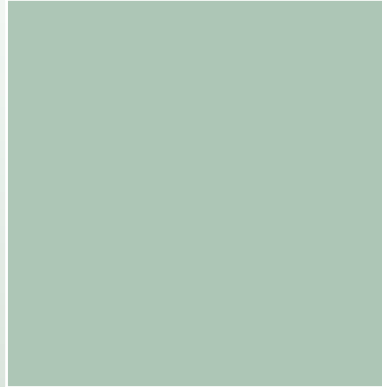
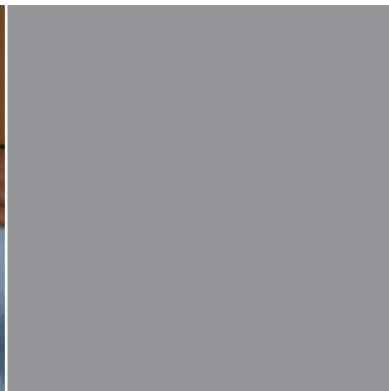
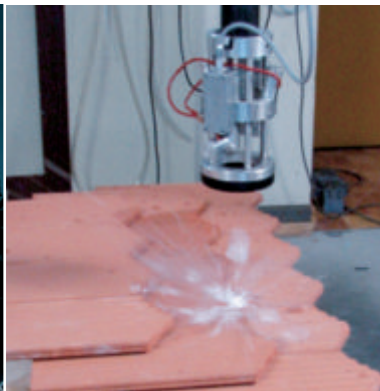
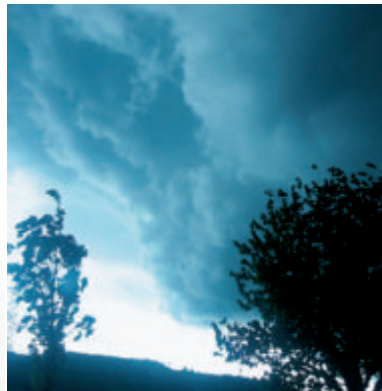


Synthesebericht

Elementarschutzregister Hagel

Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle



Herausgeber

Alle Rechte vorbehalten © 2007
Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen
Bundesgasse 20
CH-3001 Bern
<http://www.praeventionsstiftung.ch>



Projektleitung «Elementarschutzregister Hagel»

Dr. Thomas Egli
Egli Engineering
Lerchenfeldstrasse 5
CH-9014 St. Gallen
<http://www.naturgefahr.ch>

Autoren dieses Syntheseberichtes

Maja Stucki und Dr. Thomas Egli, Egli Engineering, St. Gallen

Beratende Fachexperten

Dörte Aller, Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern
Franco Oss, Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Peter Hubacher, Gebäudeversicherung Bern

Das Projekt «Elementarschutzregister Hagel» beinhaltet folgende Teilberichte

- **Hagelstürme in der Schweiz:** Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrössen – eine Abschätzung, Dr. Hans-Heinrich Schiesser, Zürich, 2006.
- **Hagelwiderstand der Gebäudehülle, Archivdaten der Empa 1970–2005,** Empa Dübendorf, 2005, Projektleiter: P. Flüeler.
- **Hagelwiderstand der Gebäudehülle, experimentelle Ermittlung des Hagelwiderstandes,** Empa Dübendorf, 2007, Projektleiter: P. Flüeler.
- **Schadenpotenziale,** Basler & Hofmann AG, Zürich, 2007, Projektleiterin: Dr. A. Eckhardt Scheck
- **Elementarschutzregister,** Egli Engineering, St. Gallen, 2007, Projektleiter: Dr. Th. Egli

Die Teilberichte können in digitaler Form (pdf-File) bei der Präventionsstiftung bestellt werden.



Koordination

Rolf Meier

Umsetzung und Produktion

Rickli + Wyss, Bern

Auflage

1500 Exemplare Deutsch
400 Exemplare Französisch

ISBN

978-3-9523300-0-5

Preis

CHF 20.–

1 Vorwort	4
2 Zusammenfassung und Synthese	5
3 Hagelgefährdung Schweiz	6
3.1 Ermittlung der Gefährdung mittels Wetterradar	6
3.2 Resultate	6
3.3 Zukünftige Entwicklung	8
4 Gebäudehüllen: früher – heute – morgen	10
4.1 Typische Gebäudehüllen – Entwicklung bis heute	10
4.1.1 Wohngebäude	10
4.1.2 Verwaltungsgebäude	12
4.1.3 Landwirtschaftliche Gebäude	14
4.1.4 Industrie- und Gewerbegebäude	15
4.2 Neue Entwicklungen bei Gebäudehüllen	16
4.2.1 Entwicklungstendenzen bei Gebäudehüllen	16
4.2.2 Auswirkungen auf die Verletzbarkeit	16
5 Hagelschaden	17
5.1 Überblick der Hagelschäden in der Schweiz	17
5.2 Hagelereignisse 2002 und 2004	17
5.3 Kriterien der Hagelschadeneinschätzung	19
6 Hagelwiderstand von Baumaterialien	20
6.1 Hagelschadenbilder aus der Natur und aus dem Labor	20
6.2 Ermittlung des Hagelwiderstandes mittels Laborversuch	23
6.2.1 Gerätschaften und Zubehör	23
6.2.2 Durchführung der Versuche.....	23
6.2.3 Auswertungen	24
6.2.4 Resultate	25
7 Elementarschutzregister Hagel	26
7.1 Klassierung der Bauprodukte	26
7.2 Hagelwiderstandsklassen	26
7.3 Schadensdefinition	26
7.4 Prüfung des Hagelwiderstandes	28
7.4.1 Allgemeine Prüfbedingungen	28
7.4.2 Bauteilspezifische Prüfbedingungen	28
7.5 Resultate	29
8 Ausblick zum weiteren Vorgehen	32
8.1 Fortschreibung von Baunormen	32
8.2 Umsetzung des Elementarschutzregisters Hagel	32
8.3 Massnahmen seitens der Kantonalen Gebäudeversicherungen	32
8.4 Ergänzende Untersuchungen	33
9 Glossar	34
10 Quellen, Literatur	35
10.1 Teilberichte des vorliegenden Syntheseberichtes	35

Vom Wissen zum Handeln

Die Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen hat mit den durch sie getragenen Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Hagelwiderstand der Gebäudehülle Wissenslücken geschlossen. Dank diesem in den Jahren 2005 bis 2007 durchgeführten Projekt wissen wir bedeutend besser als noch vor kurzem, wo in der Schweiz wie häufig und mit welchen Intensitäten Hagelgewitter zu erwarten sind. Wir können den Hagelwiderstand von Bauelementen der Gebäudehülle systematisch bestimmen und beschreiben und wir kennen die Schadenpotenziale. Im Projekt wurde das Wissen akkumuliert, das seinen Niederschlag in einem anwendungsgerechten Hagelregister finden wird.

Nun steht der entscheidende Schritt vom Wissen zum Handeln bevor. Nutzen bringt das Hagelregister erst, wenn durch seine konsequente Weiterentwicklung und Anwendung der Hagelwiderstand der Gebäudehülle angemessen und nachhaltig verbessert wird. Dazu sind weitere Arbeiten notwendig, von der technischen und organisatorischen Umsetzung des gewonnenen Wissens auf Normenebene und als risikobasierte Klassifizierung von Bauelementen bis zur Herausbildung einer neuen versicherungsrechtlichen Praxis im Bereiche der Hagelschäden an Gebäuden.

Bauherren, Architekten und Hersteller von Bauprodukten finden im Synthesebericht praxisgerecht aufbereitete Fakten zum Hagelwiderstand von Baumaterialien. Diese neuen Erkenntnisse können bereits heute zur Verbesserung der Hagelschadenprävention beitragen und Anregungen für die Produkteentwicklung geben.

Der vorliegende Synthesebericht soll als Scharnier zwischen Wissen und Handeln die bevorstehende Umsetzung erleichtern.

Präventionsstiftung
der Kantonalen Gebäudeversicherungen



Dr. Markus Fischer, Präsident

Das Hagelrisiko steigt. Die Kantonalen Gebäudeversicherungen registrieren dies anhand ihrer Schadenzahlen. Im vorliegenden Projekt der Präventionsstiftung wurden massgebliche Grundlagen als Basis für Handlungsoptionen geschaffen. Schon in den 70er-Jahren haben sich die Kantonalen Gebäudeversicherungen mit dieser Thematik beschäftigt. Als Folge davon wurden für die Flachdachabdichtungen Normen entwickelt. Dadurch konnten Produktverbesserungen erzielt werden und die Versicherbarkeit war wieder gegeben.

Die **Schadenerfahrung** der letzten Jahre macht es notwendig, den Hagelwiderstand von allen Materialien der Gebäudehülle zu kennen. Die Materialwahl soll bewusst in Bezug auf das Hagelrisiko erfolgen. Der Anstieg der Hagelschäden lässt sich nicht allein auf eine Zunahme der Hagelereignisse zurückführen.

Der vorliegende Bericht ist eine **Synthese der vier Teilberichte des Gesamtprojektes «Elementarschutzregister Hagel»**. In den Teilprojekten werden die Hagelgefährdung in der Schweiz, das Schadenpotenzial und der Hagelwiderstand der Gebäudehülle untersucht. Anhand dieser Daten konnten in einem vierten Teilprojekt die Grundlagen für ein Elementarschutzregister Hagel ausgearbeitet werden. Ziel eines solchen Registers ist die Klassifizierung der Bauprodukte hinsichtlich ihres Hagelwiderstandes.

Die Analyse der **Hagelgefährdung** zeigt, wie häufig mit welcher Intensität an einem Ort gerechnet werden muss. Als Grundlage wurden Wetterradardaten und langjährige Wetterlagenreihen verwendet.

Zur feineren Einteilung der Wiederkehrperioden wird die Schweiz in elf Klimazonen eingeteilt. Das Mittelland wurde in die Zonen Ost, Zentral und West eingeteilt: während im Westen einmal in 100 Jahren Hagelkörner von 30 mm Durchmesser fallen, sind es im zentralen und östlichen Mittelland alle 20 Jahre. Bei der Beobachtung über einen längeren Zeitraum zeigt sich ausserdem eine Zunahme von grossen Hagelzellen, die intensivere Hagelunwetter hervorbringen.

Im Teilprojekt **Schadenpotenzial** wird ein Überblick der architektonischen Entwicklung von der Mitte des letzten Jahrhunderts bis heute gegeben. Die zukünftigen Trends bei Gebäudehüllen und deren Auswirkungen auf die Verletzbarkeit gegenüber Hagelschäden werden abgeschätzt. Bei Wohngebäuden zeichnet sich gegenwärtig keine Entwicklungstendenz ab, welche die Verletzbarkeit gegenüber Hagel insgesamt entscheidend beeinflussen würde. Bei Bürogebäuden wird die Verletzbarkeit gegenüber Hagel künftig voraussichtlich durch zunehmende Verwendung von Sonnenschutzelementen, Metall und Kunststoff zunehmen.

Der effektive **Hagelwiderstand** von Bauelementen der Gebäudehülle wurde im Labor getestet. Durch künstlichen Hagelbeschuss auf elf ausgewählte Bauteilkategorien konnte ein guter Überblick über die verschiedenen Schäden und deren

Entwicklung einerseits und den Schadenbeginn andererseits geschaffen werden. Der Beschuss erfolgte erstmals möglichst realitätsnah mit Eiskugeln verschiedener Durchmesser anstelle von Kugeln aus Kunststoff.

Das **Elementarschutzregister Hagel** unterscheidet fünf Hagelwiderstandsklassen (HW). Die HW 1–5 beziehen sich auf Hagelkorngrössen mit Durchmesser 10–50 mm. **Die Klasseneinstufung erfolgt in Bezug auf die Schadenfreiheit.** Ein Bauteil kann gleichzeitig mehrere Funktionen erfüllen. Die beiden häufigsten sind Wasserdichtheit und Aussehen. Der Hagelwiderstand eines Bauteils fällt je nach Funktion unterschiedlich aus. Welche Funktionen ein Bauteil hat und ab wann das Bauteil als beschädigt gilt (Schadenskriterium), ist in den Prüfbedingungen des Elementarschutzregisters aufgezeigt. Zu den widerstandsfähigsten Materialien in Bezug auf die Wasserdichtheit zählen Glas, Dichtungsbahnen und Tonziegel. Zu den Materialien mit dem schwächsten Hagelwiderstand gehören die Rollläden und Raffstoren, sowie einige Bleche und Holzbretter in Bezug auf die Funktion Aussehen.

Mit diesen Untersuchungen ist die Grundlage für eine Umsetzung des Elementarschutzregisters Hagel vorbereitet. Hiermit soll die notwendige **Transparenz der Baumaterialien in Bezug auf den Hagelwiderstand** geschaffen werden. Die Vision der Hagelschadenprävention wird so zur Realität.

3.1 Ermittlung der Gefährdung mittels Wetterradar

Für die Schweiz existiert bereits eine Karte mit Wiederkehrperioden (WP) von Hagelereignissen, jedoch ohne Berücksichtigung der Hagelkorngrösse. Um das Risiko eines Schadens besser abschätzen zu können, ist Wissen über das Ausmass und über die Häufigkeit von grossen Körnern notwendig. Da es ausser den Daten aus einem Hagelabwehr-experiment und einigen örtlich beobachteten Hagelkorn-grössen keine Messwerte für die Schweiz gibt, wurden Radarinformationen von den operationellen Wetterradars von MeteoSchweiz (Standorte Albis, La Dôle und Monte Lema) verwendet. Die höchste auf dem Radarbild erkennbare Niederschlagsintensität entspricht der Grenze zwischen Starkregen und Hagelschlag. Diese Intensitätsflächen werden von Hagelzellen verursacht, welche anhand ihrer Sturmzentren elf Klimazonen zugeordnet werden können. Nördlich der Alpen sind dies Jura Ost und West (JE, JW), Mittelland Ost, Zentrum und West (ME, MZ, MW) und Alpen Ost, Zentrum und West (AE, AZ, AW), eine Zone befindet sich südlich der Alpen (AS). Zusätzlich wurden noch die Zonen Wallis und Graubünden eingeführt.

Zur Erfassung der Hagelstürme stehen Radardaten von 1992–2004 für nördlich der Alpen und von 1996–2004 für südlich der Alpen zur Verfügung. Die Radardaten liefern

wichtige Messgrössen wie Dauer des Hagelschlags, potenziell verhagelte Fläche, Höhe der Hagelzelle, Zuggeschwindigkeit der Zelle und Lage des Sturmzentrums in Bezug auf die Klimazonen. Zusätzliche Informationen wurden von einem Forschungsradar der ETHZ geliefert, mit dem von 1992–1996 alle starken Hagelzellen im Umkreis von 100 km detailliert erfasst wurden. Die relativ kurzen Zeitreihen von 9 beziehungsweise 13 Jahren wurden mittels einer langjährigen Reihe (1881–2001) einer Klassifikation von europäischen Grosswetterlagen verlängert und die Anzahl Hagelstürme entsprechend den Anteilen an den Wetterlagen korrigiert.

3.2 Resultate

Die Ergebnisse werden auf drei verschiedene Arten dargestellt: nach Korngrössenklassen, nach grösser gleich einer Korngrösse (≥ 1 , ≥ 2 , ≥ 3 und ≥ 4) und nach vorgegebenen Wiederkehrperioden (WP). Für die Darstellung nach WP wurden die Daten der grösser gleich Tabelle verwendet; für WP von 1–300 Jahren ist die jeweils zu erwartende Korngrösse in der entsprechenden Klimazone angegeben (Tabelle 3.1). Es ist damit zu rechnen, dass mindestens einmal in der angegebenen Wiederkehrperiode Hagelkörner gleich oder grösser als die angegebene Hagelkorngrösse auftreten.

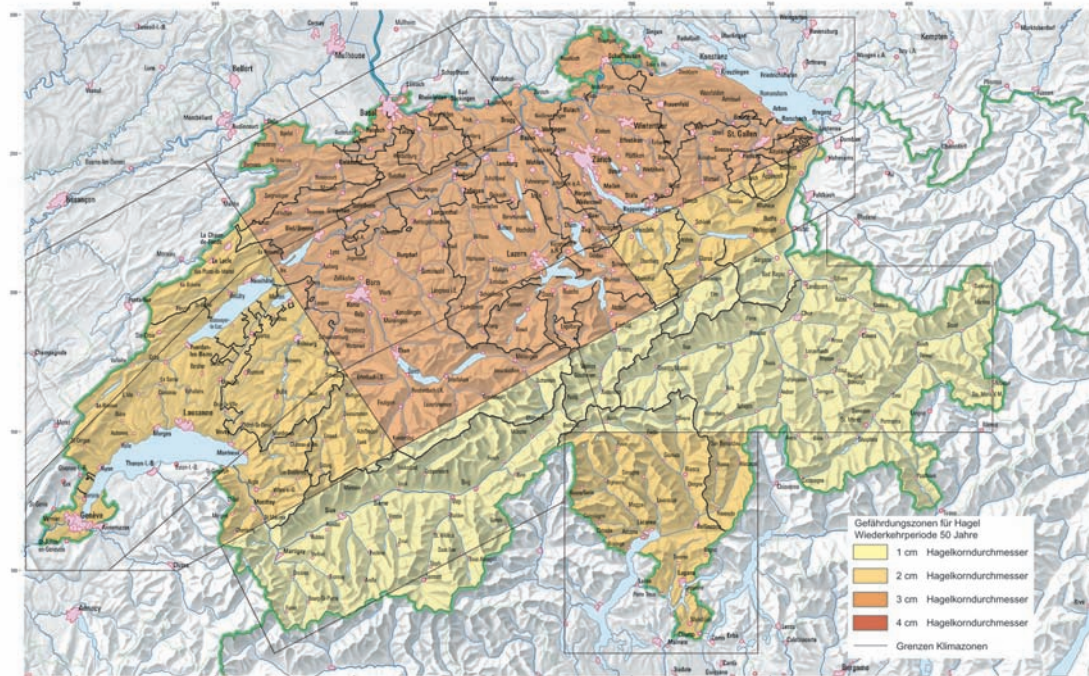
WP	AE	AZ	AW	ME	MZ	MW	JW	AS	GR	GR	VS
1	1	1		1	1		1	1			
5	1	2	1	2	2	1	2	1	1		
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
20	2	2	2	3	3	2	3	2	2	1	1
30	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
50	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
100	3	4	3	4	4	3	4	3	3	1	2
250	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
300	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2

Tabelle 3.1: Mindestens zu erwartende Korngrössen (in cm) in den Klimazonen bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden (WP), mit Abschätzungen für Graubünden und Wallis als 10. und 11. Klimazone.

Die 3 folgenden Abbildungen zeigen eine Übersicht der Intensitäten, unterteilt nach Mindestkorngrössen für die Wiederkehrperioden 50, 100 und 300 Jahre.

Wiederkehrperiode 50 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland



Gefährdungszonen für Hagel
Wiederkehrperiode 50

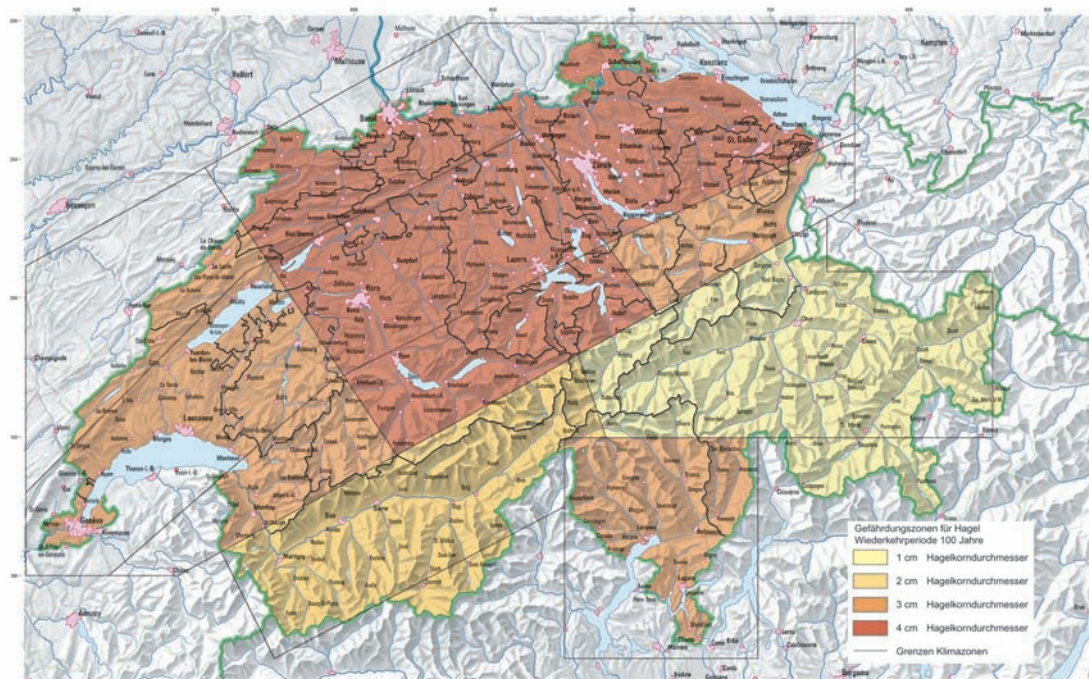
Grundlagen der Karte:
«Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrossen – eine Abschätzung»
im Rahmen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.
Die Angaben für das Wallis und für Graubünden beruhen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

Skala 0 10 20 30 40
km
© 2011 Eidgenössisches
MeteoSwiss

Abbildung 3.1: Intensität nach Hagelkorndurchmesser für eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren.

Wiederkehrperiode 100 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland



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 Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.
Die Angaben für das Wallis und für Graubünden beruhen auf einer groben Abschätzung von einem Jahr.

Skala 0 10 20 30 40
km
© 2011 Eidgenössisches
MeteoSwiss

Abbildung 3.2: Intensität nach Hagelkorndurchmesser für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren.

3 Hagelgefährdung Schweiz

Wiederkehrperiode 300 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

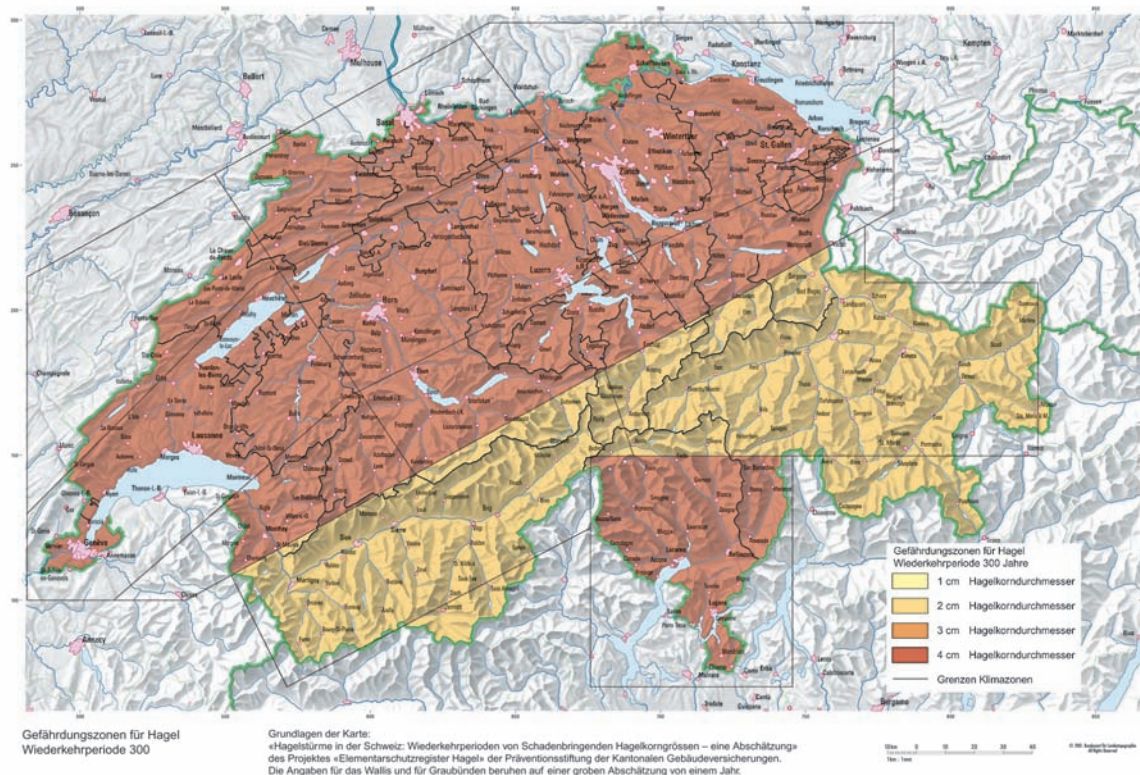


Abbildung 3.3: Intensität nach Hagelkorndurchmesser für eine Wiederkehrperiode von 300 Jahren.

Im Gegensatz zu der bereits existierenden Karte der Hagelgefährdung in der Schweiz (SIA Norm 261/1) sind die neuen Karten in elf anstatt fünf Klimazonen aufgeteilt; ebenso wird die Wiederkehrperiode pro Korngrösse angegeben, was weitaus spezifischere Aussagen zur Hagelgefährdung ermöglicht.

Im zentralen und östlichen Mittelland und im östlichen Jura (ME, MZ und JE) zum Beispiel werden jedes Jahr Hagelkörner mit mindestens 1 cm Durchmesser erwartet. Körner mit mindestens 2 cm Durchmesser fallen alle fünf Jahre, 3 cm grosse Körner alle 20 Jahre und 4 cm grosse alle 100 Jahre. Diese drei Zonen gehören zu den am stärksten gefährdeten. Das Wallis und Graubünden sind am wenigsten von Hagelunwettern betroffen; im Graubünden fallen alle zehn, im Wallis nur alle 20 Jahre Hagelkörner mit mindestens 1 cm Durchmesser. 2 cm grosse Körner sind nur alle 250 beziehungsweise 100 Jahre zu erwarten.

3.3 Zukünftige Entwicklung

Wetterlagen, welche das Entstehen von starken Hagelzellen begünstigen, haben über die letzten Jahrzehnte zugenommen (Zeitreihe Grosswetterlagen 121 Jahre). Für die Anzahl radarerfasster Hagelzellen kann folgendes gesagt werden: während der maximal verfügbaren 22 Jahre von Radarauf-

zeichnungen zeigt sich ein zunehmender Trend in der Anzahl grosser Hagelzellen, welche eine Zugbahnlänge von 100 km oder mehr aufweisen (Abbildung 3.4). Für Hagelzellen mit kürzeren Zugbahnlängen kann in dieser Zeitspanne keine Zunahme beobachtet werden. Das Monitoring der Hagelstürme mittels Radarinformationen sollte systematisch weitergeführt werden, da nur auf diese Weise eine mögliche starke Änderung der Hagelsturmaktivität in der Zukunft erfasst werden kann.

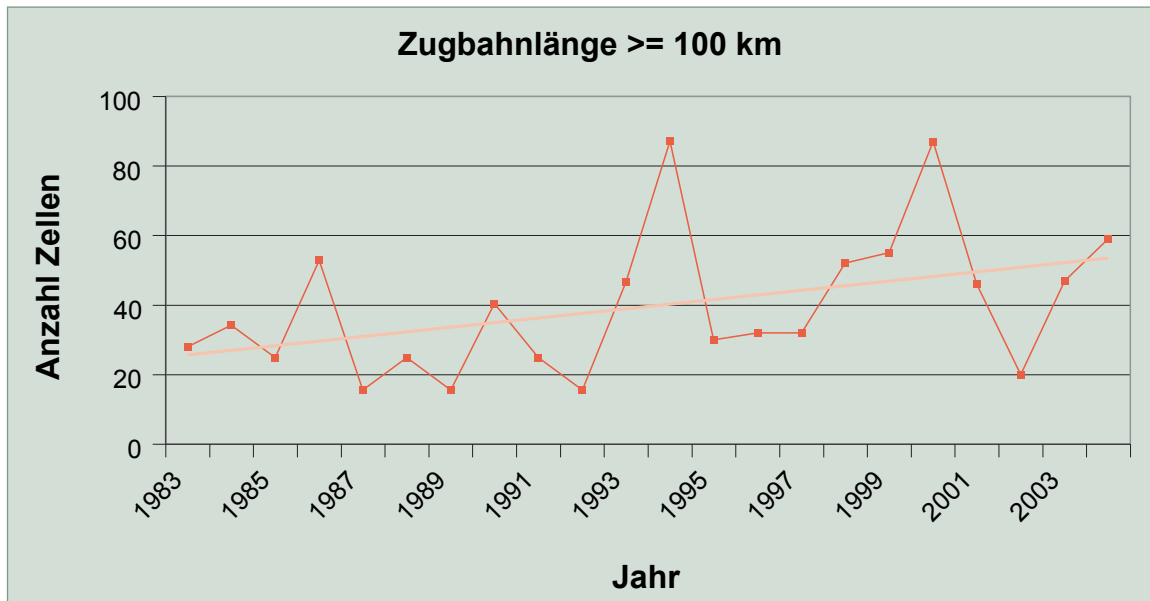


Abbildung 3.4: Zeitreihe der Anzahl radarvermessener Hagelzellen pro Saison (Mai bis September) nördlich der Alpen (acht Klimazonen), welche eine Zugbahnlänge von 100 oder mehr km aufweisen. Eine Trendlinie ist eingetragen. Es wird die ganze verfügbare Zeitreihe gezeigt, inklusive der Jahre vor 1992 mit analoger Erfassung der Radarbilder auf Filmmaterial. Die Anzahl Zellen der Jahre vor 1995 (alte Radargeneration) ist korrigiert worden.

4 Gebäudehüllen: früher – heute – morgen

4.1 Typische Gebäudehüllen – Entwicklung bis heute

Bei den Hagelschäden an Gebäuden spielt nicht nur die Häufigkeit und Intensität von Hagelereignissen eine Rolle, sondern auch die Empfindlichkeit der verwendeten Bauteile. Deshalb wird im Folgenden die Entwicklung der Gebäudehüllen von der Mitte des 20. Jahrhunderts bis heute tabellarisch aufgezeigt. Dabei werden die unterschiedlichen Gebäudetypen separat behandelt. Die Gebäude werden in

folgende Kategorien aufgeteilt: Wohngebäude mit den Unterkategorien Ein-/Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser, Verwaltungsgebäude mit den Unterkategorien Bürogebäude, Kultur und Sport, landwirtschaftliche Gebäude und Industrie und Gewerbe. Letztere Kategorie enthält Verkehrswesen, Handel, Gastgewerbe, Nebengebäude und diverse Gebäude. Gemessen am Assekuranzwert machen Wohngebäude etwa die Hälfte des Gebäudebestandes aus. Der Gebäudebestand hat sich in der Schweiz seit 1945 verdreifacht.

4.1.1 Wohngebäude

Gebäudetyp	früher	60–70er-Jahre	80–90er-Jahre	heute
Einfamilienhaus	Verputztes Mauerwerk, Steildach mit Ziegeln, Türen, Tore und Klappläden aus gestrichenem Holz, Fenster Einfachverglasung mit Vorfenstern	Faserzement an Fassade und Dach, grössere Glasflächen, Ersatz von Vorfenstern durch Doppel- und schliesslich Isolierverglasung	Zweischalenmauerwerk mit äusserer Schale aus Sichtbackstein, Sichtkalkstein oder verputztem Mauerwerk, Steildächer mit Ton- oder Betonziegeln	Verputzte Aussen-dämmung, vorgehängte Fassaden aus Holz oder Faserzement, Dachform nach wie vor Steildach

Tabelle 4.1: Entwicklung der Baumaterialien bei Einfamilienhäusern.



Abbildung 4.1: Bildquelle Basler & Hofmann.

Einfamilienhaus erbaut ca. 1935

Massives verputztes Mauerwerk
Holzfenster (mit Vorfenstern), Holzfensterläden
Steildach mit Ziegeleindeckung (Pfannenziegel)



Abbildung 4.2: Bildquelle Basler & Hofmann.

Doppeleinfamilienhaus erbaut 2004

Massiver Sichtbetonsockel/horizontale Bretterverkleidung
Lärche unbehandelt
Holzfenster mit Stoffstoren
Flachdach, Attikageschoss mit Metallverkleidung

Gebäudetyp	früher	60–70er-Jahre	80–90er-Jahre	heute
Mehrfamilienhaus	Verputztes Mauerwerk mit Ziegeldach, teilweise Flachdächer mit Bitumenbahnen Kiesbelag, Fenster Einfachverglasung mit Vorfenstern, Verkleidung Balkon mit Faserzement	Wohnüberbauungen mit Sichtbetonfassaden, Balkone mit massiven Betonbrüstungen, verputzte Aussen-dämmung, brand-schutztechnische Anforderungen verhindern Einsatz von Holz	Zweischalenmauerwerk mit äusserer Schale aus Sichtbackstein, Sichtkalkstein oder verputztem Mauerwerk, Fenster aus Isolierverglasung, Faserzement an Dach und Fassade	Verputzte Aussen-dämmung, Faserzementplatten, Glas oder Faserzement als vorgehängte Konstruktionen, Flachdach herrscht vor

Tabella 4.2: Entwicklung der Baumaterialien bei Mehrfamilienhäusern.



Mehrfamilienhaus erbaut ca. 1940

Verputztes Mauerwerk
Balkonbrüstungen mit Faserzementplatten
Holzfenster mit Doppelverglasung, Metallrollläden
Leicht geneigtes Steildach mit Ziegeleindeckung

Abbildung 4.3: Bildquelle Basler & Hofmann.



Mehrfamilienhaus erbaut 2005

Fassadenverkleidung in Faserzement
Kunststoff-Fenster mit Raffstoren
Flachdach mit Bitumenabdichtung

Abbildung 4.4: Bildquelle Basler & Hofmann.

4 Gebäudehüllen: früher – heute – morgen

4.1.2 Verwaltungsgebäude

Gebäudetyp	früher	60–70er-Jahre	80–90er-Jahre	heute
Büro- und Verwaltungsgebäude	Verputztes Mauerwerk oder Natursteinfassaden mit Ziegel- oder Blechdach, repräsentative Bauten mit kunstvollen Natursteinornamenten	Aluminium-, Faserzement- oder Keramikverkleidungen mit Sichtbetonelementen, Flachdach mit Bitumenbahn und Kiesbelag, Zunahme Glasflächen und Sonnenschutzmassnahmen	Vorgehängte Betonelemente und Metallfassaden, repräsentative Bauten Verkleidung mit Naturstein, Zunahme Glasfläche, Flachdach mit Kunststoffbahnen	Hohe Anteile an Belichtungsflächen und Sonnenschutzvorrichtungen, experimentelle Materialien und Formen (Kunststoffe, Keramik etc.)

Tabelle 4.3: Entwicklung der Baumaterialien bei Büro- und Verwaltungsgebäuden.



Verwaltungsgebäude erbaut ca. 1900

Massiver Natursteinsockel mit verputzter Fassade mit Ornamenten

Holzfenster

Schieferdach (Faserzement, neueren Datums)

Abbildung 4.5: Bildquelle Egli Engineering.



Verwaltungsgebäude erbaut 2004

Fassade mit horizontalen Keramikprofilen

Metallfenster mit Raffstoren

Flachdach mit massivem Attikageschoss

Abbildung 4.6: Bildquelle Basler & Hofmann.

Gebäudetyp	früher	60er-Jahre bis heute
Kultur & Sport	Turnhallen aus verputztem Mauerwerk und Ziegeldach, Fenster mit kleinteiligen Glasfeldern. Kulturbauten als verputzte Konstruktionen mit Natursteinelementen, Dächer Ziegel oder Blechbahnen	Sportbauten mit Sichtbacksteinfassaden, häufig Lichtelemente aus Kunststoff, zunehmender Ersatz durch Glas, Wandverkleidungen und Dachdeckungen aus Faserzementplatten. Kleinere Sportbauten (z.B. Garderobengebäude) ähnlich wie Wohnbauten. Kulturbauten, welche seit den sechziger bis in die achtziger Jahre entstanden unterscheiden sich nicht erheblich von repräsentativen Geschäftshäusern.

Tabelle 4.4: Entwicklung der Baumaterialien bei Kultur- und Sportgebäuden.



Turnhalle erbaut 1910

Verputztes Mauerwerk
Holzfenster
Dacheindeckung mit Biberschwanzziegeln
Dachaufbauten mit Faserzement-Schindel verkleidet

Abbildung 4.7: Bildquelle Basler & Hofmann.



Kunstmuseum erbaut 1995

Verkleidung der Wände mit Profilglas
Metallverglasungen
Dachaufbauten in Glas mit Blechverkleidung

Abbildung 4.8: Bildquelle Basler & Hofmann.

4 Gebäudehüllen: früher – heute – morgen

4.1.3 Landwirtschaftliche Gebäude

Gebäudetyp	früher	60–80er-Jahre	heute
Landwirtschaft	Regional verschieden, Mittelland, Wallis und Appenzell eher mit Holz, Tessin, Jura und Engadin eher mit Stein. Dächer Ziegel oder Steinplatten, Fassade häufig wetterseitige Verkleidung mit Faserzementplatten oder Ziegeln	Trennung von Wohn- und Ökonomieteil, Wohngebäude unterscheiden sich in der Materialisierung der Gebäudeoberflächen kaum mehr von anderen Einfamilienhäusern	Ställe, Scheunen und Treibhäuser mit Faserzement und Holz als Wandverkleidung, lichtdurchlässige Bauteile aus Glas oder Kunststoff, Dächer mit Faserzement oder Ziegel, kaum Flachdächer. Bei Um- und Ausbauten vermehrt wieder traditionelle Materialien

Tabelle 4.5: Entwicklung der Baumaterialien bei landwirtschaftlichen Gebäuden.



Abbildung 4.9: Bildquelle Egli Engineering.

Historisches Appenzeller Bauernhaus

Wohnteil und Ökonomieteil mit gestrichenem Holz verkleidet
 Holztore und Holzfenster mit Holzläden
 Dacheindeckung mit Tonziegeln



Abbildung 4.10: Bildquelle Basler & Hofmann.

Umgebautes Bauernhaus Umbau 2004

Ökonomieteil zu Wohnzwecken umgebaut
 Sichtbeton und gestrichene Holzverkleidung
 Holzfenster
 Dach mit Ziegeleindeckung
 Dachaufbauten mit Cu-Blech verkleidet

4.1.4 Industrie- und Gewerbegebäude

Gebäudetyp	früher	50–90er Jahre	heute
Industrie & Gewerbe	Sichtbacksteinmauern, stabilisiert mit Metallkonstruktion, grosse Fensterpartien in Einfachverglasung sowie Oblichter (Sheddachhallen), Flachdächer mit Bitumenbahnen, repräsentative Gebäude (z.B. Bahnhöfe) Kombination aus verputztem Mauerwerk und Naturstein, Dächer aus Blech oder Bitumenbahnen	Entwicklung zu reinen Gebrauchsbauten, Hüllen aus Metallpaneelen (häufig als Sandwich in Verbund mit Wärmedämmung) oder vorfabrizierten Betonelementen, Flachdächer mit Lichtkuppeln oder Lichtbändern aus Glas, grossflächige Tore aus Leichtmetall oder Kunststoff, angegliederte Bürogebäude unterscheiden sich nicht von Bürogebäuden, Bauten des Verkehrswesens gleiche Entwicklung, ausser grosser Anteil an lichtdurchlässigen Bauteilen bei Wartehäuschen	Hoher Anteil an Metall/ Glasfassaden, Zunahme Kunststoff, Wartehäuschen oft mit experimenteller Materialwahl und Konstruktion

Tabelle 4.6: Entwicklung der Baumaterialien bei Industrie- und Gewerbegebäuden.



Industriegebäude erbaut ca. 1870

Sichtbacksteinfassade mit Metall-Tragkonstruktion
 Kleinteilige Fenster, Einfachverglasung
 Leicht geneigtes Dach mit Bitumenabdeckung

Abbildung 4.11: Bildquelle Basler & Hofmann.



Industriegebäude städt. Gebiet erbaut ca. 1990

Fassade und Dach mit Faserzementplatten verkleidet
 Holzfenster mit Raffstoren
 Steildach mit Faserzementverkleidung

Abbildung 4.12: Bildquelle Basler & Hofmann.

4.2 Neue Entwicklungen bei Gebäudehüllen

Um die Tendenzen in der technischen Entwicklung der Gebäudehüllen zu eruieren wurden Bauingenieure sowie Architekten und Generalunternehmer befragt.

4.2.1 Entwicklungstendenzen bei Gebäudehüllen

Bei den Gebäudehüllen wurden für die kommenden Jahre folgende wichtige Entwicklungstendenzen identifiziert:

- Andauernde Tendenz zur Verbesserung der Wärmedämmung, daher allgemein zunehmender Anteil von Aussen-dämmungen mit Verputz
- Weiter zunehmender Glasanteil, vor allem bei Bürogebäuden, mit entsprechenden Anforderungen an den Sonnenschutz
- Wachsende Bedeutung lichtdurchlässiger Kunststoffelemente beim Dach und den beweglichen Fassadenelementen von Bürogebäuden
- Zunehmende Bedeutung von Metallelementen bei den Fassaden von Bürogebäuden
- Vermehrter Einsatz von Holz, vor allem bei Wohngebäuden und Kommunalbau
- Hohe Bedeutung ästhetischer Gesichtspunkte bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, vielfältige Experimente mit neuen Formen und Materialien
- Wachsende Bedeutung nanotechnischer Beschichtungen, zum Beispiel für Selbstreinigung oder besondere Farbeffekte

4.2.2 Auswirkungen auf die Verletzbarkeit

Für die Verletzbarkeit der Gebäudehülle bedeutet dies:

- Die traditionellen Materialien für Gebäudehüllen in der Schweiz, Naturstein, verputztes Mauerwerk, Beton, Ziegel und Faserzementplatten, weisen einen verhältnismässig hohen Hagelwiderstand auf.
- Bei Bürogebäuden wird die Verletzbarkeit gegenüber Hagel durch vermehrte Verwendung von Sonnenschutz-elementen, Metall und Kunststoff zunehmen. Dazu tritt die teils experimentelle Anwendung neuer Materialien und Fassadenelemente, bei denen in vielen Fällen von geringem Hagelwiderstand auszugehen ist, zum Beispiel bei Medienfassaden und nanotechnischen Beschichtungen.

- Bei Wohngebäuden zeichnet sich gegenwärtig keine Entwicklungstendenz ab, welche die Verletzbarkeit gegenüber Hagel entscheidend beeinflusst, vermehrter Einsatz von Holz führt nicht zu erhöhter Verletzbarkeit.
- Sowohl bei Bürogebäuden als auch – längerfristig – bei Wohngebäuden scheint sich durch die Entwicklung von Hightech-Gläsern mit integrierter Sonnenschutzfunktion eine Alternative zu Raffstoren zu entwickeln, welche die Verletzbarkeit der Gebäude reduzieren könnte.
- Der Gebäudebestand in der Schweiz verändert sich nur langsam. Dies gilt auch für die Gebäudehüllen, die kürzere Erneuerungszyklen als der Gebäudebestand aufweisen.

5.1 Überblick der Hagelschäden in der Schweiz

Seit den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts hat ein deutlicher Anstieg der versicherten Hagelschäden stattgefunden (siehe Abbildung 5.1). Die Gründe dafür sind: 1) Ausdehnung

der Siedlungsgebiete in hagelgefährdeten Zonen, das heisst ein grösserer Versicherungsbestand, 2) Verwendung von hagelempfindlicheren Materialien und 3) eine mögliche Zunahme von intensiveren oder grossflächigeren Hagelstürmen in einer wärmeren und labileren Atmosphäre (Abbildung 3.4).

Mio. **Jahresschaden**
Franken

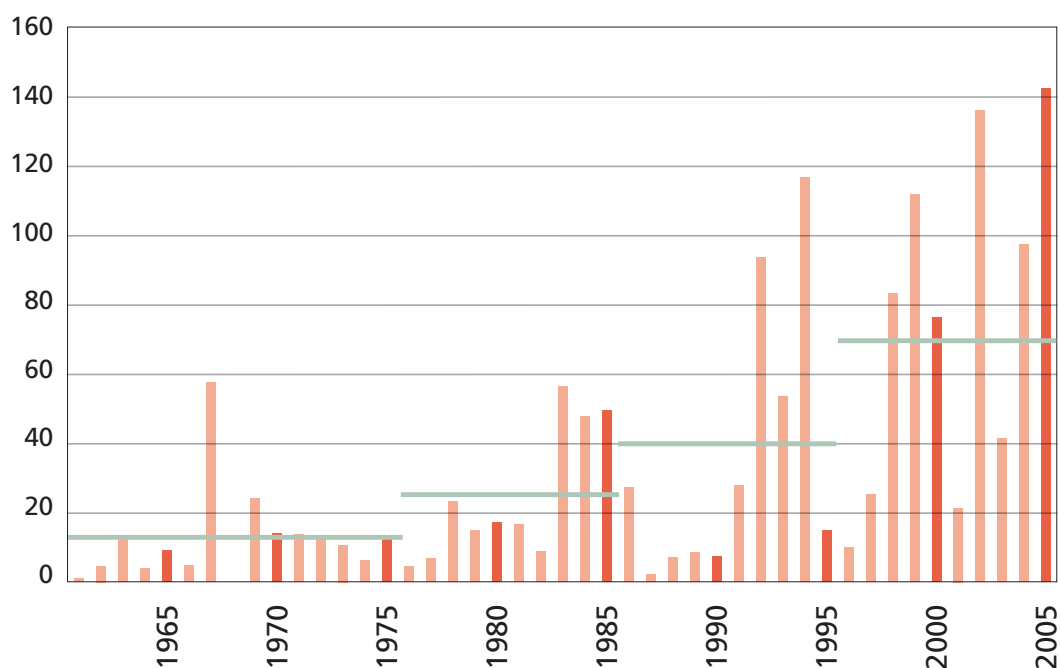


Abbildung 5.1: Hagelschäden an Gebäuden in Kantonen mit öffentlich-rechtlichen Gebäudeversicherungen 1961–2005, Querstriche zeigen die mehrjährigen Durchschnittswerte.

5.2 Hagelereignisse 2002 und 2004

Am Beispiel von drei grossen Hagelereignissen aus den Jahren 2002 und 2004 soll der finanzielle Schaden charakterisiert werden. Dazu wurden die Schadenzahlungen der

Gebäudeversicherung Zürich ausgewertet; die Resultate widerspiegeln also nur die Situation im Kanton Zürich für diese drei Ereignisse und sind nicht repräsentativ für die ganze Schweiz. Tabelle 5.1 vermittelt einen generellen Überblick über die Schäden des Unwetters:

Ereignis	Anzahl Fälle	Entschädigte	Abgewiesene	Schaden CHF
2002 (24. Juni)	10 640	9309	1331	65.4 Mio.
2004 (8. Juli)	5314	4730	584	23.5 Mio.
2004 (12. August)	3584	3346	238	15.6 Mio.
Total	19 538	17 385	2153	104.5 Mio.

Tabelle 5.1: Übersicht der gemeldeten Schäden der Hagelzüge 2002 und 2004 im Kanton Zürich.

5 Hagelschaden

Die prozentuale Verteilung der Schäden und der finanziellen Entschädigung auf die Gebäudetypen ist in den Abbildungen 5.2 und 5.3 dargestellt.

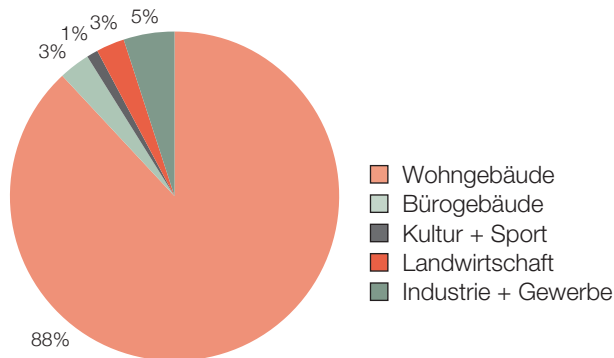


Abbildung 5.2: Prozentuale Verteilung der Schadenfälle unterteilt nach Gebäudezweck für die Hagelzüge aus den Jahren 2002 und 2004 im Kanton Zürich.

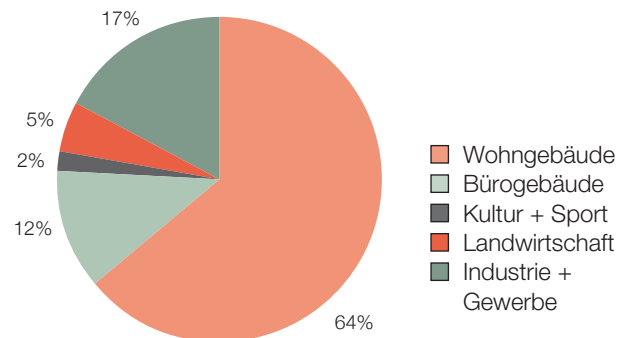


Abbildung 5.3: Prozentuale Verteilung der Gebäudetypen am finanziellen Gesamtschaden für die Hagelzüge aus den Jahren 2002 und 2004 im Kanton Zürich.

88% aller entschädigten Fälle betreffen Wohngebäude, dies macht einen Anteil von 64% am finanziellen Gesamtschaden aus. Bürogebäude betreffen 3% der gemeldeten Schäden, am finanziellen Schaden sind sie jedoch mit 12% beteiligt. Betrachtet man nur die Bürogebäude, Landwirtschaft und Industrie + Gewerbe wird deutlich, dass diese 11% der gemeldeten Schäden ein Drittel (34%) des finanziellen Gesamtschadens einnehmen.

Die Auswertung von 80 Schadensdossiers von Wohngebäuden mit einer Gesamtschadenhöhe von CHF 399 752.– zeigte, dass 78% der Schadenfälle Raffstoren und Rollläden betreffen. Der finanzielle Anteil beträgt dabei 85%. Weitere Details sind untenstehenden Kreisdiagrammen zu entnehmen.

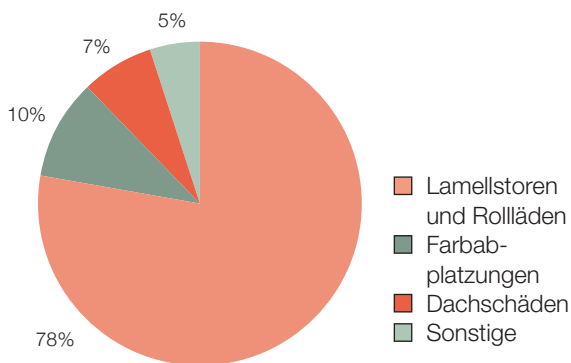


Abbildung 5.4: Prozentualer Anteil der einzelnen Schadenbilder an der **Gesamtzahl** der gemeldeten Fälle für den Hagelzug am 8. Juli 2004 im Kanton Zürich separat für 80 Wohngebäude betrachtet.

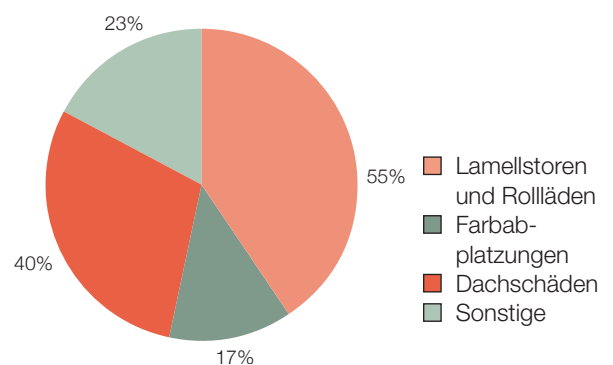


Abbildung 5.5: Prozentualer Anteil der einzelnen Schadenbilder am **Gesamtschaden** für den Hagelzug am 8. Juli 2004 im Kanton Zürich separat für 80 Wohngebäude betrachtet.

Weiter wurde die Aufteilung nach Schadenhöhe untersucht. Ein Grossteil der Schäden (72%) liegen im Bereich bis CHF 5000.–, diese beanspruchen total ein Viertel des Gesamtschadens. 34% des Gesamtschadens liegen im Bereich von

CHF 20 000.– bis CHF 250 000.–, prozentual sind dies jedoch nur 4% der Fälle. Schäden in diesem Segment entstanden vor allem an grossflächigen Häuserfassaden mit Raffstoren und Gärtnereien mit Floatglas oder Doppelstegplatten.

5.3 Kriterien der Hagelschadeneinschätzung

Zur Entschädigungspraxis wurden alle Kantonalen Gebäudeversicherungen angefragt. Aufgrund dieser Informationen wurde folgende Tabelle mit Kriterien systematisch zusammengestellt.

Kriterien	Definition	Beispiele
Art des Schadens: Ästhetischer/kosmetischer Schaden	Schaden ist sichtbar, keine Einschränkung der Funktion des Gebäudeteils	Dellen auf Raffstoren, Abspaltungen auf Tonziegeln
Funktioneller Schaden	Gebäude(teil) ist in seiner Funktion eingeschränkt Gebäude(teil) ist zerstört	Deformierte Raffstoren: keine Verdunklungsfunktion, undichtes Dach: wasserdurchlässig, zerbrochenes Glas
Kein Schaden	Gebäude vom Hagel betroffen, kaum sichtbar, keine Funktionseinschränkung	Hageleinschlag auf dem Dach, auf 5 m Distanz nicht mehr sichtbare Dellen
Dauer des Schadens: Permanent, irreversibel	Schaden bleibt bestehen	Löcher in Kunststoff, zersplittertes Glas, zerschlagene Ziegel, Dellen auf Raffstoren
Reversibel	Ohne äusseres Dazutun «erholt» sich das Material	Hageleinschläge auf unbehandeltes Holz, entspricht natürlicher Verwitterung, gewisse Farbveränderungen
Spezielles: Reversible Schäden werden in der Regel nicht vergütet.		
Art des Gebäudes: Repräsentatives Gebäude	Prestigegebäude: Kultur Öffentliche Gebäude	Museen, Theater, Kirchen, etc. Banken, Versicherungen
Privatgebäude		Wohnhaus
Kein Wohngebäude		Fabrik, Scheune, etc.
Spezielles : Einschätzung über Repräsentativität ist individuell und oft auch durch Sichtweise des Besitzers geprägt. Repräsentativität entscheidet über Art Entschädigung		
Ort des Schadens: Sichtbar	Der Schaden liegt an sichtbarer Stelle des Gebäudes	Vorderfront eines Hauses Eingangsbereich
Weniger sichtbar	Der Schaden liegt an weniger gut sichtbarer Stelle	Dachrinne, Abflussrohre, Fassade Hinterhaus, obere Stockwerke
Nicht sichtbar	Der Schaden ist bei Normalbenutzung nicht sichtbar	Dach, Dachhängel
Spezielles: Ort des Schadens entscheidet über die Art der Entschädigung.		
Kritische Materialien: Ausgeschlossenes Material	Elementarvorbehalt: gewisse Materialien werden für die Hagelversicherung abgelehnt	Dünne Raffstoren, gewisse Kunststoffe, textile Sonnenstoren, Bitumschindeln, gewisse Nacktdächer, Gartenfloatglas, Folien
Ausgeschlossene Gebäude, Gebäudeteile	Gewisse Gebäude und Gebäudeteile werden nicht gegen Elementarschäden versichert	Schlecht gewartete Gebäude, abge-spannte, ungeschützte Flachdächer, spröde Kunststofffolien
Hagelnachweis erforderlich/ abgelehnte Fälle	Erbringen eines Nachweises (Empa) oder eines Attests bei neuem und unbekanntem Material	Attest für Glasqualität oder Nachweis, dass das Schadenereignis die Widerstandsfähigkeit von Glas erreicht hat, Nachweis bei Repräsentativgebäuden
Spezielles: Liegt ein Schaden vor, der auf Baumangel basiert, wird die Entschädigung abgelehnt.		
Vergütungsmodi: Ersatz auf Neuwert	Das betroffene Objekt/Teil wird auf seinen Neuwert ersetzt	
Minderwertentschädigung	Das betroffene Objekt wird zu einem gewissen Anteil seines Neuwerts vergütet	Je nach Schadenausmass: 10% bis zwei Drittel, oft Pauschalentschädigung, nicht alle Kantone wenden Minderwert an, Minderwert wird über einige Jahre aufgerechnet, doppelter Zeitwert bei stark gealterten Gebäuden
Keine Entschädigung	Hagelschaden tritt nur ein, weil das betreffende Objekt nicht fachgemäss unterhalten worden ist oder aufgrund von Unterhaltsvernachlässigung. Material wird von Versicherung ausgeschlossen, weil nicht hagelfest	Abspannungen bei Flachdächern Kunststofffolien
Spezielles: Hoher ästhetischer Schaden führt oft, auch noch bei Funktionstüchtigkeit, zum Vollersatz.		

Tabelle 5.2: Systematisch zusammengestellte Kriterien zur Schadenseinschätzung.

6 Hagelwiderstand von Baumaterialien

6.1 Hagelschadenbilder aus der Natur und aus dem Labor

Folgende Abbildungen zeigen jeweils links durch natürlichen Hagelschlag entstandene Schäden und rechts die durch Laborversuche verursachten Schäden derselben Bauteil-kategorie.

Natur



Abbildung 6.1: Pfannenziegel, Foto GVZ.

Labor



Abbildung 6.2: Grossflachziegel, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.3: Rollladen, Foto GVZ.

Labor

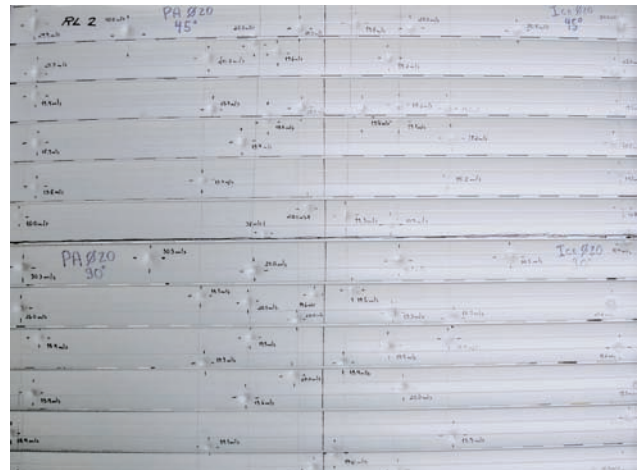


Abbildung 6.4: Rollladen, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.5: Holzplatte, Foto GVZ.

Labor

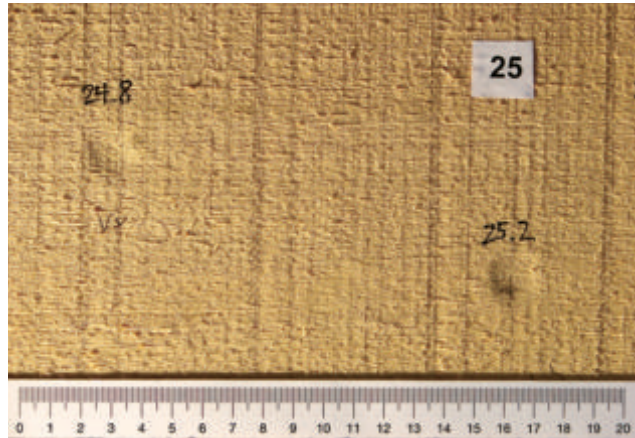


Abbildung 6.6: Fichtenbrett, sägerau unbeschichtet, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.7: Fassadenblech, Foto AVA.

Labor



Abbildung 6.8: Aluwellblech, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.9: Faserzementschiefer Fassade, Foto GVZ.

Labor

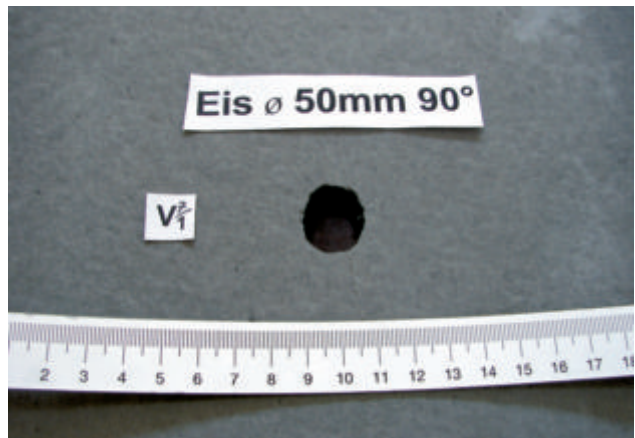


Abbildung 6.10: Faserzementplatte Fassade, Foto Empa.

6 Hagelwiderstand von Baumaterialien

Natur



Abbildung 6.11: armierter Putz auf Aussenwärmedämmung, Foto GVL.

Labor

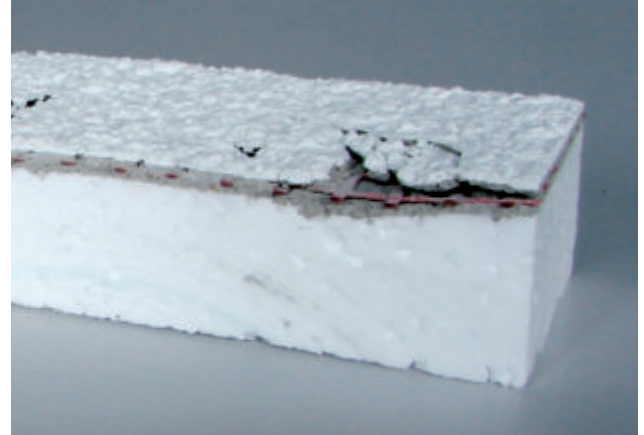


Abbildung 6.12: armierter Putz auf Aussenwärmedämmung aus Polystyrol, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.13: gealterte Dichtungsbahn, Foto GVL.

Labor



Abbildung 6.14: Dichtungsbahn PVC-P, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.15: doppelschalige Lichtkuppel, Foto ECAB.

Labor

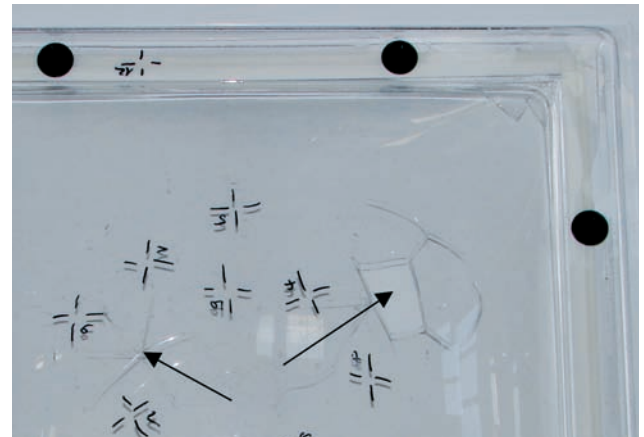


Abbildung 6.16: doppelschalige Lichtkuppel PMMA, Foto Empa.

Natur



Abbildung 6.17: Kunststoffplatte Dach, Foto GVZ .

Labor



Abbildung 6.18: Stegdoppelplatte PMMA schlagzäh, Foto Empa.

6.2 Ermittlung des Hagelwiderstandes mittels Laborversuch

6.2.1 Gerätschaften und Zubehör

Das Prinzip der Laborversuche besteht in der Simulation des natürlichen Hagelschlags durch Einzelbeschuss der Gebäudehülle mit kugelförmigen Projektilen.

Beim Beschussgerät handelt es sich um eine Spezialprüfmaschine, mit der pneumatisch Geschosse mit Geschwindigkeiten bis zu 120 m/s vertikal herausgeschleudert werden können (siehe Abbildung 6.19). Die Geschwindigkeit wird mittels optischen Lichtschranken gemessen. Der Geschosslauf ist auswechselbar für Kaliber von 15–50 mm. Für diese Versuche wurden Kugeln aus Polyamid (PA 66) und neu auch aus Eis mit den Durchmessern 20, 30, 40 und 50 mm verwendet (siehe Abbildung 6.20). Die Kugeln aus Polyamid sind vorgefertigte Präzisionskugeln mit einer Dichte von 1.14–1.16 g/cm³. Die Eiskugelherstellung erfolgt nach einem speziellen Verfahren; aus demineralisiertem Wasser werden rissfreie und porenarme Eiskugeln herge-

Durchm. [mm]	Masse [g]	
	PA 66, Dichte $\rho = 1.14\text{--}1.16 \text{ g/cm}^3$	Eis 1, Dichte $\rho = 0.87 \text{ g/cm}^3$
20	4.8 ± 0.85%	3.6
30	16.1 ± 0.85%	12.3
40	38.8 ± 0.85%	29.2
50	74.9 ± 0.85%	56.9

Tabelle 6.1: Massen der verschiedenen Projektile verschiedener Grössen.

stellt und anschliessend in einem Tiefkühler bei –20° Celsius gelagert. Die Dichte des so hergestellten Eises kann leicht variieren, sie wurde auf 0.87 g/cm³ festgelegt. Die Massen der verschiedenen Geschosse können nun anhand der Dichte und dem jeweiligen Kugelvolumen berechnet werden, sie sind in Tabelle 6.1 zusammengestellt.

Bemerkung: Neben der Grösse des Hagelkorns spielt auch die Form eine schadenrelevante Rolle. Morgensternförmiger, spitzer Hagel verursacht auf gewissen Materialien weitaus grössere Schäden als kugelförmiger. Für die Reproduzierbarkeit wurden bei den Laborversuchen jedoch nur Kugeln verwendet.

6.2.2 Durchführung der Versuche

Die untersuchten Materialien lassen sich grob in Dach- und Fassadenbauteile unterscheiden. Prinzipiell wurden die Dachbauteile mit 90° und die Fassadenbauteile im 45° Winkel beschossen. Da die Kugeln immer vertikal von oben hinausgeschleudert werden, musste, um einen 45° Winkel zu erreichen, das Material gekippt werden. Die Proben wurden entsprechend der Anwendungspraktiken der einzelnen Materialien im Labor aufgebaut. Dazu wurden Spezifikationen festgelegt.

Falls das Gebäudeteil strukturiert war (Wellprofile, Stegplatten etc.) wurden die verschiedenen Orte beschossen (Wellental und Wellenberg, auf Steg und zwischen Stege etc.) um jeweils die für Hagelschlag empfindlichste Stelle zu finden.

Materialien mit temperaturabhängigen Eigenschaften, insbesondere kunststoffbasierte Materialien, wurden so vorkonditioniert, dass für drei Minuten Eisschuppen aufgelegt wurden. Diese Massnahme basiert auf dem Abkühlungseffekt bei einem natürlichen Hagelunwetter.

6 Hagelwiderstand von Baumaterialien

Die natürliche Endgeschwindigkeit eines auf einer Gebäudehülle aufschlagenden Hagelkorns hängt unter anderem von dessen Grösse ab. Es handelt sich dabei bei Kugeldurchmessern von 20–50 mm um Geschwindigkeiten in der Grössenordnung von 8–30 m/s. Um ein grösseres Spektrum an Daten zu erhalten und einen allgemeinen Schadenverlauf abschätzen zu können, wurden die Proben in der Regel mit sieben Einzelschüssen von 5–35 m/s beschossen. Die verschiedenen Geschwindigkeiten werden mittels verschieden grosser Druckeinstellungen erreicht. Die Kugelgrössen wurden so gewählt, dass bei Eintritt eines Schadens die Geschwindigkeit im Bereich der natürlichen Endgeschwindigkeit der entsprechenden Kugelgrösse liegt. Da eine grössere Kugel in der Regel einen grösseren Schaden anrichtet, wird folgendermassen vorgegangen: tritt beispielsweise bei einer Kugel mit Durchmesser 40 mm (natürliche Endgeschwindigkeit ca. 28 m/s) bis 35 m/s kein Schaden auf, wird mit der Kugel mit Durchmesser 50 mm geschossen. Andererseits tritt schon bei 15 m/s ein Schaden auf, wird mit der Kugel mit Durchmesser 30 mm weitergeschossen.

Es wurde versucht, die Geschwindigkeit, bei der ein Schaden zum ersten Mal auftritt, auf 1 m/s genau einzugrenzen. Das Augenmerk richtete sich hauptsächlich auf das Verhalten der Materialien bei Beschuss mit Eiskugeln. Zum Vergleich wurden mit der gleichen Kugelgrösse und Geschwindigkeit auch Beschussversuche mit der Polyamidkugel durchgeführt. So konnte jeweils ein Faktor errechnet werden, mit dem Rückschlüsse auf Resultate durch Beschüsse mit der Polyamidkugel gezogen werden können.



Abbildung 6.19: Hagelkanone mit aufgebauten Ziegeln, Foto Empa.

6.2.3 Auswertungen

Grundsätzlich wird zwischen dem allgemeinen Schadenverlauf und dem ersten Eintreten einer relevanten Schädigung unterschieden. Typischerweise verursacht ein Stoss mit einer Kugel eine Delle; bei Erhöhung der Geschwindigkeit wird die Delle flächenmässig grösser und tiefer. Dieses sich vergrössernde Volumen einer Delle ist ein genereller Schadenverlauf. Beim 1. Auftreten eines Schadens kann es sich um einen Riss, einen Bruch, ein Loch, eine Delle, eine Abplatzung von Material und vieles mehr handeln. Durch einen solchen Schaden kann eine wichtige Funktion des Bauteils, wie zum Beispiel Wasserdichtheit, beeinträchtigt werden. Die Geschwindigkeit, bei der dieser Schaden zum ersten Mal auftritt, ist die Schädigungsgeschwindigkeit (v_s). Nach den Beschüssen wurden die Schäden analysiert, ausgemessen und fotografiert.

Die Resultate wurden jeweils in Bezug auf die kinetische Energie (in Joule) dargestellt. Diese lässt sich nach der Formel $E_{kin} = mv^2/2$ mit der Masse der Kugel (m) und der Geschwindigkeit (v) berechnen und wird als Schädigungsarbeit (ws) bezeichnet.

Es wurden insgesamt 48 neue Produkte eingeteilt in elf Bauteilkategorien untersucht. Die Versuche fanden an neuen Materialien statt. Anhand der Resultate konnten fünf Hagelwiderstandsklassen unterschieden und die Baumaterialien entsprechend klassifiziert werden (siehe Kapitel 7 & Tabelle 7.3). Bisher wurden für die Hageltests Standardkugeln aus Polyamid verwendet; dies ist so verankert in der Norm SIA 280 Kunststoffdichtungsbahnen. Nun wurden nach einem wiederholbaren Verfahren hagelähnliche Eiskugeln hergestellt. Aufgrund der verschiedenen Eigenschaften von Eis und Polyamid (Dichte, Temperatur, Bruchverhalten etc.) unterscheiden sich die Resultate wesentlich. Bei biegesteifen, hochmoduligen und massigen Baumaterialien wie zum Beispiel Ziegel, Faserzement etc. verursacht die Eiskugel erst bei wesentlich höherer Energie den gleichen Schaden wie die Polyamidkugel. Beim Vergleich mit den Schäden in der Natur zeigen sich vergleichbare Schadenbilder mit dem Eiskugelbeschuss, währenddem der Polyamidkugelbeschuss je nach Material zu realitätsfernen Resultaten führt.

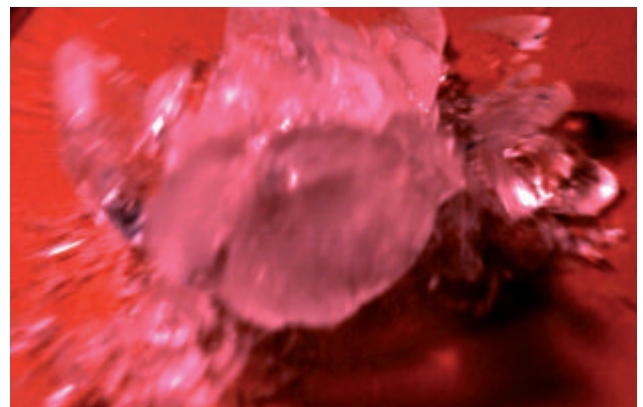


Abbildung 6.20: Zerspringendes Eiskorn auf Ziegel, Foto Empa.

6.2.4 Resultate

Die im Rahmen des Projekts ermittelten Widerstandswerte sind Richtwerte. Die ausgewählten Materialien stammen von typischen, marktüblichen Produzenten oder Vertreibern. Sie liefern daher Anhaltspunkte für die entsprechende Bauteil-

kategorie. Je nach Materialart, Ausführung, Oberflächen-gestaltung und Verbindungsart können die Widerstandswerte über einen breiten Bereich streuen. In der nachfolgenden Grafik sind die Schädigungsarbeiten in Joule aufgeführt, bei denen der erste Schaden aufgetreten ist.

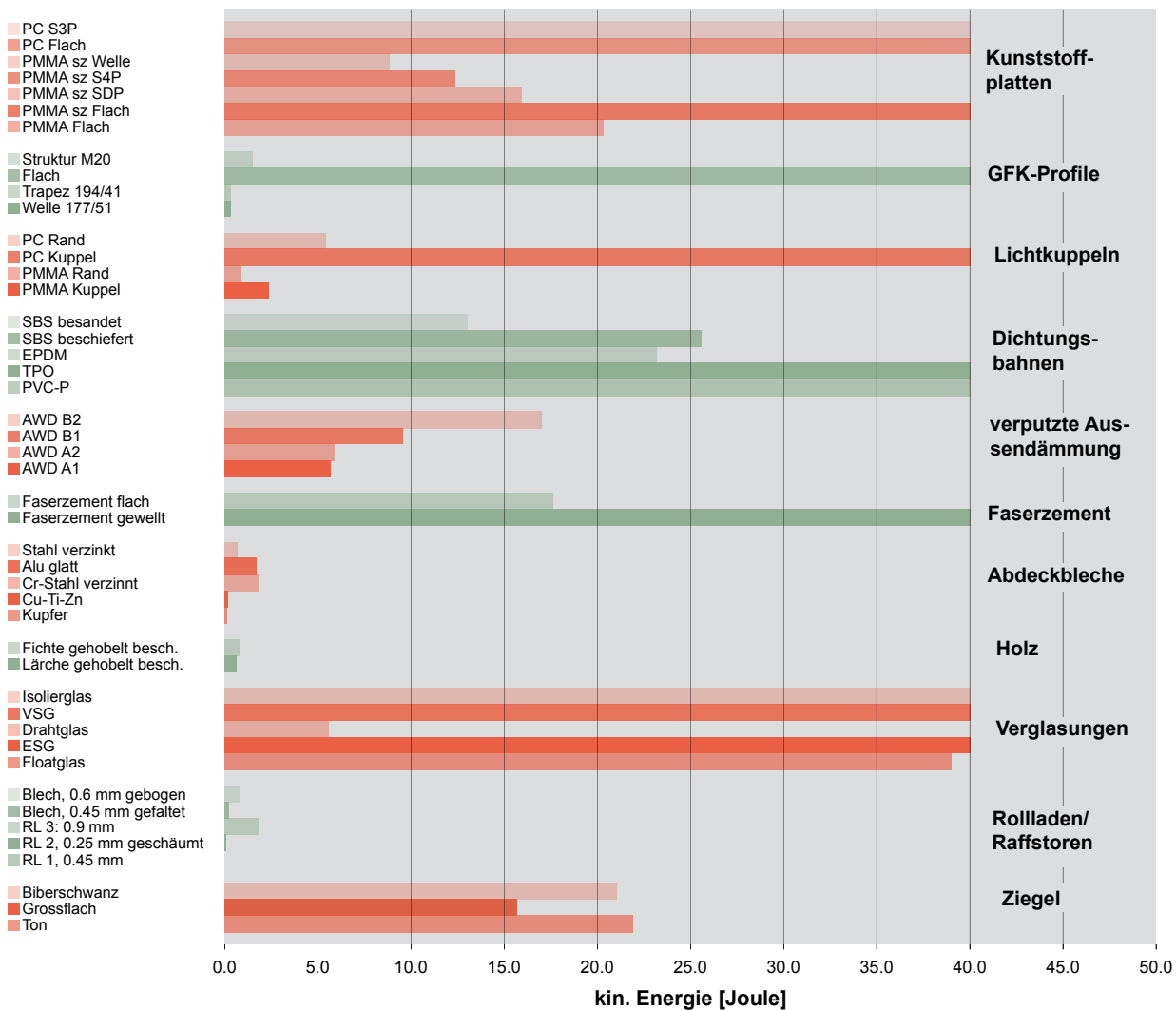


Abbildung 6.21: Schädigungsarbeiten mit Eiskugeln 20–50 mm und Beschusswinkeln 45° oder 90°.

7.1 Klassierung der Bauprodukte

Das Elementarschutzregister bietet ein Instrument zur Klassierung von Bauteilen in Bezug auf ihre Hagelwiderstandsfähigkeit. Die Klassierung erfolgt durch ein standardisiertes Prüfverfahren. Die Resultate der im vorhergehenden Kapitel erläuterten Laboruntersuchungen wurden entsprechend ausgewertet. Eine wichtige Kenngrösse für die Einordnung eines Bauteils in eine Widerstandsklasse ist der Schaden. Dazu muss der Schadensbeginn definiert werden (Schadenskriterium). Da ein Bauteil mehrere Funktionen erfüllen kann und jede Funktion wieder verschiedene Schadenskriterien hat, wird ein Bauteil in Bezug auf seine Funktionen mehrfach klassiert. Damit die Hagelbeschussversuche einheitlich und wiederholbar sind, wurden die Prüfungen standardisiert; neben einem allgemeinen Standardprüfversuch wurden für jedes einzelne Bauteil spezifische Bedingungen festgelegt.

7.2 Hagelwiderstandsklassen

Es wurden fünf Hagelwiderstandsklassen (HW 1–5) definiert, wobei 1 einem sehr schwachen und 5 einem sehr hohen Hagelwiderstand entspricht. Die Klassierung wurde aufgrund der kinetischen Energie eines Hagelkorns einer bestimmten Grösse beim Auftreffen auf die Gebäudehülle vorgenommen: in die schwächste Klasse HW 1 werden beispielsweise Bauteile eingeordnet, die beim Aufprall eines Kornes mit 10 mm Durchmesser noch schadenfrei bleiben, bei einem 20 mm Korn aber beschädigt werden. Bauteile, die erst beim Aufprall eines Kornes mit 30 mm Durchmesser beschädigt werden, werden in die Klasse HW 2 eingeordnet. Bauteile mit

HW 5 werden auch durch ein Hagelkorn mit 50 mm nicht beschädigt. Die Hagelwiderstandsklasse definiert also die Energie, bei der das Bauteil noch schadenfrei bleibt. Das Hagelkorn wird zur Berechnung der Masse und der Geschwindigkeit als kugelförmig angenommen. Die Dichte des Eises beträgt für die Berechnungen 870 kg/m³; dieser Wert wird sowohl bei natürlichem Hagel sowie bei den im Labor hergestellten, künstlichen Eiskugeln erreicht. Die Masse kann somit mit der Dichte und dem Volumen der Kugel mit dem entsprechenden Durchmesser berechnet werden. Die Geschwindigkeit beim Auftreffen eines Hagelkorns einer bestimmten Grösse auf die Erdoberfläche wird nach folgender Formel berechnet:

$$v_A = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_{\text{Eis}} \cdot d_H \cdot g}{3 \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot c_w}}$$

v_A : Aufprallgeschwindigkeit [m/s]

ρ_{Eis} : Eisdichte 870 [kg/m³]

ρ_{Luft} : Luftdichte 1.2 [kg/m³]

d_H : Durchmesser des Hagelkorns [m]

g : Gravitationsbeschleunigung [m/s²]

c_w : Luftwiderstandsbeiwert 0.50 [–]

Die jeweiligen Korndurchmesser, Massen, Fallgeschwindigkeiten und kinetischen Energien der fünf Hagelwiderstandsklassen sind in Tabelle 7.1. zusammengestellt. Bei den Energiewerten handelt es sich jeweils um die obere Grenze. Wird also ein Bauteil bei 3.4 Joule beschädigt, wird es der HW 2 zugeordnet, bei 3.6 Joule gehört es in HW 3. Da es sich bei den Klassen um grosse Energiebereiche handelt, soll der genaue Energiewert bei Schädigung jeweils nach der Klasse in Klammern angegeben werden, zum Beispiel HW 3 (3.6).

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

Tabelle 7.1: Hagelwiderstandsklassen 1–5.

7.3 Schadensdefinition

Wann ein Schaden eintritt muss für jedes Bauteil einzeln bestimmt werden. Dies ist deshalb schwierig, weil ein Bauteil meist mehrere Funktionen erfüllt. Von den elf untersuchten Typen konnten folgende elementaren Funktionen zusammengetragen werden:

- Wasserdichtheit das Bauteil schützt vor dem Eindringen von Wasser;
- Lichtdurchlässigkeit das Bauteil erlaubt die Lichttransmission;

- Lichtabschirmung das Bauteil schützt vor Lichteinstrahlung;
 - Mechanik das Bauteil besitzt einen Mechanismus;
 - Aussehen das Bauteil hat eine ästhetische Funktion.
- Die Grenze zwischen einem unbeschädigten und einem beschädigten Bauteil wird als Schadenskriterium bezeichnet. Da bei mehreren Funktionen die Schadenskriterien verschieden sind, kann ein Bauteil verschiedene HW-Klassen haben. Die jeweiligen Funktionen der Bauteile sowie die Schadenskriterien und Messmethoden sind in Tabelle 7.2 aufgelistet.

Bauteil	Funktion	Schadenskriterium	Messmethode
Ziegel	Wasserdichtheit	Riss	Klangprobe
	Aussehen	Absplitterung > 1 cm ²	Visuell
Rollladen	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm	Längenmessung
	Mechanik	Versagen des Aufzugs-systems	5x Aus- und Einfahren
	Aussehen	Delle	Visuell im Schräglicht
Raffstoren	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm	Längenmessung
	Mechanik	Versagen des Aufzugs-systems und Versagen der Lamellensteuerung	5x Aus- und Einfahren und 5x Kippen der Lamellen
	Aussehen	Delle	Visuell im Schräglicht
Verglasung	Wasserdichtheit	Bruch	Visuell
	Aussehen	Oberflächenänderung	Visuell im Schräglicht
Blech	Wasserdichtheit	innerhalb 1 h leck	Beschussort in horizontaler Lage fluten mit 10 mm Wassertiefe
	Aussehen	Delle	Visuell im Schräglicht
Faserzement	Wasserdichtheit	Riss > 0.02 mm, Bruch	Mit Lupe (6-fache Vergrößerung)
	Aussehen	Delle	Visuell im Schräglicht
Putz	Wasserdichtheit	Riss	Im Frontlicht mit Lupe (6-fach)
	Aussehen	Delle, Oberflächenänderung	Visuell im Schräglicht
Holz	Wasserdichtheit	unbeschichtet: Riss > 0.5 mm beschichtet: Riss	Messen Visuell im Schräglicht
	Aussehen	unbeschichtet: Delle > 0.5 mm beschichtet: Delle	Messen Visuell im Schräglicht
Dichtungsbahn	Wasserdichtheit	Perforation	Norm EN 13583
Kunststoffplatte	Wasserdichtheit	Perforation, Riss	Norm EN 13583
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch, innerer Materialdefekt	Visuell im Gegenlicht
	Aussehen	Oberflächenänderung	Visuell im Schräglicht
Lichtkuppel	Wasserdichtheit	Riss, Bruch	Visuell
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch	Visuell im Gegenlicht
	Mechanik	Schliesssystem versagt	5 x Öffnen und Schliessen
	Aussehen	Oberflächenänderung, Bruch oder Riss der unterliegenden Schale	Visuell im Schräglicht

Tabella 7.2: Bauteile mit den Funktionen, den Schadenskriterien und den Messmethoden.

7.4 Prüfung des Hagelwiderstandes

7.4.1 Allgemeine Prüfbedingungen

Um eine einheitliche Ausgangslage zu schaffen, wurde ein Standardprüfversuch festgelegt. Mit dessen Hilfe können in Zukunft Bauteile geprüft und in Hagelwiderstandsklassen eingeteilt werden. Neben den allgemeinen Prüfbedingungen wurden für jedes Bauteil weitere spezifische Prüfbedingungen definiert, die Angaben über den Versuchsaufbau, den Beschusswinkel etc. enthalten. Die allgemeinen Prüfbedingungen beinhalten die folgenden Voraussetzungen:

- **Prüfprinzip:** Simulation der natürlichen Hageleinwirkung durch Einzelbeschuss von Fassaden- und Bedachungsmaterialien mit künstlich hergestelltem Hageleis;
- **Prüfgerät:** beschleunigt das Projektil auf die gewünschte Geschwindigkeit, wobei die Beschussrichtung beliebig gewählt werden kann, der bauteilspezifische Beschusswinkel jedoch eingehalten werden muss. Es erfolgt ein kontrollierter Einzelschuss auf die bauteilspezifisch aufgebaute Probe;
- **Beschusswinkel:** Winkel zwischen Beschussrichtung und Auflageebene des Probekörpers. Grundsätzlich werden Bedachungsmaterialien im 90° Winkel und Fassadenmaterialien im 45° Winkel beschossen;
- **Beschussort:** ist abhängig vom Bauteil und Einsatzbereich und stellt die schwächste Stelle dar;
- **Projektil:** rissfreie und porenarme Eiskugel nach speziellem Verfahren hergestellt und bei -20° C gelagert, Durchmesser von 10 bis maximal 50 mm. Von der Kugel abweichende Formen sind möglich, müssen aber im Prüfbericht detailliert beschrieben werden;
- **Prüfklima:** Raumtemperatur von 23° C \pm 2° und relative Luftfeuchtigkeit von 50% \pm 10%;
- **Vorlagerung der Probe:** bauteilspezifisch festgelegt, regelt die langfristige Lagerung der Probe vor der Prüfung;
- **Vorbehandlung der Probe:** bauteilspezifisch festgelegt, regelt die Handhabung der Probe unmittelbar vor der Prüfung;
- **Messgrösse:** gemessen werden die Masse und die Geschwindigkeit des Projektils. Die Masse wird innerhalb von 2 Minuten vor dem Schuss bestimmt, die Geschwindigkeit wird 300 mm vom Probekörper entfernt gemessen. Beide Grössen dienen zur Bestimmung der kinetischen Energie und damit zur Bestimmung der Hagelwiderstandsklasse;
- **Messtoleranz:** beträgt für die Masse des Projektils \pm 2% und für die Geschwindigkeit \pm 1%;
- **Versuchsdurchführung:** Um die Probe auf einen bestimmten Hagelwiderstand zu testen, wird der Probekörper mit der kinetischen Energie der entsprechenden Hagelwiderstandsklasse beschossen (Tabelle 6.2). Damit der Energiewert der Klassengrenze auch sicher erreicht wird, empfiehlt es sich, den Beschuss mit einer leicht höheren Energie durchzuführen. Das kann erreicht werden, indem die Geschwindigkeit des Beschusses über der entsprechenden

Klassengrenze gewählt wird. Zu jedem Hagelwiderstand muss der passende Projektildurchmesser verwendet werden: Die Prüfung für die Hagelwiderstandsklasse 1 (HW 1) verlangt einen Durchmesser von 10 mm, für HW 2 20 mm Projektildurchmesser, für ein HW 3 30 mm Durchmesser, für HW 4 40 mm Durchmesser und für HW 5 50 mm Durchmesser. Wird die Probe durch den Beschuss beschädigt, wird ein neuer Probekörper mit der Geschwindigkeit der nächst tieferen Klassengrenze beschossen. Bleibt der Probekörper unbeschädigt, wird der Versuch auf mindestens vier weitere Probekörper ausgeweitet (total mindestens fünf Proben). Bleibt die Probe nach dem Beschuss unbeschädigt, kann das Bauteil der entsprechenden Hagelwiderstandsklasse zugeordnet werden. Dabei muss beachtet werden:

- o Die Proben müssen hintereinander beschossen werden.
- o Ein mehrmaliger Beschuss derselben Probe ist möglich, wenn die bauteilspezifischen Angaben zum Beschussort berücksichtigt werden können und eine ungünstige Beeinflussung durch den vorgängigen Beschuss ausgeschlossen werden kann.
- o Die Masse der Projektilen darf im Bereich der Massentoleranz schwanken.
- o Die Geschwindigkeiten der mindestens fünf Schüsse müssen im Variationsbereich von 1 m/s sein, das heisst die Spanne zwischen dem kleinsten und dem grössten Geschwindigkeitswert ist maximal 1 m/s.

- **Versuchsauswertung:** Der Energiewert aller fünf oder mehr Proben wird gemittelt und auf die erste Dezimalstelle gerundet. Dieser gemittelte Energiewert wird der Widerstandsklasse in Klammern beigeführt.
- **Bauteilfunktion:** Das Bauteil erfüllt mehrere Funktionen. Diese können durch den Beschuss direkt beeinträchtigt werden. Die Projektilenergie, welche zur Schädigung nötig ist, hängt vom Bauteil und der Funktion ab.
- **Schadenskriterium:** setzt die Schwelle fest, bei welcher im Falle eines Erreichens oder Überschreitens die Bauteilfunktion nicht mehr erfüllt werden kann und das Bauteil in Bezug auf diese Funktion beschädigt ist.
- **Messmethode:** beschreibt den Weg, wie die Bauteilfunktion überprüft werden soll. Erfüllt das Bauteil mehrere Funktionen, werden entsprechend mehrere Messmethoden angewendet.
- **Prüfbericht:** muss Angaben zu Gerät, Bauteil, Versuchsaufbau, Projektil, Durchführung und Ergebnisse enthalten.

7.4.2 Bauteilspezifische Prüfbedingungen

In den bauteilspezifischen Prüfbedingungen sind alle zusätzlichen, nicht in den allgemeinen Prüfbedingungen vorhandenen Angaben zu finden. Dies sind genaue Angaben zu Art und Grösse des Bauteils, Versuchsaufbau, falls erforderlich spezielle Vorlagerung und Vorbehandlung der Probe, Beschussorte, Funktionen des Bauteils, sowie das Schadenskriterium und dessen Messmethode.

7.5 Resultate

Aufgrund der Laborresultate im Teilprojekt Hagelwiderstand wurden die elf typischen Gebäudehüllen in Hagelwiderstandsklassen eingeteilt; in Tabelle 7.3 sind die Resultate zusammengestellt. Die getesteten Objekte sind Stichproben aus einer

grossen Produktpalette und die Prüfung erfolgte im Wesentlichen nach den im Bericht «Elementarschutzregister» vorgeschlagenen Prüfverfahren, das nach den Laborversuchen erstellt wurde. Die Resultate sind orientierende Richtwerte für die Bauteilkategorie. Sie variieren je nach Ausführung, Qualität und Hersteller.

7 Elementarschutzregister Hagel

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Ziegel	Biberschwanz (Ton)	ohne Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flachziegel (Ton)	mit Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Rollladen	Hohlprofil (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	geschäumt	0.25	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	Ganzmetall	0.9	Fassade	Aussehen	2
Raffstoren	Blech gefaltet (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Blech gebogen (Metall)		0.6	Fassade	Aussehen	1
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
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	
Faser-zement-platten	Gewellt	unbeschichtet	5.5	Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flach	lasierende Beschichtung	6.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
					Aussehen	5
Putz auf Aussenwärme-dämmung	Kunststoffputz auf EPS			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Silikatputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Kunststoffputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Holzbretter	Lärche	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	1
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
	Fichte	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW	
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	
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*	
		schlagzäh, S4P 32		Dach	Wasserdichtheit	4*	
					Lichtdurchlässigkeit	3*	
		schlagzäh WP 76/18	4	Dach	Wasserdichtheit	4*	
				Fassade	Wasserdichtheit	3*	
		Polycarbonat (PC)	Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
			S3P 16		Dach	Wasserdichtheit	5*
	Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK-UP)	Trapez	1.4	Dach	Wasserdichtheit	2*	
					Aussehen	1*	
				Fassade	Wasserdichtheit	3*	
					Aussehen	1*	
		Welle	1.4	Dach	Wasserdichtheit	3*	
					Aussehen	1*	
				Fassade	Wasserdichtheit	3*	
					Aussehen	2*	
Strukturplatte	2.0	Dach	Aussehen	2*			
Flachplatte	5.0	Fassade	Wasserdichtheit	5*			
			Aussehen	3*			
Licht-Kuppel	Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	2*	
	Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	5*	
					Aussehen	3*	

Tabella 7.3: Aufstellung der Bauteile mit der jeweiligen Funktion und HW-Klasse.

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

8.1 Fortschreibung von Baunormen

Die vorliegenden Untersuchungen liefern erstmals detaillierte Angaben zur örtlichen Hagelintensität in der Schweiz in Bezug auf verschiedene Wiederkehrperioden. Hagel als Einwirkung auf Bauwerke ist bereits heute gemäss Norm SIA 261/1 zu berücksichtigen. Die Gefahr aus Hagel kann nun in ähnlicher Detaillierung wie die Gefahr aus Wind oder Schnee gemäss Norm SIA 261 aufgezeigt werden. Die entsprechenden Ergänzungen in der Norm SIA 261/1 sind vorzunehmen.

Mittel- bis langfristig sollen alle Produktnormen von Baumaterialien der Gebäudehülle eine Klassierung in Bezug auf den Hagelwiderstand enthalten. Bis zu diesem Zeitpunkt schliesst das Elementarschutzregister Hagel für die Planer und Versicherungen diese heutige Lücke.

8.2 Umsetzung des Elementarschutzregisters Hagel

Die Untersuchungen zeigen, dass die Einführung des «Elementarschutzregisters Hagel» in der Praxis vorrangige Bedeutung hat. Hierzu stehen nun wesentliche Grundlagen bereit. Das weitere Vorgehen bis zum Start der Registereintragungen kann sich folgendermassen gliedern:

- Projektorganisation «Elementarschutzregister Hagel» bestimmen;
- Prüfvorschriften pro Baumaterial gemäss der Vorlage des Präventionsprojektes besprechen und in die externe Vernehmlassung geben;
- Hagelwiderstandsklassen gemäss Vorlage des Präventionsprojektes besprechen und verabschieden;
- Regelung der Beantragung und der Zertifizierung des Prüfregistereintrages;
- Inhalt, Layout und Softwarelösung für den Registereintrag definieren.

8.3 Massnahmen seitens der Kantonalen Gebäudeversicherungen

Die folgenden Massnahmen stellen einen Fächer an Möglichkeiten dar, welche seitens der Kantonalen Gebäudeversicherungen zur Hagelschadenprävention ergriffen werden können:

- *Vermehrter fachlicher Austausch unter den kantonalen Gebäudeversicherungen zur Entschädigungspraxis bei Hagelschäden.* Ergebnis eines solchen Austauschs könnte ein Leitfaden für Schadensschätzer sein, der sich vor allem

auf ästhetische Schäden konzentriert und auf den unter 5.3 aufgeführten Einschätzungskriterien basiert. Zudem sollte den Experten der Gebäudeversicherungen vermehrt Gelegenheit zum Erfahrungsaustausch gegeben werden, etwa durch kantonsübergreifende Tagungen und Weiterbildungen, bei denen konkrete Fallbeispiele zur Sprache kommen. Ziel wäre die Herausbildung einer Schadenpraxis unter Zugrundelegung der gesetzlichen Einschränkung, dass voraussehbare und mit angemessenem Aufwand vermeidbare Schäden nicht vergütet werden.

- *Information und Sensibilisierung von Bauherren, Baufachleuten und Produzenten von Baumaterialien.* Im Mittelpunkt steht das witterungsgerechte Bauen. Dabei könnte die Einführung des Elementarschutzregisters Hagel als Anlass für Fachveranstaltungen und Informationsmaterialien genutzt werden, in denen neben Hagel auch andere Naturgefahren wie Starkregen und Sturm zur Sprache kommen.

- *Information und Sensibilisierung von Inhabern und Nutzern von Gebäuden.* Zentrales Thema ist der fachgerechte Umgang mit Sonnenschutzsystemen, Rollläden und Raffstoren. Dazu eignet sich zum Beispiel ein Falblatt, das breit gestreut werden kann. Wichtig ist auch gezielte Medienarbeit.

- *Bauherrenberatung.* Bei der Ersteinschätzung beziehungsweise periodischen Neueinschätzung eines Gebäudes weisen die Schätzer der Kantonalen Gebäudeversicherungen systematisch auf gute Voraussetzungen beziehungsweise Verbesserungspotenzial beim Schutz vor Hagel (und anderen Naturgefahren) hin.

- *Proaktives Handeln der Gebäudeversicherungen in Bezug auf neue Materialien.* Neue Entwicklungen im Bereich der Baumaterialien sollten etwa von der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF aktiv verfolgt werden, um auf günstige beziehungsweise ungünstige Entwicklungen frühzeitig Einfluss nehmen zu können. Ein aktuelles Thema sind beispielsweise nanotechnische Beschichtungen.

- *Ausbau des Elementarschutzregisters Hagel.* Im Elementarschutzregister werden künftig auch das Alterungsverhalten sowie spezielle Formen, in denen ein Material verwendet wird, zum Beispiel Well-Eternit im Vergleich zu Eternit-Platten, berücksichtigt – beispielsweise durch einen Kommentar zu Produkten, die einer erhöhten Alterung unterworfen sind, oder Vorgaben zu deren Nutzungsdauer. Zudem werden in das Register auch Farben, Lasuren und Beschichtungen aufgenommen. Das Elementarschutzregister Hagel wird mit anderen, ähnlich gelagerten Verzeichnissen und Bestimmungen für weitere Elementarschäden abgestimmt.

- *Zertifikat «Witterungsgerechtes Bauen»*. Die kantonalen Gebäudeversicherungen fördern die Einführung einer Zertifizierung für «Witterungsgerechtes Bauen» (Arbeitstitel). Das Zertifikat kann von Architekten, Generalunternehmern und Bauingenieuren erworben werden.

8.4 Ergänzende Untersuchungen

Das Alterungsverhalten und die Lebensdauer der Baumaterialien hinsichtlich eines ausreichenden Hagelwiderstandes stellen wichtige Grundfragen dar, welche im vorliegenden Projekt nicht mit der notwendigen Tiefe behandelt werden konnten. Diese Abklärungen sind ergänzend durchzuführen. Teilweise kann auf frühere Untersuchungen der EMPA Dübendorf zurückgegriffen werden. Ergänzende Tests sind zudem hinsichtlich der Prüfbedingungen zu anderen Baumaterialien noch durchzuführen.

Das Monitoring und die Auswertung der Hagelstürme mittels Radarinformationen sollte durch die Versicherungen systematisch fortgeführt werden, um mittelfristig detailliertere Karten erstellen und Veränderungen feststellen zu können.

Aufprallgeschwindigkeit: Die Geschwindigkeit eines Hagelkornes beim Aufprall.

Bauteil: Das Bauteil ist ein Element der Gebäudehülle, welches aus einem oder mehreren Materialien zusammengesetzt ist.

Bauteilfunktion: Das Bauteil erfüllt eine oder mehrere Funktionen, wie zum Beispiel Wasserdichtheit oder Lichtabschirmung. Die Bauteilfunktionen müssen für das jeweilige Bauteil definiert werden.

Bauteilkategorie: Die Bauteile werden in Kategorien gruppiert. Beispielsweise gehören zur Bauteilkategorie «Verglasung» die Bauteile Drahtglas, Floatglas, Einscheibensicherheitsglas (ESG), Verbundsicherheitsglas (VSG) und Isolierglas.

Beschussort: Der Beschussort ist die Stelle, welche vom Projektil getroffen wird. Für die Standardprüfung ist der Beschussort abhängig vom Bauteil und vom Einsatzbereich.

Beschussreihe: Mehrere Beschussorte angeordnet auf einer Linie, in der Regel mit dem minimalen Abstand von 150 mm zwischen den Beschussorten und mindestens 75 mm Abstand vom Rand.

Beschussrichtung: Die Beschussrichtung ergibt sich aus der Anordnung des Prüfgerätes. Die Beschussrichtung kann beliebig gewählt werden, im Rahmen dieses Projektes ist die Beschussrichtung vertikal.

Beschusswinkel: Der Beschusswinkel ist definiert als Winkel zwischen Beschussrichtung und Auflageebene des Probekörpers. Der Beschusswinkel ist für Bauteile welche als Dachbauteil eingesetzt werden 90° , für Bauteile an der Fassade beträgt der Beschusswinkel 45° .

Dach: Das Dach umfasst sämtliche Gebäudeelemente, welche horizontal oder vertikal bis zu einem Winkel $< 80^\circ$ angeordnet sind.

Fassade: Die Fassade umfasst sämtliche Gebäudeelemente, welche mit einer Abweichung von $\pm 10^\circ$ vertikal sind.

Hagelwiderstandsklasse: Aufgrund der kinetischen Energie des fallenden Hagelkornes werden Klassen des Hagelwiderstandes gebildet. Die erste Klasse (HW 1) entspricht der Energie eines runden Hagelkornes von 10 mm Durchmesser. Die Klassierung steigt bis zu einem HW 5, was einem Hagelkorn mit 50 mm Durchmesser entspricht.

Nominell: Nach Angaben des Herstellers.

Schadensklasse: Die Schadensklassen erlauben ein systematisches Erfassen von Hagelschäden an den Bauteilen. Sie teilen sich in Oberflächenschaden, Formschaden und Strukturschaden. Die Schadensklassen werden weiter in Schadenstypen gegliedert. Die Schadensklasse lässt keine Rückschlüsse zur Hagelwiderstandsklasse zu.

Schadenstyp: Der Schadenstyp dient der weiteren Unterteilung der Schadensklasse. Beispielsweise wird die Schadensklasse Formschaden in die beiden Schadenstypen Delte (F 1) und Verbiegung (F 2) gegliedert. Der Schadenstyp lässt keine Rückschlüsse zur Hagelwiderstandsklasse zu.

Schadenskriterium: Das Schadenskriterium setzt die Schwelle fest, bei welcher im Falle eines Erreichens oder Überschreitens die Bauteilfunktion nicht mehr erfüllt werden kann und das Bauteil in Bezug zu dieser Funktion beschädigt ist.

Schädigungsarbeit (w_s): Kin. Energie (Joule), bei der ein Schaden zum 1. Mal auftritt, nach der Formel $E_{kin} = mv^2/2$ berechnet, m = Masse, v = Geschwindigkeit.

Schädigungsgeschwindigkeit (v_s): Geschwindigkeit (m/s), bei der ein Schaden zum 1. Mal auftritt.

Weissbruch: Mechanische Einwirkung auf Kunststoff erzeugt innere Verstreckungen. Bei transparenten Materialien wird die Lichtdurchlässigkeit verändert, bei eingefärbten Materialien hellt sich die Oberfläche auf.

Wetterradar: Aussendung elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlänge von 1 bis 10 cm als kurzer, energiereicher Impuls in die Atmosphäre.

10.1 Teilberichte des vorliegenden Syntheseberichtes

Teilprojekt «Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrössen – eine Abschätzung», Dr. Hans-Heinrich Schiesser, Zürich, 2006

Teilprojekt «Hagelwiderstand der Gebäudehülle, Archivdaten der Empa 1970–2005», P. Flüeler, A. Staudenmaier, Empa Dübendorf, 2005

Teilprojekt «Hagelwiderstand der Gebäudehülle, experimentelle Ermittlung des Hagelwiderstandes», P. Flüeler, M. Stucki, Empa Dübendorf, 2007

Teilprojekt «Schadenpotenziale», Dr. A. Eckhardt Scheck, P. Wörndle, M. Leonarz, P. Lattmann, Basler & Hofmann AG, Zürich, 2007

Teilprojekt «Elementarschutzregister», Dr. P. Vanomsen, Dr. Th. Egli, Egli Engineering, St. Gallen, 2007

