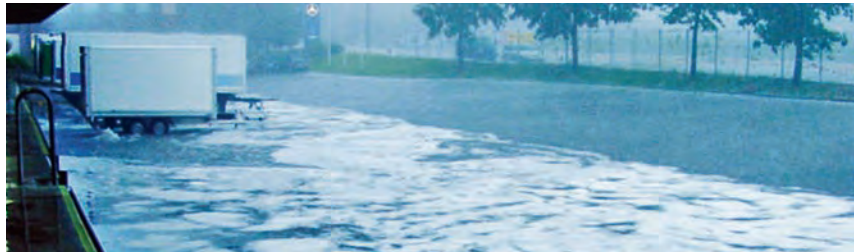




Die beiden «Wegleitungen Objektschutz» gegen meteorologische und gegen gravitative Naturgefahren wurden 2015/2016 inhaltlich überarbeitet und auf den aktuellsten Stand der Technik gebracht. Sie sind auf der Plattform «Schutz vor Naturgefahren» online abrufbar:

Die von Ihnen gewünschten Empfehlungen und Hintergrundinformationen können Sie über die Druckfunktion herunterladen. Das vorliegende PDF entspricht der Wegleitung von 2007.

[www.schutz-vor-naturgefahren.ch](http://www.schutz-vor-naturgefahren.ch)

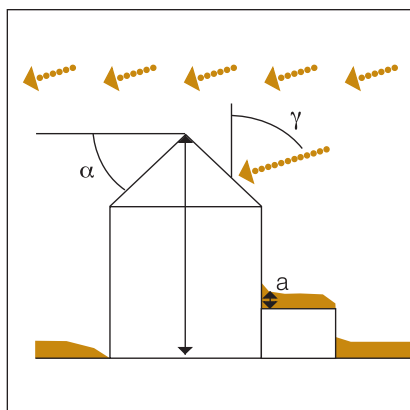


## 1 Bezeichnungen

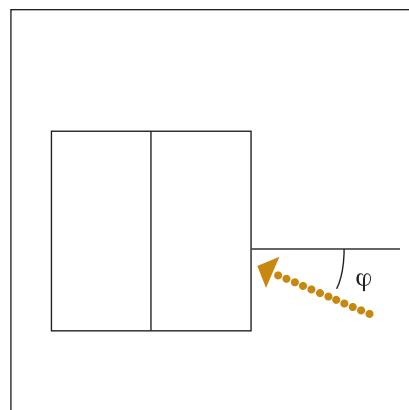
$k$  [mm]: Durchmesser Hagelkorn  
 $\gamma$  [°]: Einfallwinkel vertikal  
 $\varphi$  [°]: Einfallrichtung horizontal  
 $\alpha$  [°]: Dachneigung  
 $\rho_h$  [kg/m<sup>3</sup>]: Dichte von Hageleis  
 $\rho_l$  [kg/m<sup>3</sup>]: Dichte von Luft  
 $c_d$  [-]: Luftwiderstandsbeiwert  
 $v_f$  [m/s]: Vertikale Fallgeschwindigkeit Hagelkorn (ohne Windeinfluss)  
 $v_h$  [m/s]: Horizontale Geschwindigkeit Hagelkorn infolge Windeinfluss  
 $v_w$  [m/s]: Windgeschwindigkeit (Böen)  
 $v_{fw}$  [m/s]: Fallgeschwindigkeit Hagelkorn mit Windeinfluss

$v_{AS}$  [m/s]: angenäherte kleinste Schädigungsgeschwindigkeit (Labor)  
 $T$  [h]: Hageldauer  
 $a$  [m]: Akkumulationshöhe  
 $q_a$  [N/m<sup>2</sup>]: Auflast der Hagelablagung  
 $m$  [kg]: Masse einer Einzellast  
 $E_k$  [J]: Kinetische Energie eines Hagelkorns  
 $E_T$  [J/m<sup>2</sup>]: Totale kinetische Hagelenergie pro Teilfläche und Ereignis  
 $W_{AS}$  [J]: Angenäherte kleinste Schädigungsarbeit (Labor)  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>]: Erdbeschleunigung (10 m/s<sup>2</sup>)

3



4



## 5 Charakterisierung

Form und Grösse der Eiskörner sowie Art und Intensität der Hagelwirkung werden beeinflusst durch das Klima, die Topographie und die Windverhältnisse. Die Form und der Standort des Bauwerks, die Beschaffenheit seiner Oberflächen sowie die Dachneigung bestimmen die Einwirkung mit.

*Hagelgewitter*

Ohne Gewitter kein Hagel. Umgekehrt gibt es viele Gewitter ohne Hagel, wenn entweder die atmosphärischen Bedingungen für eine Hagelbildung nicht ausreichen oder die Hagel- bzw. Graupelkörner klein sind oder schmelzen und den Erdboden nur mehr als Platzregen erreichen. Als grobe Faustformel gilt, dass die Hagelhäufigkeit etwa ein Zehntel der Gewitterhäufigkeit beträgt. Am grössten ist die Hagelgefahr in Gebieten, in denen

trockenkalte und feuchtwarme Luftmassen aufeinanderstossen, und in Gebirgsregionen, wo die Konvektion durch Bergmassive zusätzlich verstärkt wird.

Die plötzlichen und intensiven vertikalen Umlagerungen in der Atmosphäre, aus denen sich die Gewitter entwickeln, entstehen entweder bei starker Sonneneinstrahlung über heissen Landflächen oder beim Aufeinandertreffen unterschiedlicher Luftmassen, vor allem bei der Beendigung sommerlicher Hitzeperioden durch eine grossräumig vordringende Kaltfront. Voraussetzung ist dabei eine labile Schichtung der Atmosphäre. Zur Entstehung grosser Hagelkörner sind entsprechend hohe Aufwinde in der Gewitterwolke notwendig. Werden die Körner in der Schwebe gehalten, so können sie der umströmenden Wolkenluft

6

7

die enthaltenen Wassertröpfchen und Eiskristalle entziehen und weiterwachsen. Die Aufwinde sind meist in engen Schloten innerhalb des Gewitters konzentriert. Wenn der Auftrieb in einem Aufwind-schlot plötzlich nachlässt, dann fällt die vorher in Schwebelage gehaltene Tropfen- und Hagelmasse schlag-

artig aus. Dasselbe Gewitter kann mehrere, räumlich voneinander abgesetzte Hagelschläge auslösen. Ein Hagelzug oder Hagelstrich, wie das zusammenhängende Hagelgebiet genannt wird, erstreckt sich im Normalfall über eine Länge von wenigen Kilometern und einer Breite von weniger als einem Kilometer.

### Hagelschaden-Skala

In Anlehnung an die Torroskalen (vgl. Risk Frontiers Australia) mit Anpassungen für die Schweiz ver-

anschaulicht die folgende Tabelle die Schadenwirkung von Hagel bei unterschiedlichen Korngrössen.

Intensitäts-klasse	Durchmesser k Hagelkorn	Schadenbeschreibung
H0	[5 mm]	Hagelschlag, Grösse der Körner wie Erbsen, kein Schaden
H1	[5-15 mm]	Blätter mit Löchern, abgeschlagene Blütenblätter
H2	[10 - 20 mm]	Blätter von Bäumen und Pflanzen abgeschlagen, Gemüse, Früchte und Getreide mit Druckstellen und Verletzungen, Gemüseblätter zerfetzt.
H3	[20 – 30 mm]	Einige wenige Glasscheiben in Treibhäusern, Glasglocken und/oder Oberlichter zerbrochen; Kerben bei Holzzäunen; Farbe auf Fenstersimsen abgekratzt; Dellen an Wohnwagen; Löcher in Plexiglasdächern; Segeltuch (z.B. Zelte) zerrissen; Getreidehalme gebrochen und Samen zermalmt, Früchte aufgeplatzt/zerschlagen.
H4	[25 – 40 mm]	Einige Fensterscheiben bei Häusern und/oder Windschutzscheiben bei Fahrzeugen geborsten und/oder grosse Rissbildung. Treibhäuser weitgehend beschädigt, einige Dachpappendächer mit Löchern; Farbschäden an Wänden und Fahrzeugen; weiche Karosserien mit sichtbaren Einschlägen (Beulen); kleine Äste an Bäumen abgeschlagen; ungeschützte Vögel und Geflügel getötet; deutliche Einschläge auf festem Boden.
H5	[30 – 50 mm]	Einige Schiefer und Tonziegel zerbrochen; viele Fenster eingeschlagen; Glasziegeldächer und verstärkte Fensterscheiben zerbrochen; sichtbare Dellen an Fahrzeugen im Freien; Aussenhülle von Kleinflugzeugen mit Dellen; Risiko von ernsthaften oder tödlichen Verletzungen für Kleintiere; Baumrinde in Streifen aufgerissen; Holzteile mit Dellen und Splitter; grosse Äste von Bäumen abgerissen.
H6	[40 – 60 mm]	Viele Schieferplatten und Tonziegel (ausgenommen Betonziegel) zerbrochen; Schindel- und Strohdächer aufgerissen. Wellblechdächer und einige Metaldächer mit tiefen Rillen; Sichtmauerwerke leicht beschädigt, hölzerne Fensterrahmen abgebrochen.
H7	[50 – 75 mm]	Schiefer-, Schindel- und viele Ziegeldächer zerstört, Dachsparren sichtbar; Sicht- und Steinmauerwerke mit Abplatzungen; Metallfensterrahmen abgebrochen; Karosserien von Autos und Kleinflugzeugen massiv/irreparabel beschädigt.
H8	[60 – 90 mm]	Betonziegel zersprungen; Metall-, Schiefer-, Schindel- und andere Ziegeldächer zerstört. Trottoirs mit Dellen; Aussenhüllen von Grossflugzeugen ernsthaft beschädigt, kleine Baumstämme auseinandergerissen, Gefahr von ernsthaften Verletzungen für Leute, die im Freien überrascht wurden.
H9	[> 80 mm]	Betonwände mit Abplatzungen; Betonziegel weitgehend zerbrochen, grosse Bäume abgebrochen, Lebensgefahr für Leute, die im Freien überrascht wurden.
H10	[> 100 mm]	Backsteinhäuser massiv beschädigt; Lebensgefahr für ungeschützte Personen.

## 1 Hageldauer

Die Dauer des Hagelschlages beeinflusst die Grösse der totalen kinetischen Hagelenergie und die Akkumulationshöhe der Hagelablagerungen. Mit zunehmender Hageldauer kann eine plötzliche

Abkühlung der betroffenen Gebäudeoberfläche eintreten. Das Materialverhalten ist diesbezüglich zu untersuchen (Festigkeitsverlust, spröder Bruch).

## 2 Einfallrichtung und Einfallwinkel

Die Einfallrichtung bestimmt die betroffenen Fassaden eines Gebäudes. Der Einfallwinkel bestimmt die Intensität der Einwirkung. Bei senkrechtem Anprall zur Oberfläche ist die Belastung für das Bau-

teil am grössten. Während eines Hagelereignisses können sich die Einfallrichtung und der Einfallwinkel ändern. Im Extremfall ist eine allseitige Einwirkung auf Fassade und Dach möglich.

## 3 Hagelkornformen

Die Form von Hagelkörnern weist eine grosse Varianz auf. Kugelähnliche Körner mit einem Verhältnis von kürzestem zu längstem Durchmesser im Bereich von 0.8 gehören zu den häufigsten Formen. Dennoch sind Formen mit länglichen, abgerundeten oder scharfkantigen Auswüchsen möglich. Diese Sonderformen können aufgrund ihrer Gestalt eine spezielle Belastung beim Aufprall auf die Gebäudehülle darstellen. Ein Durchdringen von elastisch gespannten Hüllkonstruktionen ist möglich, während dies bei gleicher Hagelenergie mit Rundkorn nicht der Fall wäre.

Massgebend für die Zuordnung zu einer Hagelkornklasse ist bei solchen Formen jeweils das Korngewicht.



Hagelkorn des Sturmes vom 24.06.2002 über Zürich mit scharfkantigen Auswüchsen.

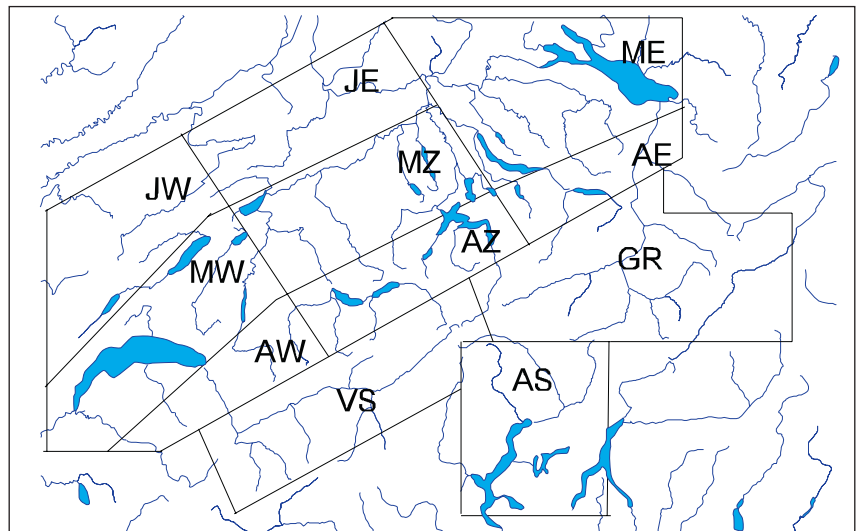
## 5 Hagelkorngrössen und deren Wiederkehrperiode

Die folgende Tabelle stellt die Mindesthagelkorngrössen in [mm] unterschiedlicher Wiederkehrperioden (WP) für verschiedene Klimazonen der Schweiz dar (Schiesser 2006). Es zeigt sich, dass bei einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren mit Hagelkorngrössen von mindestens

30 bis 40 mm gerechnet werden muss. Lediglich im Wallis und im Kanton Graubünden ist mit Hagelkörnern der Grösse von 10 bis 20 mm zu rechnen. Die entsprechenden Intensitätskarten finden sich im Anhang.

WP [Jahre]	Jura		Mittelland			Alpen			Tessin	VS <sup>1</sup>	GR <sup>1</sup>
	West	Ost	West	Zentral	Ost	West	Zentral	Ost			
1	10	10	-	10	10	-	10	10	10	-	-
5	10	20	10	20	20	10	20	10	10	-	-
10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	10
20	20	30	20	30	30	20	20	20	20	10	10
30	20	30	20	30	30	20	30	20	20	10	10
50	20	30	20	30	30	20	30	20	20	10	10
100	30	40	30	40	40	30	40	30	30	20	10
250	40	40	40	40	40	40	40	30	40	20	20
300	40	40	40	40	40	40	40	40	40	20	20

<sup>1</sup>VS, GR: Für die Kantone Wallis und Graubünden liegen nur Schätzwerte vor.



Die Klimazonen zur Hagelintensitätstabelle: JW (Jura West), JE (Jura Ost), MW (Mittelland West), MZ (Mittelland Zentral), ME (Mittelland

Ost), AW (Alpen West), AZ (Alpen Zentral), AE (Alpen Ost), AS (Alpen Süd, Tessin).

### Akkumulationshöhe

Die Ablagerungshöhe des Hagels sowie das Abrutschen und die Akkumulation von Hagel auf Dächern sind zu berücksichtigen (vgl. auch Gefährdungsbilder Kapitel Schnee). Durch die Akkumulation des Hagels auf Dachflächen ist der Wasserabfluss behindert und es kann zum Einstau von flach geneigten Dächern kommen.



*Eine Akkumulationshöhe von über 0.2 m wurde beim Hagelereignis vom 21.07.1998 in der Stadt Luzern erreicht.*

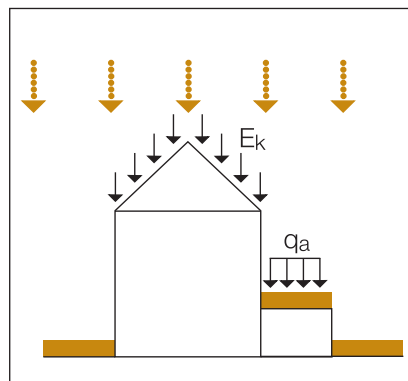
### Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung bedarf es Angaben zur **Hagelkorngrosse**. Die Hagelkorngrosse kann aus der

Hagelintensitätskarte entnommen werden (vgl. Hagelintensitätskarte im Anhang).

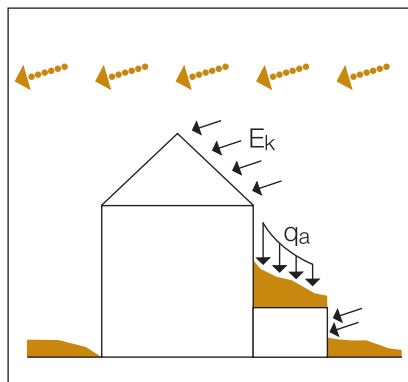
### 1 Gefährdungsbild 1: Hagel ohne Wind

Der vertikale Einfallswinkel  $\gamma$  ist im Bereich  $0^\circ - 20^\circ$  anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Hagelkörner entspricht der freien Fallgeschwindigkeit und ist abhängig vom Durchmesser  $k$  des Hagelkorns, vom Luftwiderstandsbeiwert  $c_d$  und der Dichte von Hageleis  $\rho_h$ . Hauptsächlich auf die Dachflächen wirken der direkte Hagelanprall  $E_k$  und die gleichförmig verteilte Akkumulation der Hagelkörner  $q_a$  ein.



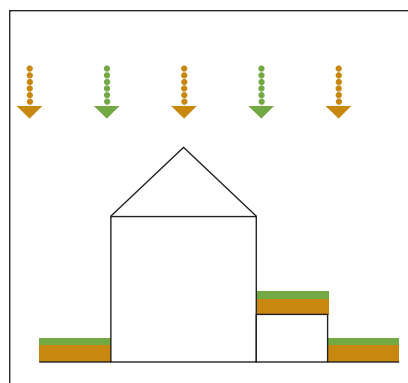
### 2 Gefährdungsbild 2: Hagel mit Wind

Der vertikale Einfallswinkel  $\gamma$  ist im Bereich  $30^\circ - 50^\circ$  anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Hagelkörner entspricht der Kombination von freier Fallgeschwindigkeit und windbeeinflusster horizontaler Hagelkornengeschwindigkeit. Auf die Dachflächen und die Fassaden wirken der direkte Hagelanprall  $E_k$  und die ungleichförmig verteilte Akkumulation der Hagelkörner  $q_a$  ein.



### 3 Gefährdungsbild 3: Hagel mit Starkregen

Dieses Gefährdungsbild entspricht von der Hageleinwirkung dem Gefährdungsbild 1. Zusätzlich zum Hagelniederschlag ist das Ereignis von Starkregen begleitet. Als Folge davon ist mit Überschwemmungen zu rechnen. Im Gebäude erfolgt die Überschwemmung bei einer Beschädigung der Gebäudehülle, und ausserhalb des Gebäudes ist mit Überschwemmungen zu rechnen bei einer Verstopfung von Schächten durch Hagelkörner und abgeschlagene Blätter.



### Kinetische Energie eines Hagelkorns

Die Energie eines frei fallenden Hagelkorns berechnet sich nach der Formel für die kinetische Energie:

$$E_k = 0.5 \cdot m \cdot v_f^2 \text{ [J]}$$

### Vertikale Fallgeschwindigkeit eines Hagelkorns ohne Windeinfluss

Die Fallgeschwindigkeit  $v_f$  der Hagelkörner kann anhand der folgenden Formel abgeschätzt werden:

$$v_f = \left[ \frac{4 \cdot \rho_h \cdot k \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot C_d} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ wobei } k \text{ in [m] in nebenstehender Formel einzusetzen ist.}$$

Die Endgeschwindigkeit und die kinetische Energie der Hagelkörner

können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Durchmesser k [mm]	Masse m [kg]	Endgeschwindigkeit v		Kinetische Energie E [Joule]
		[m/s]	[km/h]	
10	0.0005	13.8	49.7	0.04
15	0.0015	16.9	60.8	0.22
20	0.0036	19.5	70.2	0.69
25	0.0071	21.8	78.5	1.69
30	0.0123	23.9	86.0	3.5
40	0.0292	27.5	99.0	11.1
50	0.0569	30.8	110.9	27.0
60	0.0984	33.7	121.3	56.0
70	0.1562	36.4	131.0	103.7
80	0.2332	39.0	140.4	176.9

### Horizontale Geschwindigkeit eines Hagelkorns infolge Windeinflusses

Die Tabelle zeigt die zu erwartenden Endgeschwindigkeiten, Massen und Energien für verschiedene Korndurchmesser und Annahmen bzgl. Dichte und Luft-

widerstandskoeffizient. (Strömungswiderstand Luft:  $C_d = 0.50$ , Dichte der Luft  $\rho_l = 1.2 \text{ kg/m}^3$ , Dichte des Hagelkorns  $\rho_h = 870 \text{ kg/m}^3$ )

Aufgrund von realen Fallgeschwindigkeitsanalysen ist bekannt, dass die horizontale Geschwindigkeit der Hagelkörner im Mittel rund einen Drittel der vertikalen Fallgeschwindigkeit beträgt. Je nach Grösse der Sturmböen sind höhere horizontale

Geschwindigkeiten möglich. Gemäss den Ausführungen im Kapitel Sturm ist ersichtlich, dass kugelförmige Trümmer eine horizontale Geschwindigkeit von einem Drittel der Windgeschwindigkeit (Böen) annehmen können.

### Auflast der Hagelablagerung

Die Auflast der Hagelablagerung auf Bauten ist:

$$q_a = a \cdot \rho_h \cdot g \quad [\text{N/m}^2]$$

### Totale Hagelenergie

Die totale Hagelenergie pro  $\text{m}^2$  sämtlicher Hagelkörner während eines Ereignisses in  $[\text{J/m}^2]$  ist ein weiterer sehr oft verwendeter

Parameter zur Beschreibung der Hagelintensität. Diese totale Hagelenergie kann anhand von Radardaten abgeschätzt werden.



## 1 Hagel ohne Wind



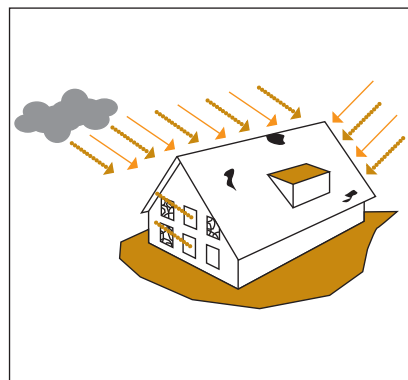
Bei Hagelereignissen ohne Wind tritt die Hauptschadenlast an Dächern



auf und es werden nur wenige Schäden an der Fassade verzeichnet.

2

## 3 Hagel mit Wind



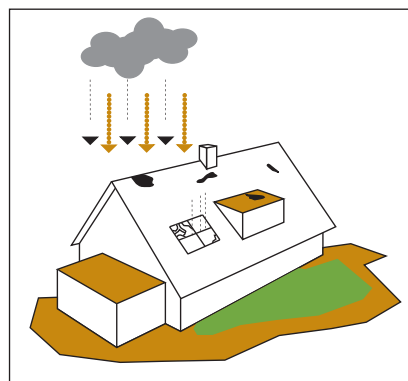
Bei Hagelereignissen mit Wind kann der Einfallwinkel schräg bis horizontal sein und die Einfallrichtung



wechseln. Es resultieren Schäden am Dach und an der Fassade.

4

## 5 Hagel mit Regen



Ist das Ereignis von Regen begleitet, so sind grosse Folgeschäden bei Undichtheit der Gebäudehülle nach dem Hagelschlag möglich. Die Hagelkörner verstopfen die Ent-



wässerungseinläufe und es kommt zum Einstau von Dach- und Platzflächen mit der möglichen Überschwemmung des Gebäudes.

5

6

7



Schadenklassen

Hagelschlag kann die Baumaterialien der Gebäudehülle durch Oberflächen-, Form- oder Strukturschäden beeinträchtigen. Diese drei Schadenklassen lassen sich folgendermassen weiter unterteilen:

turschäden beeinträchtigen. Diese drei Schadenklassen lassen sich folgendermassen weiter unterteilen:

Schadenklassen	Definition	Typ	Erscheinung
Oberflächenschaden	Beschädigung der Oberfläche des Baumaterials durch Aufrauung, Abtragung, Abplatzung	O 1	Reversible Veränderung
		O 2	Aufrauung
		O 3	Abtragung
		O 4	Abplatzung
Formschaden	Beschädigung des Baumaterials durch Deformation	F 1	Dellen
		F 2	Verbiegung
Strukturschaden	Beschädigung des Baumaterials durch Risse, Brüche, Absplitterung oder Perforation	S 1	Risse
		S 2	Brüche
		S 3	Absplitterungen
		S 4	Perforation

Oberflächenschäden



Reversible Farbveränderung



Farbabtragung

Formschäden



Dellen



Verbiegung

Strukturschäden



Innere Brüche



Perforation

## 1 Fassadenaufbau

Beim Fassadenaufbau ist die Einwirkung durch Hagelschlag je nach Klimaregion zu berücksichtigen. Insbesondere sollen Materialien und Materialkombinationen gewählt werden, welche gegenüber Ha-

gelschlag unempfindlich sind. Des Weiteren soll die Reparaturfähigkeit resp. Ersetzbarkeit von einzelnen Fassadenelementen gewährleistet sein, so dass nicht die gesamte Fassade ersetzt werden muss.

## 2 Entwässerung

Bei der Bemessung der Dach-, Balkon- und Platzentwässerungen ist das Gefährdungsbild einer Verstopfung durch angeschwemmte Hagelkörner und von abgeschlagenen Blättern und Zweigen zu berücksichtigen. Durch das Verstopfen der Abläufe können infolge Rückstaus hohe Folgeschäden entstehen. Vorteilhaft sind

Entwässerungsabläufe mit grossem Durchmesser und erhöhten Siebaufsätzen. Auch bei kleinen Dachflächen sind mindestens zwei Regenwassereinläufe einzubauen. Insbesondere bei hohen Schadenpotenzialen ist der Verstopfung von Entwässerungsöffnungen durch konstruktive Massnahmen zu begegnen.

3



*Beispiel einer verstopften Dachentwässerung infolge grosser Hagelkornakkumulation.*



*Beispiel einer verstopften Platzentwässerung infolge angeschwemmter Blätter und Zweige nach einem Hagelschlag.*

4

## 5 Gebäudeausrichtung

Bei der Gebäudeausrichtung ist auf die Haupteinwirkung durch Hagel mit Sturm und Regen entsprechend Rücksicht zu nehmen.

Für die hauptsächlich betroffenen Fassaden ist ein Schutzkonzept für die Bewältigung der Witterungseinflüsse vorzusehen.

6

7

**Materialwahl:  
VKF Elementarschutz-  
register Hagel**

Die geeignete Materialwahl verhindert Schäden an der Gebäudehülle durch den Hagelanprall. Ähnlich dem Brandschutzregister bezeichnet das VKF Elementarschutzregister Hagel die Resistenz der Materialien der Gebäudehülle gegenüber Hagelschlag (vgl. Stucki,

Egli 2007). Dieses Register befindet sich in der Aufbauphase. Die kantonale Gebäudeversicherung gibt Auskunft über den aktuellen Stand und die Verbindlichkeit des Registers. Die folgende Klassierung stellt die voraussichtlichen Klassen des Hagelwiderstandes dar.

**Klassen des Hagel-  
widerstandes**

Die gewählten Hagelwiderstandsklassen orientieren sich nach denselben Grenzen der Hagelkorngrösse, wie diese für die meteorologisch-klimatologische Analyse der Hagelraten verwendet wurden. Diese Klassengrenzen bewähren sich, um die Hagelgefahr in der Schweiz für unterschiedliche Wiederkehrperioden darzustellen.

Diese Klassengrenzen sind überdies bestens geeignet, den Hagelwiderstand der verschiedenen Baumaterialien zu klassieren. Ein Bauprodukt, welches beispielsweise der Hagelwiderstandsklasse HW 3 entspricht, vermag den Anprall eines Hagelkorns von 30 mm Durchmesser ohne Schaden zu überstehen.

Hagelwiderstand		Durchmesser [mm]	Masse [g]	Geschwindigkeit [m/s]	Klassengrenze [J]
HW 1	sehr schwach	10 mm	0.5	13.8	0.04
HW 2	schwach	20 mm	3.6	19.5	0.7
HW 3	mittel	30 mm	12.3	23.9	3.5
HW 4	hoch	40 mm	29.2	27.5	11.1
HW 5	sehr hoch	50 mm	56.9	30.8	27.0

**Funktionen der Bauteile**

Ein Bauteil kann eine oder mehrere Funktionen erfüllen, die häufigsten sind: Wasserdichtheit, Aussehen, Lichtabschirmung, Lichtdurchlässigkeit, Mechanik und Elektrik. Diese Funktionen können durch

verschieden grosse Hagelenergie beeinträchtigt werden, so dass ein Bauteil in Bezug auf seine Funktionen in unterschiedliche Hagelwiderstandsklassen eingeteilt werden kann.

**Kennwerte des Hagel-  
widerstandes**

Im Anhang finden sich Kennwerte des Hagelwiderstandes einzelner, typischer Bauprodukte der Gebäudehülle, ermittelt anhand von künstlichen Beschussversuchen mit Eiskugeln im Labor (Flüeler,

Stucki 2007). Sie geben einen groben, vergleichenden Überblick. Die nachgewiesenen Werte des Hagelwiderstandes von Bauprodukten sind bei den Herstellern nachzuzufolgen.

1 Schadenart

Ziegel und Schindeln erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Bei Tonziegeln können mit steigender Hagelkorngrösse folgende Schäden beobachtet werden:

Mikrorisse, Makrorisse, Absplittierungen Ziegeloberseite, Absplittierungen Ziegelunterseite, Perforation und Bruch.

Laborversuche



Makroriss



Absplitterung



Perforation



Bruch

2

3

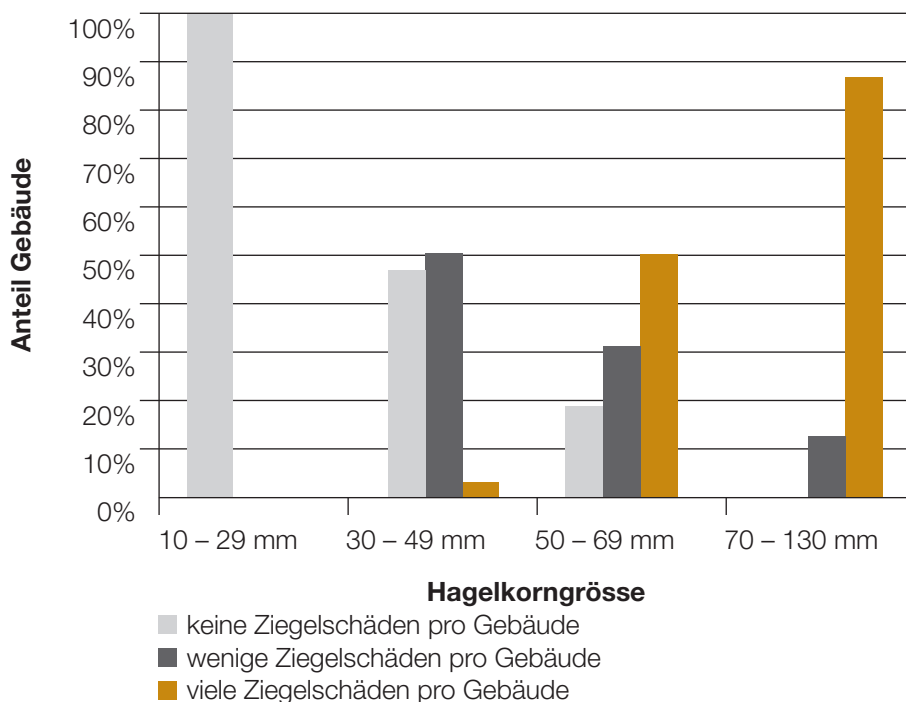
4

Umfangreiche Versuche der EMPA (2006) an Neuprodukten haben gezeigt, dass Tonziegel einen Hagelwiderstand von HW 4 erreichen. Dies deckt sich mit der detaillierten

Analyse zu Schäden an Tonziegeln vom Sydney-Hagelsturm des Jahres 1999. Die folgende Grafik veranschaulicht diese Auswertungen.

5

Sydney-Hagelsturm



6

7

## Hagelschäden



*Absplitterung Ziegeloberseite*



*Strukturschaden an Holzschindeln*

---

## Reparatur

Ziegel und Schindeln können nach einem Hagelschlag nicht repariert werden. Im Vordergrund steht der Ersatz der beschädigten Elemente.

---

## Objektschutz

Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Dicke der Ziegel und Schindeln.



1 Schadenart

Faserzementplatten erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet

werden: Delle auf der Vorderseite, Riss auf der Rückseite, Materialabplatzung auf der Rückseite, Perforation.

Laborversuche

2



Delle



Riss

3



Materialabplatzung



Perforation (Trichterbruch)

4

Hagelschäden

5



Perforation von Faserzementwellplatten



Absplinterung von Faserzementplatten

6



Perforation von Faserzementplatte



Absplinterung von Faserzementplatten

7

Reparatur

Faserzementplatten können nach einem Hagelschlag nicht repariert

werden. Im Vordergrund steht der Ersatz der beschädigten Elemente.

Objektschutz

Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Dicke der Faserzementplatte.

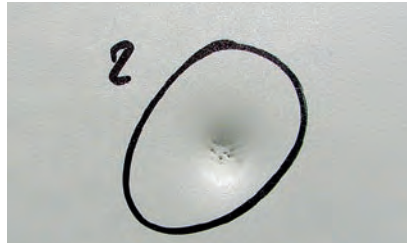


Schadenart

Freiliegende Kunststoff-Dichtungsbahnen erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender

Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Perforation, Riss.

Laborversuche



Perforation



Riss

Dachhautabspannungen

Bei bekiesten Flachdächern trifft man oft auf An- und Abschlüsse, bei denen sich die aufgeklebte Dachhaut aus Kunststoff-Dichtungsbahnen abgelöst hat und

sich mehr oder weniger weit vom Anschluss zur Dachfläche hin abgespannt hat oder gar unter dem Deckstreifen hervorgerissen ist.

Ursache der Abspannungen: Infolge Alterung werden Kunststoff-Dichtungsbahnen spröde und ihr Ausdehnungskoeffizient wird grösser. Bei tiefen Aussentemperaturen ziehen sich deshalb gealterte Dichtungsbahnen relativ stark zu-

sammen. Dichtungsbahnen lösen sich dadurch von ihren Abschlüssen ab. Es entstehen gut sichtbare Abspannungen. In den Gebäudeecken und entlang von Aufbauten, Oblichtern bilden sich Falten, Wulste oder andere Hohlräume.

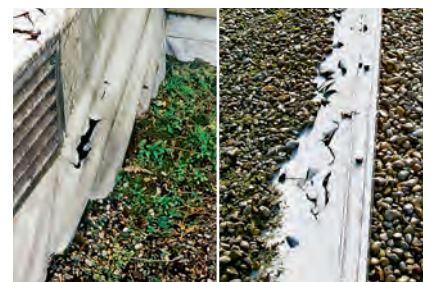
Auswirkungen der Abspannungen: Neben den rein optischen Auswirkungen als Abspannungen führt der Weichmacherverlust zu einer vorzeitigen Alterung der Kunststoff-Dichtungsbahnen in Form von Versprödung und Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften. Die Reissdehnung, Reissfestigkeit und Faltebiegung bei Kälte nehmen ab

und der Widerstand gegen mechanische Einwirkungen, insbesondere durch Hagelschlag, wird kleiner. Der Zeitpunkt für eine Erneuerung der Kunststoff-Dichtungsbahn ist nun gekommen. Jährliche Kontrollen des Flachdaches geben Auskunft über diesen Termin (vgl. Checkliste im Kapitel Unterhalt).

Hagelschäden



Durch Hagelschlag perforierte freiliegende Abschlüsse von Kunststoff-Dichtungsbahnen.



Die Abspannung infolge Alterung ist auf dem mittleren Bild zu erkennen.

1 Reparatur

Kleine Risse können durch aufgeklebte Flickstücke desselben Materials repariert werden, sofern die Alterung des Materials das noch erlaubt. Bei der Sanierung von Abspannungen muss das zufolge Kältekontraktion im Randbereich fehlende Material durch neue Randstreifen ersetzt werden. Zur Verhinderung erneuter Abspannungen empfiehlt sich eine mechanische Randbefestigung.



2

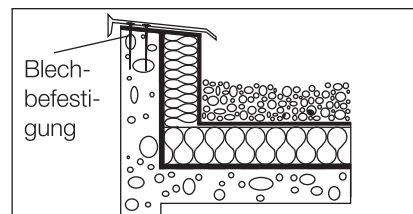
3 Objektschutz

Widerstand der Abdichtungsbahnen gegen Hagelschlag: Für Abdichtungsbahnen liegt gemäss SIA 280 (Kunststoffdichtungsbahnen), SIA 281 (Bitumenhaltige Dichtungsbahnen) und

gemäss SN EN 13583 (Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen, Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag) ein genormter Widerstandstest gegen Hagelschlag vor.

An- und Abschlüsse horizontal: Horizontale Flächen bei Aufbordungen, Brüstungen usw. sind mit einer Blechabdeckung zu schützen. Für untergeordnete Nutzungen (z.B. nicht wärmegeämmte eingeschossige Remisen oder Unterstände) wird bei Dächern mit Kunststoffdichtungsbahnen eine einlagige Abdeckung mit mindestens 1.5 mm Materialstärke

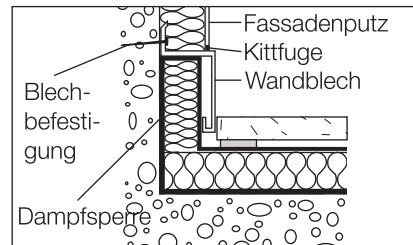
toleriert, sofern sie hohlraumfrei auf ebener Unterlage vollflächig verklebt wird und das Material nach SIA 280 frei bewitterbar ist.



4

An- und Abschlüsse vertikal: Vertikale Abdichtungsflächen sind bei begehbaren Dächern und Dächern mit Nuttschichten mit einem mechanischen Schutz zu versehen. Bei nicht oder beschränkt begehbaren Dächern ist der mechanische Schutz (z.B. Blechabdeckung) ab 50 cm Aufbordungshöhe erforderlich, dazu ist ein Ablösen der

vertikalen Flächen durch geeignete Randbefestigungen zu verhindern.

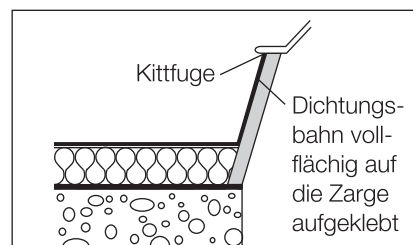


5

6

An- und Abschlüsse schräg: Schräge Abschlüsse, die nicht mit einem mechanischen Schutz (Schutzschicht oder Abdeckung) versehen werden, sind mit geeigneten Massnahmen gegen Abschälerscheinungen und Hohlraumbildungen zu schützen und mit mindestens 1.5 mm starkem,

frei bewitterbarem Material auszuführen.



7

### Materialarten

Als lichtdurchlässige Kunststoffprodukte werden folgende Materialien angeboten: Acrylglas (PMMA),

Polycarbonat (PC), Polyvinylchlorid (PVC) und Glasfaserverstärktes Polyester (GF-UP).

### Schadenart

Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Mikroverstreckung (nur bei PMMA

schlagzäh), Delamination (Schichttrennung), Sternriss, Perforation. Die folgenden Bilder zeigen Schäden an unterschiedlichen Materialien und Anwendungen.

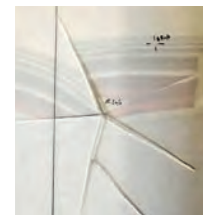
#### Laborversuche



Mikroverstreckung



Delamination

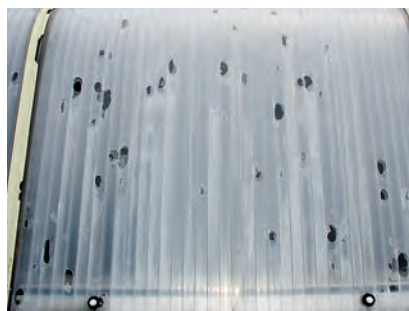


Sternriss



Perforation

#### Hagelschäden



### Zeitabhängigkeit des Hagelwiderstandes (Alterung)

Die Alterung der Kunststoffprodukte durch Bewitterung vermindert den Hagelwiderstand rasch und massgeblich. Aufgrund von systematischen Versuchen mit natürlicher Bewitterung und an-

schliessender Prüfung mit einer Polyamidkugel 40 mm wurde folgender Verlauf der Hagelschlagbeständigkeit festgestellt (vgl. Löwe 1998):

1

Material	Im Neuzustand beschädigt ab	Nach 2.5 Jahren Be- witterung beschädigt ab	Nach 5 Jahren Bewitterung beschädigt ab	Abnahme der Schädigungs- geschwindig- keit nach 5 Jahren Be- witterung	Abnahme der Schädigungs- energie nach 5 Jahren Be- witterung
Polymethylmethacrylat (PMMA)	3.5 m/s	3.5 m/s	2 m/s	43%	67%
Polyvinylchlorid (PVC)	16 m/s	8 m/s	3 m/s	81%	96%
Polycarbonat (PC)	65 m/s	18 m/s	13 m/s	80%	96%
Glasfaser verstärktes, ungesättigtes Poly- esterharz (GF-UP)	23 m/s	21 m/s	21 m/s	9%	17%

2

### Reparatur

Perforierte Platten lassen sich mit-  
tels Flickstücken desselben Mate-  
rials überkleben.

3

### Objektschutz

Empfohlen wird ein freiwilliger  
Nachweis des Hagelwiderstandes  
von Lichtbändern gemäss SN EN

1013-1. Grundsätzlich steigt der  
Hagelwiderstand mit zunehmender  
Materialstärke (Dicke).

4

5

6

7

Materialarten

Folgende Verglasungsarten werden häufig verwendet: als Einfachgläser Float-, Draht- und Einscheiben-

sicherheitsglas (ESG), als mehrschichtige Gläser Isolier- und Verbundsicherheitsglas (VSG).

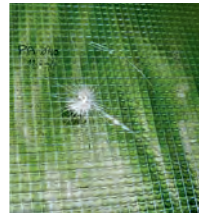
Schadenart

Je nach Glasart unterscheiden sich die Schadenbilder. Folgende Bilder zeigen Laborversuche an verschiedenen Glasarten:

Laborversuche



Floatglas



Drahtglas (erster Bruch)



Drahtglas (Perforation)



ESG

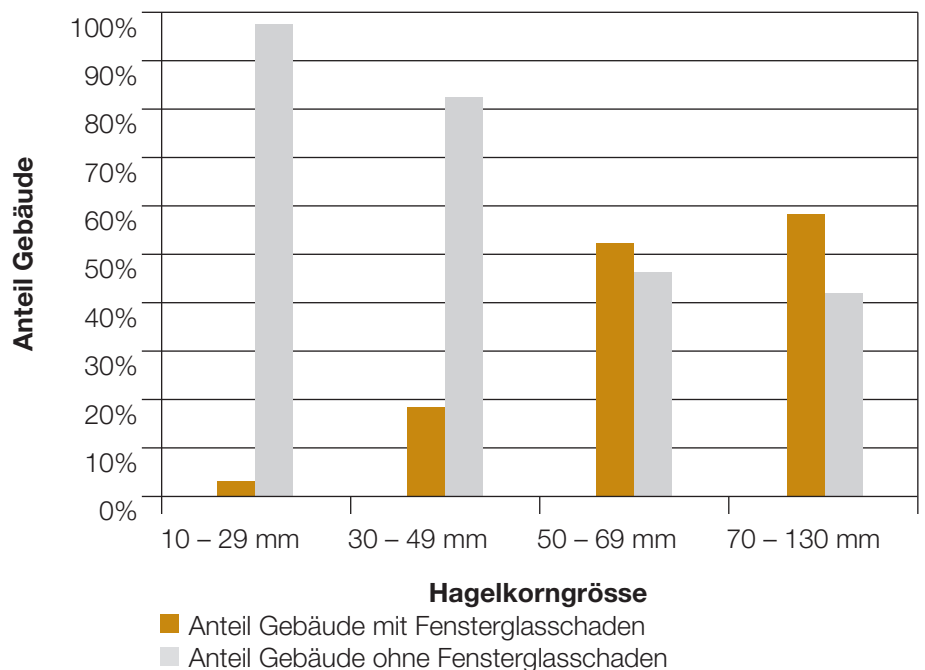


VSG mit verschiedenen Rissstrukturen

Umfangreiche Versuche der EMPA (2006) an Neuprodukten haben gezeigt, dass Gläser (mit Ausnahme von Drahtglas) einen Hagelwiderstand von HW 5 erreichen.

Dies deckt sich mit der detaillierten Analyse zu den Schäden an Fensterglas vom Sydney-Hagelsturm des Jahres 1999. Die folgende Grafik veranschaulicht diese Auswertungen.

Sydney-Hagelsturm





## 1 Reparatur

## Hagelschäden



*Der vollflächige Ersatz von Scheiben ist notwendig.*



2

## 3 Objektschutz

3

Die Erfahrungen aus den letzten Jahrzehnten in Europa bei Hagelschlag zeigen, dass bei der Verwendung der äusseren Scheibe in Einscheibensicherheitsglas (ESG) eine hohe Sicherheit gegen Glasbruch infolge Hagelschlag gegeben ist. ESG ist ein Glas mit Vorspannung in der Oberfläche. Die Biegebruchfestigkeit hat einen zulässigen Rechenwert von  $50 \text{ N/mm}^2$ . Messungen über die Impulsverteilung bei Hagelschlag und der sich daraus ergebenden Festigkeit für das Glas liegen nicht vor. Für die Bemessung der Glasdicke der Scheibe sollten folgende Ansätze gelten:

- Belastung nach SIA 261 und 261/1 für Wind und Schnee entsprechend der Schräglage
- Ansatz für Biegebruchspannung (schrägliegende Scheiben)  $15 \text{ N/mm}^2$  für Floatglas

4

- zum Schutz gegen Hagelschlag die äussere Scheibe mit der wie oben ermittelten Glasdicke (für Floatglas) in Einscheibensicherheitsglas, die innere Scheibe aus Verbundsicherheitsglas (VSG)

Grundsätzlich sollte bei der Planung darauf geachtet werden, dass Möglichkeiten geschaffen werden, Scheiben relativ einfach und kostengünstig nach Bruch zu ersetzen. Überdimensionierte Scheiben, die nachträglich nicht mehr durch die Gebäude, bzw. auch von aussen nur mit hohem Aufwand eingebaut werden, sollten vermieden werden. Planerische Massnahmen sollen den einfachen Ersatz ermöglichen. Vordächer aus Glas sind bei Rahmenlagerung aus Verbundsicherheitsglas (VSG) und bei punktueller Lagerung aus Teilvorgespanntem Glas (TVG) zu wählen.

5

6

7



## Schadenarten

Holzverkleidungen erleiden durch Hagelschlag Farbschäden und Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden

beobachtet werden: Abschlagen der natürlichen Vergrauung oder Abschlagen des Farbanstriches, Delle, Riss, Perforation.

Laborversuche



*Dellen  
Abschlagen des Farbanstrichs*

Hagelschäden



*Farbveränderung bei unbehandelter*



*und gestrichener Holzverkleidung*



*Strukturschaden durch Abschlagen  
von exponierten Kanten*

## Reparatur

Fassaden aus unbehandeltem Holz sind unempfindlicher gegenüber Hagelschlag als Oberflächen mit Anstrichen. Farbliche Veränderungen und kleine Dellen an unbehandelten Holzfassaden stellen grundsätzlich keinen Schaden dar. Im Normalfall regeneriert sich eine unbehandelte Oberfläche durch natürliche Bewitterung von selbst. Allenfalls kann durch Bürsten der unbehandelten Oberfläche ein ein-

heitliches Farbbild rascher wiederhergestellt werden. Abgeschlagene oder oberflächlich polierte Farbanstriche sind zu erneuern. Kleine Strukturschäden (abgeschlagene Kanten, Beulen) können bei ausreichendem Profil durch Schleifen repariert werden. Bei Rissen und Perforationen ist ein Elementersatz vorzusehen.

## Objektschutz

Vertikal gerichtete Verkleidungen sind unempfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen. Bei horizontal gerichteter Verkleidung ist insbesondere die Stülpschalung

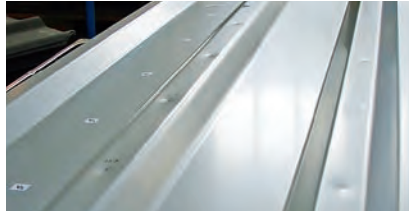
unempfindlich gegenüber Kantenschäden. Im Weiteren sind Vordächer zu empfehlen, welche die Fassade vor direktem Hagelschlag schützen.

## 1 Schadenarten

Bleche erleiden durch Hagelschlag Farb- und Formschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können

folgende Schäden beobachtet werden: Farbveränderung, Dellen.

Laborversuche



*Dellen*

2

Hagelschäden

*Die folgenden zwei Bilder zeigen Farbveränderungen infolge Hagelschlags. Es handelt sich dabei um ein Wegschlagen der oberflächlich*

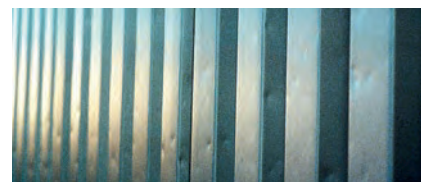
*vorhandenen Auskredung der Farbe. Durch Reinigen der Oberfläche kann ein einheitliches Erscheinungsbild wiederhergestellt werden.*



3

4

*Die Dellengrösse der Bleche ist abhängig von der Materialart und -stärke.*



5

*Die folgenden Bilder zeigen Schäden an Blechziegeln. Hierbei werden nicht nur Dellen, sondern*

*zusätzlich Verbiegungen festgestellt, welche die Wasserdichtigkeit beeinflussen können.*



6

## Reparatur

Farbveränderungen in der Art des Abschlagens der Auskredung können allenfalls durch das Reinigen der Oberfläche behoben werden. Sie stellen grundsätzlich keinen

Schaden dar. Dellen können durch die Vakuummethode entfernt werden. Allenfalls ist ein Elementersatz hierbei die kostengünstigere Lösung.

7

## Objektschutz

Der Hagelwiderstand von Blechen steigt mit zunehmender Materialfestigkeit (Elastizitätsmodul) und Materialstärke (Blechdicke). Vertikal gerichtete Verkleidungen sind un-

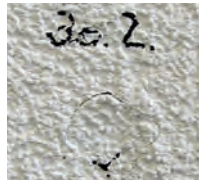
empfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen. Blechfassaden sind allenfalls zusätzlich durch ausreichende Vordächer zu schützen.

Schadenarten

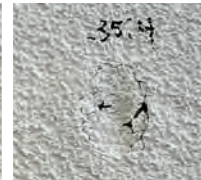
Putze erleiden durch Hagelschlag Farb- und Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet

werden: Farbabschlagen, Delle, Riss im Putz, Aufplatzen des Putzes bis zur Freilegung des Armierungsgitters.

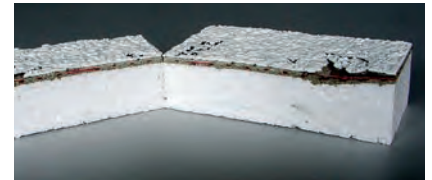
Laborversuche



Delle mit Riss



Delle und Aufplatzen Putz



Querschnitt

Hagelschäden

Das Abschlagen der Farbe ist hier punktuell bis flächig und wirkt sich

nicht auf die Dichtigkeit der Gebäudehülle aus

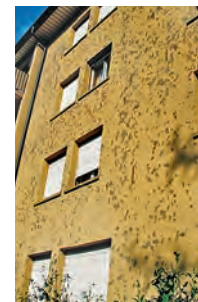


Das Abschlagen des Verputzes führt hier zu einem Strukturschaden

mit undichter Fassade.



Erscheinungsbild von schweren Fassade Schäden nach Hagelschlag



Reparatur

Bei grossflächigen Schäden mit Undichtheit ist ein Ersatz des Putzes notwendig. Bei kleinflächigen Schäden mit Undichtheit und bei

Farbschäden steht die Reparatur des bestehenden Putzes im Vordergrund.

Objektschutz

Der Hagelwiderstand des Putzes ist insbesondere bei Verwendung

einer Aussenisolation vom Hersteller nachzuweisen.

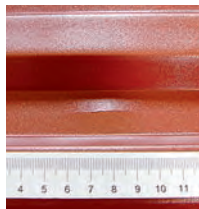


### 1 Schadenarten

Lichtundurchlässige Kunststoffplatten erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender

Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Dellen, Risse, Perforation.

Laborversuche



*Dellen*



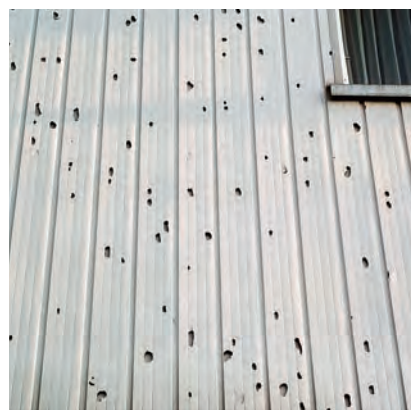
*Risse*



*Perforation*

2

Hagelschäden



3

4

### Reparatur

Eine Reparatur mit aufgeklebten Flickstücken desselben Materials ist möglich. Aus ästhetischen und wirtschaftlichen Gründen wird eine

solche Reparatur nur bei vereinzelt Strukturschäden an einer Fassade angewandt.

5

### Objektschutz

Der Hagelwiderstand der Produkte steigt mit zunehmender Materialstärke (Dicke). Der Hagelwiderstand und das Langzeitverhalten sind von den Herstellern

nachzuweisen. Vertikal gerichtete Verkleidungen sind unempfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen.

6

7

### Schadenarten

Abschlüsse erleiden durch Hagelschlag Formschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können

folgende Schäden beobachtet werden: Dellen, Verbiegung, Perforation (nur bei Kunststoffprodukten).

Laborversuche



*Dellen auf Raffstoren*



*Dellen auf Rollläden*



*Verbiegung der Lamellen*

Hagelschäden

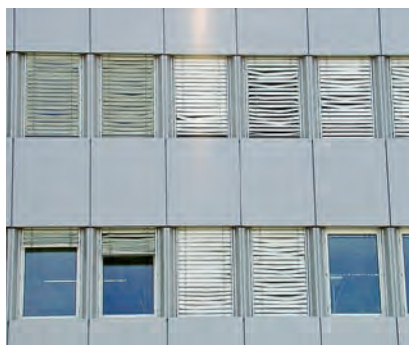
*Dellen an Rafflamellenstoren beeinträchtigen die Ästhetik dieses Fassadenelementes. Die Funk-*

*tionstüchtigkeit muss hierdurch nicht beeinflusst sein.*



*Bei Verbiegungen von Rafflamellenstoren ist die Funktionstüchtigkeit*

*nicht mehr gegeben.*



### Reparatur

Im Vordergrund steht der Ersatz des gesamten Abschlusses.

### Objektschutz

Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Materialstärke (Dicke). Das Hochziehen von Storen und Rollläden vor dem Hagelschlag stellt einen temporären Objektschutz dar. Die Kopplung von Storenautomatiken mit Hagel-

warneinrichtungen ist in Entwicklung. Die Anordnung von Storen und Rollläden hinter Glas stellt einen permanenten Objektschutz gegen Hagel dar.

### 1 Schadenarten

Membranen erleiden durch Hagel-  
schlag Form- und Strukturschäden.  
Mit steigender Hagelkorngrösse  
können folgende Schäden beobachtet  
werden: Dellen, Perforati-

on. Membranen sind insbesondere  
empfindlich hinsichtlich Hagel-  
körnern mit eckiger Form. Diese  
hinterlassen Dellen und führen zur  
Perforation.



2

3

### Reparatur

Perforierte Membranen können mit  
aufgeklebten Flickstücken dessel-

ben Materials repariert werden oder  
müssen ausgetauscht werden.

### Objektschutz

Die Tragkonstruktion ist so zu wäh-  
len, dass die äussere Schicht einen  
genügenden Hagelwiderstand  
aufweist, beziehungsweise eine  
zusätzliche äussere Membrane als  
Verschleisschicht für den Hagel-

anprall dient. Als Alternative hier-  
zu können die höher gefährdeten  
Dachpartien von Membranen mit  
einem Hagelschutznetz geschützt  
werden.

4

### Solarkollektoren

Für Solarkollektoren sind Mindest-  
anforderungen bezüglich des

Hagelwiderstandes in EN 12975 – 2  
festgehalten.

5

6

7



Dachüberstände / Vordächer

Dachüberstände bilden einen hervorragenden Schutz der Fassade



vor Schäden durch Hagel ohne Sturm.

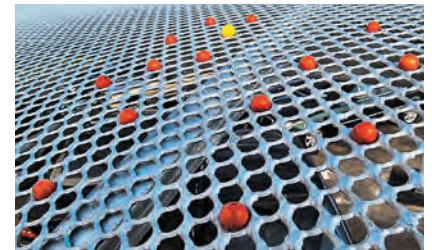
Schutzgitter

Hagelschutzgitter über hagelempfindlichen Materialien stellen einen



Hagelschutzgitter über Lichtkuppeln.

wirksamen, dauerhaften Schutz dar.



Hagelschutzgitter über Lagerplatz für Neuwagen (Lochdurchmesser 10 mm)

Schutznetze

Schutznetze über Treibhäusern während der Hagelsaison stellen einen kostengünstigen temporären Schutz dar.

1

2

3

4

5

6

7

1 Massnahmenkombinationen

Im Folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt. Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Verstärkung und Abschirmung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung.

2

3

4

5

Massnahmenkombination	Gefährdungsbild	Massnahmen									
		Konzeption			Verstärkung				Abschirmung		
		Fassadenaufbau	Entwässerung	Gebäudeausrichtung	Material Dach	Material Fassade	Material Dachöffnung	Material Fassadenöffnung	Dachüberstand	Netz / Gitter	Verschleisselement
<b>Bestehendes Gebäude</b>											
A	1/2/3									•	
B	1/2/3										•
C	1/2/3				•	•	•	•			
<b>Neubau</b>											
D	1/3		•		•		•				
E	2/3	•	•	•	•	•	•	•			
F	2/3		•		•		•		•		

Massnahmenkombination A «Schutz durch Gitter oder Netz»

Hagelempfindliche Elemente der Gebäudehülle werden durch Gitter- oder Netzkonstruktionen vor dem direkten Hagelanprall geschützt.

6

Massnahmenkombination B «Schutz durch Verschleisselement»

Hagelempfindliche Elemente der Gebäudehülle werden durch Verschleisselemente desselben Materials in der Art einer zusätzlichen Schutzschicht geschützt. Diese Methode wird u.a. bei Membrankonstruktionen angewendet, indem eine zusätzliche äussere Membran die inneren Membranen vor dem direkten Hagelschlag schützt.

7

Massnahmenkombination C «Umbau mit hagelwiderstandsfähigen Materialien»

Beim Umbau werden bewusst hagelwiderstandsfähige Materialien für Dach, Fassade und die Öffnungen verwendet.

Massnahmenkombination D «Neubau mit hagelwiderstandsfähigen Dachmaterialien»

Beim Neubau an windgeschützten Standorten werden ausschliesslich hagelwiderstandsfähige Dachmaterialien verwendet.

Massnahmenkombination E «Neubau mit hagelwiderstandsfähigen Dach- und Fassadenmaterialien»

Die Gebäudeausrichtung, der Fassadenaufbau und die Entwässerungseinrichtungen nehmen Bezug auf die Einwirkung von Hagel mit Sturm und Starkregen. Es werden ausschliesslich hagelwiderstandsfähige Dach- und Fassadenmaterialien verwendet.

Massnahmenkombination F «Neubau mit Dachüberständen»

Mit Hilfe von verhältnismässig grossen Dachüberständen wird der direkte Hagelanprall an die Fassade verhindert. Für das Dach und dessen Öffnungen werden hagelwiderstandsfähige Materialien verwendet.

1

2

3

4

5

6

7

### 1 Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse

Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Hagelwiderstandes von Lichtkuppeln mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen.

Die Methodik ist im Anhang E der vorliegenden Wegleitung detailliert beschrieben.

### 2 Kosten

Ein Industriebetrieb in der Region Mittelland Zentral evaluiert für den Neubau einer Werkhalle verschiedene Lichtkuppelprodukte. Zur Auswahl stehen folgende zwei Typen:

Acrylglas bereits nach 5 Jahren freier Bewitterung um rund 40% abnimmt. Um einen ausreichenden Hagelwiderstand zu gewährleisten, sollte diese Kuppel daher nach 10 Jahren ersetzt werden. Das Glasprodukt mit Metallrahmen weist eine Lebensdauer von 30 Jahren auf.

Lichtkuppel Kunststoff 80 x 80 cm, Acrylglas (PMMA) auf Polyester-Laminat Kranz, Hagelwiderstand HW 2: Kosten CHF 1'000.-  
Lichtkuppel Glas 80 x 80 cm, ESG / VSG auf Metallrahmen, Hagelwiderstand HW 5: Kosten CHF 6'000.-

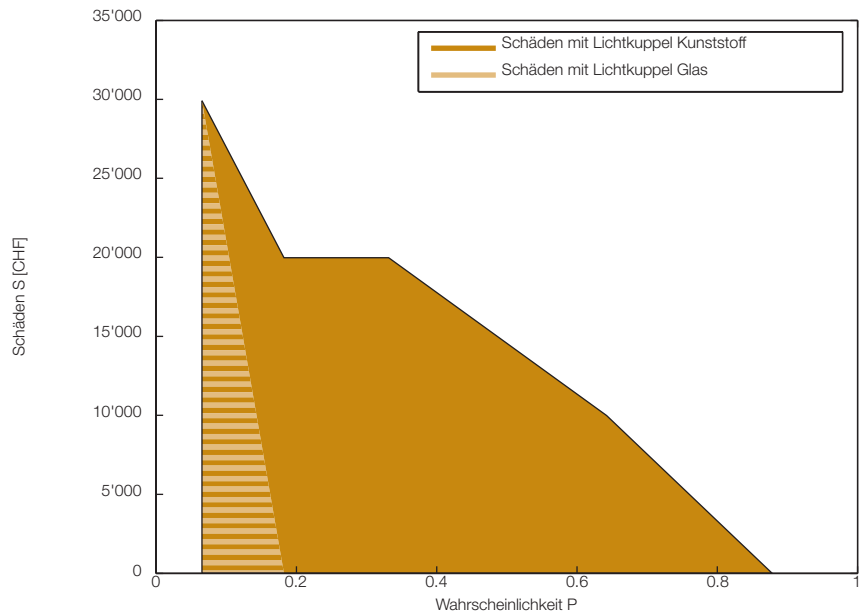
Bei einem Betrachtungshorizont von 20 Jahren fallen die Kosten für die Lichtkuppel aus Kunststoff somit zweimal an. Die Mehrkosten der Lichtkuppel aus Glas sind somit CHF 6'000.- – CHF 2'000.- = CHF 4'000.-. Die verzinste Mehrkosten betragen (vereinfacht):  
 $K = CHF 7'224.-$  (bei 3% Zins).

Gemäss den Ausführungen im Teil «Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte» dieses Kapitels ist ersichtlich, dass der Hagelwiderstand von

### 4 Nutzen

Als Nutzen werden der verhinderte direkte Schaden (gebrochene Lichtkuppel) und die indirekten Schäden infolge der Wasserschäden eingerechnet. Der Schadensbeginn liegt bei der Lichtkuppel aus Kunststoff bei einem 10-jährlichen Hagelereignis, währenddem die Lichtkuppel aus Glas selbst ein Ereignis der Wiederkehrperiode von 100 Jahren unbeschädigt übersteht. Der Nutzen wird für einen Betrachtungshorizont von 20 Jahren berechnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein 10-jährliches Ereignis inner-

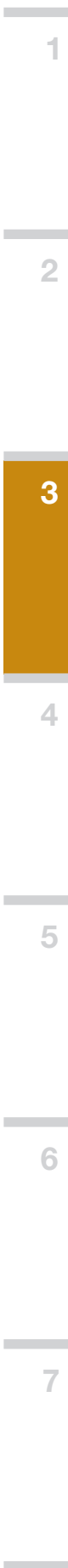
halb von 20 Jahren eintritt, beträgt 87.8 % ( $P = 0.878$ ), ein 100-jährliches tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 18.2 % ( $P = 0.182$ ) ein. Gemäss den in der folgenden Abbildung dargestellten Schäden resultiert für die Variante mit Lichtkuppel aus Kunststoff ein Schadenerwartungswert von CHF 11'765.- (Methodik vgl. Anhang). Der Schadenerwartungswert für das Glasprodukt beträgt CHF 1'762.-. Der Nutzen, also die Differenz der beiden Schadenerwartungswerte, beträgt CHF 10'003.-.



Kosten-Nutzen-Vergleich

Die Mehrkosten der Lichtkuppel aus Glas von CHF 7'224.- stehen somit einem Nutzen von CHF 10'003.- gegenüber. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis beträgt somit

$7'224.- / 10'003.- = 0.72$ . Dies bedeutet, dass sich der Einsatz des teureren Produktes aus Glas ökonomisch rechtfertigt.

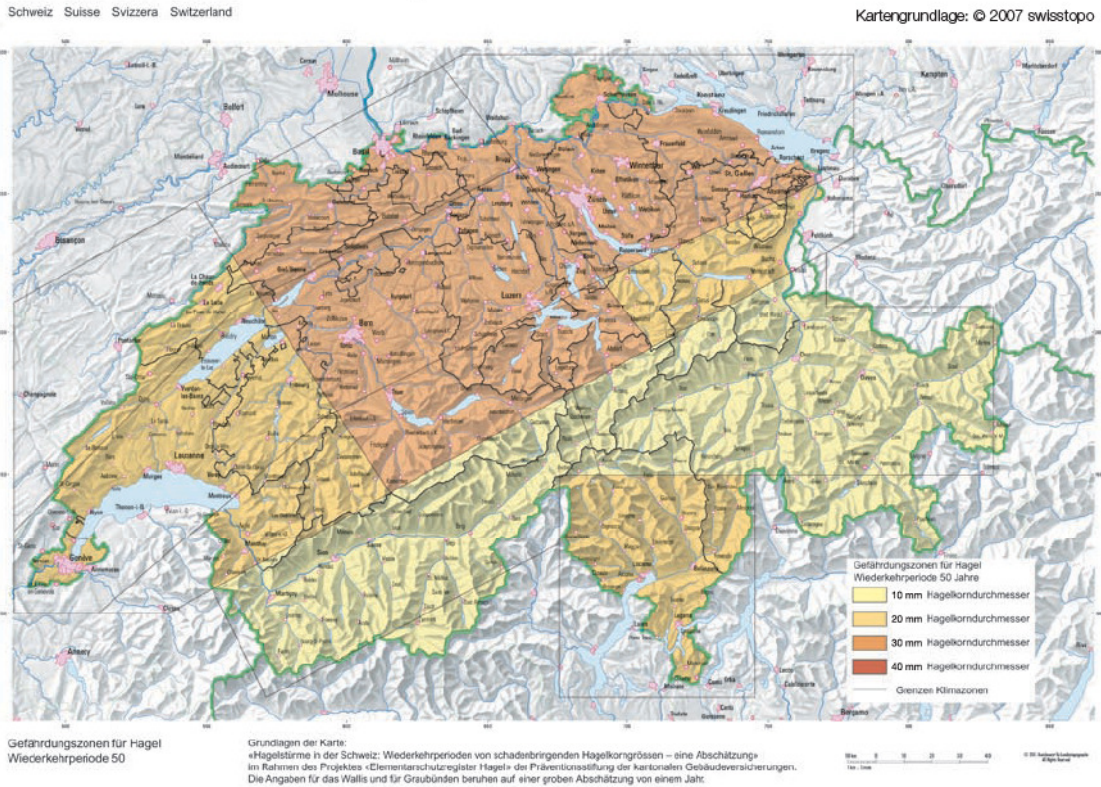


1 Karten der Hagelintensität in der Schweiz

Die folgenden Karten stellen die Hagelintensität für die Wiederkehrperioden von 50, 100 und 300 Jahren dar. Angegeben sind die mindestens zu erwartenden Korn-

durchmesser in mm. Die Resultate sind der Studie von Schiesser 2006 entnommen und stützen sich auf Radarmessungen von Meteo-Schweiz.

Wiederkehrperiode 50 Jahre



2

3

4

5

6

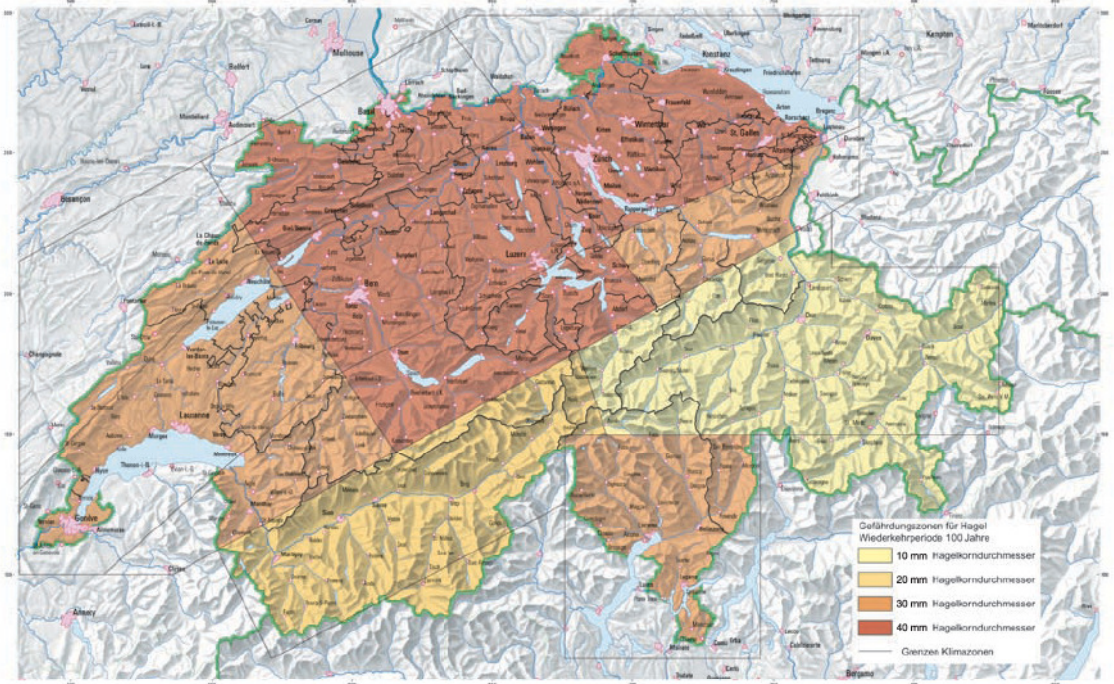
7



Wiederkehrperiode 100 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

Kartengrundlage: © 2007 swisstopo



Gefährdungszonen für Hagel  
Wiederkehrperiode 100

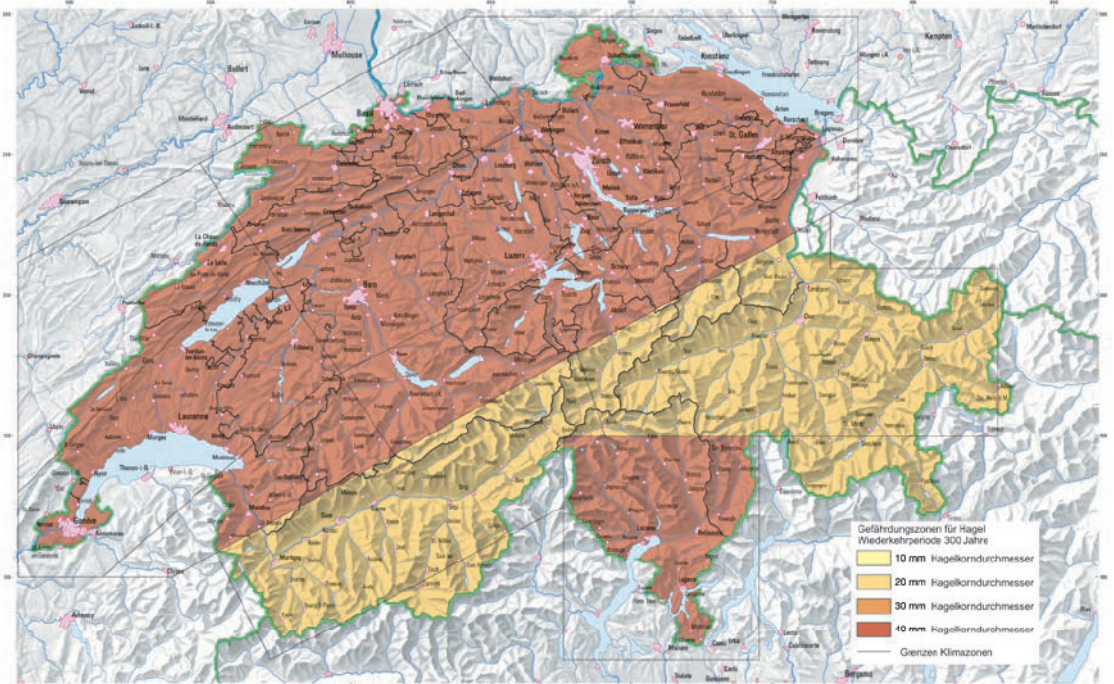
Grundlagen der Karte:  
«Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrossen – eine Abschätzung»  
im Rahmen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» der Präventionstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen.  
Die Angaben für das Wallis und für Graubünden beruhen auf einer groben Abschätzung von einem Jahr.

0 5 10 20 40  
1km  
© 2007 swisstopo  
Walter Isenhardt

Wiederkehrperiode 300 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

Kartengrundlage: © 2007 swisstopo



Gefährdungszonen für Hagel  
Wiederkehrperiode 300

Grundlagen der Karte:  
«Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrossen – eine Abschätzung»  
des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» der Präventionstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen.  
Die Angaben für das Wallis und für Graubünden beruhen auf einer groben Abschätzung von einem Jahr.

0 5 10 20 40  
1km  
© 2007 swisstopo  
Walter Isenhardt

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7

1 Kennwerte des Hagelwiderstandes

Die folgenden Kennwerte des Hagelwiderstandes einzelner, typischer Bauprodukte der Gebäudehülle wurden anhand von künstlichen Beschussversuchen mit Eiskugeln im Labor ermittelt.

Sie geben einen groben vergleichenden Überblick. Die nachgewiesenen Werte des Hagelwiderstandes von Bauprodukten sind bei den Herstellern nachzufragen.

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
2 Ziegel	Biberschwanz (Ton)	ohne Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flachziegel (Ton)	mit Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
3 Rollladen	Hohlprofil (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	geschäumt	0.25	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	Ganzmetal	0.9	Fassade	Aussehen	1
Raffstoren	Blech gefaltet (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Blech gebogen (Metall)		0.6	Fassade	Aussehen	1
4 Verglasung	Floatglas		4.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Drahtglas		7.0	Dach	Wasserdichtheit	3
	Einscheibensicherheitsglas (ESG)		6.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Verbundssicherheitsglas (VSG)		8.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Isolierglas		24.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
5 Bleche	Abdeck	Kupfer	0.6	Dach	Aussehen	1
				Fassade	Aussehen	2
		Chromstahl verzinkt	0.5	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
		Kupfer – Titan – Zink	0.7	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
	Welle	Stahl verzinkt	0.7	Fassade	Aussehen	2
	Trapez	Aluminium	0.7	Fassade	Aussehen	1
6 Faserzementplatten	Gewellt	unbeschichtet	5.5	Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flach	lasierende Beschichtung	6.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
					Aussehen	5

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke mm	Einsatz	Funktion	HW
Putz auf Aus-serwärme-dämmung	Kunststoffputz auf EPS			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Silikatputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
Holzbretter	Lärche	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0			Aussehen
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	1
		beschichtet sägerau	25.0			Aussehen
	Fichte	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0			Aussehen
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet sägerau	25.0			Aussehen
Dichtungsbahnen	Polyvinylchlorid, weichgemacht (PVC – P)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
	Thermoplastische Polyolefine (TPO)	starr	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
	Ethylen–Propylen –Dien–Kautschuk (EPDM)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	4
	Polymerbitumenbahn SBS beschiefert	starr	5.2	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	5.2	Dach	Wasserdichtheit	4
	Polymerbitumenbahn SBS besandet	starr	3.7	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	3.7	Dach	Wasserdichtheit	4

1

2

3

4

5

6

7



Bauteil-kategorie	Produkt	Dicke mm	Einsatz	Funktion	HW	
Kunststoffplatten	Polymethylmethacrylat (PMMA)	normal, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, SDP 16		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
	Polycarbonat (PC)	schlagzäh, S4P 32		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	3*
	Polycarbonat (PC)	schlagzäh, WP 76/18	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
	Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK-UP)	Trapez	1.4	Dach	Wasserdichtheit	2*
					Aussehen	1*
		Fassade	1.4	Wasserdichtheit	3*	
				Aussehen	1*	
Welle		1.4	Dach	Wasserdichtheit	3*	
				Aussehen	1*	
Fassade		1.4	Wasserdichtheit	3*		
			Aussehen	2*		
Strukturplatte	2.0	Dach	Aussehen	2*		
Flachplatte	5.0	Fassade	Wasserdichtheit	5*		
Lichtkuppel	Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale	3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	2*	
				Aussehen	3*	
Lichtkuppel	Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale	3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	5*	
				Aussehen	3*	

\*Diese Klassierung trifft nur für neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand massgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.

## Impressum

Alle Rechte vorbehalten  
© 2007 Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen  
Bundesgasse 20  
CH – 3001 Bern  
www.vkf.ch



Autor:  
Dr. Thomas Egli  
Egli Engineering  
Lerchenfeldstrasse 5  
9014 St. Gallen  
www.naturgefahr.ch



**Egli Engineering**

Review:  
Kommission Elementarschaden der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen:  
Werner Gächter, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen, St. Gallen, Vorsitz  
Dr. Peter Blumer, Gebäudeversicherung des Kantons Basel-Stadt, Basel  
Jean Bourquard, Etablissement cantonal d'assurance immobilière et de prévention, Saignelégier  
Bernhard Fröhlich, Basellandschaftliche Gebäudeversicherung, Liestal  
Ueli Winzenried, Gebäudeversicherung Bern, Bern

Projektgruppe Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren:  
Dörte Aller, Gebäudeversicherung Kanton Zürich, Zürich  
Alfred Baumgartner, Aargauische Gebäudeversicherung, Aarau (bis 2006)  
Georges Brandenburg, Aargauische Gebäudeversicherung, Aarau (ab 2007)  
Thierry Berset, Kantonale Gebäudeversicherung, Freiburg  
Renzo Bianchi, Bianchi Beratungen GmbH, Burgdorf

Dr. Olivier Lateltin, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern (ab 2007)  
Jean-Marc Lance, Etablissement cantonal d'assurance, Pully  
Dr. Gian Reto Bezzola, Bundesamt für Umwelt, Bern

Beiträge von:  
Dieter Balkow, Schweizerisches Institut für Glas am Bau, Zürich  
Hans Donzé, Gebäudeversicherung des Kantons Luzern, Luzern  
Ruedi Räss, Prüf- und Forschungsinstitut, Sursee  
Prof. Dr. Bruno Zimmerli, Hochschule für Technik und Architektur, Horw

Grafik / Layout:  
remo gamper, mehrbild.  
visuelles kommunikationsdesign, st.gallen

Bildnachweis:  
Egli Engineering St. Gallen, Gebäudeversicherung Kanton Zürich, Aargauische Gebäudeversicherung, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen, Gebäudeversicherung des Kantons Luzern, Kantonale Gebäudeversicherung Freiburg, Gebäudeversicherung Bern, Nidwaldner Sachversicherung Stans, Aller Risk Management Zürich, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos, Eidgenössische Materialprüf- und Forschungsanstalt Dübendorf, STO AG Zürich, Nachbarschulte GmbH Bad Rappenu, Rheinzink AG Baden-Dättwil, Cupolux AG Zürich; Res Bühlmann, Merligen.

Zitiervorschlag:  
EGLI Thomas, Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern, 2007

ISBN 978-3-9523300-2-9  
ISBN 978-3-9523300-3-6 (Französisch)