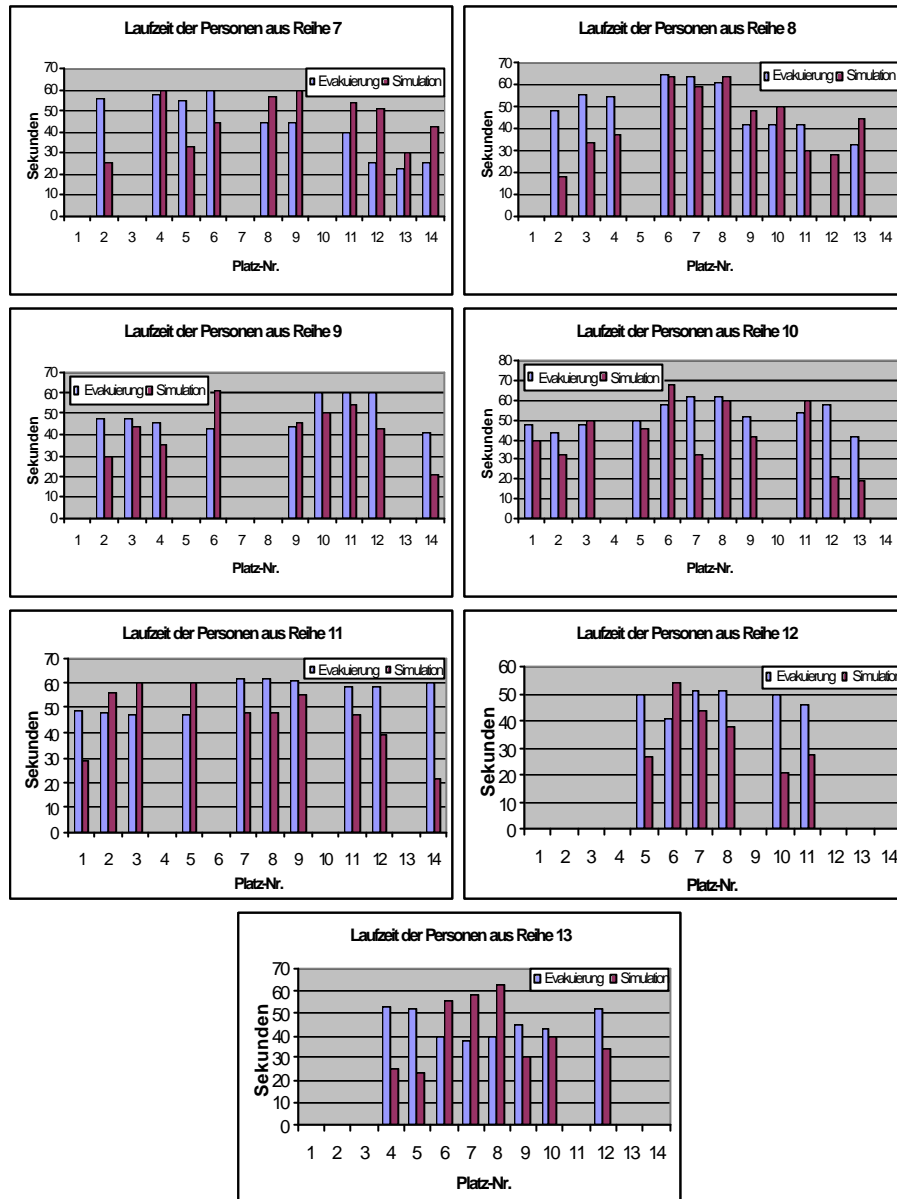


Abbildung 12: Evakuierungszeiten für die Personen in den einzelnen Reihen (Reihe 7 bis 13).

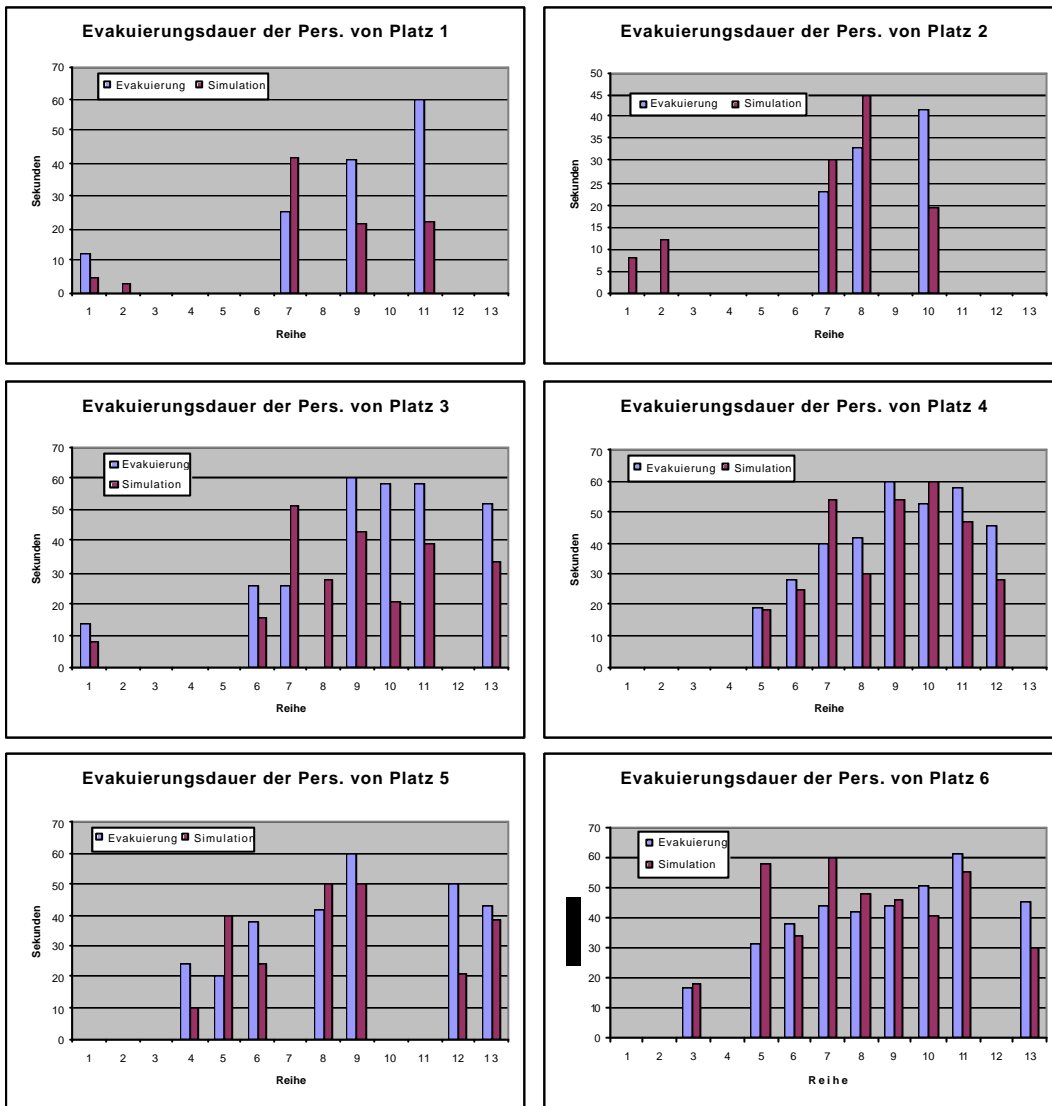


Abbildung 13: Individuelle Evakuierungsdauer der Personen, aufgeteilt nach Plätzen (Platz 1 bis 6).

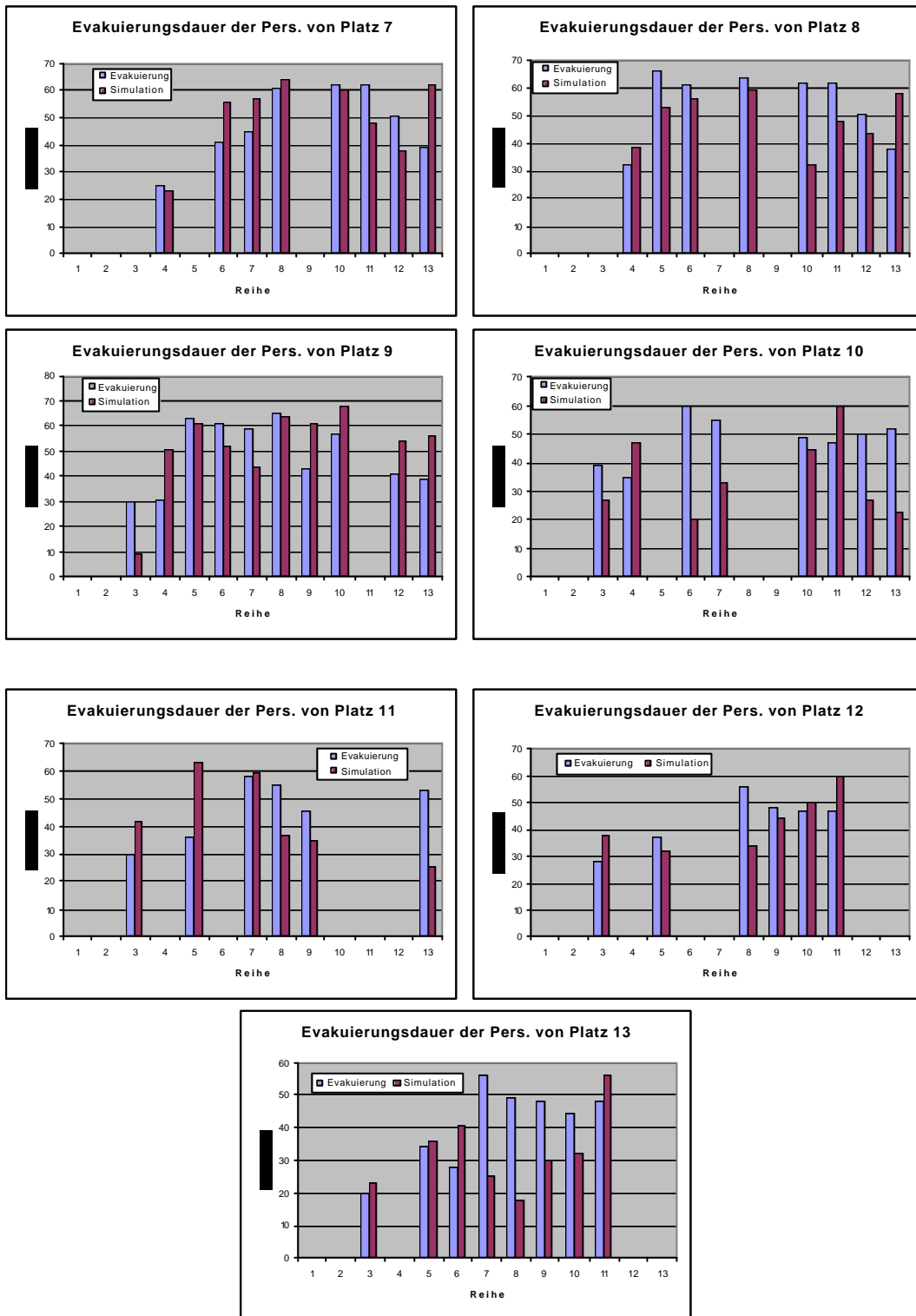


Abbildung 14: Individuelle Evakuierungsdauer der Personen, aufgeteilt nach Plätzen (Platz 7 bis 13).