

Merkblatt

Objektschutzmassnahmen: Hitzeschutz von Fenstern entlang von störfallrelevanten Strassen und Bahnlinien

Die «Genfer Studie»¹ und das Merkblatt «Schutzmassnahmen StFV» des Kanton Genf [1] zeigen notwendige **bauliche Massnahmen an Gebäudefassaden für verschiedene Abstandsbereiche zur Strasse und Bahnanlage** auf. Ziel ist der Schutz von Personen im Gebäudeinnern bei einer Havarie auf der Strasse oder der Bahnlinie. In der Studie werden die entstehende Wärmestrahlung eines 300 m² Benzinlachenbrandes auf der Strasse bzw. 600 m² neben dem Bahngelände modelliert² und die Mindestanforderungen an die exponierten Fassadelemente im Abstand zur Wärmequelle aufgelistet.

Zur Vereinheitlichung der Vollzugspraxis und zur Gleichbehandlung der betroffenen Bauvorhaben übernimmt die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) explizit die Genfer Studie als Leitfaden zur Spezifikation von Bausubstanz und Fassaden, welche einen «hohen Hitzeschutz» / hitzeresistente Bauweise aufweisen müssen³. Durch eine frühzeitige Beachtung des Hitzeschutzes bei der Fassadengestaltung lassen sich die Massnahmen optimieren und Kosten senken.

In diesem Merkblatt werden die Erkenntnisse aus mehreren Studien und Recherchen zusammengefasst (vgl. Quellenverzeichnis im Anhang 5) mit dem Ziel, die in der Genfer Studie formulierten Anforderungen an den Hitzeschutz⁴ zu konkretisieren und bauliche Alternativen aufzuzeigen. Es soll als Hilfestellung für Bauherren und Architekten bei der Definition der Bauteile auf Stufe Bauplanung dienen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Verglasungen (Fenster / Türen), welche bezüglich Hitzeschutz das schwächste Glied in der Fassade bilden. Im Anhang 4 wird als Methodikbeispiel das Bauprojekt 4Viertel in Emmenbrücke der Credit Suisse Asset Management (Schweiz) AG abgebildet.

Abschätzung der Wärmestromdichten im Abstand zum Strassenrand bzw. Bahngelände

Die Wärmestromdichten an den Fassadelementen bzw. pro Fenster können den Diagrammen im Anhang 1 für Strassen oder im Anhang 2 für Bahnlinien entnommen werden.

Die Distanz wird dabei ab dem Strassenrand (Trottoirrand⁵) resp. ab dem Rand des Bahngeländes (Schotterrand) gemessen.

¹ Studien im Auftrag des Kantons Genf (nicht publiziert): BG Ingénieurs Conseils SA vom 12.2.2018: Étude opam – Étude de mesures constructives liées aux scénarios d'accident majeurs impliquant la substance représentative essence.

² Aus der Genfer Studie werden Lachengrössen von 300 m² resp. 600 m² im Sinne eines worst-case Szenarios als Referenzwerte entnommen. Die Bildung einer Benzinlache hängt von unterschiedlichen Faktoren ab (z.B. Abflussleistung der Strassen-Entwässerung, Längs- und Querneigung der Strasse sowie Abfluss im freien Gelände oder Versickerungsrate des Bodens). Falls von den vorliegenden Lachengrössen abgewichen wird, ist ein Nachweis erforderlich.

³ Kanton Luzern, Bau-Umwelt und Wirtschaftsdepartement: Arbeitshilfe Störfallvorsorge und Raumplanung, 1. März 2020.

⁴ Als Szenarium wird ein Benzinlachenbrand angenommen, bei dem unmittelbar nach der Zündung eine sehr hohe Strahlungsintensität auf die Fassade einwirkt (im Gegensatz zu einem Normbrand).

Das **Leistungsziel** an die hitzeresistente Fassade ist die Reduktion der Wärmestromdichte zum Innenraum auf eine Wärmestromdichte $\leq 5 \text{ kW/m}^2$ während mindestens 15 Minuten. Für Fluchtwege / Fluchttreppenhäuser gilt dieses Leistungsziel für mindestens 30 Minuten.

⁵ Es gilt der **Abstand vom Trottoirrand/ Schotterrand**.

Bei Bauten in Gebieten mit künftigen Ausbauprojekten auf der Strasse (Baufelder mit einem Vorbehalt / Beseitigungsrevers) gilt der Abstand vom **Trottoirrand der Strassenbaulinie des künftigen Ausbaus**.

Bei einem **gekrümmten Verlauf der Strasse / Bahnlinie** entlang eines Gebäudes gibt es zwei mögliche Werte für die Abstandsmessung zwischen Trottoir und Fassade resp. zur Ableitung der Hitzestrahlung auf die Fassade:

- es ist der kürzeste Abstand von der Fassade zum Trottoirrand / Bahnlinie zu messen (Senkrechte zur Tangente der Krümmung). Da jedoch die Hitzestrahlung in diesem Fall nicht mehr senkrecht auf die Fassade fällt, kann eine Reduktion der Strahlungsintensität infolge des (horizontalen) Einstrahlwinkels eingerechnet werden (vgl. Anhang 3).
- es ist der Abstand senkrecht von der Fassade aus zur Strasse / Bahnlinie zu messen, ohne Reduktion der Strahlungsintensität.

Für die Einteilung der Gläser ist die höhere Wärmestromdichte zu verwenden (vgl. Anhang 3).

Glasaufbauten für Fenster^{6, 7}

Bei einer Wärmestromdichte **15 - 20 kW/m²**

können 3-fach Verglasungen mit innen und aussen 'normalen' VSG-Scheiben verwendet werden (Empfehlung: VSG aus beidseitigem TVG).

Bei einer Wärmestromdichte zwischen **20 - 25 kW/m²**

können 3-fach Verglasungen mit innen und aussen VSG-Scheiben aus beidseitigem TVG verwendet werden. (Empfehlung: VSG aus beidseitigem ESG).

Bei einer Wärmestromdichte zwischen **25 - 30 kW/m²**

können 3-fach Verglasungen mit innen und aussen VSG-Scheiben aus beidseitigem ESG verwendet werden. (Empfehlung: ein EW- oder E30-Glas vorzugsweise an der Aussen-seite). Die Gesamtglasdicke aller Scheiben zusammen sollte mindestens 18 mm betragen.

Bei einer Wärmestromdichte zwischen **30 - 35 kW/m²**

3-fach Verglasungen mit EW-Glas (vorzugsweise aussen⁸) und 2 ESG -Scheiben (je mindestens 6 mm Dicke).

Alternativ kann anstelle einer EW-Scheibe eine E30 - Scheibe (vorzugsweise aussen⁸) und 2 ESG verwendet werden. Die Gesamtglasdicke aller Scheiben zusammen ist mindestens 20 mm (E-Glas mindestens 8mm).

Bei einer Wärmestromdichte **35 - 50 kW/m²**

- 3-fach Verglasung mit EI30⁹ Glas oder
- 3-fach Verglasung mit E30-Glas + Sprinkler¹⁰ (innen oder aussen).

Bei einer Wärmestromdichte **≥50 kW/m²**

- Empfehlung: Abstand zur Strasse vergrössern
- 3-fach Verglasung mit EI60 Glas oder
- 3-fach Verglasung mit EI30-Glas + Sprinkler (innen oder aussen).

Fensterrahmen / Fassaden

Es sind Fensterrahmen und Fassadenmaterialien (inklusive Dämmung und Aufhängung) zu verwenden, welche während mind. 15 Minuten bei entsprechender Wärmestromdichte nicht brennen oder schmelzen.

⁶ Sämtliche Abkürzungen und Glasklassifizierung sind auf Seite 3 beschrieben.

⁷ Die definierten Qualitäten sind als «Mindeststandards» zur Erreichung der Leistungsziele (vgl. Fussnote 4) zu betrachten. Bei Abweichungen zum Merkblatt kann mit einem experimentellen Nachweis mit entsprechender Testanordnung (sehr rasch ansteigende Einstrahlungsstärke auf das Fensterglas) aufgezeigt werden, dass die Leistungsziele auch mit anderen Glasaufbauten eingehalten werden. Eine Deklaration, z.B. nach EN SN 16034 welche auf der Basis eines «Normbrandes» erstellt wurde, genügt nicht als Nachweis.

⁸ Bei Wärmestromdichten ≥ 30 kW/m² versagen Glasaufbauten mit Kunststoff-Laminat-Folien (z.B. VSG mit PVB Folien) auf der Wärme zugewandten Seite rasch [3]. Falls das E30- oder EI30-Glas wegen Lärmschutzanforderungen nicht an der Aussenseite angebracht werden kann, dürfen keine Verbundgläser mit Kunststoff-Laminat-Folien in der ersten und zweiten Schicht eingesetzt werden oder deren Schutzwirkung kann bei der Anforderung an die Gesamtglasdicke nicht berücksichtigt werden.

⁹ Ein Test mit entsprechender Testanordnung (sehr rasch ansteigende Einstrahlungsstärke) zeigte, dass ein EI30 Glas nach rund 15 Minuten komplett versagt [2]. Ein EI15 Glas versagt folglich rascher und kann das Leistungsziel nicht einhalten.

¹⁰ Tests mit Fassadensprinklern zeigten, dass diese die erforderliche Kühlwirkung erbringen können und die Gläser nicht versagen [3]. Bei Innenraumsprinklern wurde die Kühlwirkung nicht getestet.

Bericht über die getroffenen Massnahmen

Die ermittelten Wärmestromdichten¹¹, die getroffenen Massnahmen zum Hitzeschutz der Verglasungen (Glasaufbauten) sowie zu den weiteren Fassadenelementen (z.B. Fassadenaufhängung) sind in einem Bericht zu dokumentieren und der Dienststelle uwe zur Prüfung im Baugesuch einzureichen.

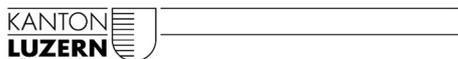
Abkürzungen

VSG	Verbundsicherheitsglas; 'normal' meint, dass VSG aus 2 Floatgläsern + dazwischenliegender hochreissfester, zähelastischer Laminat-Folie (z.B. Polyvinylbutyral, PVB) besteht. (VG: Verbundglas; für Schallschutz genügt auch eine Lärmdämmende Folie).
TVG	Teilvorgespanntes Glas (thermische Wechselbeständigkeit $\Delta T = 100$ K, max. kurzzeitige Gebrauchstemperatur: 200°C, max. dauerhafte Glastemperatur: 120°C).
ESG	Einscheibensicherheitsglas (thermische Wechselbeständigkeit $\Delta T = 150-200$ K, max. kurzzeitige Gebrauchstemperatur: 250-300°C, max. dauerhafte Glastemperatur: 200°C).

Klassifizierung von Brandschutzgläsern

Klasse E	Brandschutzglas als Raumabschluss ohne 'Wärmedämmung/ Hitzeschutz'. E-Gläser bestehen aus speziell vorgespanntem Glas mit speziellem Kantenschutz zur Reduktion von Spannungen auf das Glas bei Hitzeeinwirkung.
Klasse EW	Brandschutzglas als Raumabschluss und teilweiser Wärmeisolation (mit aufschäumender Brandschutzschicht (Thermotransformationsschicht)).
Klasse EI	Brandschutzglas als Raumabschluss und Wärmeisolation (mit mehreren aufschäumenden Thermotransformationsschichten).

06. August 2020 / Rev. 17. August 2022



Bau-, Umwelt und Wirtschaftsdepartement
Umwelt und Energie (uwe)
Entsorgung & Risiko
Risikovorsorge und Tankanlagen
Libellenrain 15
Postfach 3439
6002 Luzern

Tel. 041 228 60 60
www.uwe.lu.ch
uwe@lu.ch

¹¹ gemeint ist die Einteilung der Fassadenelemente / Fenster pro Stockwerk in die Kategorien 15-20 kW/m², 20-25 kW/m², 25-30 kW/m², 35-35 kW/m², 35-50 kW/m² und ≥ 50 kW/m². Die Einteilung ist nachvollziehbar aufzuzeigen.

Anhang 1 Wärmestromdichten Strasse

Auf eine Fassade auftreffende Wärmestromdichte in verschiedenen Höhen¹² eines Benzinlachenbrandes auf der Strasse (ab Strassen- resp. Trottoirrand);

Szenario eines Benzinlachenbrandes auf einer Fläche von 300 m² (worst case Kurven aus rechteckigem und kreisrunden Lachenbrand).

Grundlage: Genfer Studie.

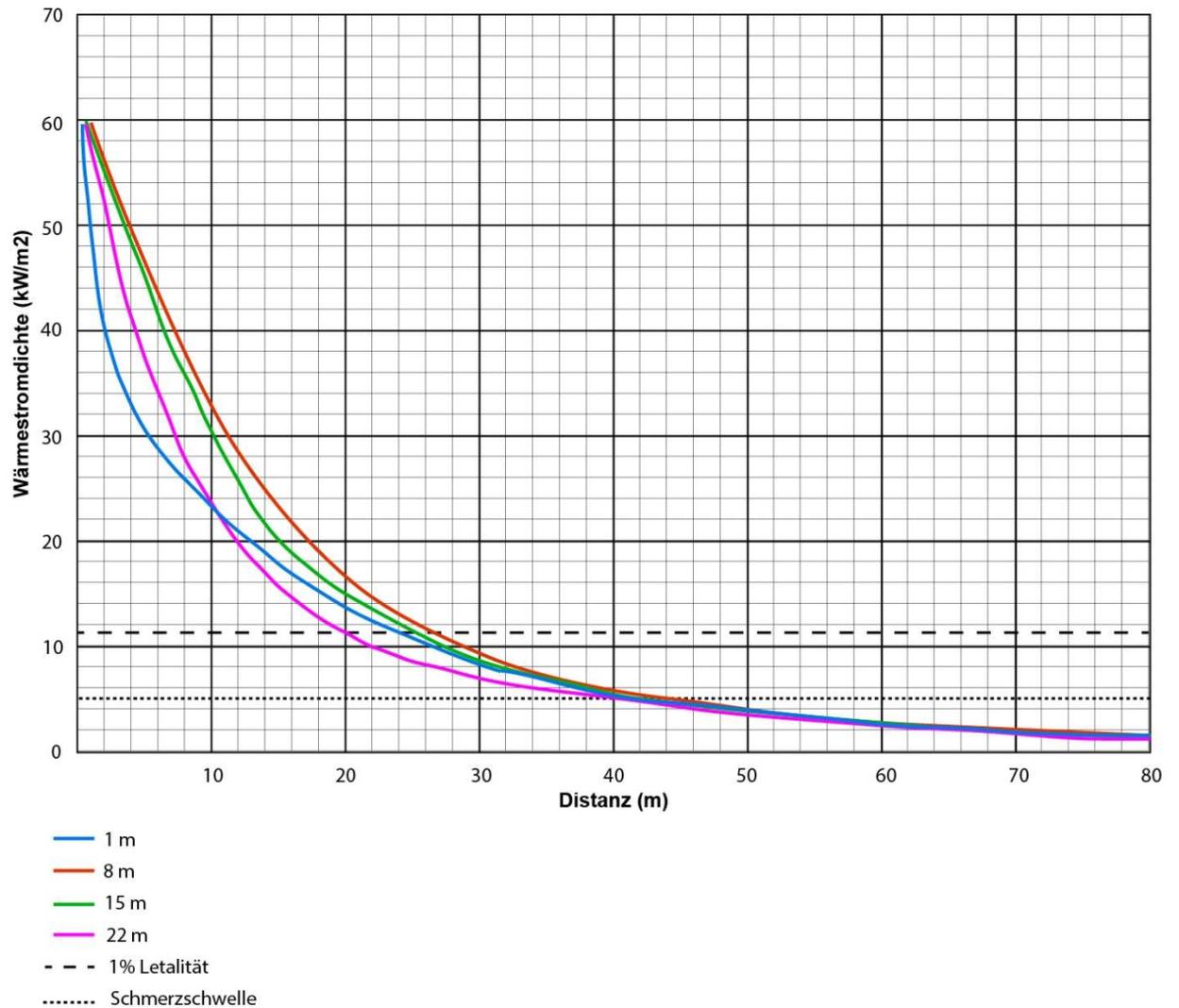


Abb. 1: Benzinlachenbrand 300 m²

¹² Die Flammenhöhe des Benzinlachenbrandes beträgt 25 Meter. Für Fassadenelemente oberhalb der Flamme ergibt sich eine Reduktion der Wärmestromdichte infolge des Einstrahlwinkels (vgl. Anhang 3).

Anhang 2 Wärmestromdichten Bahnlinie

Auf eine Fassade auftreffende Wärmestromdichte in verschiedenen Höhen¹³ eines Benzinlachenbrandes bei der Bahn (ab Schotterrand);

Szenario eines Benzinlachenbrandes auf einer Fläche von 600 m² (worst case Kurven aus rechteckigem und kreisrunden Lachenbrand).

Grundlage: Genfer Studie

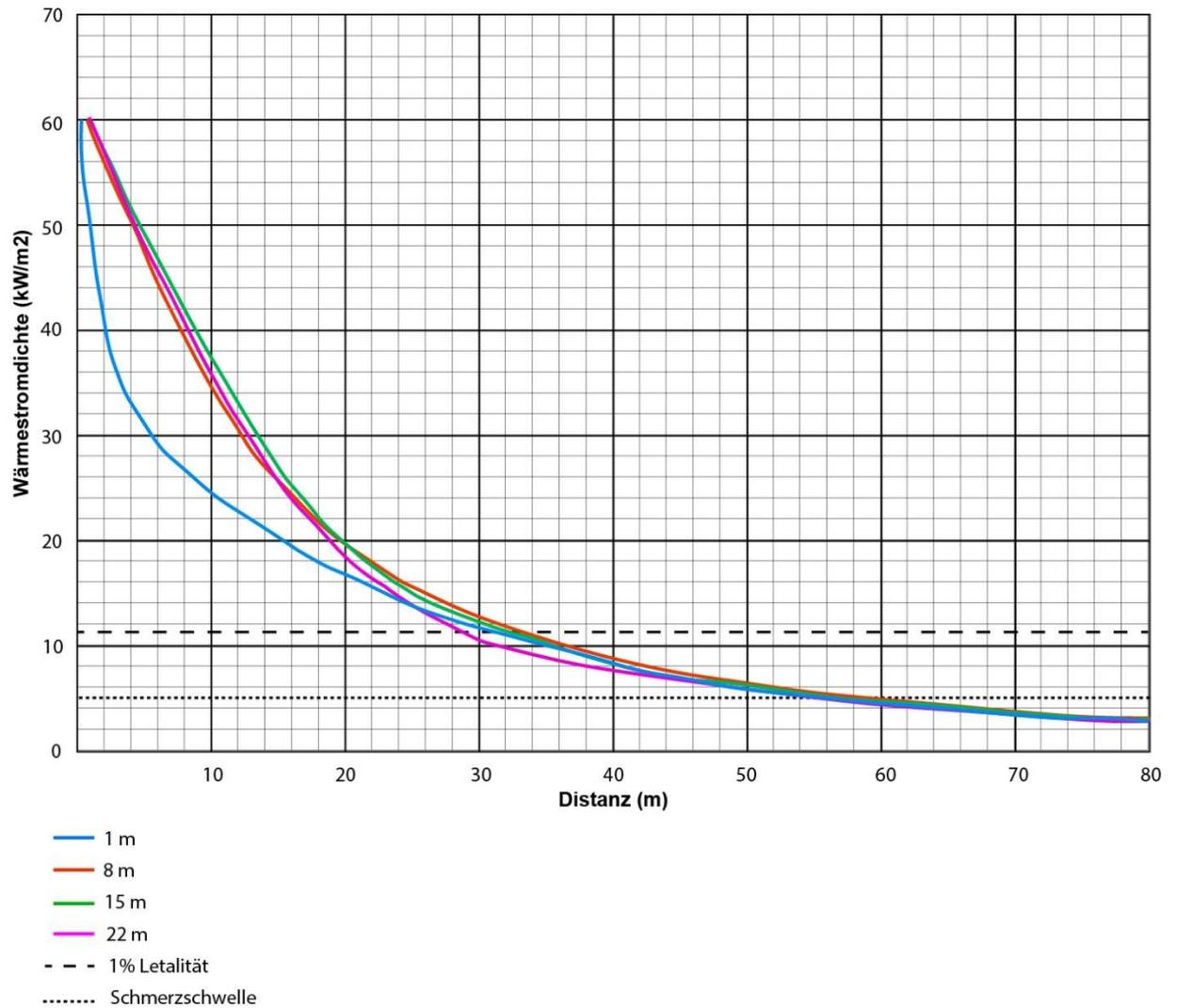


Abb. 2: Benzinlachenbrand 600 m²

¹³ Die Flammenhöhe des Benzinlachenbrandes beträgt 32 Meter. Für Fassadenelemente oberhalb der Flamme ergibt sich eine Reduktion der Wärmestromdichte infolge des Einstrahlwinkels (vgl. Anhang 3).

Anhang 3 Reduktion der Wärmeeinstrahlung infolge des Einstrahlwinkels für Fassadenelemente oberhalb des Flammenzylinders oder bei gekrümmtem Verlauf der Strasse / Bahnlinie

Die **Reduktion der Wärmeeinstrahlung** infolge des Einstrahlwinkels kann gemäss der folgenden Formel (analog [4]) ermittelt werden:

$$I_B(\Theta) = I_{B,n} \cdot \cos \Theta$$

mit:

- $I_B(\Theta)$ reduzierte Wärmestromdichte infolge Einstrahlwinkel [kW/m²]
- $I_{B,n}$ Wärmestromdichte senkrecht zum Lachenbrand [kW/m²]
- Θ Einstrahlungswinkel auf die Fassade

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen Einstrahlwinkel und die Distanzen zwischen Brandlache und Fassade zur Ermittlung der Wärmestromdichten.

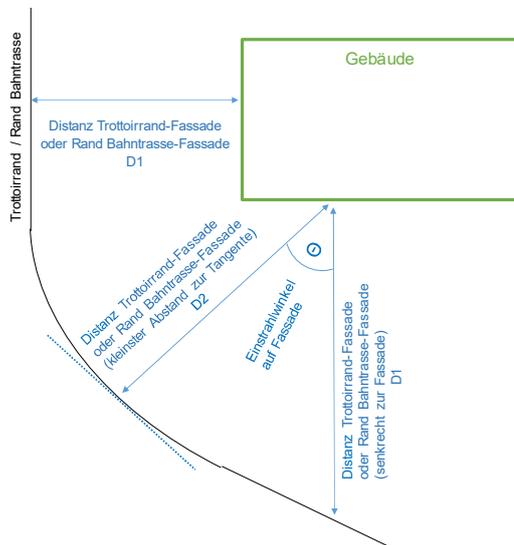


Abb. 3: Einstrahlwinkel bei gekrümmtem Verlauf der Strasse / Bahnlinie (oder wenn Fassade und Brandlache nicht parallel verlaufen)

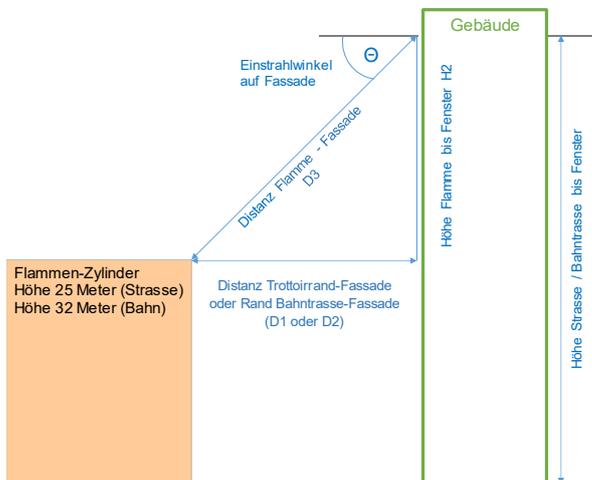


Abb. 4: Wärmestromdichten oberhalb der Flammen (horizontal).
Flammenzylinder 25 Meter bei Strasse, 32 Meter bei der Bahn

Anhang 4 Methodikbeispiel Projekt 4Viertel, Emmenbrücke der Credit Suisse Asset Management (Schweiz) AG zur Bestimmung der Wärmestromdichten an der Gebäudefassade

1. Gebäudepläne mit vier Beispiels-Fassadenpunkten



Abb. 5: Fassade mit ausgewählten Fassadenpunkten (Fenster 1-4) zur Bestimmung der Wärmestromdichten

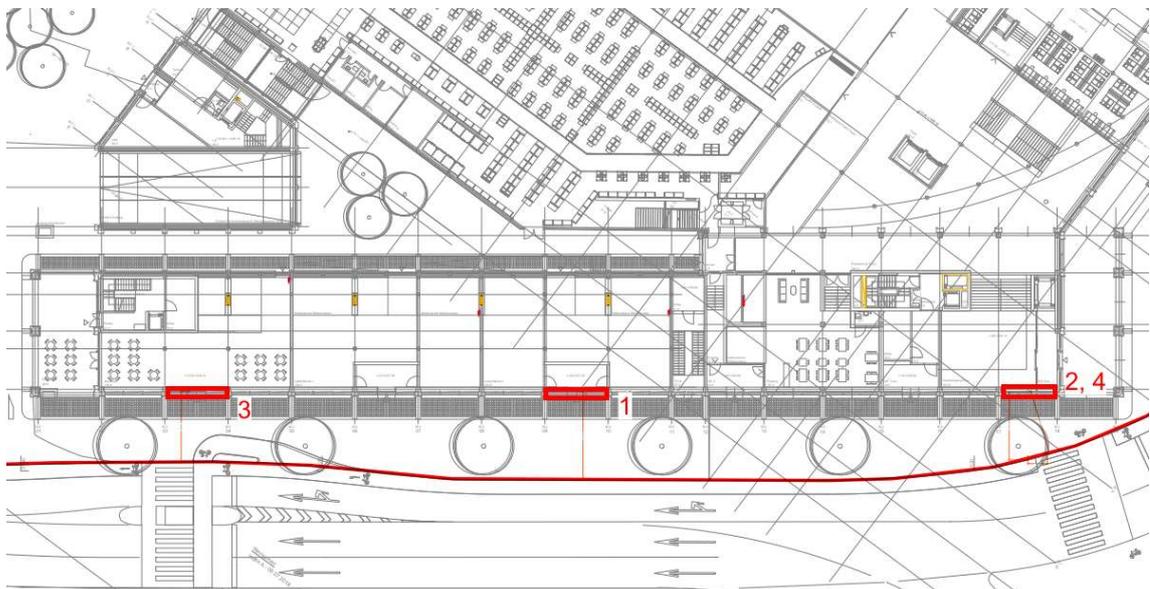


Abb. 6: Grundriss mit Strassenverlauf und Trottoir-Kante (rote Linie)

2. Distanzermittlung von den Fassadenpunkten zur Brandlache

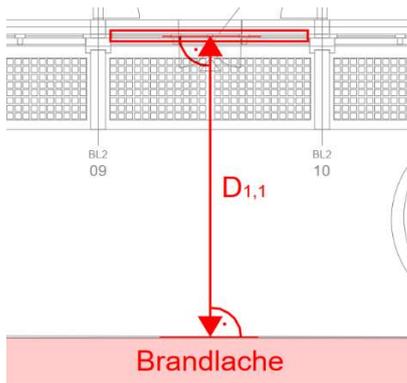


Abb. 7: Horizontale Distanz (Bsp. Fenster 1)

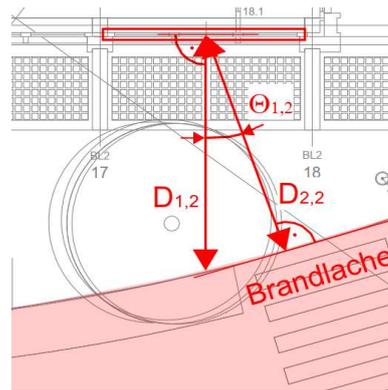


Abb. 8: Horizontale Distanz (Bsp. Fenster 2, 4)

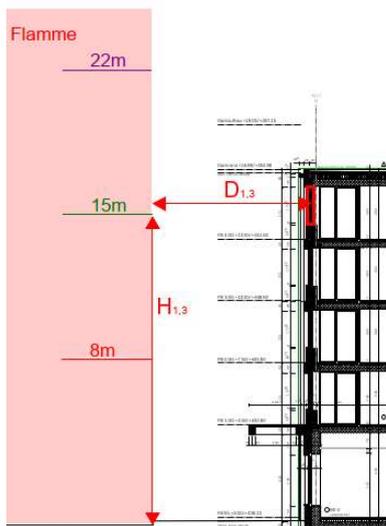


Abb. 9: Vertikale Distanz (Bsp. Fenster 4)

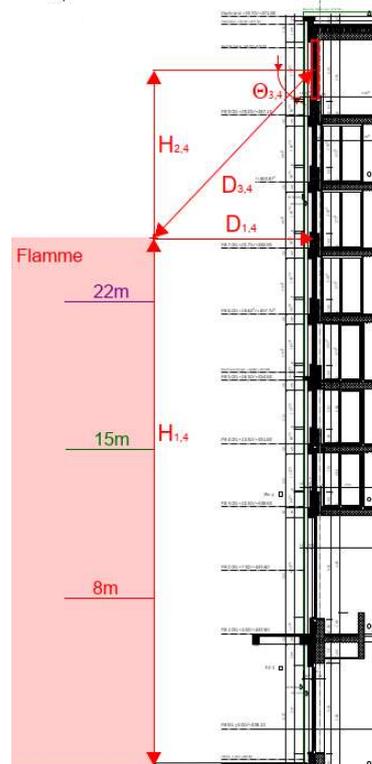


Abb. 10: Vertikale Distanz (Bsp. Fenster 3)

Bemerkungen zur Distanzermittlung / Ermittlung der Wärmestromdichten

Bei parallelem Verlauf von Brandlache (Trottoirrand / Bahntrasse) und Fassade kann direkt über die Distanz die Wärmestromdichte aus den Diagrammen ermittelt werden (Bsp. Fenster 1, 3).

Ist der Verlauf von Fassade und Brandlache nicht parallel, so ist die Wärmestromdichte für

- die Distanz rechtwinklig zur Fassade (D_1) zu ermitteln.
- die Distanz rechtwinklig zur Lache (D_2) mit Berücksichtigung der Reduktion infolge Einstrahlwinkel zu ermitteln (Bsp. Fenster 2, 4).

Ist das betrachtete Element oberhalb der Flammenhöhe, so ist die Wärmestromdichte für die Hypotenuse aus horizontalem- und vertikalem Abstand (D_3) mit Berücksichtigung der Reduktion infolge Einstrahlwinkel zu ermitteln (Bsp. Fenster 4).

Die höhere Wärmestromdichte ist für die Bemessung, resp. für die Einteilung der Fensterqualitäten, massgebend. Ab einer Gebäudehöhe von 22 Meter werden bis 25 Meter¹⁴ die Wärmestromdichte-Kurven von 22 Meter verwendet.

¹⁴ entspricht Flammenhöhe beim Störfall auf der Strasse

3. Ermittlung der Wärmestromdichten

In der folgenden Tabelle sind die Distanzen zwischen Benzinlache und Fassadenpunkten (Bsp. Fenster 1-4), die aus dem Diagramm ermittelten Wärmestromdichten (vgl. Abb. 11), die berechneten Einstrahlwinkel und die entsprechend reduzierten Wärmestromdichten infolge Einstrahlwinkel aufgeführt.

Nr.	D ₁	D ₂ / θ_1	H ₁	H ₂	D ₃ / θ_2	I _{B,n(D1)}	I _{B,n(D2)}	I _{B,n(D2)*cos(θ_1)}	I _{B,n(D3)}	I _{B,n(D3)*cos(θ_2)}
1	9m	-	15m	-	-	32.5kW/m ²	-	-	-	-
2.1	7.5m	-	8m	-	-	39kW/m ²	-	-	-	-
2.2	-	7m / 16°	8m	-	-	-	41kW/m ²	39.5kW/m ²	-	-
3	7.5m	-	15m	-	-	37kW/m ²	-	-	-	-
4.1	7.5m	-	25m	8m	11m / 47°	-	-	-	22.5kW/m ²	15.5kW/m ²
4.2	-	7m / 16°	25m	8m	10.5m / 49°	-	-	-	21kW/m ²	14kW/m ²

Legende

- D₁ horizontale Distanz rechtwinklig zur Fassade
- D₂ horizontale Distanz rechtwinklig zur Brandlache (Trottoirrand, Rand Bahntrasse)
- D₃ diagonale Distanz Höhe Flammen-Zylinder – Fenster (= Hypotenuse)
- H₁ Zuordnung Strahlungskurve entspricht ca. Elementhöhe
- H₂ Höhendifferenz Element zu Flammenhöhe
- θ_1 Winkelabweichung aus der Fassadenebene in der Horizontalen
- θ_2 Winkelabweichung aus der Fassadenebene in der Vertikalen
- I_{B,n(D1)} Wärmestromdichte rechtwinklig zur Fassade [kW/m²]
- I_{B,n(D2)} Wärmestromdichte rechtwinklig zur Brandlache [kW/m²]
- I_{B,n(D2)*cos(θ_1)} Wärmestromdichte rechtwinklig zur Brandlache [kW/m²]
inkl. Reduktion durch Einstrahlwinkel
- I_{B,n(D3)} Wärmestromdichte im Abstand zum Flammenzylinder [kW/m²]
- I_{B,n(D3)*cos(θ_2)} Wärmestromdichte im Abstand zum Flammenzylinder [kW/m²]
inkl. Reduktion durch Einstrahlwinkel

Aus der Grafik im Anhang 1 werden die Wärmestromdichten für die entsprechenden Distanzen für jeden Fassadenpunkt (Bsp. Fenster 1 bis 4) ermittelt:

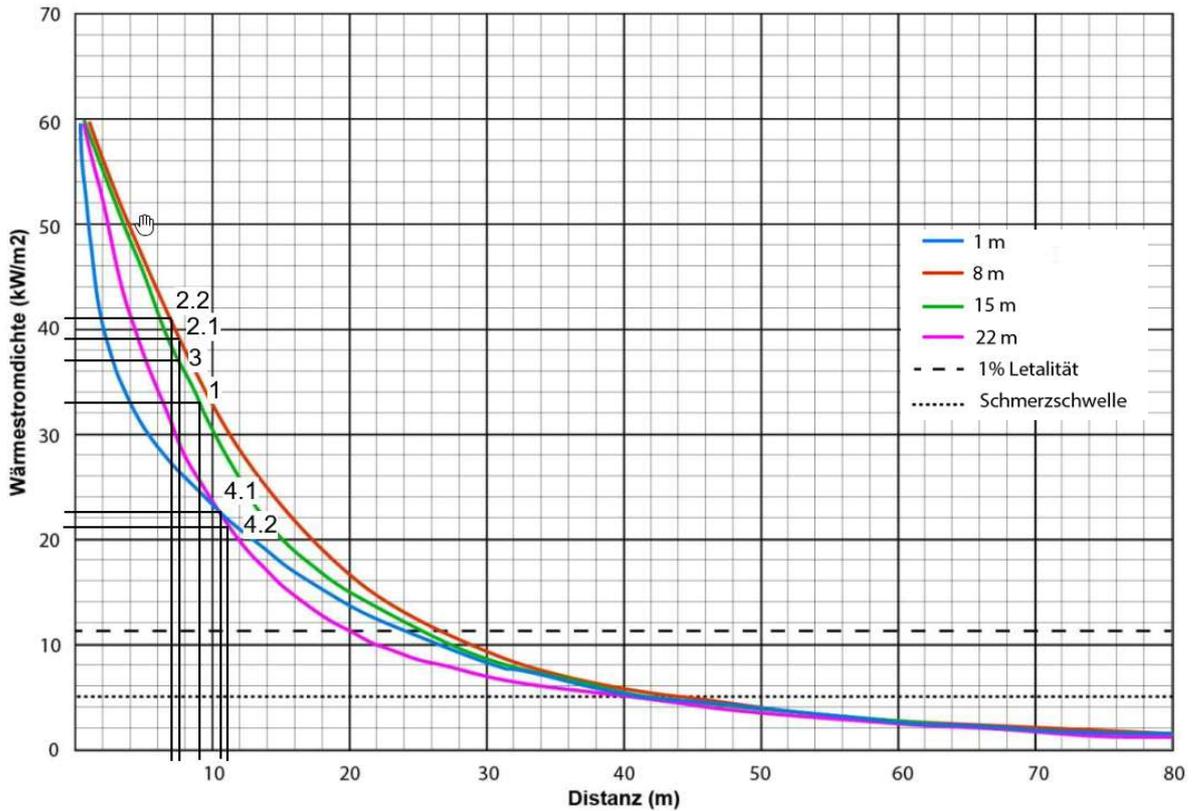


Abb. 11: Diagramm Wärmestromdichte mit eingezeichneten Beispiels-Fassadenpunkten

4. Darstellung der resultierenden Wärmestromdichten auf der ganzen Gebäudefassade inkl. für die vier ausgewählten Fenster

Die Ermittlung der Wärmestromdichten wurde für die gesamte Fassade durchgeführt und farblich dargestellt. Im Bauprojekt werden die Glasaufbauten entsprechend der in diesem Merkblatt beschriebenen Qualitäten umgesetzt.



Abb. 12: Diagramm Wärmestromdichte mit eingezeichneten Beispiels-Fassadenpunkten

Anhang 5 Quellenangaben

- [1] Merkblatt Kanton Genf (deutsch): www.ge.ch/document/schutz-massnahmen-stfv
- [2] Suisseplan Ingenieure AG Zürich: Objektschutzmassnahmen: Grundlagen zum Bauen neben Störfallanlagen, 2019 (Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, BAFU)
- [3] Michael S. Klassen et. al.: Transmission Through and Breakage of Multi-Pane Glazing Due to Radiant Exposure; Fire Technology, 42, 79–107, 2006
- [4] C. Zürcher und T. Frank, Bauphysik - Bau und Energie, Zürich: Hochschulverlag ETH Zürich, 2014.
<https://enbau-online.ch/bauphysik/2-1-eindimensionaler-stationaerer-waermetransport/>