



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:

ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS HAGEL

Maja Stucki, Thomas Egli, Dörte Aller, Daniel Rüttimann



Gärtnerei (Egli Engineering)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:

Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts

Prozess Lawine

Prozess Hochwasser

Prozess Murgang

Prozess Sturz

Prozess spontane Rutschung / Hangmuren

Prozess permanente Rutschung

Prozess Erdbeben

Prozess Sturm

Prozess Hagel

Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Hagel anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich beim Prozess Hagel um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von denen bei gravitativen Prozessen unterscheiden, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt – anders als bei den gravitativen Naturgefahren – nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt. Eine wichtige Grundlage für die folgenden Betrachtungen sind die Ergebnisse des Projekts «Elementarschutzregister Hagel» [79, 77]. Für die Beurteilung sind verschiedene Grundlagen in der Literatur zu finden. Zielpublika für Abklärungen zum Hagelrisiko sind insbesondere Gebäudeeigentümer, Planer, Versicherungen, Autohändler und die Landwirtschaft.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Hagel charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird kurz ein Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses Hagel

Form und Grösse der Eiskörner sowie Art und Intensität der Hagelwirkung werden beeinflusst durch das Klima, die Topographie und die Windverhältnisse.

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. Grau-

pelkörner 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 Schwebelage gehalten, so können sie der umströmenden Wolkenluft die enthaltenen Wassertröpfchen und Eiskristalle entziehen und weiterwachsen. Die Aufwinde sind meist in engen Schloten innerhalb des Gewitters konzentriert. Wenn der Auftrieb in einem Aufwindschlot plötzlich nachlässt, dann fällt die vorher in Schwebelage gehaltene Tropfen- und Hagelmasse schlagartig 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.

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hagel

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Einleitung

Neben den üblichen Vorbereitungsarbeiten (s.a. Teil A, Abschnitt 3.1, Seite 10ff) müssen verschiedene Grundlagen, wie Ereigniskataster, technische Berichte und Gutachten (auch zu ähnlichen Situationen), Zeitungsberichte, aber auch mündliche Erfahrungsberichte etc. zusammen gestellt werden. Dazu gehören auch Daten zu menschlichen Aktivitäten im Betrachtungsgebiet inkl. deren potenzielle zukünftige Entwicklung sowie Daten zu natürlichen Gegebenheiten inkl. Vegetation und meteorologische Daten etc.

1.2.2 Gefahrenanalyse

1.2.2.1 Ereignisanalyse

In der Ereignisanalyse werden die zu berücksichtigenden Gefahren identifiziert und spezifiziert. Als Grundlage für die Ereignisanalyse bei Hagel können die folgenden Informationsquellen dienen:

- Ereignisdaten von Messungen, Beobachtungen oder Radardaten;
- Schadendaten von Versicherungen (Gebäude-, Auto – und Landwirtschaftsversicherungen).

Im Folgenden werden die gängigen Methoden, die bei der Gefahrenabschätzung ihre Anwendung finden, kurz vorgestellt. Diese Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefahrenbeurteilung erhebt jedoch nicht den Anspruch der Vollständigkeit, sondern muss durch Expertenwissen ergänzt werden.

Methode Schiesser [66]: Zur Abschätzung der Wiederkehrperioden von bestimmten Hagelkorngrößen in ausgewählten Regionen der Schweiz können Radardaten verwendet werden. Dazu werden raum-zeitliche Niederschlagsmessungen von operationellen Wetterradaren verwendet. Die höchste auf dem Radarbild erkennbare Niederschlagsintensität entspricht der Grenze zwischen Starkregen und Hagelschlag. Diese Intensitätsflächen werden von Hagelzellen verursacht, welche aus den Niederschlagsbildern nach bestimmten Kriterien extrahiert werden können. Werden solche Hagelzellen über einen längeren Zeitraum erfasst, erhält man eine Hagelsturmklimatologie. Die Stürme werden anhand ihrer Sturmzentren elf Klimazonen zugeordnet. 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, potentiell verhagelte Fläche, Höhe der Hagelzelle, Zuggeschwindigkeit der Zelle und Lage des Sturmzentrums in Bezug auf die Klimazonen. Zusätzliche Informationen wurden von einem Forschungsradar der ETH Zürich geliefert, mit dem von 1992 – 1996 alle starken Hagelzellen im Umkreis von 100 km detailliert erfasst wurden. Die relativ kurzen Zeitreihen von 9 bzw. 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. Mit diesen Daten konnten verschieden starke Hagelschlaggebiete, mit Angabe einer dort vorkommenden, maximalen Hagelkorngröße (z.B. 2 cm Durchmesser) unterschieden werden. Die einzelnen Korngrößenflächen werden über alle Stürme in einer Klimazone aufsummiert und auf ein Jahr normiert, anschliessend durch die Fläche der Klimazone dividiert. Wir erhalten eine Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Hagelkorngröße pro km². Daraus lässt sich die Wiederkehrperiode (WP) berechnen (1 / Häufigkeit pro Jahr).

Schweizerische Hagelversicherung: Es existiert eine Statistik der Hagelschäden an landwirtschaftlichen Kulturen pro Gemeinde resp. Gemeindeverzeichnis mit Anzahl Hagelschadenjahre zwischen 1961 und 2004. Zu beachten ist, dass Hagelschäden in einer Gemeinde nur verzeichnet werden, wenn in der Gemeinde versicherte Kulturen vorhanden und betroffen sind. Zudem variiert die Hagelempfindlichkeit von Kultur zu Kultur und auch innerhalb einer Wachstumsphase.

1.2.2.2 Wirkungsanalyse

Zur Abschätzung der zu erwartenden Intensitäten werden historische Daten ausgewertet; es wurden bisher keine Klimamodelle angewendet. Die Intensität ist an die Hagelkorngröße gekoppelt; es gibt hierzu nach **Schiesser** [66] verschiedene Möglichkeiten der Klassierung:

Intensität: Hagelkorngrößen < 2 , $2 \text{ bis } < 3$, $3 \text{ bis } < 4$, $\geq 4 \text{ cm}$ oder ≥ 1 , ≥ 2 , ≥ 3 , $\geq 4 \text{ cm}$

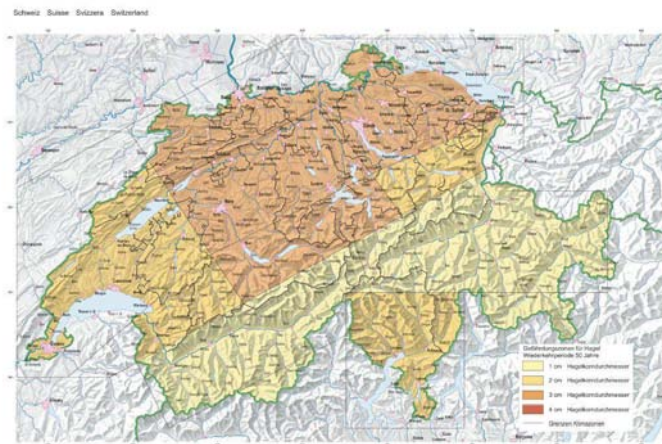
Klimazonen: Im Rahmen des NFP31 wurde die Schweiz in 9 Klimazonen unterteilt: 8 nördlich der Alpen und 1 südlich. In einer Studie über Wiederkehrperioden von bestimmten Hagelkorngrößen in der Schweiz [66] wurden die 9 Zonen um 2 weitere ergänzt (Wallis und Graubünden).

Szenarien: Es werden die Intensitäten mit verschiedenen Wiederkehrperioden dargestellt. Für verschiedene Wiederkehrperioden werden also die zu erwartenden Korngrößen in verschiedenen Klimaregionen angegeben (Tabelle 1.1, Abbildung 1.1).

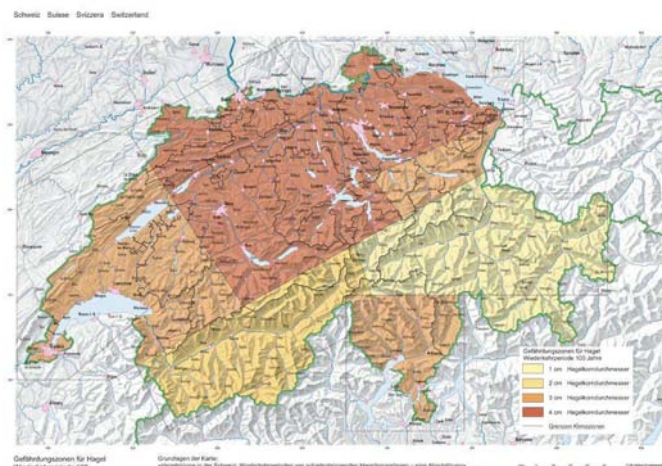
Nach der **Schweizerischen Hagelversicherung** wird die Intensität hier an die Häufigkeit von Hagelschäden an landwirtschaftlichen Kulturen gekoppelt, die Korngrösse wird nicht berücksichtigt. Die Hagelhäufigkeit wird in 4 Abstufungen (gering, leicht erhöht, erhöht, sehr schwer) kartographisch dargestellt und die Anzahl Hagelschadenjahre werden pro Gemeinde aufgelistet.

Tabelle 1.1: Tabelle mit mindestens zu erwartenden Korngrößen (in cm) in den Klimazonen nach Schiesser bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden (WP) [77].

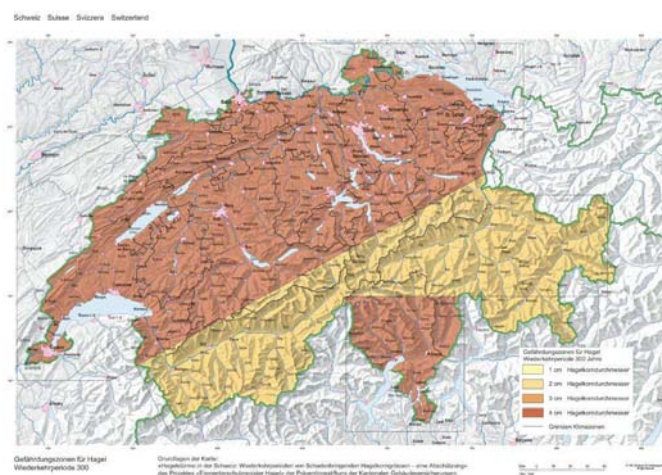
WP	AE	AZ	AW	ME	MZ	MW	JE	JW	AS	GR	VS
1	1	1		1	1		1	1			
5	1	2	1	2	2	1	2	1	1		
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
20	2	2	2	3	3	2	3	2	2	1	1
30	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
50	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
100	3	4	3	4	4	3	4	3	3	1	2
250	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
300	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2



(a) Wiederkehrperiode 50 Jahre



(b) Wiederkehrperiode 100 Jahre



(c) Wiederkehrperiode 300 Jahre

- 1 cm Hagelkorndurchmesser
- 2 cm Hagelkorndurchmesser
- 3 cm Hagelkorndurchmesser
- 4 cm Hagelkorndurchmesser
- Grenze Klimazonen

Abbildung 1.1: Intensität nach Hagelkorndurchmesser für verschiedene Wiederkehrperioden (a, b, c), nach [77].

1.2.3 Expositionsanalyse

Als Resultat der Gefahrenanalyse wurden Intensitätskarten erzeugt. Diese visualisieren den Gefahrenraum und zeigen damit, welche Objekte in welchen Intensitätszonen liegen und wie 'exponiert', also potentiell gefährdet, sie sind. Die Objekte sind nun in der Expositionsanalyse genau zu beschreiben.

Für ein konkretes Schutzprojekt müssen diese Daten in der Regel zunächst erhoben werden. Gebäudedaten wie z.B. Grundbuchamtsdaten, Bauzonenpläne und Einwohnerdaten sind zwar verfügbar, müssen aber in ihrem Umfang auf den Untersuchungsperimeter eingegrenzt werden. Es sind räumlich fixe Objekte und mobile Objekte zu unterscheiden.

Für die **fixen Objekte** sind folgende Daten zu bestimmen:

Lage der Gebäude und Infrastrukturanlagen: Die Lage der Gebäude und Infrastrukturanlagen kann über die Adresse bestimmt werden. Gegebenenfalls muss der Einfluss (Abdeckung) der Umgebung einbezogen werden.

Art der Gebäudehüllen: Hagel schädigt in erster Linie die Gebäudehülle, daher ist diese zu erheben: Pro Bauteilkategorie (Ziegel, Rollläden, Lichtkuppeln, Holzbretter, etc.) sind Fläche und Material zu bestimmen. Der Einsatz des Materials am Dach oder an der Fassade ist zu unterscheiden.

Wert der Gebäudehülle: Der Wert der Gebäudehülle ist pro Bauteilkategorie und für Dach oder Fassade getrennt zu erfassen. Diese müssen objektbezogen erfasst werden. Bisher liegen diese Werte nicht systematisch vor.

Folgeschäden: Ist mit Folgeschäden im Inneren des Gebäudes zu rechnen, z.B. wenn Lichtkuppeln zerstört werden können und Regen die Maschinenhalle überschwemmen würde, so sind auch diese Werte zu eruieren.

Landwirtschaft: Die Lage und die anzubauende Kultur muss erfasst werden. Es sind der Ertragswert und bei mehrjährigen Kulturen gegebenenfalls mehrjährige Werte (evtl. nur teilweise, falls nur mit Teilschäden zu rechnen ist) zu erfassen. Landwirtschaftsverbände oder die Hagelversicherung können hierzu Auskünfte erteilen.

Daneben sind Art und Anzahl von mobilen Objekten (z.B. Autos, Busse) und deren Ort und Aufenthaltsdauer zu identifizieren.

1.2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wird durch Überlagerung der Intensitätskarten und der potentiell gefährdeten Objekte unter Einbezug der Verletzlichkeit, der Letalität und der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit das Schadenausmass im Ereignisfall für jedes Objekt und jedes Ereignisszenario bestimmt. Das Ergebnis ist das Schadenausmass für Personen und Sachwerte.

1.2.4.1 Grundlagen für die Empfindlichkeit von Gebäudehüllen

Als Grundlage zur Bestimmung der Empfindlichkeit von Gebäudehüllen können Angaben aus der Literatur verwendet werden [36] oder Auswertungen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» [77, 29] dienen. Dabei wurden 5 Hagelwiderstandsklassen definiert und typische Gebäudehüllen durch künstlichen Hagelbeschuss klassiert. Die Werte sind als Richtwerte zu verstehen (Tabellen 1.2 und 3.1)).

Tabelle 1.2: 5 Hagelwiderstandsklassen nach Hagelkorndurchmesser mit dazugehöriger Masse und Geschwindigkeit und daraus resultierender kin. Energie.

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

1.2.4.2 Schadenausmass von Gebäudehüllen

Wann ein Schaden eintritt, muss für jedes Bauteil einzeln bestimmt werden. Dies ist deshalb schwierig, weil ein Bauteil meist mehrere Funktionen erfüllt. Von im Rahmen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» 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. Die jeweiligen Funktionen der Bauteile sowie mögliche Schadenskriterien sind in Tabelle 1.3 aufgelistet.

1.2.4.3 Schadenausmass für Sachwerte auf Parkplätzen und Verkehrsachsen (Autos)

Wird das gesamte Hagelzugsgebiet betrachtet so kann mit einer Betroffenheit von 40 % bis 60 % gerechnet werden. Der Durchschnittschaden liegt bei 2'000 bis 3'000 CHF pro Auto [37]. Handelt es sich um Autoverkaufsflächen an einem Ort und grösstenteils um neue Objekte, dann müssen die spezifischen Werte erhoben werden.

Tabelle 1.3: Schadenskriterien der einzelnen Bauteile von Gebäudehüllen.

Bauteil	Funktionen	Schadenskriterium
Ziegel	Wasserdichtheit	Riss
	Aussehen	Absplitterung > 1 cm ²
Rollladen	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm
	Mechanik	Versagen des Aufzugssystems
	Aussehen	Delle
Raffstoren	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm
	Mechanik	Versagen des Aufzugssystems und Versagen der Lamellensteuerung
	Aussehen	Delle
Verglasung	Wasserdichtheit	Bruch
	Aussehen	Oberflächenänderung
Blech	Wasserdichtheit	innerhalb 1 h Leck
	Aussehen	Delle
Faserzement	Wasserdichtheit	Riss > 0.02 mm, Bruch
	Aussehen	Delle
Putz	Wasserdichtheit	Riss
	Aussehen	Delle, Oberflächenänderung
Holz	Wasserdichtheit	unbeschichtet: Riss > 0.5 mm beschichtet: Riss
	Aussehen	unbeschichtet: Delle > 0.5 mm beschichtet: Delle
Dichtungsbahn	Wasserdichtheit	Perforation
Kunststoffplatte	Wasserdichtheit	Perforation, Riss
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch, innerer Materialdefekt
	Aussehen	Oberflächenänderung
Lichtkuppel	Wasserdichtheit	Riss, Bruch
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch
	Mechanik	Schliesssystem versagt
	Aussehen	Oberflächenänderung, Bruch oder Riss der unterliegenden Schale

1.2.4.4 Schadenausmass Landwirtschaft

Das Schadenausmass (Ertragsverlust) hängt von der Empfindlichkeit der Kultur, dem Wachstumszustand und der Regenerationsfähigkeit ab. Die Schäden können schon ab 5 mm Korndurchmesser beginnen (z.B. bei Blüten). Schiesser [65] hat verschiedene Kulturen und Wachstumsphasen mit der Hagelintensität in Beziehung gesetzt. Bei mehrjährigen Kulturen können Schäden (z.B. am Stamm) die Erträge der Folgejahre beeinflussen.

1.3 Risikoermittlung

Im letzten Schritt der Risikoanalyse, der Risikoermittlung, wird das berechnete Schadenausmass mit der Häufigkeit des Ereignisses zum Risiko verknüpft. Die Einheit des Risikos beträgt daher entweder Todesopfer pro Jahr oder Geldeinheiten (z.B. CHF) pro Jahr. Die Ermittlung von individuellen Risiken hat eine untergeordnete Bedeutung.

1.4 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Die Risiken infolge Hagel umfassen vor allem Sachschäden. Daher müssen in erster Linie diese bewertet werden. Gemäss Risikokonzept (Teil A) erfolgt die Bewertung nach der Verhältnismässigkeit der möglichen Schutzmassnahmen. Sofern verhältnismässige Massnahmen möglich sind, wird ein Schutzziel für den Hagelschutz bei Gebäudehüllen mit einer Schadenfreiheit gegen ein 50 jährliches Ereignis definiert. Bei landwirtschaftlichen Kulturen liegt das Schutzziel oftmals tiefer.

Die individuellen Risiken betreffend Personen haben eine untergeordnete Bedeutung und müssen nicht bewertet werden.

1.5 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Für die Massnahmenplanung bei Hagel ist die Hagelkorngrösse in Bezug zur Häufigkeit die bestimmende Eingangsgrösse bei der Massnahmenplanung. Weitere wichtige Eingangsgrössen sind die Hagelkornform (spitze Auswölbungen), die Ablagerungsmächtigkeit pro Ereignis (Verstopfung von Abflüssen, Gewicht) und die Kombination mit Sturm (erhöhte Anprallgeschwindigkeit).

1.5.1 Mögliche Schutzmassnahmen bei Gebäuden

1.5.1.1 Verstärkung

Verstärktes Dachmaterial: Als Schutzmassnahme wird ausschliesslich Material verwendet, welches der Hagelanprallenergie standhält. Der Widerstand des Materials wird mittels Laborversuchen durch Senkrechtbeschuss bestimmt;

Verstärktes Fassadenmaterial: Als Schutzmassnahme wird ausschliesslich Material verwendet, welches der Hagelanprallenergie standhält. Der Widerstand des Materials wird mittels Laborversuchen durch Beschuss im Winkel von 45° bestimmt;

1.5.1.2 Abschirmung

Dachüberstände: Dachüberstände bilden einen hervorragenden Schutz der Fassade vor Schäden durch Hagel ohne Sturm;

Schutzgitter: Hagelschutzgitter über hagelempfindlichen Materialien stellen einen wirksamen, dauerhaften Schutz dar;

Schutznetze: Schutznetze können als vorübergehende Massnahme einen Schutz bilden;

Verschleisselemente: Zusätzliche Lagen desselben Materials von Dach und Fassade können den Hagelschutz im Sinne eines Verschleisselementes gewährleisten.

1.5.1.3 Organisatorische Massnahmen (Wegstellen)

Mobile Elemente (z.B. Rollläden, Sonnenstoren, etc.) bei Gewittergefahr einziehen. Die Warnung vor Gewittern wird durch die Medien verbreitet. Sie kann aber auch über SMS abonniert werden. Es ist sicherzustellen, dass die mobilen Elemente auch bei Abwesenheit eingezogen sind, d.h. entweder vor dem Verlassen einziehen oder durch Wind- und Sonnenwächter regeln lassen. Diese Massnahme funktioniert nur, wenn genügend Vorwarn- und Handlungszeit besteht.

1.5.2 Mögliche Schutzmassnahmen in der Landwirtschaft

1.5.2.1 Abschirmung

Schutznetze sind in der Landwirtschaft (insbesondere im Obstbau) die häufigste Schutzmassnahme gegen Hagelschäden.

1.5.2.2 Hagelabwehr

Durch den Beschuss von potentiellen Hagelwolken mit Silberjodid – mittels Raketen oder Flugzeugen – soll die Bildung grosser Hagelkörner verhindert werden. Die Wirksamkeit der Massnahme konnte bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden.

1.5.3 Mögliche Schutzmassnahmen bei Autos

1.5.3.1 Abschirmung

Schutzgitter bei Park- und Abstellplätzen: Schutzgitter aus verzinktem Stahl schützen Autos auf Park- und Abstellplätzen vor dem Hagelschlag. Der Lochdurchmesser dieser Gitter beträgt oft ca. 15 mm;

Schutzdecken: Auf das Auto aufgelegte spezielle Hagelschutzdecken vermögen den Hagelanprall wirkungsvoll zu dämpfen;

1.5.3.2 Organisatorische Massnahme

Autos sollten bei Gewittergefahr untergestellt werden (Garage/Schutzdach). Die Warnung vor Gewittern wird durch die Medien verbreitet. Sie kann aber auch über SMS abonniert werden. Unterwegs können auch Unterstände unter Brücken oder Parkhäuser aufgesucht werden. Diese Massnahme funktioniert nur, wenn genügend Vorwarn- und Handlungszeit besteht.

1.5.4 Bestimmen der Wirksamkeit

Bei der Hagelschadenprävention steht die Minderung des Schadenausmasses im Vordergrund. Die Wirksamkeit wird entsprechend der Verminderung des jährlichen Risikos in Bezug zu den jährlichen Kosten der Massnahmen gemessen.

1.5.5 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese setzen sich aus den Abschreibungen der Investitionskosten sowie den Kosten für Betrieb und Unterhalt zusammen. In Teil A wird das Vorgehen zur Berechnung der jährlichen Kosten von Massnahmen erläutert (Formel 5.1, Abschnitt 5.6, Seite 57ff).

1.5.6 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Das Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen ist bei der Hagelschadenprävention von hoher Bedeutung. So sind es verschiedene Akteure, welche das Ausmass an Hagelschäden beeinflussen. Diese Akteure bedürfen massgeschneiderter Informationen, damit die erwünschte Massnahmenkombination möglich wird.

1.5.7 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Kapitel 2

Fallbeispiel Hagelgefährdung eines Sportzentrums in Luzern

2.1 Einleitung

Als Fallbeispiel sollte das Hagelschadenrisiko eines Neubaus im zentralen Schweizer Mittelland abgeschätzt und effiziente Schutzmassnahmen evaluiert werden. Beim Neubau handelt es sich um ein Sportzentrum in Luzern.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Gefahrenanalyse diente die Studie von Schiesser [66]. Es wurden Szenarien mit einer Wiederkehrdauer von 5, 20, 50 und 100 Jahren angenommen.

2.2.2 Wirkungsanalyse

Als Annahme für die Intensität der als massgeblich festgelegten Szenarien wurden die in Abbildung 1.1 (a) (Seite 5) bezeichneten Hagelkorngrössen angenommen. Es ist damit zu rechnen, dass mindestens einmal in der angegebenen Wiederkehrperiode Hagelkörner mit gleichem oder grösserem Korndurchmesser als die angegebenen auftreten.

Für die geplante Sporthalle in Luzern muss bei einer Wiederkehrperiode von 5 Jahren mit mindestens 2 cm grossen Hagelkörnern, bei 20 Jahren mit 3 cm, bei 50 Jahren ebenfalls mit mindestens 3 cm und bei 100 Jahren mit mindestens 4 cm grossen Körnern gerechnet werden.

2.3 Expositionsanalyse

Die Expositionsanalyse des Beispiels des geplanten Sportzentrums in Luzern beschränkt sich auf die Bestimmung von Art und Wert der Gebäudehüllen. Für alle betroffenen Fassadenelemente sind die Materialart und deren materieller Wert zu bestimmen. Allfällig exponierte Personen wurden nicht in die Betrachtung einbezogen.

Die Sporthalle verfügt über Dachflächen aus gewelltem, unbeschichtetem Faserzement (5.5 mm) im Wert von 100'000 CHF, Fassadenelemente aus gewelltem GFK-UP (1.4 mm) im Wert von 120'000 CHF sowie Glasfenster aus Verbundsicherheitsglas (8 mm).

2.4 Konsequenzenanalyse

Gemäss der Schadenempfindlichkeit der exponierten Fassadenelemente der Gebäudehülle ist bei den angenommenen Szenarien und deren Intensitäten das im Folgenden aufgeführte Schadenausmass zu erwarten (Tabellen 2.1 bis 2.3).

2.4.1 Dachflächen Faserzement

Gemäss den Tests von Stucki und Egli [77] sind mindestens Platten mit einer Stärke von 5.5 mm vorzusehen, um bei einer Korngrösse von 40 mm Schäden vorzubeugen. Diese Bedingung ist erfüllt. Damit wird davon ausgegangen, dass bis zu einem 300 jährlichen Ereignis keine Schäden auftreten (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Schadenausmass bei Dachflächen aus Faserzement nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Korngrösse [mm]	Schadenausmass/Ereignis [CHF]
5	20	0
20	30	0
50	30	0
100	40	0

2.4.2 Fassade gewellter GFK-UP

Die Fassadenelemente überstehen ein Ereignis mit der Wiederkehrdauer von 50 Jahren (Korngrösse: 30 mm) voraussichtlich ohne funktionelle Schäden. Jedoch ist die Funktion «Aussehen» bereits früher beeinträchtigt. Ab einem 100-jährlichen Ereignis (Korngrösse: 40 mm) muss mit schweren Schäden an der Fassade gerechnet werden (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Schadenausmass bei Fassade aus gewelltem GFK-UP (1.4 mm) nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Korngrösse [mm]	Schadenausmass/Ereignis [CHF]
5	20	0
20	30	20'000
50	30	20'000 ^a
100	40	80'000 ^b

^a Kosten für Reparaturen;

^b Kosten für Teilersatz.

2.4.3 Fassade Glasfenster

Die Glasfenster halten nach Stucki und Egli [77] einem Ereignis mit Korndurchmesser 50 mm stand. Somit sind für die beurteilten Ereignisse keine Schäden an der Verglasung zu erwarten (Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Schadenausmass bei Fassade mit Glasfenster nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	Korngrösse [mm]	Schadenausmass/Ereignis [CHF]
5	20	0
20	30	0
50	30	0
100	40	0

2.5 Risikoermittlung

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien wurde das kollektive Risiko bestimmt. Es beläuft sich auf 1'600 CHF/a für Sachwerte (Personen wurden nicht berücksichtigt).

2.6 Risikobewertung

Individuelle Risiken (und kollektive Personenrisiken) mussten nicht bewertet werden, da keine Personen berücksichtigt wurden. Die Bewertung der Sachrisiken kann erst nach der Massnahmenplanung und -bewertung erfolgen. Die Sachrisiken zeigen jedoch, dass bereits ab einem 50-jährlichen Szenario mit Schäden zu rechnen ist. Die hohen Schäden bei einem Ereignis mit 100-jährlicher Wiederkehrdauer machten auch eine Prüfung von Massnahmen für die Korngrösse von 40 mm notwendig.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Es boten sich für dieses Beispiel ausschliesslich technische Massnahmen an. Bei der Massnahmenplanung des Neubaus wurden zwei verschiedene Massnahmen geprüft. Eine zusätzliche Massnahme wird als Vergleich bei einem späteren Umbau dargestellt. Folgende Massnahmen wurden geprüft:

Massnahme 1: Einbau von Faserzementplatten 6 mm mit lasierender Beschichtung anstatt der vorgesehenen GFK-Platten 1.4 mm;

Massnahme 2: Einbau von festeren GFK-Platten mit der Stärke von 5 mm;

Massnahme 3: Späterer Umbau und Einbau von Faserzementplatten gemäss Massnahme 1.

Massnahmen der Abschirmung, wie Vordächer werden aus Gründen der Ästhetik nicht weiter untersucht.

2.8 Wirksamkeit

Massnahme 2 und 3 widerstehen einem Anprall von 40 mm Körnern und schützen damit gegen ein Ereignis mit einer Wiederkehrdauer von 300 Jahren. Massnahme 2 weist jedoch ab der Korngrösse von 30 mm eine Schädigung der optischen Funktion auf. Die Wasserdichtheit ist weiterhin gewährleistet (Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Wirksamkeit der Massnahmen 1 bis 3.

Massnahme	Risiko vor Massnahme [CHF/a]	Risiko nach Massnahme [CHF/a]
1	1'600	0
2	1'600	300
3	1'600	0

2.9 Kosten

Für die einzelnen Massnahmen durfte von folgenden Kosten ausgegangen werden:

Massnahme 1: Es entstehen keine zusätzlichen Kosten, da der Einbau von Faserzementplatten bei einem Neubau gleich teuer ist. Die jährlichen Kosten betragen somit 0 CHF/a.

Massnahme 2: Die zusätzlichen Investitionskosten belaufen sich auf 180'000 CHF. Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von 7'800 CHF/a.

Massnahme 3: Für einen Umbau ist mit Investitionskosten in der Höhe von 160'000 CHF zu rechnen. Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von 6'933 CHF/a.

2.10 Massnahmenbewertung

Die Massnahmen, deren Risikoreduktion, die jährlichen Kosten sowie das Nutzen-Kosten-Verhältnis der einzelnen Massnahmen sind in Tabelle 2.5 zusammengefasst.

Tabelle 2.5: Zusammenfassung von Kosten, Risikoreduktion und Nutzen-Kosten-Verhältnis der Massnahmen 1 bis 3.

	Massnahme 1	Massnahme 2	Massnahme 3
Risikoreduktion [CHF/a]	1'600	1'300	1'600
jährliche Kosten [CHF/a]	0	7'800	6'933
N-K-Verhältnis	1600	0.1667	0.2308

Die Nutzen-Kosten-Wirksamkeit ist einzig beim Einbau von Faserzementplatten während des Neubaus gegeben. Der Einbau der festeren GFK-Platten wie auch der spätere Umbau lohnen sich nicht. Architektonisch ist aber der Einsatz von Faserzementplatten ein grosser Eingriff in die ursprüngliche Gestaltungsidee. Unter diesen Bedingungen musste abgeschätzt werden, ob das Risiko trotz der Schutzzielverletzung getragen werden soll, oder ob nicht grundsätzliche Änderungen am Projekt zu treffen sind.

Kapitel 3

Fazit

Das Fallbeispiel zeigt, dass eine risikobasierte Planung von Massnahmen gegen Hagel nach dem Risikokonzept in den Grundsätzen möglich ist. Aufgrund umfangreicher Untersuchungen [29, 77] ist die Schadenempfindlichkeit von Gebäudehüllen in Bezug auf den Hagelkorndurchmesser relativ gut bekannt. Ebenso kann die Wiederkehrperiode von Ereignissen einer bestimmten Intensität (Hagelkorndurchmesser) nach den Untersuchungen von Schiesser [66] relativ sicher eingeordnet werden.

Es zeigt sich, dass eine detaillierte Ermittlung der Massnahmen- wie auch der Schadenkosten Sinn macht. Da meistens verschiedene Massnahmen möglich sind, kann eine Massnahmenplanung nach dem Grenzkostenkriterium gut vorgenommen werden.

Zu beachten sind die Unterschiede der Wirksamkeit in Abhängigkeit des Realisationszeitpunktes. Bei einem Neubau ist eine Massnahme eher wirtschaftlich als bei einem rein auf die Gefahr ausgerichteten Ersatz. Schutzüberlegungen sind also frühzeitig in die Planung mit einzubeziehen.

Tabelle 3.1: Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. Teil 1.

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

Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. ... Fortsetzung ... ; Die Klassifizierung in die Kategorie * trifft nur für neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand massgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
	Fichte	beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		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
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*		

*Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. ... Fortsetzung ... ; Die Klassifizierung in die Kategorie * trifft nur für neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand massgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.*

Bauteil-kategorie	Produkt	Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Lichtkuppel	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*

