

Mathematik kollektiven Verhaltens

Vortrag über Massenverhalten

Marco Grönewäller

24.04.2008

Warum wird das Verhalten von Menschenmengen studiert?

Warum wird das Verhalten von Menschenmengen studiert?

- Um menschliches Verhalten vorhersagen zu können.
- Um Gehwege, Fussgängerzonen und Fluchtwege effizienter zu bauen.

Warum wird das Verhalten von Menschenmengen studiert?

- Um menschliches Verhalten vorhersagen zu können.
- Um Gehwege, Fussgängerzonen und Fluchtwege effizienter zu bauen.

Warum wird die Modellierung benötigt?

Warum wird das Verhalten von Menschenmengen studiert?

- Um menschliches Verhalten vorhersagen zu können.
- Um Gehwege, Fussgängerzonen und Fluchtwege effizienter zu bauen.

Warum wird die Modellierung benötigt?

- Erkenntnisse über Verhalten werden durch Beobachtungen belegt.
- Evakuierungssituation sind unerwartet und gefährlich.
- Deswegen werden mathematische Modelle entwickelt um das Verhalten von Menschen in Paniksituationen zu simulieren.

Inhalt

- Einleitung
- Menschenmengen in Fußgängerzonen
 - Fußgängerströme
 - kreuzende Fußgängerströme
- Menschenmengen in Paniksituationen
 - Einführung
 - Beobachtungen
 - Verbesserungen
- Helbings Modell
 - Antriebskraft
 - Interaktion mit Anderen
 - Interaktion mit Wänden
 - Erkenntnisse
- Erweiterung von Helbings Modell

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.
- Diese Phänomene können durch **Designlösungen** zu einer gesteigerten Effizienz in den folgenden Bereichen führen:

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.
- Diese Phänomene können durch **Designlösungen** zu einer gesteigerten Effizienz in den folgenden Bereichen führen:
 - ① Sicherheit

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.
- Diese Phänomene können durch **Designlösungen** zu einer gesteigerten Effizienz in den folgenden Bereichen führen:
 - 1 Sicherheit
 - 2 Transportgeschwindigkeit

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.
- Diese Phänomene können durch **Designlösungen** zu einer gesteigerten Effizienz in den folgenden Bereichen führen:
 - 1 Sicherheit
 - 2 Transportgeschwindigkeit
 - 3 Flächenbedarf

- Das Verhalten von Menschenmassen folgt **Gesetzmäßigkeiten**, die man sich zunutze machen kann, um effiziente und fußgängergerechte Anlagen und Gebäude zu konzipieren.
- **Selbstorganisationsphänomene** führen zu unerwarteten Behinderungen, wie beispielsweise zur Pfropfenbildung bei Massenpaniken.
- Diese Phänomene können durch **Designlösungen** zu einer gesteigerten Effizienz in den folgenden Bereichen führen:
 - 1 Sicherheit
 - 2 Transportgeschwindigkeit
 - 3 Flächenbedarf
 - 4 Kostenersparnisse

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

- Es werden Aufnahmen von Menschenmengen analysiert.

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

- Es werden Aufnahmen von Menschenmengen analysiert.
- Aus diesen Aufnahmen werden Erkenntnisse gewonnen, welche dann in ein Modell übertragen werden.

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

- Es werden Aufnahmen von Menschenmengen analysiert.
- Aus diesen Aufnahmen werden Erkenntnisse gewonnen, welche dann in ein Modell übertragen werden.
- Mit Hilfe von Modellen werden Ideen entwickelt zur Verbesserung der Architektur.

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

- Es werden Aufnahmen von Menschenmengen analysiert.
- Aus diesen Aufnahmen werden Erkenntnisse gewonnen, welche dann in ein Modell übertragen werden.
- Mit Hilfe von Modellen werden Ideen entwickelt zur Verbesserung der Architektur.
- Dazu werden geeignete Experimente entwickelt, um das Modell mit der Realität abzugleichen.

Vorgehensweise

Beobachtung → Modell → Experimentelles Verifizieren
→ Verbesserung der Architektur

- Es werden Aufnahmen von Menschenmengen analysiert.
- Aus diesen Aufnahmen werden Erkenntnisse gewonnen, welche dann in ein Modell übertragen werden.
- Mit Hilfe von Modellen werden Ideen entwickelt zur Verbesserung der Architektur.
- Dazu werden geeignete Experimente entwickelt, um das Modell mit der Realität abzugleichen.
- Aus diesen Ideen werden dann Richtlinien für den Bau von Gebäuden und Anlagen.

- Viele Menschen, die das selbe Ziel verbindet, werden zu einer **Einheit**, einer Menschenmenge oder Masse.

- Viele Menschen, die das selbe Ziel verbindet, werden zu einer **Einheit**, einer Menschenmenge oder Masse.
- In dieser Masse verlieren Einzelne ihr individuelles Verhalten und passen sich dem Verhalten der Masse an.

- Viele Menschen, die das selbe Ziel verbindet, werden zu einer **Einheit**, einer Menschenmenge oder Masse.
- In dieser Masse verlieren Einzelne ihr individuelles Verhalten und passen sich dem Verhalten der Masse an.
- Diese **Verhaltensadaption** wird um so stärker, je größer das Verlangen nach dem gemeinsamen Ziel ist.

- Viele Menschen, die das selbe Ziel verbindet, werden zu einer **Einheit**, einer Menschenmenge oder Masse.
- In dieser Masse verlieren Einzelne ihr individuelles Verhalten und passen sich dem Verhalten der Masse an.
- Diese **Verhaltensadaption** wird um so stärker, je größer das Verlangen nach dem gemeinsamen Ziel ist.
- Angst und Panik kann diesen Effekt natürlich noch verstärken.

Inhalt

- Einleitung
- **Menschenmengen in Fußgängerzonen**
 - Fußgängerströme
 - kreuzende Fußgängerströme
- Menschenmengen in Paniksituationen
 - Einführung
 - Beobachtungen
 - Verbesserungen
- Helbing's Modell
 - Antriebskraft
 - Interaktion mit Anderen
 - Interaktion mit Wänden
 - Erkenntnisse
- Erweiterung von Helbing's Modell

Menschenmengen in Fußgängerzonen

Fußgängerströme

- In entgegengesetzten Fußgängerströmen findet man die **Selbstorganisation** von Bahnen einheitlicher Gehrichtung.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Fußgängerströme

- In entgegengesetzten Fußgängerströmen findet man die **Selbstorganisation** von Bahnen einheitlicher Gehrichtung.
- Die Anzahl der Bahnen wächst mit der Gesamtbreite der Fußgängerströme und nimmt mit zunehmender (Korridor-)Länge ab.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Fußgängerströme

- In entgegengesetzten Fußgängerströmen findet man die **Selbstorganisation** von Bahnen einheitlicher Gehrichtung.
- Die Anzahl der Bahnen wächst mit der Gesamtbreite der Fußgängerströme und nimmt mit zunehmender (Korridor-)Länge ab.
- Der Ordnungsgrad wächst also mit der Distanz bzw. Interaktionsdauer der entgegengesetzten Ströme.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

- Eine Reihe von Bäumen oder Säulen in der Mitte des Gehwegs kann die Bahnen stabilisieren.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

- Eine Reihe von Bäumen oder Säulen in der Mitte des Gehwegs kann die Bahnen stabilisieren.
- Diese Reihe wirkt in Gehrichtung psychologisch wie eine Wand, jedoch sind Seitenwechsel möglich um einen Druckausgleich zu erreichen.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

- Eine Reihe von Bäumen oder Säulen in der Mitte des Gehwegs kann die Bahnen stabilisieren.
- Diese Reihe wirkt in Gehrichtung psychologisch wie eine Wand, jedoch sind Seitenwechsel möglich um einen Druckausgleich zuerreichen.
- Zusätzlich macht es das Überholen weniger attraktiv, da ein Umweg in Kauf genommen werden muss.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Kreuzende Fußgängerströme

- Bei zwei sich kreuzenden Fußgängerströmen ist zu beobachten, dass Personen mit unterschiedlicher Richtung sich **streifenförmig** voneinander absetzen.

Menschenmengen in Fußgängerzonen

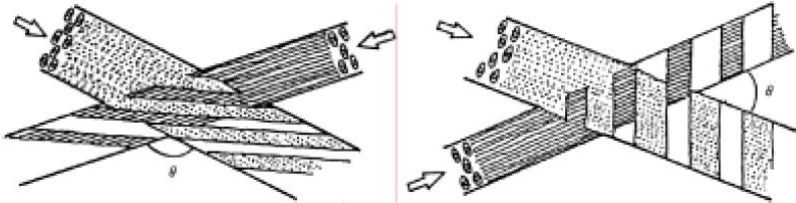
Kreuzende Fußgängerströme

- Bei zwei sich kreuzenden Fußgängerströmen ist zu beobachten, dass Personen mit unterschiedlicher Richtung sich **streifenförmig** voneinander absetzen.
- Die gebildeten Streifen dehnen sich senkrecht zur mittleren Bewegungsrichtung aus und schieben sich so aneinander vorbei, dass sich die beiden Richtungen vergleichsweise ungehindert gegenseitig durchdringen können.

Menschenmengen in Fußgängerzonen

Kreuzende Fußgängerströme

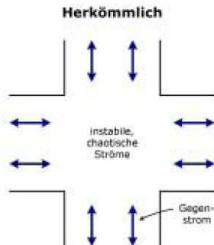
- Bei zwei sich kreuzenden Fußgängerströmen ist zu beobachten, dass Personen mit unterschiedlicher Richtung sich **streifenförmig** voneinander absetzen.
- Die gebildeten Streifen dehnen sich senkrecht zur mittleren Bewegungsrichtung aus und schieben sich so aneinander vorbei, dass sich die beiden Richtungen vergleichsweise ungehindert gegenseitig durchdringen können.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

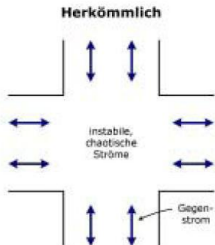
- Die Bewegung auf einer Kreuzung sind meist eher **chaotisch**.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

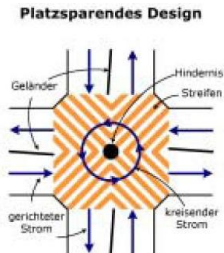
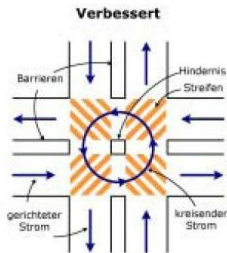
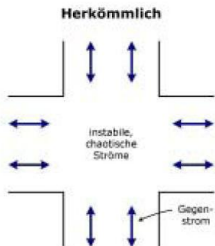
- Die Bewegung auf einer Kreuzung sind meist eher **chaotisch**.
- Ein Baum in der Mitte der Kreuzung oder auch Barrieren können zu einem **Kreisverkehr** führen.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

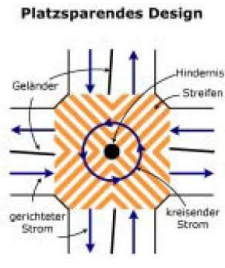
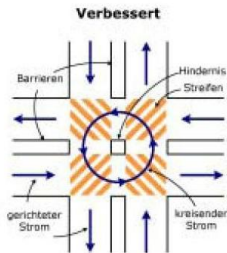
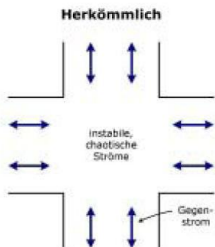
- Die Bewegung auf einer Kreuzung sind meist eher **chaotisch**.
- Ein Baum in der Mitte der Kreuzung oder auch Barrieren können zu einem **Kreisverkehr** führen.



Menschenmengen in Fußgängerzonen

Verbesserung

- Die Bewegung auf einer Kreuzung sind meist eher **chaotisch**.
- Ein Baum in der Mitte der Kreuzung oder auch Barrieren können zu einem **Kreisverkehr** führen.
- Dies liegt an der Streifenbildung bei 2 sich kreuzenden Fußgängerströmen.



Inhalt

- Einleitung
- Menschenmengen in Fußgängerzonen
 - Fußgängerströme
 - kreuzende Fußgängerströme
- **Menschenmengen in Paniksituationen**
 - Einführung
 - Beobachtungen
 - Verbesserungen
- Helbing's Modell
 - Antriebskraft
 - Interaktion mit Anderen
 - Interaktion mit Wänden
 - Erkenntnisse
- Erweiterung von Helbing's Modell

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Massenpaniken sind schon immer ein Problem von Großveranstaltungen gewesen.

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Massenpaniken sind schon immer ein Problem von Großveranstaltungen gewesen.
- In den letzten 100 Jahren haben sie tausende Tote und noch weit mehr Verletzte gefordert.

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Massenpaniken sind schon immer ein Problem von Großveranstaltungen gewesen.
- In den letzten 100 Jahren haben sie tausende Tote und noch weit mehr Verletzte gefordert.



Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Die Sicherheitsstandards steigen zwar, jedoch nimmt die Zahl der Großveranstaltungen immer mehr zu.

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Die Sicherheitsstandards steigen zwar, jedoch nimmt die Zahl der Großveranstaltungen immer mehr zu.
- Somit ist die Anzahl der Totesopfer in den letzten 10 Jahren nicht gesunken.

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Die Sicherheitsstandards steigen zwar, jedoch nimmt die Zahl der Großveranstaltungen immer mehr zu.
- Somit ist die Anzahl der Totesopfer in den letzten 10 Jahren nicht gesunken.
- Oftmals sind die Opfer nicht durch Feuer oder Explosionen ums Leben gekommen sondern sind erdrückt oder erstickt.

Menschenmengen in Paniksituationen

Einführung

- Die Sicherheitsstandards steigen zwar, jedoch nimmt die Zahl der Großveranstaltungen immer mehr zu.
- Somit ist die Anzahl der Totesopfer in den letzten 10 Jahren nicht gesunken.
- Oftmals sind die Opfer nicht durch Feuer oder Explosionen ums Leben gekommen sondern sind erdrückt oder erstickt.



Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- Menschen versuchen schneller zum Ausgang zu kommen.

Menschenmengen in Paniksituationen

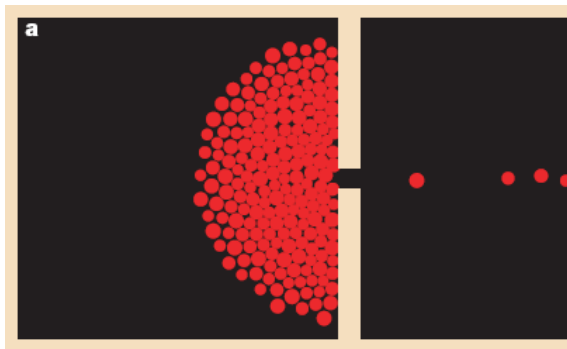
Beobachtungen

- Menschen versuchen schneller zum Ausgang zu kommen.
- Einzelne beginnen zu schieben, es kommt zum physischen Kontakt.

Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- Menschen versuchen schneller zum Ausgang zu kommen.
- Einzelne beginnen zu schieben, es kommt zum physischen Kontakt.
- Die Menge staut sich an einem **Flaschenhals**(Ausgang). Es kommt zur Pfropfenbildung.



Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- Durch das drücken und schieben innerhalb der Masse, entsteht eine Verkeilung und es baut sich eine Last von bis zu 4.5 Tonnen auf (ausreichend um Stahlzäune zu biegen und Ziegelmauern zu stürzen)

Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- Durch das drücken und schieben innerhalb der Masse, entsteht eine Verkeilung und es baut sich eine Last von bis zu 4.5 Tonnen auf (ausreichend um Stahlzäune zu biegen und Ziegelmauern zu stürzen)



Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- **Schockwellen** bilden sich in der Menge aus und Menschen verlieren das Gleichgewicht.

Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- **Schockwellen** bilden sich in der Menge aus und Menschen verlieren das Gleichgewicht.
- Die Masse wälzt sich dann unaufhaltsam über sie hinweg.

Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- **Schockwellen** bilden sich in der Menge aus und Menschen verlieren das Gleichgewicht.
- Die Masse wälzt sich dann unaufhaltsam über sie hinweg.
- Weitere Menschen stürzen und werden zu Hindernissen für andere.



Menschenmengen in Paniksituationen

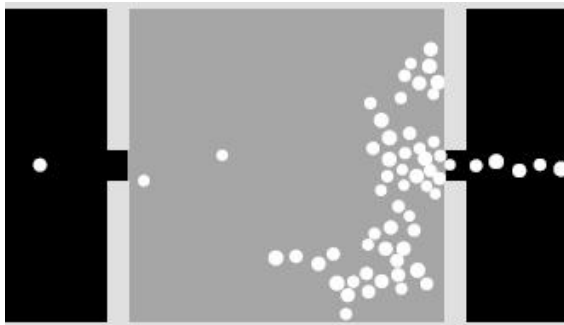
Beobachtungen

- Menschen neigen dazu das Massenverhalten anzunehmen.

Menschenmengen in Paniksituationen

Beobachtungen

- Menschen neigen dazu das Massenverhalten anzunehmen.
- Alternative Ausgänge werden oft übersehen oder nicht effizient genutzt.



Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen

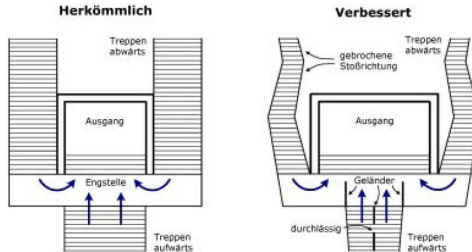
Im folgenden betrachten wir Verbesserungsmethoden von

- 1 Treppen und Stadionaugängen
- 2 Fluchtwege und Ausgangsbereiche

Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaugänge

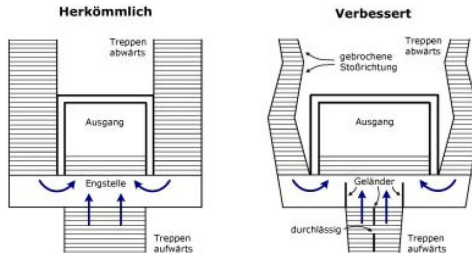
- Der Hindernischarakter von abwärtigen Treppen ist dadurch zu reduzieren, dass man sie in genügend kleine Segmente unterteilt.



Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaugänge

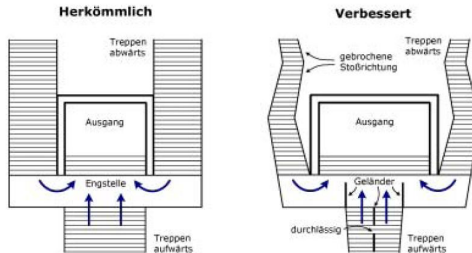
- Der Hindernischarakter von abwärtigen Treppen ist dadurch zu reduzieren, dass man sie in genügend kleine Segmente unterteilt.
- Durch ein **Zickzack-Design** der Treppen wird die Stoßrichtung der Menschenmenge gebrochen.



Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaugänge

- Der Hindernischarakter von abwärtigen Treppen ist dadurch zu reduzieren, dass man sie in genügend kleine Segmente unterteilt.
- Durch ein **Zickzack-Design** der Treppen wird die Stoßrichtung der Menschenmenge gebrochen.
- Der Druckaufbau in einer flüchtenden oder ungeduldig drängenden Menge wird dadurch begrenzt.



Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaushänge

- Aufwärtige Treppen reduzieren den Druck in der zum Ausgang drängenden Menge.

Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaushänge

- Aufwärtige Treppen reduzieren den Druck in der zum Ausgang drängenden Menge.
- Der Druck wird in der vertikalen Raumrichtung wirksam entzerrt.

Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Treppen und Stadionaushänge

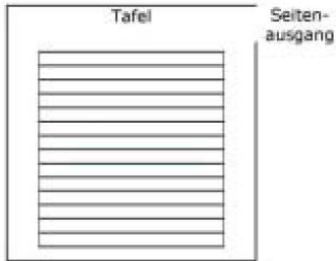
- Aufwärtige Treppen reduzieren den Druck in der zum Ausgang drängenden Menge.
- Der Druck wird in der vertikalen Raumrichtung wirksam entzerrt.
- Es ist also nicht unerheblich, ob die Fluchttreppen aufwärts oder abwärts laufen.

Menschenmengen in Paniksituationen

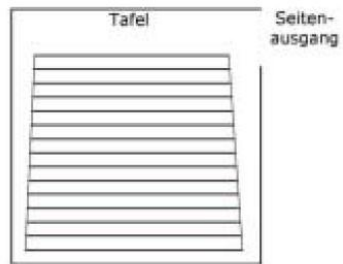
Verbesserungen/Fluchtwege und Ausgangsbereiche

- Die Fluchtwege sollten zum Ausgang hin breiter werden.

Herkömmlich



Verbessert

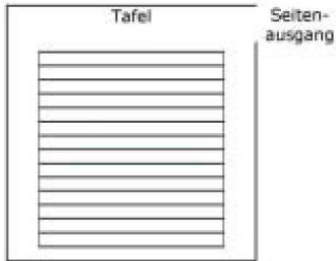


Menschenmengen in Paniksituationen

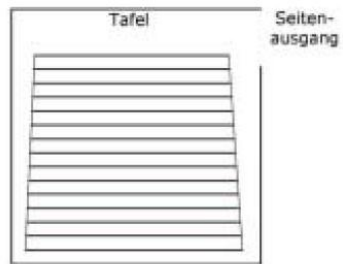
Verbesserungen/Fluchtwege und Ausgangsbereiche

- Die Fluchtwege sollten zum Ausgang hin breiter werden.
- Somit wachsen die Wartezeiten nicht überproportional.

Herkömmlich



Verbessert



Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Fluchtwege und Ausgangsbereiche

- Vor dem Ausgang eines größeren Veranstaltungsortes verringert eine Säule den Druck in der Menge.

Menschenmengen in Paniksituationen

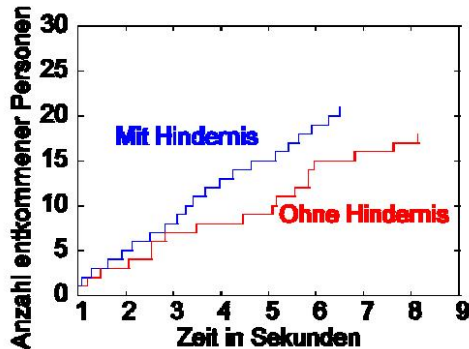
Verbesserungen/Fluchtwege und Ausgangsbereiche

- Vor dem Ausgang eines größeren Veranstaltungsortes verringert eine Säule den Druck in der Menge.
- Dieser Wellenbrecher entlastet die Flüchtenden im Ausgangsbereich.

Menschenmengen in Paniksituationen

Verbesserungen/Fluchtwege und Ausgangsbereiche

- Vor dem Ausgang eines größeren Veranstaltungsortes verringert eine Säule den Druck in der Menge.
- Dieser Wellenbrecher entlastet die Fluchtenden im Ausgangsbereich.



Inhalt

- Einleitung
- Menschenmengen in Fußgängerzonen
 - Fußgängerströme
 - kreuzende Fußgängerströme
- Menschenmengen in Paniksituationen
 - Einführung
 - Beobachtungen
 - Verbesserungen
- **Helbings Modell**
 - Antriebskraft
 - Interaktion mit Anderen
 - Interaktion mit Wänden
 - Erkenntnisse
- Erweiterung von Helbings Modell

- Mathematische Modelle ermöglichen das Simulieren von Massenpaniken.

- Mathematische Modelle ermöglichen das Simulieren von Massenpaniken.
- Auf diese Weise werden Erkenntnisse gesammelt.

- Mathematische Modelle ermöglichen das Simulieren von Massenpaniken.
- Auf diese Weise werden Erkenntnisse gesammelt.
- Diese führen zur Verbesserung von Fluchtwegen, Ausgängen und Fußgängeranlagen.

- Mathematische Modelle ermöglichen das Simulieren von Massenpaniken.
- Auf diese Weise werden Erkenntnisse gesammelt.
- Diese führen zur Verbesserung von Fluchtwegen, Ausgängen und Fußgängeranlagen.
- Helbings Modell ist besonders dafür geeignet den Druckaufbau an Flaschenhälsen zu simulieren.

- Mathematische Modelle ermöglichen das Simulieren von Massenpaniken.
- Auf diese Weise werden Erkenntnisse gesammelt.
- Diese führen zur Verbesserung von Fluchtwegen, Ausgängen und Fußgängeranlagen.
- Helbings Modell ist besonders dafür geeignet den Druckaufbau an Flaschenhälsen zu simulieren.
- Aus diesem Modell lassen sich Erkenntnisse zum Design von effizienten Fluchtwegen gewinnen.

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung
- v_i momentane Geschwindigkeit

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung
- \mathbf{v}_i momentane Geschwindigkeit
- \mathbf{r}_i momentane Position

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung
- \mathbf{v}_i momentane Geschwindigkeit
- \mathbf{r}_i momentane Position
- τ_i Zeitintervall

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung
- \mathbf{v}_i momentane Geschwindigkeit
- \mathbf{r}_i momentane Position
- τ_i Zeitintervall
- \mathbf{f}_{ij} interaktions Kraft mit einer anderen Person j

Helbings Modell macht folgende Definitionen.

Definition

- N Menge der Personen
- N_i einzelne Person in N
- m_i Gewicht einer Person
- v_i^0 bevorzugte Geschwindigkeit einer Person
- e_i^0 bevorzugte Richtung
- \mathbf{v}_i momentane Geschwindigkeit
- \mathbf{r}_i momentane Position
- τ_i Zeitintervall
- \mathbf{f}_{ij} interaktions Kraft mit einer anderen Person j
- \mathbf{f}_{iW} interaktions Kraft mit einer Mauer W

Die Änderung der Position ist gegeben durch die Geschwindigkeit.

$$\mathbf{v}_i(t) = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt}$$

Die Änderung der Position ist gegeben durch die Geschwindigkeit.

$$\mathbf{v}_i(t) = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt}$$

Die Änderung der Geschwindigkeit ist in Abhängigkeit von der Zeit gegeben.

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = m_i \underbrace{\frac{\mathbf{v}_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i}}_{(1)} + \underbrace{\sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij}}_{(2)} + \underbrace{\sum_W \mathbf{f}_{iW}}_{(3)}$$

Die Änderung der Position ist gegeben durch die Geschwindigkeit.

$$\mathbf{v}_i(t) = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt}$$

Die Änderung der Geschwindigkeit ist in Abhängigkeit von der Zeit gegeben.

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = m_i \underbrace{\frac{\mathbf{v}_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i}}_{(1)} + \underbrace{\sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij}}_{(2)} + \underbrace{\sum_W \mathbf{f}_{iW}}_{(3)}$$

Die Gleichung ist in 3 Teile gegliedert.

- (1) Antriebskraft
- (2) Interaktion mit Anderen
- (3) Interaktion mit Wänden

$$m_i \frac{v_i^0(t) \mathbf{e}_i^0(t) - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} \quad (1)$$

zu (1)

Dies ist die Antriebskraft, diese Kraft bringt die Person i auf um zum Ausgang zu kommen. Sie wird um so größer, desto kleiner die momentane Geschwindigkeit wird.

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$
- d_{ij} Abstand zwischen j und i

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$
- d_{ij} Abstand zwischen j und i
- $\mathbf{n}_{ij} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)/d_{ij}$ normalisierter Vektor von j nach i

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$
- d_{ij} Abstand zwischen j und i
- $\mathbf{n}_{ij} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)/d_{ij}$ normalisierter Vektor von j nach i
- \mathbf{t}_{ij} Tangentialrichtung ($\mathbf{t}_{ij} \perp \mathbf{n}_{ij}$)

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$
- d_{ij} Abstand zwischen j und i
- $\mathbf{n}_{ij} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)/d_{ij}$ normalisierter Vektor von j nach i
- \mathbf{t}_{ij} Tangentialrichtung ($\mathbf{t}_{ij} \perp \mathbf{n}_{ij}$)
- $\Delta \mathbf{v}_{ji}^t = (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i)\mathbf{t}_{ij}$ Tangential Geschwindigkeits Differenz

Definitionen für die Interaktionskräfte

Definition

- A_i Rückstoßwert (Konstante)
- B_i Interaktions Reichweite (Konstante)
- k Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- K Behinderungs Einfluss bei körperlichem Kontakt
- r_i Radius (halbe Schulterbreite)
- $r_{ij} = r_i + r_j$
- d_{ij} Abstand zwischen j und i
- $\mathbf{n}_{ij} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)/d_{ij}$ normalisierter Vektor von j nach i
- \mathbf{t}_{ij} Tangentialrichtung ($\mathbf{t}_{ij} \perp \mathbf{n}_{ij}$)
- $\Delta v_{ji}^t = (\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i)\mathbf{t}_{ij}$ Tangential Geschwindigkeits Differenz
- $g(x)$ Berührungsfunktion ($g(x) = 0$ kein Körperkontakt)

$$\sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij} \quad (2)$$

$$\mathbf{f}_{ij} = \underbrace{A_i \exp\left[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right] \mathbf{n}_{ij}}_{(2.1)} + \underbrace{g^{\mathbf{K}}(r_{ij} - d_{ij}) \mathbf{n}_{ij}}_{(2.2)} + \underbrace{g^{\mathbf{K}}(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij}}_{(2.3)}$$

$$\sum_{j(\neq i)} \mathbf{f}_{ij} \quad (2)$$

$$\mathbf{f}_{ij} = \underbrace{A_i \exp\left[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right] \mathbf{n}_{ij}}_{(2.1)} + \underbrace{g^k(r_{ij} - d_{ij}) \mathbf{n}_{ij}}_{(2.2)} + \underbrace{g^K(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij}}_{(2.3)}$$

(2) Interaktion mit anderen Personen

Diese Kraft ist wieder in 3 Teile gegliedert.

(2.1) ist die **psychologische Kraft** Abstand zu anderen Personen zu halten.

(2.2) und (2.3) sind beides physische Kräfte.

(2.2) ist die **Körperkraft**, welche von dem Anderen ausgeübt wird.

(2.3) ist die **Reibungskraft**, welche senkrecht zur Körperkraft wirkt.

$$A_i \exp\left[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right] \mathbf{n}_{ij} \quad (2.1)$$

(2.1) psychologische Kraft

Durch die Exponentialfunktion ist diese Kraft sehr klein, wenn kein Körperkontakt besteht.

Wenn Körperkontakt besteht, also der Abstand kleiner ist als die Summe der Schulterbreiten, dann ist diese Kraft sehr groß.

$$g^k(r_{ij} - d_{ij})\mathbf{n}_{ij} \quad (2.2)$$

(2.2) Körperkraft

Die Funktion g sorgt dafür dass diese Kraft erst auftritt wenn Körperkontakt erreicht ist.

k ist die konstante Kraft welche größer wird, je kleiner die Distanz ist, also desto weniger Platz vorhanden ist.

$$g_K(r_{ij} - d_{ij})\Delta v_{ji}^t \mathbf{t}_{ij} \quad (2.3)$$

(2.3) Reibungskraft

Diese Kraft tritt erst bei Körperkontakt auf.

Sie sorgt dafür das Person näher zum Ausgang oder davon weg gedrückt werden, dies geschieht in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit von i und j.

Die Interaktion mit Wänden ist analog definiert.

$$\begin{aligned}\mathbf{f}_{iW} = & A_i \exp\left[\frac{r_{ij} - d_{iW}}{B_i}\right] \mathbf{n}_{iW} \\ & + g^K(r_{iW} - d_{iW}) \mathbf{n}_{iW} \\ & - g^K(r_{iW} - d_{iW})(\mathbf{v}_i \mathbf{t}_{iW}) \mathbf{t}_{iW}\end{aligned}\tag{3}$$

(3) Interaktion mit Wänden

d_{iW} beschreibt den Abstand zur Wand.

\mathbf{n}_{iW} ist der Vektor, der senkrecht zur Wand und auf i zeigt.

Mit Hilfe einer Simulation sind 2 Erkenntnisse gewonnen worden.

① Unkoordination durch Verkeilung

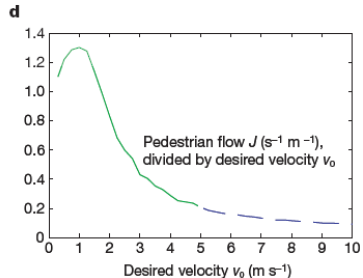
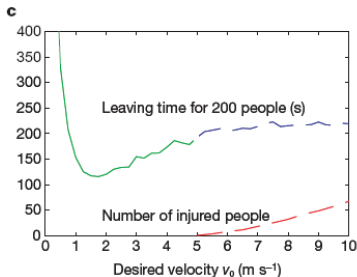
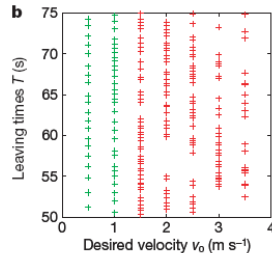
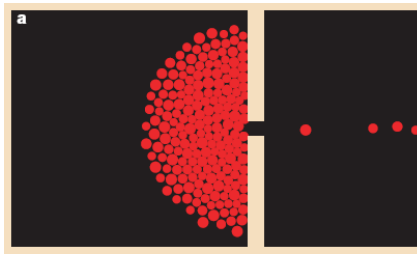
Bei zu hohen bevorzugten Geschwindigkeiten kommt es zu einer Verkeilung am Ausgang. Die Menschen verlassen lawinenartig den Raum. (Abbildung *b*)

Mit Hilfe einer Simulation sind 2 Erkenntnisse gewonnen worden.

- 1 Unkoordination durch Verkeilung
Bei zu hohen bevorzugten Geschwindigkeiten kommt es zu einer Verkeilung am Ausgang. Die Menschen verlassen lawinenartig den Raum. (Abbildung *b*)
- 2 Schneller ist langsamer
Bei zu hoher bevorzugter Geschwindigkeit senkt sich die durchschnittliche Fluchtgeschwindigkeit.
(Abbildung *c* und *d*)

Helbing's Modell

Erkenntnisse

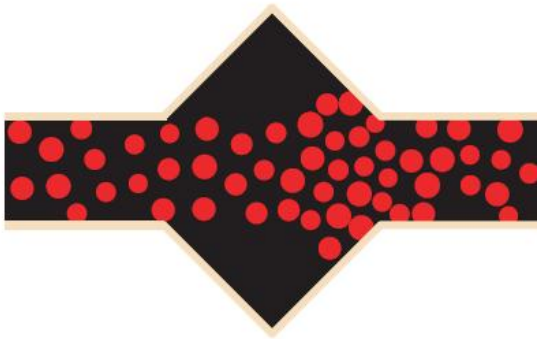


In dieser Simulation sind die Parameter wie folgt gesetzt worden.

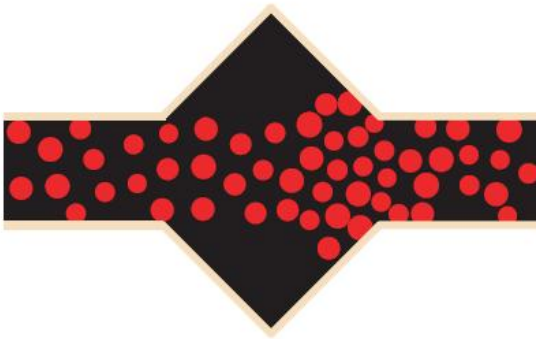
Parameter

- Türbreite 1m
- $m_i = 80kg$
- $\tau_i = 0,5s$
- $A_i = 2 \times 10^3 N$
- $B_i = 0,08m$
- $k = 1.2 \times 10^5 kg\ s^{-2}$
- $K = 2.4 \times 10^5 kg\ m^{-1} s^{-1}$
- $r_i = [0.25m, 0.35m]$
- $v_i^0 = [0.5m\ s^{-1}, 10m\ s^{-1}]$

- Mit einer anderen Simulation ist erkannt worden, dass Gassen in Gängen die Fluchrate eher verringern.



- Mit einer anderen Simulation ist erkannt worden, dass Gassen in Gängen die Fluchrate eher verringern.
- Menschen versuchen die Gasse zum Überholen zu nutzen, und somit kommt es am Ende der Gasse zu einem Flaschenhals.



Inhalt

- Einleitung
- Menschenmengen in Fußgängerzonen
 - Fußgängerströme
 - kreuzende Fußgängerströme
- Menschenmengen in Paniksituationen
 - Einführung
 - Beobachtungen
 - Verbesserungen
- Helbing's Modell
 - Antriebskraft
 - Interaktion mit Anderen
 - Interaktion mit Wänden
 - Erkenntnisse
- Erweiterung von Helbing's Modell

Erweiterung von Helbings Modell

Helbings Modell berücksichtigt nicht das Verhalten der einzelnen Personen. In diesem Modell bilden Personen Gruppen und helfen einander.

Definition

- Id_i Kennung einer Person i
- $IdFamily_i$ Menge der Personen, denen i helfen würde
- v_i^m maximal Geschwindigkeit
- DE_i Abhängigkeitswert zwischen $[0,1]$
- AL_i Hilfsbereitschaftswert zwischen $[0,1]$
- $|d_{ij} - d_{ip}|$ Abstand von j zum Ausgang p
- K Konstante

Die bevorzugte Geschwindigkeit steht nun im Zusammenhang mit dem Abhängigkeitswert.

$$v_i^0 = (1 - DE_i)v_i^m$$

Erweiterung von Helbings Modell

Die bevorzugte Geschwindigkeit steht nun im Zusammenhang mit dem Abhängigkeitswert.

$$v_i^0 = (1 - DE_i)v_i^m$$

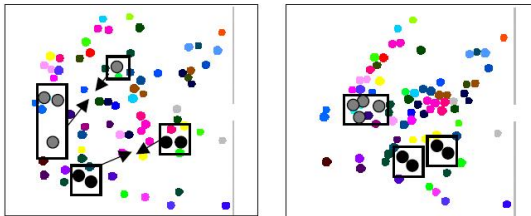
Auf jede Person wirkt eine Hilfsbereitschaftskraft, welche die Person i zu einer ihr bekannten Person j führt. Diese Kraft ist wie folgt definiert.

$$Fa_i = K \sum_j AL_i DE_j |d_{ij} - d_{ip}| \mathbf{n}_{ij}$$

Erweiterung von Helbing's Modell

Simulations Beispiel

Das Verhalten der Personen in einer Simulation.
Gleiche Farben kennen sich und bilden eine Gruppe.



Wenn 2 Personen nah genug beinander sind, übernimmt die Person mit dem höheren Abhängigkeitswert, den kleineren Wert des Anderen. Sie sind nun eine Gruppe und bewegen sich zusammen weiter.

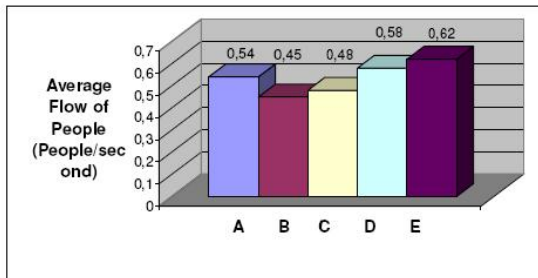
Erweiterung von Helbings Modell

Ergebnisse

Eine Simulationsreihe mit verschiedenen AL_i und DE_i Werten.

Parameter

- A) $AL_i = 0$ $DE_i = 0$ Helbings ursprüngliches Modell
- B) $AL_i = 0.9$ $DE_i = 0.9$ Sehr hilfsbereit aber auch sehr abhängig
- C) $AL_i = 0.1$ $DE_i = 0.8$ egoistisch aber hilfe bedürftig
- D) $AL_i = 0.5$ $DE_i = 0.5$ durchschnitts Verteilung
- E) $AL_i = 0.9$ $DE_i = 0.1$ hilfsbereit und kaum abhängig



- Das Vorhersagen von Massenverhalten reduziert die Gefahren, die mit der zunehmenden Häufigkeit von Massenpaniken einhergehen.

- Das Vorhersagen von Massenverhalten reduziert die Gefahren, die mit der zunehmenden Häufigkeit von Massenpaniken einhergehen.
- Prinzipien der Strömungs- und Panikarchitektur bestimmen daher das Design von Stadien, Flughäfen, Bahnhöfen, Hotels, Fußgängeranlagen und Kreuzfahrtschiffen der Zukunft entscheidend mit