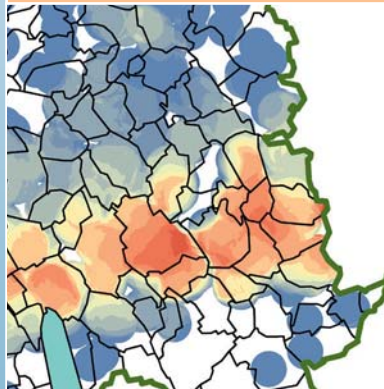
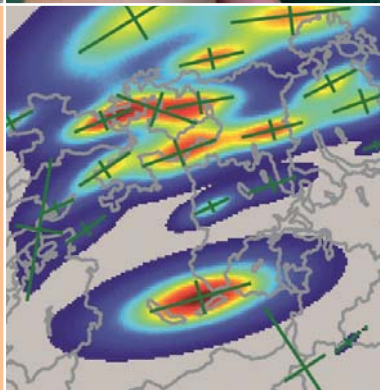
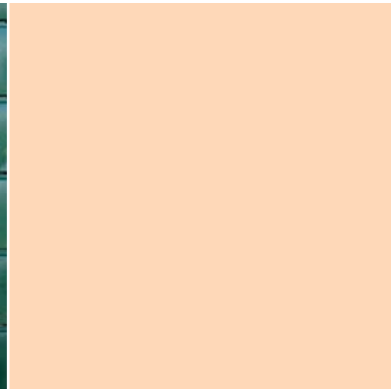


Ereignisanalyse

# Hagel 2011

Untersuchung des Hagelunwetters vom 12./13. Juli 2011 im Kanton Aargau



# Impressum

## Herausgeber

Alle Rechte vorbehalten © 2015  
Interkantonaler Rückversicherungsverband IRV  
Bundesgasse 20  
CH-3001 Bern  
www.irv.ch



Interkantonaler Rückversicherungsverband  
Union intercantonale de réassurance

## Autoren

Dr. Markus Imhof, Interkantonaler Rückversicherungsverband Bern (IRV)  
Pierrick Nicolet, Erdwissenschaftliches Institut der Universität Lausanne (ISTE)  
Jérémie Voumard, Erdwissenschaftliches Institut der Universität Lausanne (ISTE)  
Prof. Dr. Michel Jaboyedoff, Erdwissenschaftliches Institut der Universität Lausanne (ISTE)

## Koordination

Dr. Markus Imhof, Interkantonaler Rückversicherungsverband Bern (IRV)  
Rolf Meier, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)

## Wissenschaftliche Mitarbeit

Liliane Nguyen, Erdwissenschaftliches Institut der Universität Lausanne (ISTE)  
Martin Seiler, Interkantonaler Rückversicherungsverband Bern (IRV)

## Fachliche Beratung

Martin Jordi, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)  
Armin Wittmer, Kantonale Gebäudeversicherung Aargau (AGV)

## Übersetzung französische Version

Carine Job, Interkantonaler Rückversicherungsverband  
Sarah Mettraux, Interkantonaler Rückversicherungsverband

## Umsetzung und Produktion

Rickli + Wyss, Bern

## Auflage

500 Exemplare deutsch, 200 Exemplare französisch

## Daten- / Informationsquellen

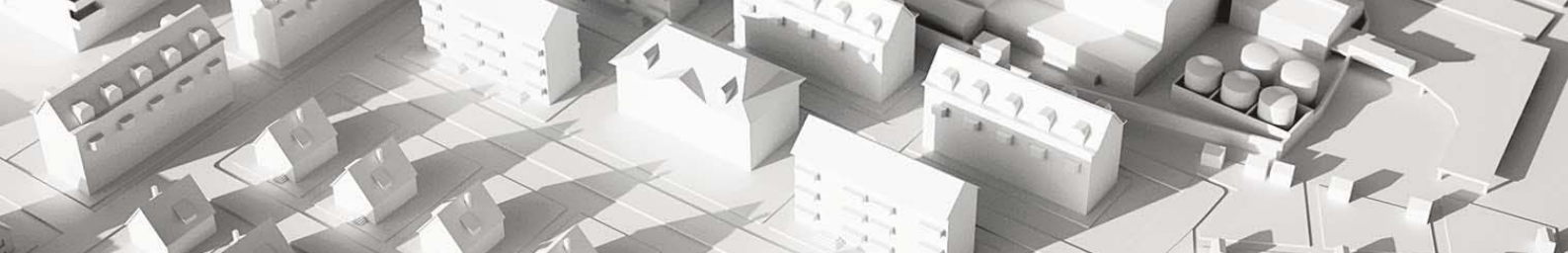
Aargauische Gebäudeversicherung  
Interkantonaler Rückversicherungsverband  
Bundesamt für Landestopografie swisstopo  
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz  
meteoradar GmbH: Dr. Willi Schmid  
Die Post

## Fotos

Aargauische Gebäudeversicherung, Christine Oesch, Mühlethurnen BE

## Illustrationen Titelseite

Von links oben nach rechts unten:  
Gebäude mit Schäden an der Bedachung in Bremgarten AG  
Dellen an Rollläden  
Hagelmodell UNIL: Durch Gauss-Verteilungen angenäherte Hagelzellen  
Durchlöcherter Kunststoff-Dachfläche  
Prozentanteil beschädigter Gebäude pro km<sup>2</sup> im Ostteil des Kantons Aargau  
Exponierte Partien der Gebäudehülle bei Hagelschlag mit Wind parallel zur Firstausrichtung



<b>Impressum</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Das Hagelereignis am 12./13. Juli 2011 im Kanton Aargau</b>	<b>5</b>
2.1 Wetterablauf am 12. und 13. Juli 2011 .....	5
2.2 Statistische Einordnung des Ereignisses .....	6
2.3 Die räumliche Verteilung der Schäden: Auswertung des betroffenen Gebäudebestandes .....	8
2.4 Betrachtung der Schäden nach Gemeinden .....	11
2.5 Ein Blick auf die Schadenzahlen .....	14
<b>3. Auswertung der Schäden nach Art bzw. Funktion der Bauelemente</b>	<b>17</b>
3.1 Schadenkategorien .....	17
3.2 Verteilung der Schäden nach betroffenen Bauelementen .....	18
3.3 Auswertung der Schäden nach Material der Bauelemente .....	20
3.4 Durchschnittliche Schadenkosten nach Bauelementen .....	20
3.5 Vergleich mit dem Ereignis vom Mai 2009 im Kanton Thurgau .....	20
3.6 Die zwanzig Gebäude mit dem höchsten Schaden pro m <sup>2</sup> Grundrissfläche .....	23
3.7 Schäden in Abhängigkeit des Baujahres .....	25
<b>4. Sparpotenzial durch Anwendung von Bauelementen mit Hagelwiderstand HW 3</b>	<b>27</b>
<b>5. Untersuchung der Beziehung Gebäudeorientierung – Gebäudeschaden</b>	<b>28</b>
5.1 Einleitung .....	28
5.2 Vorgehensweise .....	28
5.3 Ergebnisse der kantonsweiten Analyse .....	29
5.4 Ergebnisse der lokalen Analyse .....	33
5.5 Validierung der automatisiert bestimmten Gebäudeorientierungen .....	39
5.6 Diskussion der Ergebnisse .....	40
<b>6. Rasche Einschätzung der Schäden nach dem Ereignis</b>	<b>42</b>
6.1 Einleitung .....	42
6.2 Gebäudeschäden der beiden grossen Hagelereignisse von 2009 .....	42
6.3 Gebäudeschäden des Hagelereignisses von 2011 .....	44
6.4 Rasche Schadenabschätzung .....	46
<b>7. Risikoanalyse</b>	<b>49</b>
7.1 Gefährdung .....	49
7.2 Berechnung des mittleren jährlichen Risikos .....	51
7.3 Künftige Entwicklung des Risikos .....	52
7.4 Ereignissimulation .....	52
<b>8. Schlussfolgerungen, Erkenntnisse, Ausblick</b>	<b>55</b>
<b>9. Dank</b>	<b>58</b>
<b>10. Literaturverzeichnis</b>	<b>59</b>
<b>Anhang A: Orientierungskarte für die im Bericht genannten Örtlichkeiten</b>	<b>61</b>
<b>Anhang B: VKF-Code Zweckbestimmung</b>	<b>62</b>



## Zusammenfassung

Bereits zwei Jahre, nachdem Hagelzüge in der Westschweiz und im Kanton Thurgau (IRV, 2012: Ereignisanalyse Hagel 2009) schwere Gebäudeschäden verursacht hatten, zog erneut ein Hagelsturm mit ähnlicher Intensität durch das Schweizer Mittelland. Diesmal wurde insbesondere in den Kantonen Aargau und Zürich beträchtlicher Schaden vermeldet. Der Hagel mit Korndurchmessern von bis gut 6.5 cm (Tennisballgrösse) wurde insbesondere im Westen des Kantons Aargau, in der Region um Zofingen, von Sturmböen und lokalen Überschwemmungen begleitet. Neben den typischen Hagelschäden an Dächern, Fassaden, Storen und Fenstern wurden vom Sturm weggerissene Dächer sowie überflutete Keller gemeldet. Wie zwei Jahre zuvor für die Gebäudeversicherungen der Kantone Thurgau und Freiburg, erwies sich dieses Ereignis für die Aargauer Gebäudeversicherung als das grösste je verzeichnete Elementarschadenereignis überhaupt. Im Gegensatz zu 2009 hatte sich der Hagelsturm aber nicht nachmittags, sondern in den Stunden nach Mitternacht ausgetobt, was sich in einem etwas unterschiedlichen Schadenbild äusserte: Zwar wurden anteilmässig nicht mehr Fälle beschädigter Storen pro Gebäude gemeldet, dafür fielen die Schäden an Storen deutlich höher aus.

In dieser zweiten Ereignisanalyse zum Prozess Hagel innert relativ kurzer Zeit wurden erneut die bei einer Kantonalen Gebäudeversicherung eingegangenen Schadenmeldungen detailliert untersucht und interpretiert. Ziel war – neben dem Vergleich mit den Erhebungen von 2009 – die Überprüfung der in der ersten Studie geäusserten Hypothesen. Im Gegensatz zur früheren Studie wurde diesmal nicht bloss eine Stichprobe, sondern die Gesamtheit der Schadenfälle untersucht, wodurch die Ergebnisse aussagekräftiger sind. Es bestätigte sich dabei wiederum, dass Storen, Dächer und Fassaden die wichtigsten Kostentreiber bei Hagelereignissen sind, dass Wohngebäude hagelempfindlicher sind als Nicht-Wohngebäude und dass deren Verletzlichkeit insbesondere seit den 1990er Jahren deutlich zugenommen hat.

Wie bereits in der Studie zum 2009er Ereignis belegen auch die für das Aargauer Ereignis vorgenommenen Berechnungen das Sparpotenzial von Bauelementen mit Hagelwiderstand  $HW \geq 3$  (Hagelresistenz bis zu Korndurchmessern von 3 cm): es liegt für den konkreten Fall in der Grössenordnung von CHF 25 Mio.

Untersucht wurde darüber hinaus der Einfluss der Orientierung der Gebäude in Bezug auf die Nordrichtung sowie auf die Zugrichtung der schadenverursachenden Hagelzelle. Hierfür wurde eine automatisierte Auswertungsmethodik entwickelt. Es stellte sich heraus, dass Gebäude, deren Firstachse in einem Winkel von 40–70° zur mittleren Zugrichtung der Hagelzelle ausgerichtet ist, am stärksten beschädigt wurden (grösster exponierter Gebäudequerschnitt).

Mit einem neuen Computermodell der Universität Lausanne wurde versucht, die Schadenwirkung des Hagelereignisses zu reproduzieren sowie darauf basierend das Hagelrisiko im Kanton abzuschätzen. Im entsprechenden Kapitel werden die Schaden-Frequenz-Kurven für zwei Modellszenarien präsentiert. Mit dem Modell wird es künftig möglich sein, anhand von Radardaten bereits kurz nach einem Hagelereignis brauchbare Aussagen über Verbreitung und Gesamtschadensumme zu liefern.

Weiter erlaubt das Modell Abschätzungen zum derzeitigen Hagelrisiko im Kanton Aargau sowie den entsprechenden Wiederkehrperioden. Gestützt auf Szenarien der Bevölkerungsentwicklung des Bundesamts für Statistik wird gar eine Einschätzung zur Entwicklung des Hagelrisikos in zwanzig Jahren gewagt.

Die Autoren hoffen, dass diese zweite Hagelstudie auf ähnliches Interesse stösst wie jene zu den Ereignissen von 2009.

### Wichtigste Fakten in Kürze

Ereignisdatum:	12./13. Juli 2011
Hauptsächlich betroffen:	Kantone AG und ZH
Grösster beobachteter Hagelkorndurchmesser:	6.7 cm
Gesamte Hagelschadensumme AG brutto/netto:	CHF 151 / 145 Mio.
Anzahl anerkannte Hagelschäden AG:	20'600
Mittlerer Hagelschaden AG (brutto/netto):	CHF 7'380 / 7'080
Median Hagelschäden AG (brutto/netto):	CHF 5'300 / 5'000
Grösster Einzelschaden Hagel AG:	knapp CHF 2 Mio. (Gartencenter)
Einstufung:	Grösstes von der AGV verzeichnetes Elementarschadenereignis überhaupt; als ungefähr 50- (bis 100-) jährliches Ereignis eingeschätzt.

# 1. Einleitung

## 1. Einleitung

Die Arbeiten am Bericht «Ereignisanalyse Hagel 2009» standen in der Abschlussphase, als bereits wieder ein ausserordentlich intensives Hagelwetter über das Schweizer Mittelland zog und insbesondere im Kanton Aargau schwere Gebäudeschäden verursachte. Entsprechend sensibilisiert war daher die Aufmerksamkeit gegenüber diesem Ereignis, und es hatten sich im Laufe der Untersuchung auch neue Fragen herauskristallisiert, die mit den 2009er Daten nicht beantwortet werden konnten. Der Interkantonale Rückversicherungsverband entschied sich daher, auch für das Hagelereignis vom 12./13. Juli 2011 eine Ereignisanalyse vorzunehmen.

Wie ihre Schwesterorganisationen zwei Jahre zuvor, wurde auch die Aargauische Gebäudeversicherung auf eine schwere Probe gestellt und musste erfahren, was es heisst, wenn innert weniger Tage Tausende von Kunden ihre Schäden anmelden wollen: Der Arbeitsanfall verzehnfachte sich buchstäblich schlagartig, einerseits wegen der enormen Schadenzahl an sich, andererseits, weil der Aufwand zur Abklärung von Hagelschäden deutlich höher ist als beispielsweise bei Sturm- oder Überschwemmungsschäden. Als Folge davon mussten während rund anderthalb Jahren 26 zusätzliche Vollstellen geschaffen werden (AZ, 2012). Für die AGV war das Ereignis auch Lehrstück und Ansporn, die administrative Organisation zu verbessern.

Die Fragestellungen für die Hagelstudie lauteten diesmal:

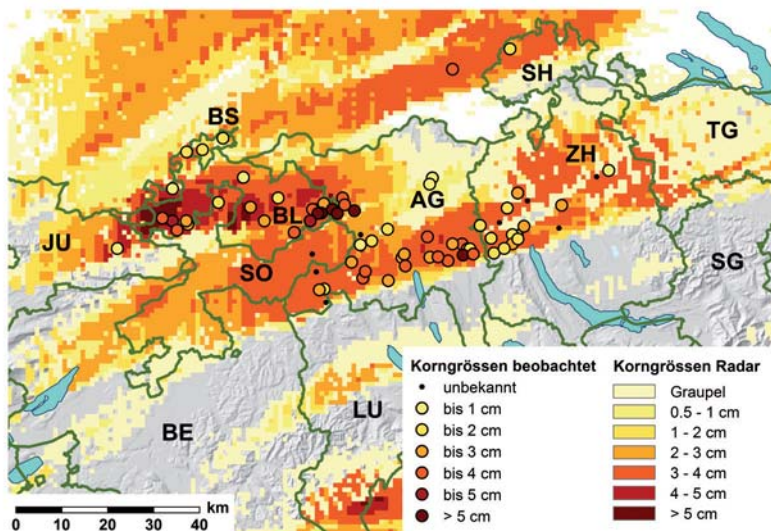
- Lässt sich die am Beispiel der Gebäudeversicherung Thurgau entwickelte Methodik zur detaillierten Dateninterpretation auch gegenüber anderen Gebäudeversicherungen anwenden?
- Wie bedeutend ist der Unterschied des Anteils beschädigter Storen an der Gesamtheit betroffener Bauelemente infolge des im Gegensatz zu 2009 nächtlichen Durchzugs des Hagelsturms?

- Wäre das Einsparpotenzial durch konsequente Anwendung von Bauelementen mit einem Hagelwiderstand von mindestens HW 3 ähnlich hoch ausgefallen wie beim Hagelereignis im Jahr 2009?
- Besteht bezüglich des Schadenausmasses ein Zusammenhang zwischen der Gebäudeausrichtung und der Zugbahn der Hagelzellen?
- Lässt sich basierend auf Radardaten und einer empirischen Intensitäts-/Schadenbeziehung bereits kurz nach einem Ereignis eine zuverlässige Schadensschätzung vornehmen?
- Ist das gegenwärtige Hagelrisiko im Kanton Aargau quantifizierbar?
- Welches Hagelrisiko ist für den Kanton Aargau künftig zu erwarten?

## 2. Das Hagelereignis am 12./13. Juli 2011 im Kanton Aargau

### 2.1 Wetterablauf am 12. und 13. Juli 2011 (gekürzt nach MeteoSchweiz)

Am Dienstag, 12. Juli 2011 bildete sich über Mittelfrankreich ein Tiefdruckgebiet, das auf seiner Vorderseite für südwestliche Höhenwinde über dem Alpenraum sorgte. Die von Spanien her zugeführte Luftmasse erwies sich als sehr warm und gewitterträchtig. In der Schweiz stieg die Temperatur in der Folge auf 29 bis 35 °C. Am heissesten wurde es dabei im Wallis und im Churer Rheintal. In der Konvergenzzone im Vorfeld der Kaltfront bildeten sich gegen Abend im westlichen Jura erste Gewitterzellen, die anschliessend unter Verstärkung dem Jura entlang ostwärts zogen. Dabei fielen im «Dreiländereck» der Kantone Aargau, Basel-Landschaft und Solothurn Hagelkörner von deutlich über 6 cm Durchmesser, was etwa der Grösse von Tennisbällen entspricht (Abb. 1). Weitere Gewitter entstanden an den westlichen Voralpen, von wo aus sie sich ostwärts bis ins Bündnerland verlagerten.



**Abb. 1:** Hagelkorngrössenverteilung vom 12./13. Juli 2011 der beiden Hagelzüge in der Nordschweiz; beobachtet bzw. aus Radardaten abgeleitet (Radardaten: meteoradar; kartografische Grundlagen: swisstopo).

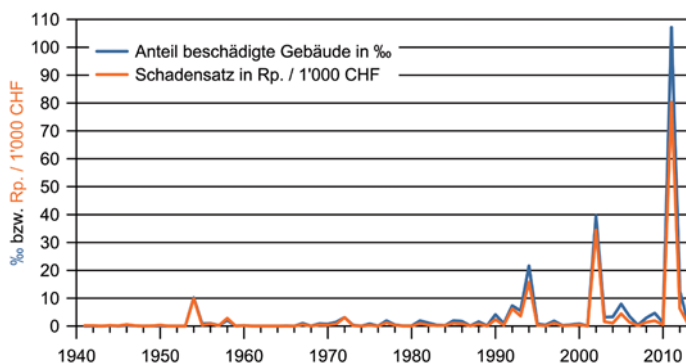
## 2. Das Hagelereignis am 12./13. Juli 2011 im Kanton Aargau

Nach einer ruhigen Zwischenphase am späteren Abend folgte dann gegen Mitternacht erneut eine intensive Gewitterzelle. Sie bewegte sich dem Jurasüdfuss entlang ostwärts und führte auf ihrer Zugbahn von Zofingen quer durch die Kantone Aargau und Zürich bis nach Winterthur zu heftigem Hagelschlag mit Korngrößen von bis zu 6 cm.

Hagelschäden wurden insbesondere in den nördlichsten Landesteilen verzeichnet, hauptsächlich entlang eines leicht gekrümmten Bandes vom Berner Jura bis zum Bodensee. Bemerkenswert ist, dass die verheerendste Gewitterzelle ihren Hagel mitten in der Nacht auf die Kantone Aargau und Zürich ausschüttete, denn Hagel fällt sonst bevorzugt zwischen dem frühen Nachmittag und den Abendstunden. Auffällig war zudem die hohe Blitzrate: In Grenchen SO schlugen insgesamt 48 Blitze im Nahbereich von 3 km ein – eine Frequenz, wie sie meist nur an exponierten Bergstationen verzeichnet wird.

Nach den präfrontalen Gewittern erfasste dann am Mittwoch eine aktive Kaltfront die Schweiz und sorgte für Abkühlung und besonders auf der Alpensüdseite für kräftigen Regen.

Die Aargauische Gebäudeversicherung verzeichnete am 12./13. Juli 2011 Hagelschäden in der Höhe von CHF 145 Mio. (netto, d.h. nach Abzug der Selbstbehalte) und damit das grösste Einzelschadenereignis ihrer Geschichte (Geschäftsbericht der AGV 2011). Lediglich etwa halb so schwerwiegend waren der bis anhin als grösstes Elementarschadenereignis geltende Sturm «Lothar» im Dezember 1999 und der Hagelschlag vom 24. Juni 2002. Erst dahinter folgen im «Wasserkanton Aargau» – zwei Drittel der Abflüsse in der Schweiz durchqueren das Kantonsgebiet – der Reihe nach die Hochwasserereignisse im Mai 1999, im Mai 1994 und im August 2007 (IRV, 2008; Schadenstatistik VKF).



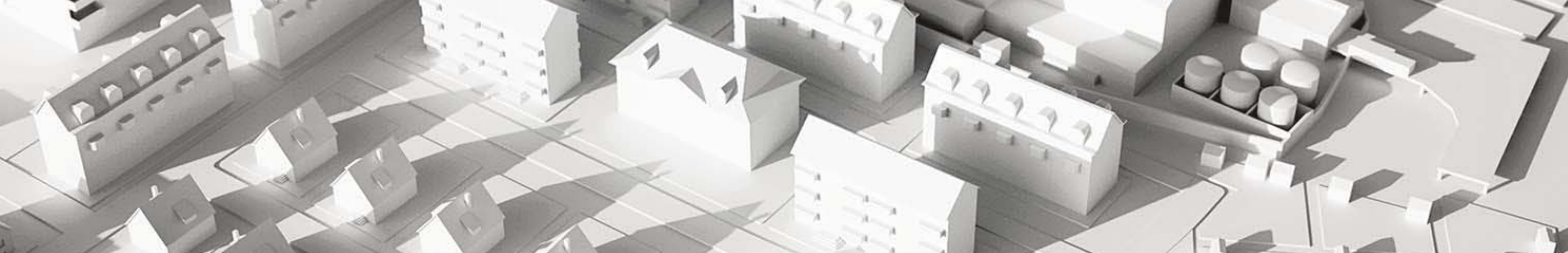
**Abb. 2:** Entwicklung der jährlichen hagelbedingten Gebäudeschäden (Schadensätze) im Kanton Aargau seit Beginn der Elementarschadendeckung im Jahr 1941. Das Hagelereignis vom 12./13. Juli 2011 war nicht nur das bei weitem grösste verzeichnete Hagelereignis in der Geschichte der Aargauischen Gebäudeversicherung, sondern das grösste Elementarschaden-Einzelereignis überhaupt (Quelle: Schadenstatistik VKF).

### 2.2 Statistische Einordnung des Ereignisses

Die korrekte Einschätzung der statistischen Wiederkehrperiode von Hagelereignissen ist schwierig, weil im Unterschied zu Hochwasserabflüssen oder Niederschlagsmengen kaum Messdaten greifbar sind. Verfügbar sind jedoch Gebäudeschadendaten: Seit der ersten Elementarschadenstatistik auf das Jahr 1941 wurde nie eine derart hohe Schadenssumme verzeichnet (vgl. Abb. 2). Daraus aber direkt die Wiederkehrperiode aus dem verfügbaren Schadendatenbestand der Aargauischen Gebäudeversicherung abzuleiten und den Hagelschlag vom 12./13. Juli 2011 so zu einem 74-jährlichen Ereignis zu erheben, ist zumindest problematisch. Zum einen, weil bereits ein (hypothetisches) vergleichbares Ereignis im nicht mit Daten belegten Jahr 1940 diese Einschätzung stark verändern würde, zum andern, weil der Hagelfall nicht einzig auf den Kanton Aargau beschränkt war. Jeder Hagelzug ist bezüglich der Lage und Ausdehnung seines Wirkungsraumes einzigartig, weshalb das Gebiet, für das eine Wiederkehrperiode bestimmt werden soll, klar definiert werden muss: Betrachten wir die Wiederkehrperiode landesweit, nur für den Kanton Aargau oder aus Sicht eines einzelnen Gebäudes? Je nachdem wird das Ergebnis sehr unterschiedlich ausfallen. Im Rahmen unserer Ereignisanalyse erscheint der Fokus auf den Kanton Aargau angemessen.

Anhand von Quellenstudium lässt sich immerhin eine grobe Einordnung des Hagelschlages vom Juli 2011 für den Kanton Aargau vornehmen. Historische Ereignisberichte sind jedoch im allgemeinen unsystematisch abgefasst und zudem subjektiv gefärbt. In der Regel werden jeweils besonders eindruckliche Beobachtungen angeführt. Quantitative Aussagen zu betroffener Fläche und Schadenhöhe sind hingegen kaum verfügbar, und falls doch, dann sind sie nur schwer mit heutigen Zahlen vergleichbar. Ein weiteres Problem ist die Unsicherheit bezüglich der Vollständigkeit der Quellen: Es ist schwierig abzuschätzen, wie viele bedeutende Ereignisse durch das Recherche-Raster nicht erfasst wurden.

Eine Recherche in verschiedensten Quellen (Riniker, 1881; Lanz-Stauffer/Rommel, 1936; Steigmeier, 2004; Online-Zeitungsarchive, «Google®»-Suche) ergab immerhin folgendes: Von den im Zeitraum 1800 bis 1940 aufgefundenen und zeitgenössisch als bedeutend wahrgenommenen Ereignissen geben nur drei Hinweise auf zumindest vergleichbare Korngrößen und Schadenwirkung wie im Juli 2011:



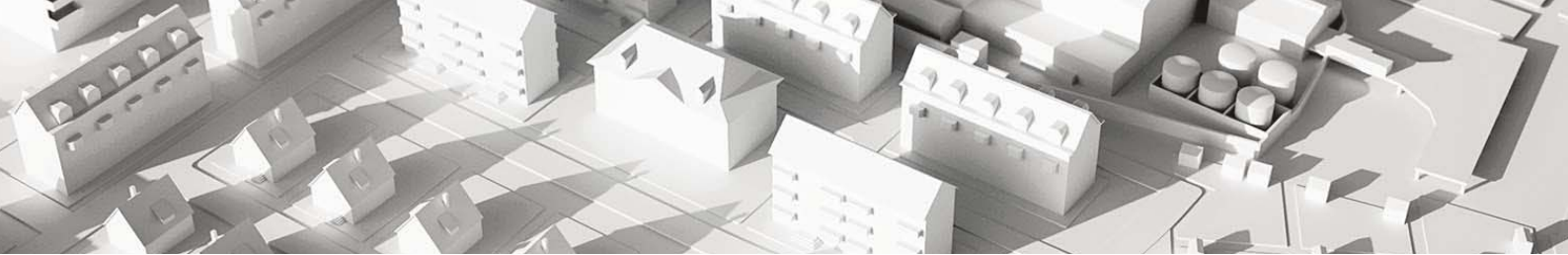
Datum	betroffene Region im Kanton Aargau	zeitgenössische Einschätzung	Korngrößen	Schäden
<b>30. Juli 1824</b>	Vom Rueder- und Wynental bis Schinznach und Bözberg; Bezirke von Brugg, Lenzburg, Mellingen, Bremgarten, Baden	«zerstörend», «verderbensvoll»	Bei Brugg bis zur Grösse von Hühnereiern (ca. 5 cm), sonst zumeist in der Grösse von Taubeneiern (3.5 cm) und Baumnüssen (3 cm)	Ziegel- und Strohdächer zerstört, Fenster zerschmettert, Vögel und Hasen erschlagen, viele verletzte Personen, Bäume und Reben entlaubt, Feldfrüchte wie von Pferden zerstampft ( <i>Sauerländer, 1824; Riniker, 1881</i> )
<b>31. Mai 1838</b>	V. a. Bezirke Rheinfelden, Laufenburg und Zurzach, zudem einzelne Gemeinden in den Bezirken Brugg und Zofingen	«verderblich», «verheerend»	Am Folgetag noch Körner von ca. 3.75 cm Durchmesser auffindbar	Saat, Bäume, Reben schwer geschädigt; an der Kirche in Weiach ZH (an Grenze zum Kt. AG) wurden fast alle Fensterscheiben zerschlagen ( <i>Lanz-Stauffer/Rommel, 1936; Brandenberger, 2011</i> ).
<b>14. Juli 1873</b>	Nördliches Freiamt, insbes. Gegend um Büttikon, Waltenschwil und Boswil	«kann in seiner Schrecklichkeit [...] nicht geschildert werden»	Im Bünztal bis zur Grösse von Hühnereiern (ca. 5 cm); nach 8 Tagen seien bei Kallern immer noch Hagelkörner gefunden worden	Ziegel- und Strohdächer wurden arg beschädigt, Kamine heruntergeschleudert, Fenster eingeschlagen und einzelne Gebäude «halb zertrümmert». Feldfrüchte und Obstbäume zerschlagen. ( <i>Riniker, 1881</i> )

Das zweitgrösste Hagelereignis im Kanton Aargau während des mit Gebäudeschadendaten dokumentierten Zeitraums ereignete sich am 24. Juni 2002. Dabei zog eine intensive Hagelzelle auf einer im Vergleich mit dem 12./13. Juli 2011 sehr ähnlichen, aber leicht nördlicheren Zugbahn durch den Kanton Aargau und verursachte Hagelschäden an Gebäuden in der Grössenordnung von (nominal) CHF 50 Mio. (Geschäftsbericht der AGV 2002). Die grössten im Kanton aufgefundenen Hagelkörner erreichten bis zu 4 cm Durchmesser. Zumindest bezüglich der maximalen Korngrößen reichte dieses Ereignis im Kanton Aargau also nicht an die vorgängig aufgeführten heran.

Geht man daher beim Hagelschlag vom 12./13. Juli 2011 von einer mit den drei historischen Ereignissen vergleichbaren Grössenordnung aus, so ergibt sich für diese vier Ereignisse über die 214 Jahre seit 1800 im Kanton Aargau eine durchschnittliche Wiederkehrperiode von gut 50 Jahren. Unter Berücksichtigung der Annahme, dass die Zusammenstellung der Ereignisse nicht vollständig ist, dürfte die Einschätzung, dass es sich im Juli 2011 eher um ein 50- als um ein 100-jährliches Ereignis gehandelt hat, plausibel sein.

Dass aber gar noch verheerendere Ereignisse als die bereits genannten im Aargau möglich sind, deutet nachfolgender Bericht an:

*1591 überzog am 5. Juli um 5 Uhr abends ein vom Aargau über den Albis an den [Zürich-] See und ins Grüninger Amt [≈ Zürcher Oberland] reichender «erschrockenlicher» Hagelzug das Land, der Dächer, Brunnen, Reben und Kornzelgen schädigte, «das[s] an etlichen Orten die Samen k[a]um darvon kommen». Zu Ottenbach [ZH, grenzt unmittelbar an den Kt. AG] fielen Hagelgeschosse von zwei Pfund Gewicht und noch grössere nieder, an einigen Orten seien die Schweine auf dem Feld getötet worden, «die Hirten desgleichen». «Es ist zugedencken [zu bedenken], dass er [der Hagel] uff die vorgenden Fäljar [vorangehenden Fehljahre] vil arme Lüten gemacht habe. Gott seye uns allen gnädig, Amen.»*  
(Sigg, 1994)



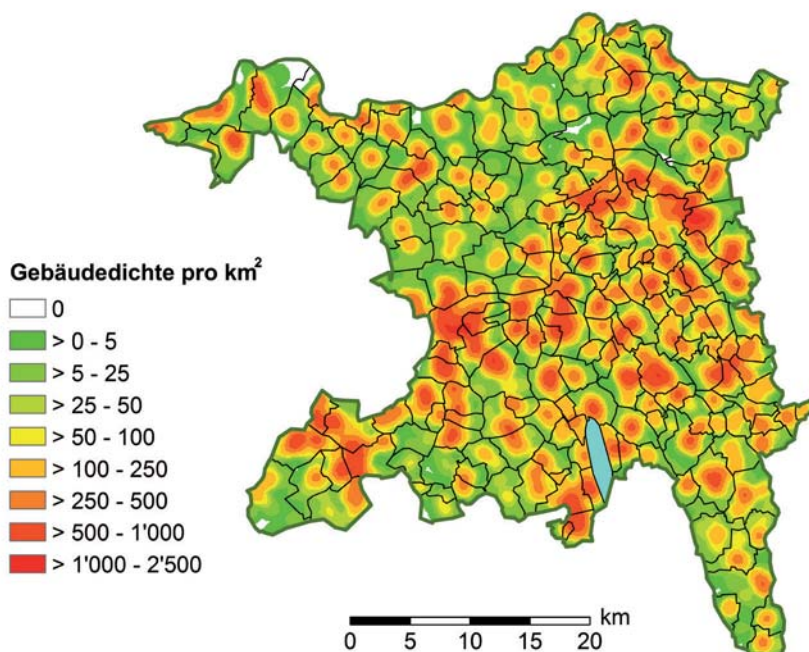
Hagelkörner von über 2 Pfund (also rund 1 kg) entsprechen Eiskugeln von 13cm Durchmesser. Wie zuverlässig diese Information ist, muss offen bleiben. Aus Udingen (Baden-Württemberg, D) ist immerhin ein am 6. Aug. 2013 gefallenes eiförmiges Hagelkorn dokumentiert, das in der Längsachse 14cm mass (GEA, 2013). Es wog allerdings «nur» 360g. Dass 1591 Hirten und Schweine erschlagen worden seien, spricht aber eine deutliche Sprache.

### 2.3 Die räumliche Verteilung der Schäden: Auswertung des betroffenen Gebäudebestandes

Mithilfe der Adressdatenbank «GeoPost Coordinates» der Schweizer Post (Die Post, 2013) wurde der Gebäudebestand der Aargauischen Gebäudeversicherung zu einem Anteil von 88.6% georeferenziert<sup>1</sup>. Dies ermöglichte aussagekräftige gebäudebezogene Auswertungen im Geografischen Informationssystem (GIS) «ArcMap®». Einerseits liessen sich damit Auswertungen auf Gemeindeniveau vornehmen, andererseits konnten die individuellen Gebäudestandorte im GIS räumlich aggregiert und zu Dichteverteilungskarten verarbeitet werden.

Abb. 3 zeigt die räumliche Verteilung des Aargauer Gebäudebestandes bezüglich seiner Dichte (Anzahl Gebäude pro km<sup>2</sup>). Die grössten Ballungsgebiete liegen demnach in den tiefsten Lagen, namentlich in den Talungen entlang von Aare<sup>2</sup>, Limmat und Reuss sowie am Ufer des Rheins bei Möhlin. Kleinere Schwerpunkte finden sich zudem in den Tälern von Wigger, Suhre, Bünz und Sissle. Deutlich dünner besiedelt sind insbesondere die oft bewaldeten höheren Lagen des Juras im Norden (z.B. Bözberg) und die Höhenzüge zwischen den Flusstälern des Mittellandes im Süden des Kantons (z.B. Lindenbergr). Die Karte dient als Vergleichsgrundlage für die nachfolgend präsentierten Karten der Hagelschäden.

Abb. 4 gibt die Konzentration der rund 20'600 durch den Hagel am 12./13. Juli 2011 beschädigten Gebäude wieder (Anzahl Gebäude pro km<sup>2</sup>). Deutlich zeigen sich die Schadenzentren, beispielsweise bei Wohlen und Bremgarten, wo die Dichte beschädigter Gebäude Werte von mehreren hundert Gebäuden pro km<sup>2</sup> erreichte. Vergleichbare Werte wurden 2009 auch im Kanton Thurgau festgestellt. Das breite rötliche Band quer durch den südlichen Teil des Kantons widerspiegelt markant die Zugbahn der Hagelzone. Die roten Flecken dürfen aber nicht direkt als Ausdruck der Hagelintensität aufgefasst werden, da sie in einem engen Bezug zur Dichte des Gebäudebestandes stehen.

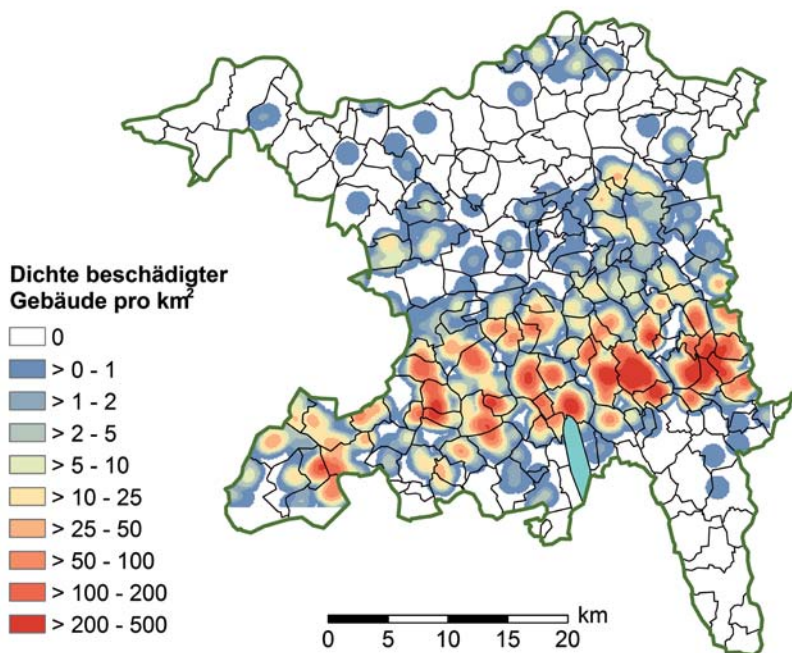
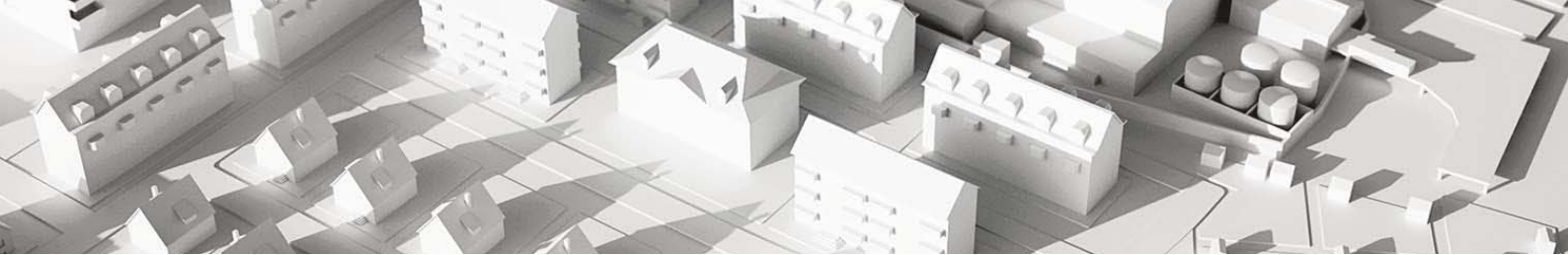


**Abb. 3:** Gebäudedichte pro km<sup>2</sup> im Kanton Aargau (Suchradius der Berechnung 1 km; kartografische Grundlage: swisstopo).

<sup>1</sup> Georeferenzierung bezeichnet die Verortung von Lokalitäten durch Zuordnung von Lagekoordinaten; im vorliegenden Fall wurde den Gebäudeadressen im Portfolio der Aargauischen Gebäudeversicherung ein Koordinatenpaar nach schweizerischem Landeskoordinatensystem zugeordnet.

<sup>2</sup> Eine Karte des Kantons Aargau im Anhang A zeigt die Lage der im Bericht genannten Örtlichkeiten.

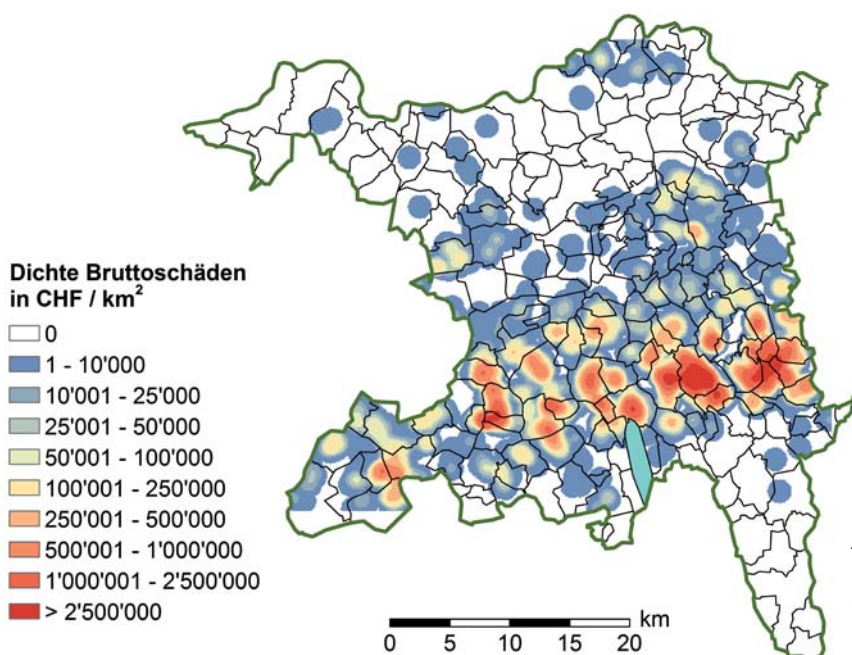




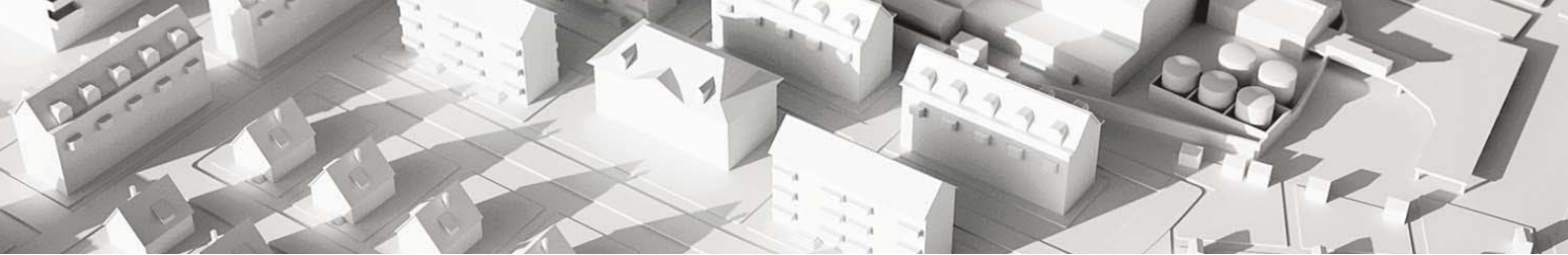
**Abb. 4:** Dichte beschädigter Gebäude pro km<sup>2</sup> (Suchradius der Berechnung 1 km; kartografische Grundlage: swisstopo).

Ein sehr ähnliches Bild liefert die Auswertung nach der Schadendichte (Brutto-Gebäudeschadenssumme pro km<sup>2</sup>; Abb. 5). In den vorgängig genannten Schadensschwerpunkten wurden Schadendichten von mehreren Mio. CHF/km<sup>2</sup> erreicht – Werte, wie sie auch im Thurgau im Mai 2009 verzeichnet wurden. Die Höchstwerte beschränken sich zwangsläufig auf die am dichtesten bebauten Gebiete, so

dass auch diese Darstellung keinen direkten Rückschluss auf die Hagelintensität erlaubt. Um letztere beurteilen zu können, muss der Einfluss der räumlich sehr unterschiedlichen Bebauungsdichte kompensiert werden. Dies lässt sich durch die Division des Karteninhalts von Abb. 4 durch denjenigen von Abb. 3 erzielen.



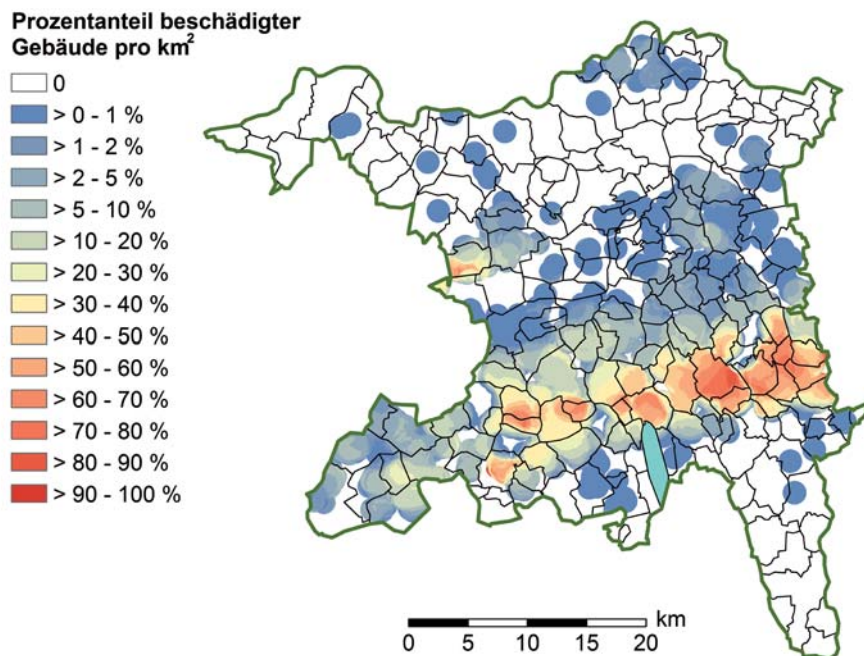
**Abb. 5:** Dichte der Bruttoschäden in CHF/km<sup>2</sup> (Suchradius der Berechnung 1 km; kartografische Grundlage: swisstopo).



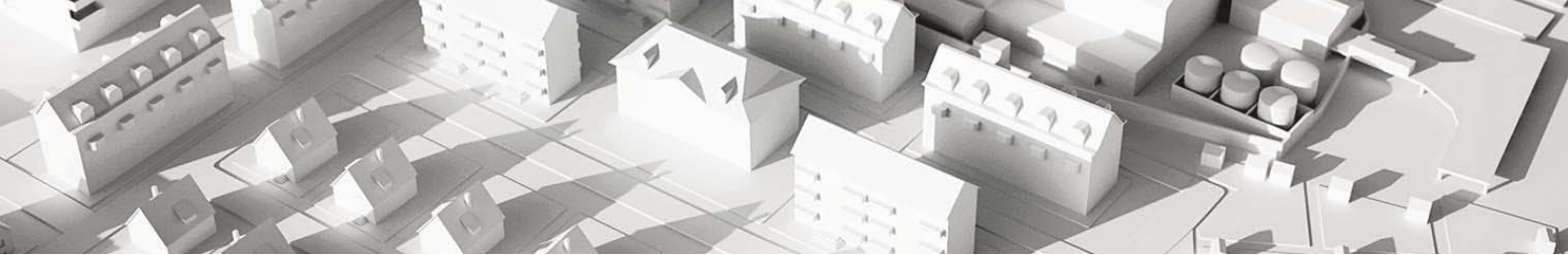
Das Ergebnis hiervon zeigt Abb. 6: den prozentualen Anteil betroffener Gebäude pro km<sup>2</sup>. Durch die Prozedur glättet sich die zentrendominierte Struktur, und das Muster wird im Vergleich zu den vorgängig gezeigten Darstellungen gleichmässiger. Zudem treten nun Strukturen hervor, die in den vorangehenden Karten kaum auffallen: So beispielsweise das Intensitätszentrum eines weiteren Hagelzuges, der den Kanton Baselland bereits am frühen Abend durchquert hat und kurz nach dem Vordringen in den Kanton Aargau am Bözberg zerfallen ist, wie das Radarbild (Abb. 1) gut erkennen lässt. Aus dieser Gegend – von der Salhöhe – wurden übrigens mit gut 6.5cm Durchmesser die grössten Hagelkörner des Ereignisses gemeldet. Wegen der geringen Gebäudedichte fiel deren Schadenwirkung jedoch summenmässig kaum ins Gewicht.

Umgekehrt verschwindet die in Abb. 5 erkennbare lokale Schadenkonzentration in Baden – weit ab von der Hauptachse des Hagelzuges liegend – fast völlig: Der Anteil betroffener Gebäude erreichte dort nur um die 5%, doch genügte die hohe Wertekonzentration, um die Schadendichte markant zu erhöhen und in Abb. 5 als isoliertes lokales Maximum in Erscheinung zu treten.

Abb. 6 liefert nun einen guten Eindruck der tatsächlichen Intensität des Hagelschlags. So bildet die Karte beispielsweise auch den im Radarbild erkennbaren scharfen Intensitätsgradienten im Freiamt ab: Während aus Bremgarten Hagelkörner von 6cm Durchmesser gemeldet wurden, fiel im nur 3.5km südlich davon gelegenen Besenbüren gar kein Hagel. Solche kleinräumigen Differenzierungen wurden bereits im Mai 2009 im Kanton Thurgau festgestellt (IRV, 2012). Dennoch zeigt Abb. 6 natürlich nur die Wirkung des Hagels, nicht seine eigentliche Intensität (kinetische Energie): Dort, wo Gebäude fehlen, bleibt die Karte trotz möglicherweise hoher Intensität leer, wie beispielsweise im vergleichsweise dünn besiedelten Wegenstetten, wo gemäss Radar Korngrössen zwischen 4 und 5cm aufgetreten sein sollen, von wo aber gar keine Schäden gemeldet wurden. Angaben über die Grösse der in Wegenstetten tatsächlich gefallenen Hagelkörner zur Bestätigung der Radardaten sind leider nicht verfügbar.



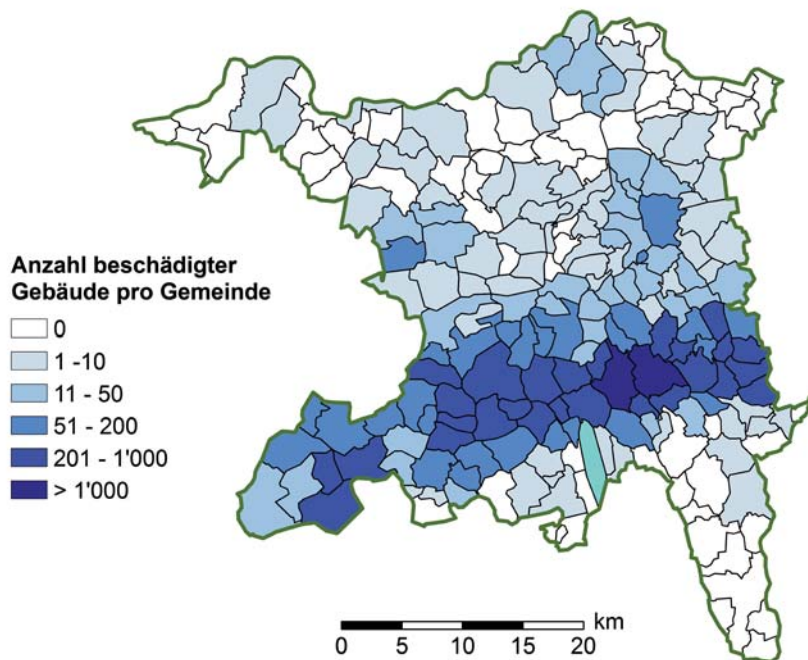
**Abb. 6:** Prozentanteil beschädigter Gebäude pro km<sup>2</sup> (Suchradius der Berechnung 1km; kartografische Grundlage: swisstopo).



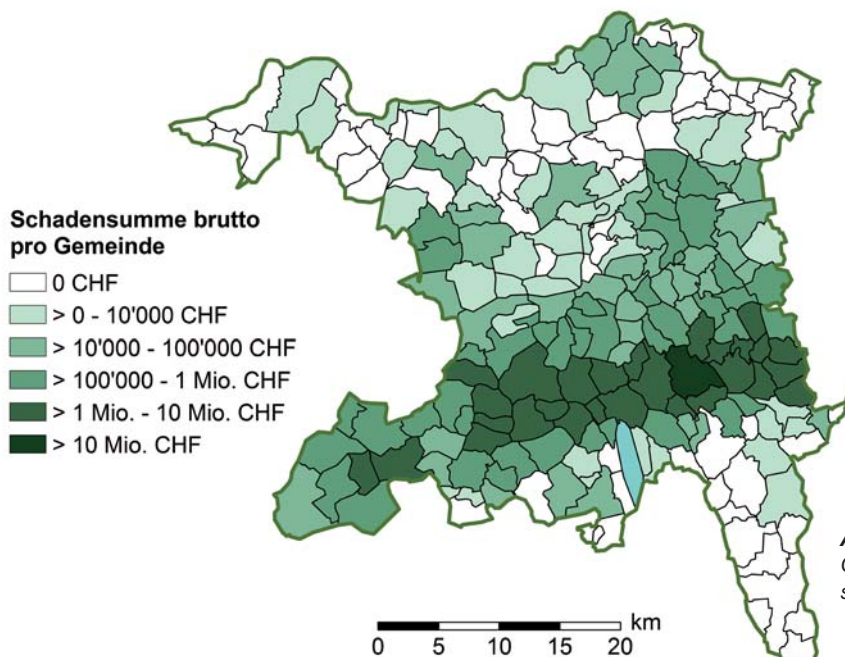
## 2.4 Betrachtung der Schäden nach Gemeinden

Die gemeindeweise Betrachtung liefert weitere Aufschlüsse. Die meisten beschädigten Gebäude – rund 2'900 – wurden in der Gemeinde Wohlen registriert; auch aus Villmergen wurden weit über 1'000 betroffene Gebäude gemeldet. Durch fast den gesamten südlichen Kantonsteil zieht sich ein Band von Gemeinden mit je über 200 Gebäudeschäden, das die zerstörerische Wirkung des Hagelzuges unterstreicht (Abb. 7). Im übrigen Kanton sind die Schadenzahlen deutlich tiefer.

Optisch unterscheidet sich die Karte der Schadensumme (Abb. 8) pro Gemeinde nur unwesentlich von der vorangehenden. Wohlen steht mit gut CHF 35 Mio. einsam an der Spitze; die benachbarten Gemeinden Villmergen mit knapp CHF 10 Mio. und Bremgarten mit knapp CHF 8 Mio. liegen bereits deutlich zurück. Hier, im nördlichen Freiamt, traf das Intensitätsmaximum des Hagelzuges auf eine der grössten Wertkonzentrationen im Kanton Aargau.



**Abb. 7:** Anzahl beschädigter Gebäude pro Gemeinde (kartografische Grundlage: swisstopo).



**Abb. 8:** Gebäudeschadensumme pro Gemeinde (kartografische Grundlage: swisstopo).

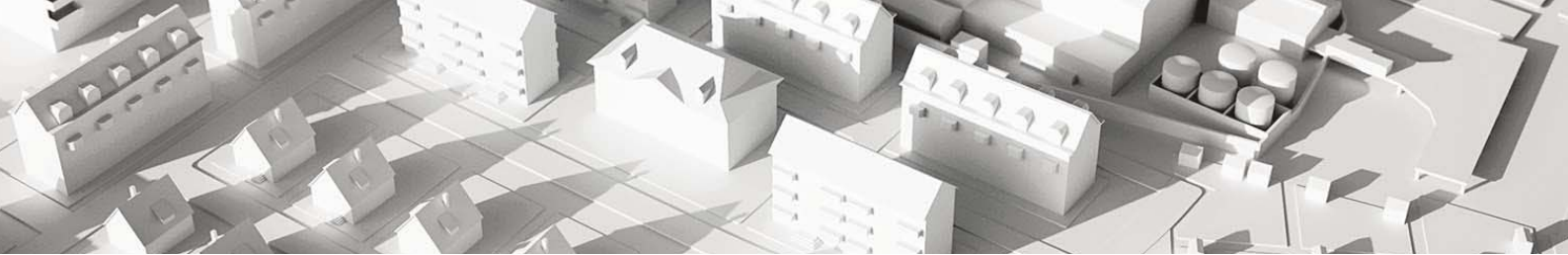


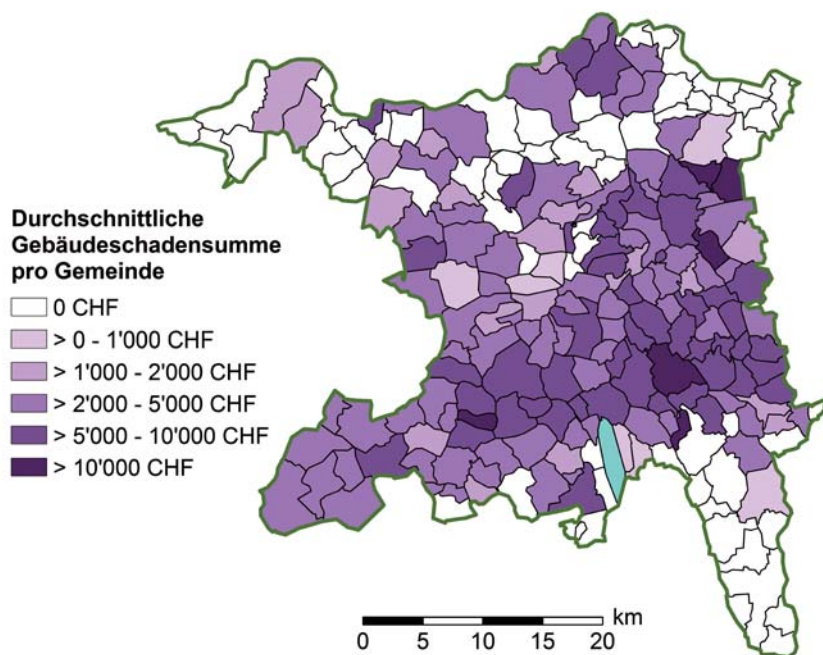
Abb. 9 ist das Ergebnis einer Division des Karteninhalts von Abb. 8 durch denjenigen von Abb. 7 und veranschaulicht den durchschnittlichen Gebäudeschaden in den einzelnen Gemeinden. Dadurch wird der Einfluss der Ballungsräume kompensiert, so dass nun auch kleinere stark betroffene Gemeinden in Erscheinung treten. Andererseits wird in einzelnen Fällen ein falscher Eindruck hervorgerufen, indem eine geringe Anzahl grösserer Schäden zu einem hohen Durchschnittswert geführt hat, so in Freienwil, wo der sehr hohe Durchschnittsschaden von CHF 24'400 zur Hauptsache auf ein einziges Gebäude zurückzuführen war. In Neuhof, Gipf-Oberfrick und Ehrendingen sorgte gar je nur ein einziges Gebäude für einen Durchschnittsschaden von fast CHF 22'000, knapp CHF 12'000 bzw. gut CHF 10'000.

Tatsächlich stark betroffen waren hingegen die Gemeinden Hirschthal und Wohlen, wo Hagelkörner von bis 4 cm Durchmesser beobachtet wurden, was auch durch die Radar-daten gestützt wird. Die hohen Schadendurchschnitte von CHF 14'700 (Hirschthal) und CHF 12'200 (Wohlen) sind daher aussagekräftig.

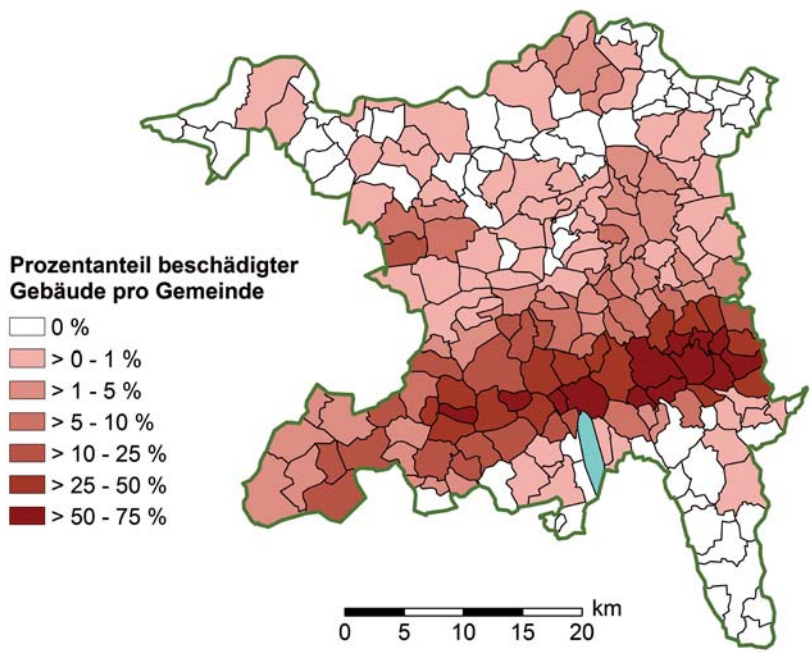
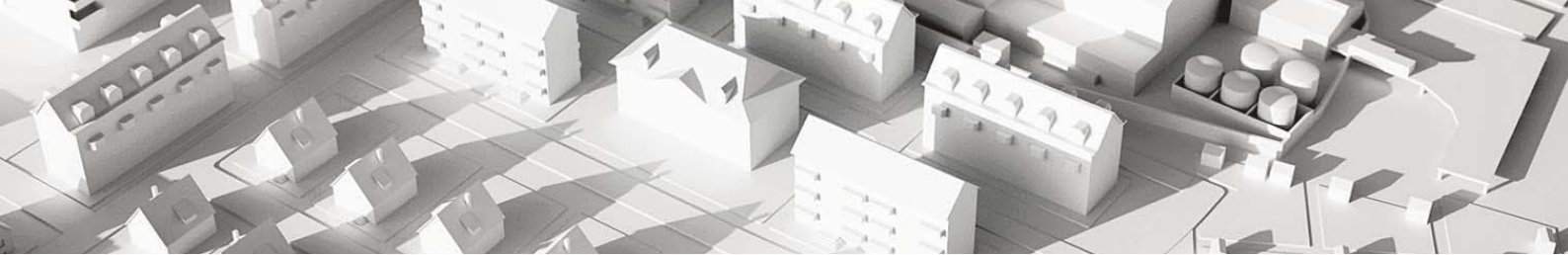
Auf den ersten Blick erstaunlich ist der mit rund CHF 6'800 relativ hohe Durchschnittsschaden in Leibstadt, der aus 12 Gebäudeschäden resultiert – weder wurde Hagel gemeldet noch hat der Radar dort solchen verzeichnet, sondern einzig Graupel. Allerdings wurde die Region um Leibstadt

am 22. Juni 2011 von starkem Hagelschlag betroffen; es ist daher wahrscheinlich, dass die meisten der gemeldeten Schäden in der Region von diesem Ereignis her stammen. Nicht in dieses Bild passt allerdings, dass aus dem nahe gelegenen und am 22. Juni ebenfalls betroffenen Koblenz gar keine Gebäudeschäden im Schadendatensatz enthalten sind.

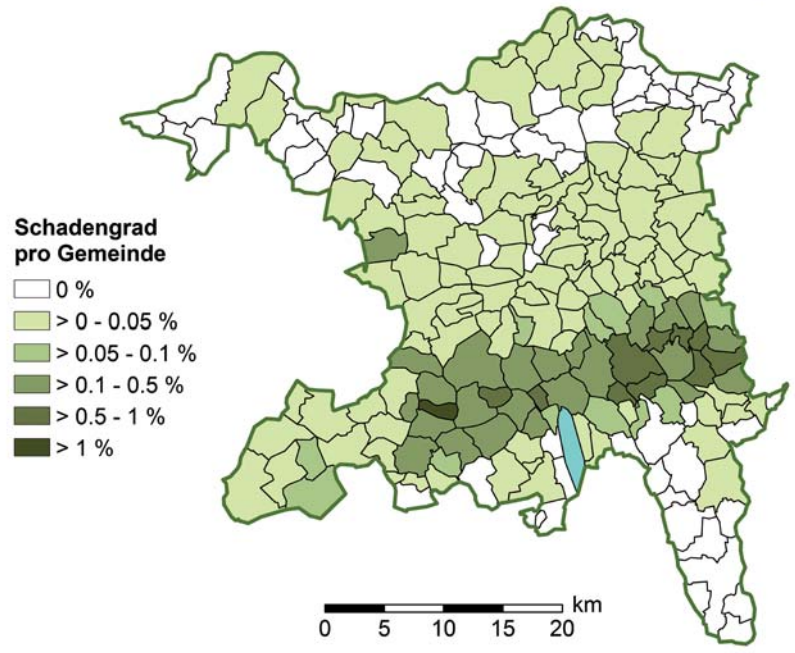
Eine gute Vorstellung der Schwere des Hagelereignisses liefert Abb. 10 mit dem Prozentsatz beschädigter Gebäude am Gesamtgebäudebestand pro Gemeinde (vgl. dazu auch Abb. 6). Hier tritt insbesondere der südliche Hagelzug wiederum deutlich in Erscheinung. Die Karte gibt einen wirklichkeitsgetreuen Eindruck der Intensitätsverhältnisse, da durch die relative Masszahl die Wirkung der Besiedlungsdichte ausgeblendet wird. Markant tritt wiederum die Region um Wohlen und Bremgarten hervor, wo in etlichen Gemeinden mehr als die Hälfte der Gebäude Schäden erlitt. Daneben zeigen sich aber westlich davon auch weitere Zentren mit hohen Schadenanteilen, so beispielsweise Hirschthal, das mit fast 70 % den insgesamt höchsten Anteil aufweist.



**Abb. 9:** Höhe des mittleren Gebäudeschadens pro Gemeinde (kartografische Grundlage: swisstopo).



**Abb. 10:** Relativer Anteil beschädigter Gebäude pro Gemeinde (kartografische Grundlage: swisstopo).



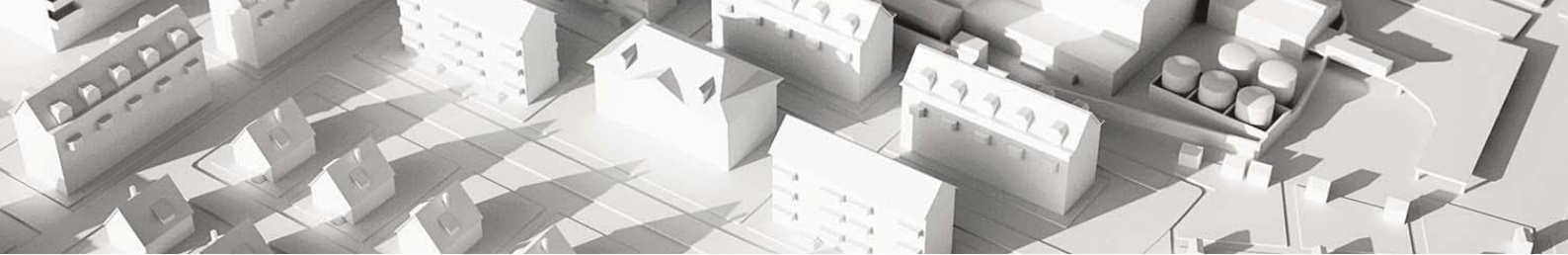
**Abb. 11:** Schadegrad, d. h. Verhältnis zwischen Schadensumme und Versicherungswert pro Gemeinde (kartografische Grundlage: swisstopo).

Stellt man die Schadensumme pro Gemeinde ins Verhältnis zur Gesamtversicherungssumme, erhält man den Schadegrad, d. h. den Prozentsatz des vernichteten Versicherungswertes (Abb. 11). Es handelt sich also um ein Mass für die Zerstörungswirkung des Hagels. Dementsprechend fallen die höchsten Schadengrade in der Regel mit den höchsten Hagelintensitäten zusammen. Es gibt allerdings Ausnahmen hierzu, wie folgende Beispiele zeigen:

- In Gansingen wurde einzig ein Kleintierstall beschädigt. Aufgrund des unbedeutenden Versicherungswertes führte bereits ein relativ geringfügiger Schaden zu einem hohen Schadegrad, was typisch für Klein- und Nebengebäude ist (Abb. 16). Gemäss Radar betrug die maximale aufgetretene Hagelkorngrösse ca. 3 cm.

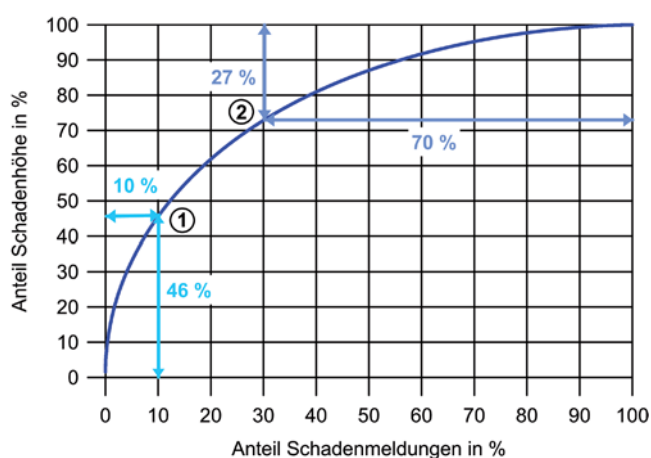
- Effingen sticht ebenfalls heraus; der Grund ist im Prinzip derselbe: ein einziges Wohnhaus erlitt einen nicht näher definierten Schaden von mittlerer Höhe und sorgte damit für einen hohen Schadegrad. Laut Radar erreichten die Korngrössen auch hier rund 3 cm.
- In Freienwil führte die Beschädigung der Dichtungsbahnen eines einzigen Gebäudes trotz relativ geringer Hagelintensität (bis 2 cm Korndurchmesser) zu einem hohen Schadegrad.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass der Kanton Aargau am 12. / 13. Juli 2011 insofern noch Glück im Unglück hatte, als der Hagelzug die Regionen mit den allerhöchsten Wertkonzentrationen (vgl. Abb. 3) nur mit seinen Randbereichen erfasste, indem er südlich davon vorbeizog.



## 2.5 Ein Blick auf die Schadenszahlen

Stellt man die Anzahl der Schadenmeldungen den nach ihrer Höhe absteigend sortierten Einzelschadenbeträgen gegenüber, ergibt sich die Kurve in Abb. 12. Wären sämtliche Schäden genau gleich hoch ausgefallen, verlief die «Kurve» in Form einer Winkelhalbierenden von der linken unteren in die rechte obere Ecke. Da sich die Schadenbeträge aber unterscheiden, ähnelt die Schadenssummenkurve vielmehr einem Parabelast, wobei die Stärke der Krümmung durch die Diskrepanz zwischen grössten und kleinsten Schäden bestimmt wird.



**Abb. 12:** Relativer Anteil der absteigend nach ihrer Höhe sortierten Schäden an der Gesamtschadensumme.

Interessant sind neben der Kurvenkrümmung insbesondere die beiden Endbereiche der Kurve:

Die 10% grössten Einzelschäden allein (2'066 von 20'656 Schadenfällen) sind für 46% der (Brutto-) Gesamtschadensumme von rund CHF 150 Mio. verantwortlich: (1). Eine geringe Zahl an Grossschäden bestimmt also zu einem bedeutenden Teil die Gesamtschadensumme. So übertreffen allein 15 Einzelschäden (neun davon in Wohlen) eine (Brutto-) Schadenhöhe von je CHF 200'000 und summieren sich auf CHF 7.9 Mio. – entsprechend fast 20% der Gesamtschadensumme.

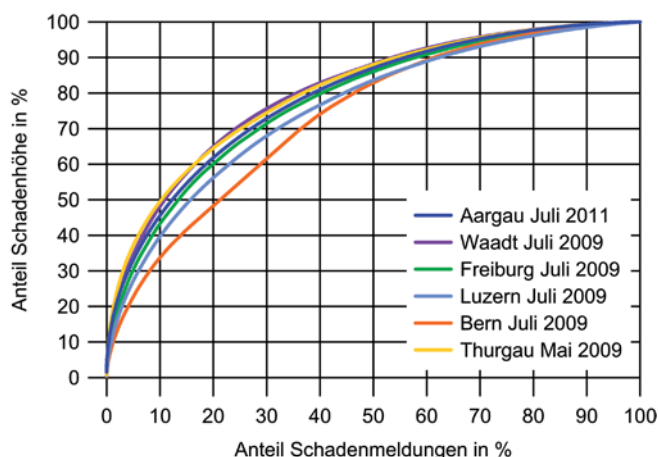
Die drei grössten Schadenfälle seien nachfolgend genannt:

- Der grösste Einzelschaden mit fast CHF 2 Mio. trat an einem Gewerbebetrieb mit mehreren Betriebsgebäuden auf. Der Schaden war insbesondere an der Bedachung so beträchtlich, dass das Hauptgebäude neu aufgebaut werden musste.
- Der zweitgrösste Schaden mit fast CHF 1.2 Mio. betraf die Metallbedachung eines Industriegebäudes. Die Kombination von grosser Oberfläche und hagelempfindlichem Material führte zum hohen Schadenbetrag.

- Schäden von knapp CHF 1 Mio. entstanden an einem weiteren Industriegebäude an Dach, Oblichtern und Storen; die Feuerwehr musste überdies eingedrungenes Wasser aus den Kellern abpumpen.

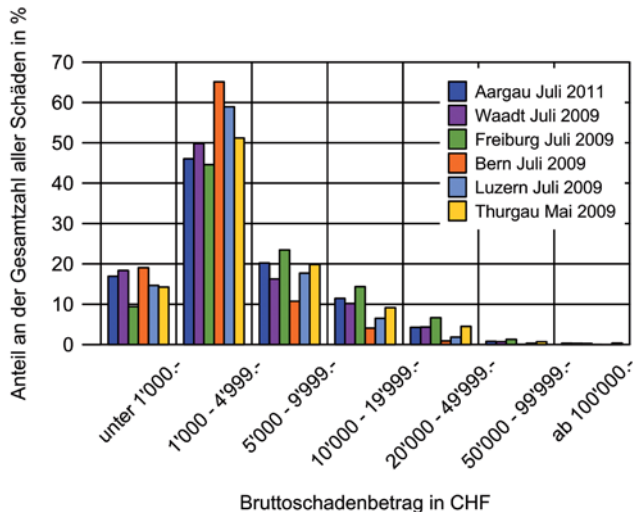
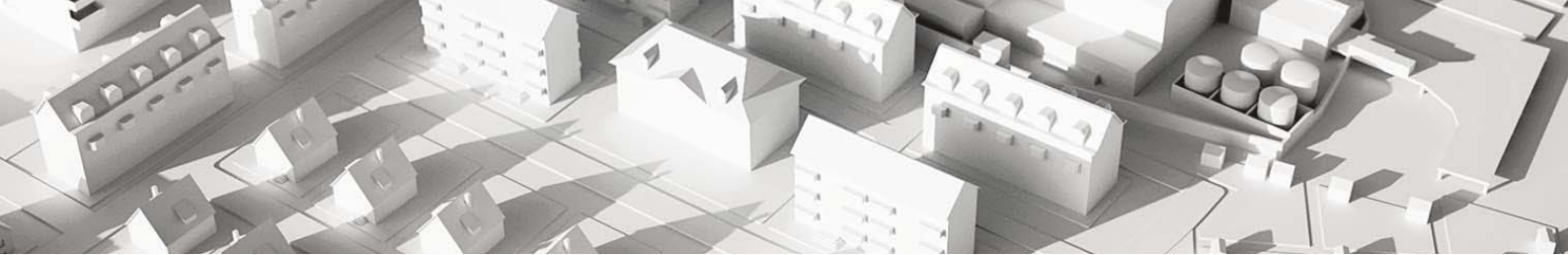
Demgegenüber beanspruchen die 70% kleinsten Schäden nur 27% der Gesamtschadensumme: (2). So liegen 4'381 Fälle unterhalb einer (Brutto-) Schadenssumme von CHF 1'500. Solche verhältnismässig geringen Schäden verursachen aufgrund ihrer grossen Zahl jedoch bedeutenden administrativen und logistischen Aufwand.

Die in Abb. 12 präsentierte Aargauer Summenkurve stimmt gut mit jenen vergleichbarer Hagelereignisse in anderen Kantonen überein (Abb. 13). Sie verläuft zwischen den Kurven von Waadt und Thurgau einerseits und derjenigen von Freiburg andererseits, also jenen Kantonen, die durch die 2009er Hagelschläge relativ am stärksten betroffen wurden. Offensichtlich weist eine starke Kurvenkrümmung auf besondere Heftigkeit hin, indem dann die Diskrepanz zwischen grössten und kleinsten Schäden grösser ist.

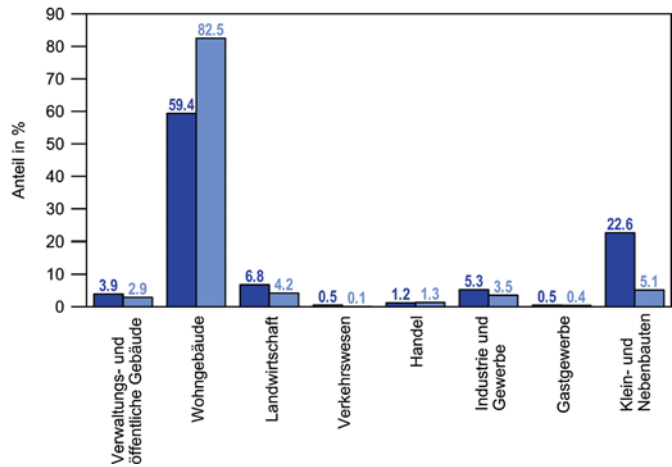


**Abb. 13:** Vergleich der Kurve aus Abb. 12 mit den Kurven der beiden Hagel-Grossereignisse von 2009 (nach IRV, 2012; ergänzt).

Abb. 14 gliedert die Kostenstruktur der Schäden in einzelne Kategorien. Sie zeigt, dass sich fast die Hälfte der Einzelschäden im Kanton Aargau auf Beträge zwischen CHF 1'000 und 5'000 belaufen. Schadenbeträge über CHF 20'000 traten nur in gut 5% der Fälle auf, solche über CHF 100'000 bildeten mit 0.3% eine verschwindende Minderheit. Die Verteilung ist typisch und ordnet sich gut in diejenige der im Rahmen der 2009er-Studie (IRV, 2012) untersuchten Kantone ein. Wie in Abb. 13 fällt insbesondere der Kanton Bern durch einen grösseren Anteil in den Kategorien tieferer bzw. einen kleineren Anteil in den Kategorien höherer Schadenbeträge auf, was auf eine dort im Schnitt geringere Schadenwirkung hinweist.



**Abb. 14:** Kostenstruktur der hagelbedingten Brutto-Gebäudeschäden der Ereignisse 2009 und 2011: relativer Anteil der einzelnen Kostenklassen an der Gesamtzahl der Schäden.



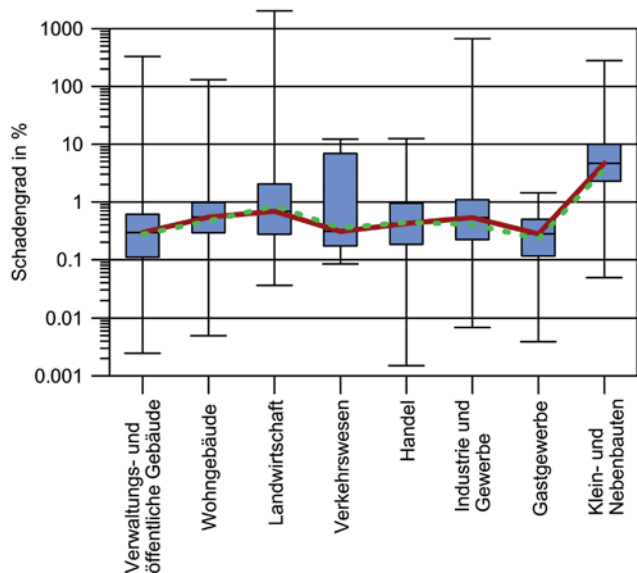
**Abb. 15:** Relativer Anteil der Gebäudekategorien (Zweckbestimmung) an der Gesamtgebäudezahl im Kanton Aargau (dunkle Säulen) bzw. an der Anzahl beschädigter Gebäude (helle Säulen).

Vergleicht man den Prozentsatz betroffener Gebäudekategorien mit deren Anteil am gesamten Gebäudebestand im Kanton Aargau (Abb. 15), so kann im Prinzip das bereits in der 2009er Studie festgehaltene wiederholt werden: Bezüglich ihres Anteils am Gebäudeportfolio übervertreten – und zwar deutlich – sind einzig die Wohngebäude. Demgegenüber sind Klein- und Nebenbauten markant unterrepräsentiert, in geringerem Masse auch landwirtschaftliche Gebäude sowie Industrie- und Gewerbebauten. Alle übrigen Gebäude tauchen in den Schadendaten ungefähr im Verhältnis ihres Anteils am Gesamtgebäudebestand auf. Damit reihen sich die Aargauer Zahlen nahtlos zwischen diejenigen aus den Kantonen Thurgau, Waadt, Freiburg, Bern und Luzern ein (IRV, 2012). Die Schlussfolgerungen aus der 2009er Studie werden daher durch die 2011er Daten nicht in Frage gestellt:

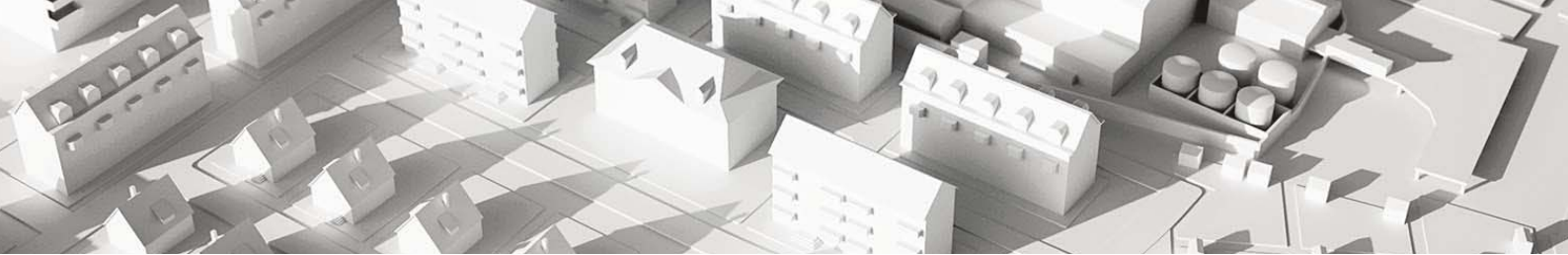
- Wohngebäude weisen gegenüber den übrigen Gebäudekategorien im Schnitt eine höhere Hagelempfindlichkeit auf.
- Besitzer von Wohngebäuden zeigen eine höhere Anspruchshaltung an ihre Kantonale Gebäudeversicherung: Sie tendieren dazu, selbst geringe Beschädigungen ihres Objekts bei der KGV anzumelden, während dies bei Eigentümern von Gebäuden aller übrigen Kategorien weniger der Fall ist.

Der erste Erklärungsansatz lässt sich anhand der Untersuchung des Anteils betroffener Bauelemente einigermaßen einschätzen (vgl. nachfolgende Kapitel), wohingegen die Anspruchshaltung der Kundschaft allein anhand der Schadendaten nur schwierig fassbar ist.

Eine Möglichkeit zur Untersuchung der Gebäudeverletzlichkeit gegenüber Hagel bietet ein Vergleich der Schadengrade für die einzelnen Gebäudekategorien. Unter dem Schadengrad eines Gebäudes ist der Quotient von (Brutto-) Schadenssumme und seinem Versicherungswert zu verstehen. Abb. 16 zeigt die entsprechende Auswertung für den Kanton Aargau.



**Abb. 16:** Boxplots der Schadengrade (Quotient Bruttoschadenssumme / Versicherungssumme) nach Gebäudekategorien (Zweckbestimmung) im Kanton Aargau. Die rote Kurve verbindet die Mediane (50%-Quantile); in Grün zum Vergleich die entsprechende Kurve für den Kanton Thurgau.



Im wesentlichen bewegen sich die berechneten Schadengrade zwischen 0.1 und 10 %, doch bestehen charakteristische Tendenzen:

Klar am höchsten sind die Schadengrade bei **Klein- und Nebengebäuden**: Der Median der Schadengrade dieser Kategorie liegt bei fast 5 %. Für die hohen Werte dürften mehrere Gründe verantwortlich sein: So liegt der durchschnittliche Versicherungswert von Klein- und Nebengebäuden im Schnitt beträchtlich unter demjenigen der übrigen Gebäudekategorien; er beträgt beispielsweise nur ca. 1/9 desjenigen von Wohngebäuden. Dadurch fällt bei vergleichbarer Beschädigung einer solchen Baute der Quotient Schadenbetrag/Versicherungswert zwangsläufig höher aus als bei den übrigen Gebäudeklassen. Selbst wenn wegen der geringeren Grösse und damit kleineren Oberfläche der Klein- und Nebenbauten die Schäden insgesamt tiefer ausfallen, ist doch das Flächenverhältnis von Oberfläche zu Volumen (und damit zum Versicherungswert) ungünstiger. Wenn also der Schadenbetrag pro Flächeneinheit der Gebäudehülle in einer ähnlichen Grössenordnung liegt, dann ist der Schaden bei den Klein- und Nebengebäuden in Relation zum Versicherungswert höher als bei den anderen Klassen. Hinzu kommt, dass der Dachdecker, Spengler oder Gipser seinen Tarif für seine Reparaturarbeiten natürlich unabhängig von der Gebäudeart verrechnet, was bei einem geringeren Versicherungswert einen höheren Schadengrad ergibt.

An zweiter Stelle bezüglich des Schadengrades stehen **landwirtschaftliche Gebäude** mit einem Median von 0.7 %. Dabei handelt es sich bei ca. 56 % der betroffenen Gebäude nicht um landwirtschaftliche Wohngebäude, sondern um das landwirtschaftliche Pendant der Klein- und Nebenbauten, nämlich Scheunen, Maschinenunterstände, Stallbauten, Gewächshäuser usw. Daher dürfte in entsprechend abgeschwächter Form das oben Festgestellte gelten.

Die vorgängig angesprochene Abhängigkeit des Schadengrades von der Oberflächen-Volumen-Relation wird gestützt durch die Tatsache, dass **Verwaltungs- und öffentliche Gebäude** tiefe Schadengrade aufweisen (Median 0.3 %). Solche Gebäude sind mehrheitlich recht gross, was ein günstigeres Verhältnis von Gebäudehüllenfläche zu Volumen (und Versicherungswert) zur Folge hat. Weitere Interpretationen sind angesichts der sehr unterschiedlichen Bauweise in dieser Gebäudekategorie schwierig.

**Wohngebäude** stehen mit einem Median des Schadengrades von gut 0.5 % an dritter Stelle. Diese Gebäude werden in relativ kurzen Intervallen modernisiert, und der jährliche Zuwachs an Neubauten ist bedeutend. Der Anteil an modernen Konstruktionen ist daher in dieser Kategorie relativ hoch, und es steht zu vermuten, dass der hohe Schadengrad zumindest teilweise mit dem hohen Anteil moderner,

vielfach schnell alternder und daher verletzlicher Bauelemente (Storen, Faserzementdächer, Blechverkleidungen, Verputz auf Aussendämmung, Kunststoffvordächer und -lichtkuppeln) zu erklären ist. Wie stark die vermutete höhere Erwartungshaltung der Wohnhausbesitzer zusätzlich zum hohen Schadengrad beiträgt, darüber lässt sich nur spekulieren.

Am tiefsten sind die Schadengrade bei **Gebäuden des Gastgewerbes** (Median knapp 0.3 %). Das mag auf den ersten Blick verblüffen, denn es handelt sich hier um Gebäude, die Wohngebäuden im allgemeinen stark ähneln. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, dass diese Gebäude bezüglich ihres Erscheinungsbildes tendenziell recht beständig sind: Trotz teilweise häufiger Besitzerwechsel bleiben Nutzungsart und äussere Erscheinung in der Regel über Jahrzehnte unverändert. Nur selten wird ein traditionsreiches Gasthaus oder Hotel grundlegend umgebaut. Auch ist der jährliche Zuwachs durch Neubauten verhältnismässig gering. In dieser Kategorie überwiegen daher im Schnitt Gebäude älterer Bauweise, die mit ihren ausladenden Ziegeldächern, verputztem Mauerwerk und hölzernen Fensterläden Traditionsbewusstsein und Gemütlichkeit vermitteln sollen und offenbar recht hagelresistent sind (Abb. 17). Vielleicht sollte diese Erkenntnis bei der künftigen Planung von Wohnbauten vermehrt Eingang finden...



**Abb. 17:** Typischer Dorfgasthof in «traditioneller» Bauweise: verputzter Fachwerkbau unter ausladendem Ziegeldach, versehen mit hölzernen Fensterläden – Gebäude in dieser Bauweise sind verhältnismässig hagelresistent (Foto: C. Oesch).

Dieselbe Auswertung wurde auch an den Schadendaten vom Mai 2009 im Kanton Thurgau vorgenommen. Um die Grafik nicht zu überladen, wird in Abb. 16 nur die Verbindungslinie zwischen den Thurgauer Medianwerten wiedergegeben. Der von der entsprechenden Linie für den Kanton Aargau nur geringfügig abweichende Verlauf deutet darauf hin, dass die Resultate nicht zufällig, sondern auch für andere Ereignisse und Kantone charakteristisch sind.



## 3. Auswertung der Schäden nach Art bzw. Funktion der Bauelemente

Aus dem Gesagten wird zudem offensichtlich, dass der Schadengrad nicht mit der technischen Verletzlichkeit gleichgesetzt werden darf: Ein mit hagelanfälligen Bauelementen ausgestattetes grosses Bürogebäude erreicht aufgrund seines bedeutenden Gebäudewertes selbst bei starker Beschädigung nur einen verhältnismässig tiefen Schadengrad. Demgegenüber können selbst die an einem solide ausgeführten Gartenhaus aufgetretenen geringen Schäden zu einem hohen Schadengrad führen.

### 3. Auswertung der Schäden nach Art bzw. Funktion der Bauelemente

#### 3.1 Schadenkategorien

Um das Profil der eingetretenen Gebäudeschäden zu ergründen, wurden die Einzelschadendaten der Aargauischen Gebäudeversicherung nach den betroffenen Bauelementen kategorisiert. Da diese im Datensatz der ausbezahlten Schadenbeträge nicht im benötigten Detaillierungsgrad aufgliedert vorliegen, wurde stattdessen der Datensatz mit den feiner aufgelöst verfügbaren budgetierten Schadenbeträgen beigezogen. Auf dieser Grundlage wurden die folgenden 40 Bauelementkategorien gebildet:

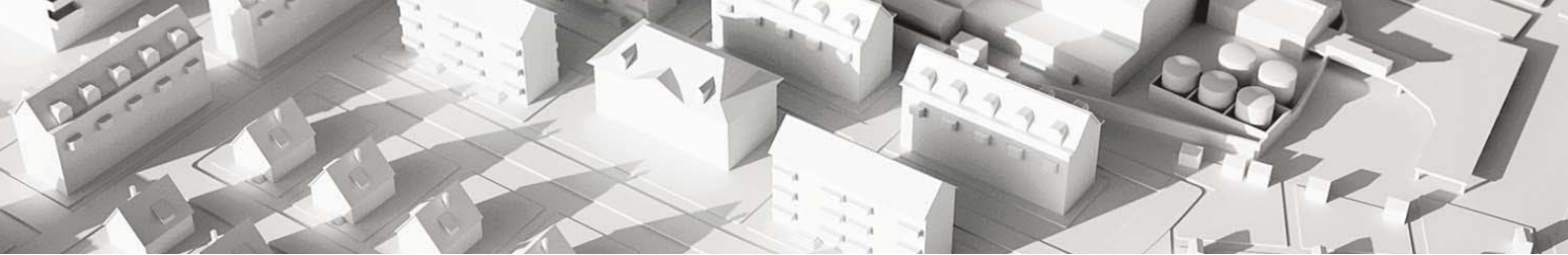
Dach  
Vordächer  
Wände, Fassade  
Fenster, Verglasung  
Fensterläden  
Storen  
Storen Dachfenster  
Sonnensegel  
Windschutzwände  
Türen, Tore  
Oberlichter, Lichtkuppeln  
Dachfenster, Lukarnen  
Kamine  
Wintergarten  
Solarenergieanlage  
Balkone  
Geländer, Brüstungen  
Briefkästen  
Aussenbeleuchtung  
Wind- und Sonnenwächter  
Heizungsanlagen  
Klimaanlagen  
Belüftungsanlagen  
Sanitäre Anlagen  
Schwimmbad(abdeckung)  
Bodenbeläge  
Plättli (Kacheln, Fliesen)  
Kücheneinrichtungen

Blech-/Metallelemente, Spenglerarbeiten  
Schreinerarbeiten  
Elektroanlagen, Elektrikerarbeiten  
Umgebungsarbeiten  
Reinigungsarbeiten  
Trocknungsarbeiten  
Bauleitung  
Gerüste (provisorisch)  
Demontage, Entsorgung  
Anderes (bekannt)  
Unbekannt  
Budgetanpassungen (unspezifiziert)

Während die Bezeichnung der meisten dieser Kategorien quasi selbsterklärend ist, erfordern einzelne eine Präzisierung:

- Die Kategorie *Dach* berücksichtigt Beschädigungen und Reparaturarbeiten an der Dacheindeckung (Ziegel, Faserzement, Dichtungsbahnen) sowie an der Dachkonstruktion. Auch lichtdurchlässige Faserzementplatten, die Dachflächen bilden, sind in dieser Kategorie enthalten. Eigentliche Dachfenster sowie Blech-/Metallelemente bilden hingegen eigene Kategorien.
- Die Kategorie *Wände, Fassade* umfasst sämtliche im Zusammenhang mit Fassaden und Aussenwänden stehenden Beschädigungen und Reparaturarbeiten, also z.B. Maler- und Gipserarbeiten (Reparaturen an Verputz, Aussenisolation, Fassadenreinigungen, Anstriche).
- Die Kategorie *Storen* enthält Lamellenstoren (Raffstoren), Rollläden und Markisen. Sonnensegel und Storen an Dachfenstern fallen hingegen in eine separate Kategorie.
- *Anderes* umfasst sämtliche Bauelemente, die zwar bezeichnet sind, aber in keine der übrigen Kategorien passen bzw. für die keine separate Kategorie gebildet wurde.
- *Unbekannt* steht für Bauelemente, deren Natur der Verfügung nicht entnommen werden kann; erscheinen im Schadendatensatz z.B. einzig «Malerarbeiten», ist unklar, ob sich diese z.B. auf eine Fassade oder aber auf Fenster(rahmen) beziehen.
- Unter *Budgetanpassungen* sind Beträge aufgeführt, deren endgültiger Verwendungszweck im Schadendatensatz nicht aufgeführt ist.

Nachstehend werden unter dem Begriff «Schäden» Beschädigungen am Gebäude verstanden, die der Versicherung gemeldet wurden. Diese sind in den Daten der Gebäudeversicherung durch einen Betrag (in CHF) und die Art des Schadens (Kategorie) charakterisiert. Da nach Art des Schadens unterschieden wird, können in den Daten pro Gebäude mehrere Schäden festgehalten sein, z. B. Schäden an Storen, an der Bedachung, an der Fassade und an der Schwimmbadabdeckung. Als «beschädigtes Gebäude» gilt



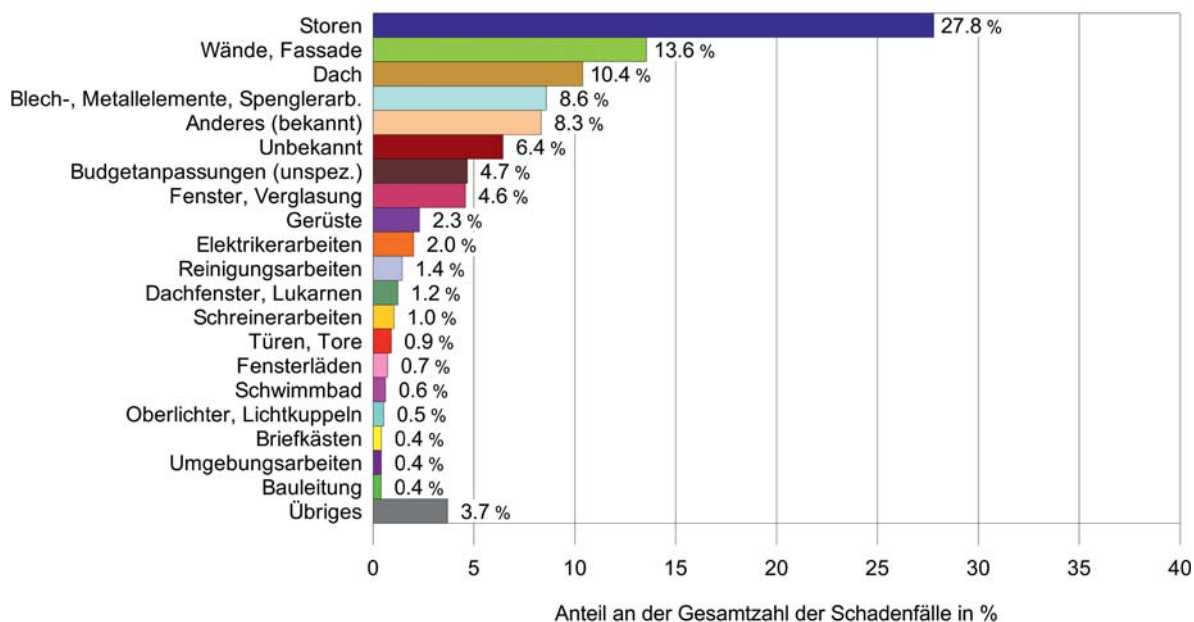
somit ein Gebäude, für welches ein oder mehrere Schäden angemeldet wurden.

Vorgesehen war eigentlich, die Zahlen der Aargauischen Gebäudeversicherung mit denjenigen der Gebäudeversicherung des Kantons Thurgau vom Mai 2009 zu vergleichen. Allerdings unterscheiden sich die Versicherungsbedingungen der beiden KGV teilweise. Beispielsweise versichert die AGV im Gegensatz zur GVTG textile Sonnenschutzvorrichtungen (Markisen, Sonnensegel). Zudem lagen die Schadendaten der beiden KGV zur Auswertung in unterschiedlicher Form vor: Die ausgewerteten Datensätze der AGV beschreiben die Schäden in relativ knapper Form, während die analysierten Verfügungen der GVTG zuhanden ihrer Kundschaft ausführlicher formuliert sind. Deshalb liess sich auch das im Rahmen der Studie zum 2009er Hagel entwickelte halbautomatische Auswertungsverfahren (Python®-Script; vgl. Choffet et al., 2011 und IRV, 2012) nicht anwenden. Die Auswertung der Aargauer Daten erfolgte daher anhand gezielter Auswahlkriterien direkt in den Schadendatensätzen.

Aus den genannten Gründen weichen die in der vorliegenden Studie ausgewerteten Kategorien der betroffenen Bauelemente gegenüber der Studie «Hagel 2009» (IRV, 2012) teilweise ab und sind folglich nur eingeschränkt vergleichbar. Vergleiche zum 2009er Ereignis werden deshalb nur fallweise gezogen.

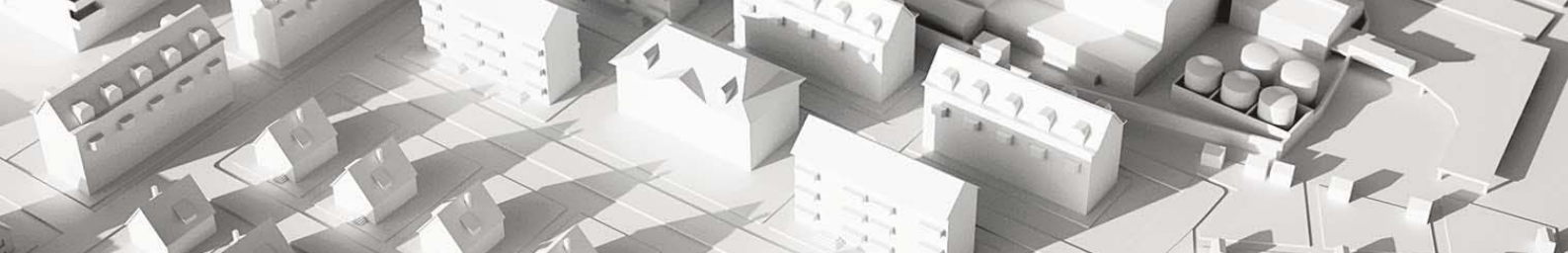
### 3.2 Verteilung der Schäden nach betroffenen Bauelementen

Die 43'618 Schäden<sup>3</sup>, die sich auf eine budgetierte Gesamtschadensumme von CHF 155 Mio. aufsummieren, wurden ausgewertet nach dem Anteil der einzelnen betroffenen Bauelemente an der Gesamtschadenanzahl (Abb. 18) sowie nach dem Anteil des Schadenbetrags an der Gesamtschadensumme (Abb. 22). Bezüglich der Anzahl steht die Kategorie «Storen» mit 12'119 Schäden – entsprechend 27.8 % der Gesamtschadenanzahl – einsam an der Spitze.



**Abb. 18:** Prozentanteil beschädigter Bauelemente an der Gesamtzahl der Schadenfälle. Beispiel: 27.8 % der Schadenfälle entfielen auf Storen (bei einer Gesamtschadenanzahl von 43'618).

<sup>3</sup> Auf die 20'656 beschädigten Gebäuden entfallen 43'618 Teilschäden; zahlreiche Gebäude erlitten also Mehrfachschäden (d.h. an unterschiedlichen Bauelementen).



**Abb. 19:** Typischer Hagelschaden an einem Rollladen: die Hagelschlossen haben deutliche Dellen hinterlassen (Foto: AGV).



**Abb. 21:** Typischer Hagelschaden an einem Wellblechdach: die Hagelkörner haben Absplitterungen und – im Bild nicht erkennbar – Risse verursacht (Foto: AGV).

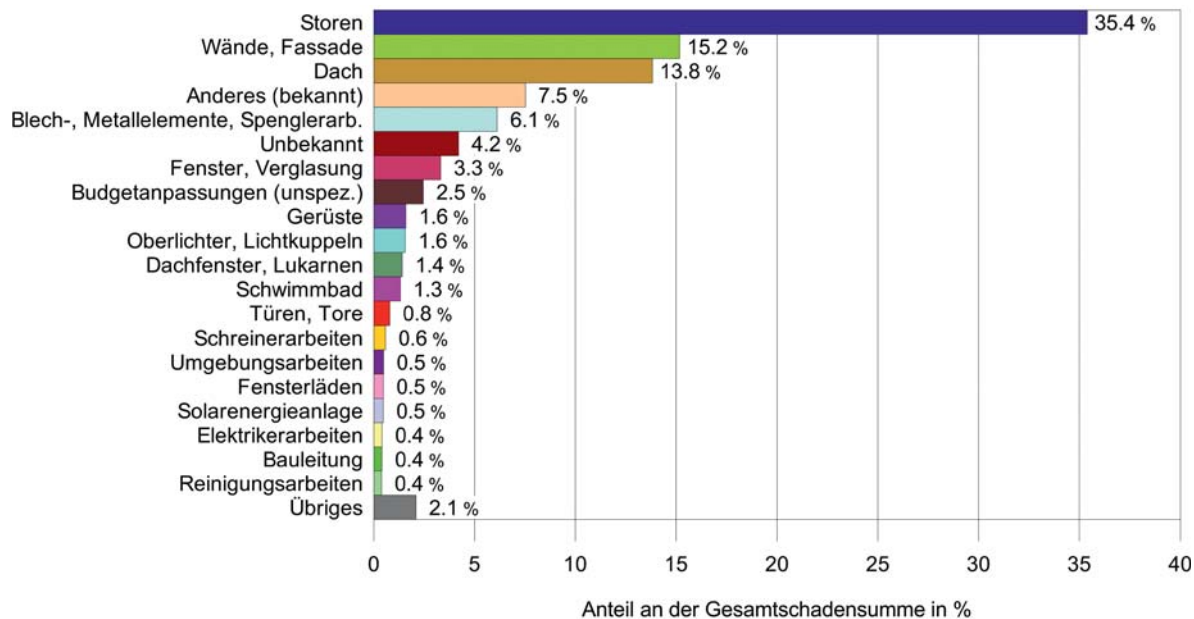
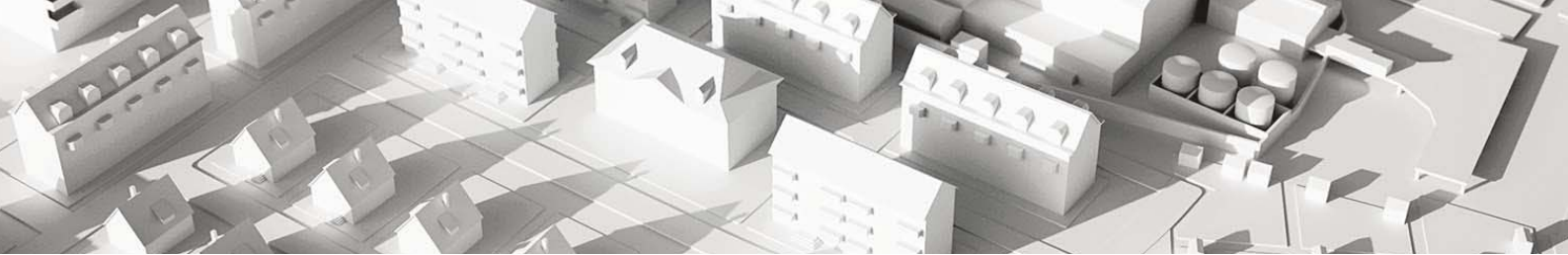
Auf dem zweiten Platz folgt die Kategorie «Wände, Fassade» mit einem knapp halb so hohen Anteil von 13.6% bzw. 5'911 Schäden. Auf Schäden in der Kategorie «Dach» entfallen 4'530 Fälle bzw. ein Prozentsatz von 10.4%. Anschliessend folgen mit 8.6% Schäden an Blech-/Metallelementen, die Spenglerarbeiten erforderten. Die nächsten drei Kategorien sind weniger leicht fassbar: Es handelt sich um Schäden an in den Schadendaten zwar bezeichneten Bauelementen, für welche aber keine eigene Kategorie gebildet wurde (vereinigt unter «Anderes»), weiter um Schäden und Budgetanpassungen im Zusammenhang mit in der Schadendatei nicht identifizierbaren Bauelementen. Erst dahinter folgen wieder konkretere Kategorien wie Fenster/Verglasung, Kosten für Gerüstung, Elektriker- und Reinigungsarbeiten, Dachfenster/Lukarnen sowie Schreinerarbeiten. Alle übrigen Kategorien liegen bezüglich der Anzahl ihres Auftretens unterhalb von 1%. Allein die drei grössten Kategorien – Storen, Fassaden und Dach – machen bezüglich ihrer Anzahl mit 51.7% die Mehrzahl aller Schadenfälle aus.

Auch bezüglich der Gesamtschadensumme (CHF 155 Mio.) stehen Storen sehr deutlich an der Spitze: Sie sind daran mit einem Anteil von 35.4% (CHF 54.8 Mio.) beteiligt (Abb. 22). Gefolgt werden die Storen wiederum von den Wänden und Fassaden, deren Anteil mit 15.2% (CHF 23.5 Mio.) nicht einmal die Hälfte desjenigen der Storen erreicht. An dritter Stelle – wie bei der Anzahl der Schadenfälle – steht die Kategorie «Dach» mit 13.8% (CHF 21.4 Mio.). Dahinter schliessen sich Blech-/Metallelemente, die Kategorie «Unbekannt», Fenster/Verglasung, Budgetanpassungen und Gerüste an. Mit 1.6% erscheint anschliessend die Kategorie «Oberlichter, Lichtkuppeln», die bezüglich der Schadenanzahl nur mit 0.5% vertreten ist. Offenbar handelt es sich hier also um überdurchschnittlich hohe Schadenbeträge (vermutlich aufgrund damit verbundener Folgeschäden durch eindringendes Regenwasser). Dasselbe gilt für Schwimmbäder, die – nach Dachfenstern und Lukarnen – mit 1.3% der Schadensumme, von der Anzahl her aber nur mit 0.6% vertreten sind. Alle übrigen Kategorien liegen bezüglich der Schadensumme unter 1%.



**Abb. 20:** Typischer Hagelschaden an einer Fassade: Risse und Abplatzungen im Verputz (Foto: AGV).

Die drei Kategorien Storen, Wände und Fassaden sowie Dächer sind allein für fast zwei Drittel (64.4%) der Gesamtschadensumme verantwortlich. Sie erweisen sich somit als die bei weitem wichtigsten Kostentreiber bei den Hagelschäden im Kanton Aargau. Unter Berücksichtigung des grossen Flächenanteils, den die drei Bauelemente an Gebäuden einnehmen, überrascht dies allerdings kaum.



**Abb. 22:** Prozentanteil beschädigter Bauelemente an der Gesamtschadenssumme. Beispiel: 35.4% der Schadenssumme entfielen auf Storen (bei einer Gesamtschadenssumme von CHF 155 Mio.).

### 3.3 Auswertung der Schäden nach Material der Bauelemente

Die im Rahmen der Studie 2009 (IRV, 2012) ausgewerteten Verfügungen der GVTG enthielten oft auch Hinweise auf das Material der beschädigten Bauteile. Dies war bei den Auswertungen der Schadendaten der AGV aufgrund der knapperen Formulierung in den Datensätzen nur sehr beschränkt möglich: Rund 2/3 der Schäden mussten mangels Angaben zum Material der Kategorie «Unbekannt» zugeordnet werden. Da zudem von gewissen Bauelementen und Reparaturarbeiten recht eindeutig auf das betroffene Material geschlossen werden kann (z.B. «Eternitverkleidung», «Stoffmarkisen», «Blechdach»), von anderen hingegen oft nicht («Fensterläden», «Storen», «Dachbeschichtung»), würde die Auswertung systematisch verzerrt. Aus diesen Gründen wird hier auf die Wiedergabe der Ergebnisse der Materialauswertung verzichtet.

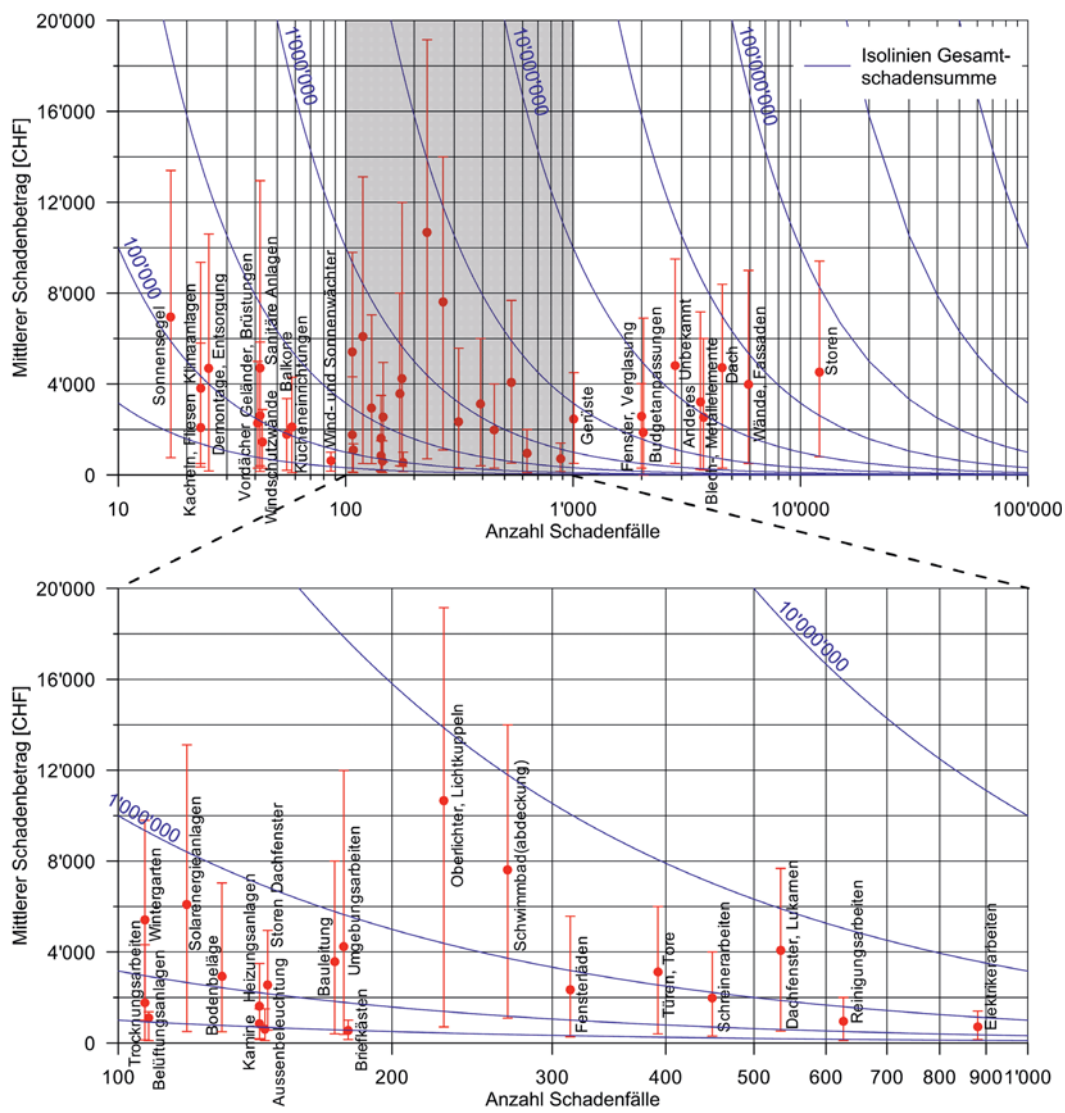
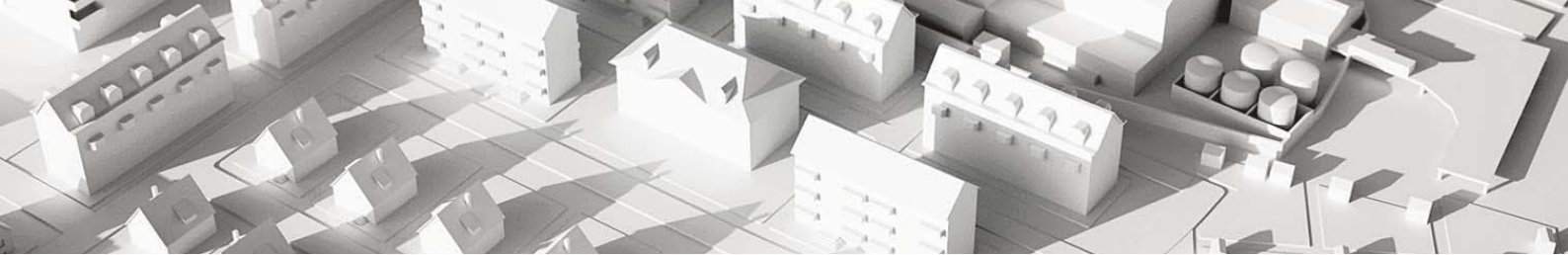
### 3.4 Durchschnittliche Schadenkosten nach Bauelementen

Aus der Schadenssumme und der Schadenanzahl lässt sich die mittlere Schadenhöhe der einzelnen Kategorien berechnen. Mit einem durchschnittlichen Betrag von CHF 10'667 nehmen Schäden an Oberlichtern/Lichtkuppeln die Spitze ein (vgl. Feststellung oben). Sie liegen weit vor der zweitklassierten Kategorie – Schwimmbäder (und deren Abdeckungen) – mit CHF 6'944. Danach folgen Sonnensegel mit CHF 6'609 und Solarenergieanlagen mit

CHF 6'095. Dächer befinden sich mit CHF 4'727 an siebter Stelle innerhalb der 40 Kategorien. Storen – bezüglich Anzahl und Schadenssumme die wichtigste Kategorie – liegen mit CHF 4'526 auf der zehnten Position. Somit stehen die am meisten an den Gesamtschaden beitragenden Bauelementkategorien (Storen, Fassaden, Dächer) bezüglich ihrer mittleren Schadenhöhe nicht an der Spitze. Zu bemerken ist allerdings, dass die Repräsentativität der mittleren Schadenhöhe von der Anzahl der Schäden in den einzelnen Kategorien abhängt: Enthält z.B. eine Kategorie nur gerade zehn Schadenfälle, dann verändert die Erhöhung eines einzigen Schadens auf das Doppelte der mittleren Schadenhöhe letztere um 10 %, während eine Kategorie mit 100 Schadenfällen nur eine Veränderung ihres mittleren Schadens um 1 % erfährt, eine solche mit 1'000 Schadenfällen entsprechend um 0.1 %. Um diesen Sachverhalt hervorzuheben, stellt Abb. 23 die Anzahl Fälle pro Bauelementkategorie ins Verhältnis zum mittleren Schadenbetrag. Die «Antennen» in der Grafik veranschaulichen die teilweise breite Streuung der Einzelschadenbeträge für die verschiedenen Kategorien.

### 3.5 Vergleich mit dem Ereignis vom Mai 2009 im Kanton Thurgau

Der Vergleich der prozentualen Anteile der einzelnen Bauelementkategorien des Kantons Aargau mit den entsprechenden Zahlen zum Hagelereignis am 26. Mai 2009 im Kanton Thurgau offenbart trotz der bereits angesprochenen Vorbehalte zur Vergleichbarkeit einige interessante Unterschiede.

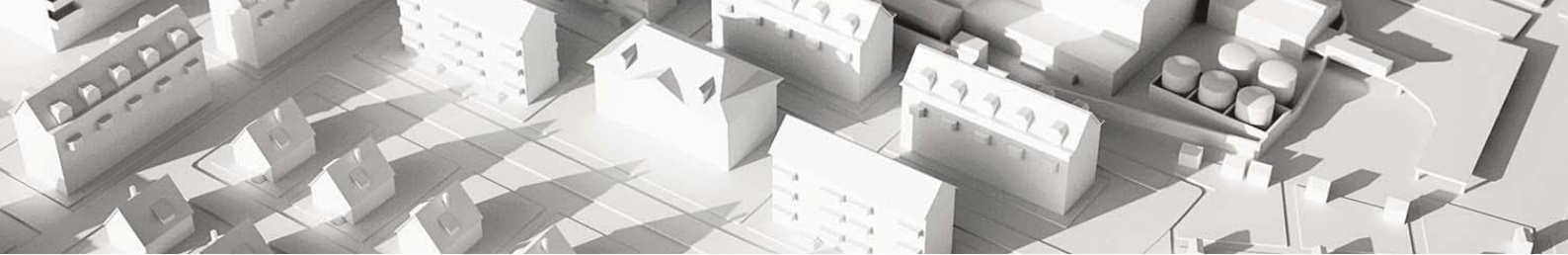


**Abb. 23:** Anzahl Schäden pro Bauelementkategorie und durchschnittliche Schadenhöhe derselben. Entlang der Isolinien ist die Gesamtschadensumme, d.h. das Produkt «Anzahl Schadenfälle» × «mittlere Schadenhöhe» identisch. Die für die Gesamtschadensumme wichtigen Kategorien liegen somit tendenziell rechts oben, unbedeutende links unten. Die oberen bzw. unteren Querbalken der «Antennen» markieren das 10%- bzw. das 90%-Quantil.

Der Prozentanteil der Schadenfälle in der Kategorie «Storen» ist mit knapp 30% der gesamten Schadenanzahl in beiden Kantonen ähnlich (Abb. 25). Dies erscheint angesichts der Tatsache, dass der Hagelschlag im Aargau in der Nacht erfolgte, im Thurgau jedoch bereits am späteren Nachmittag, auf den ersten Blick überraschend. Vergleicht man jedoch die Anteile der Storen an der Schadensumme für beide Kantone, dann liegt dieser im Kanton Aargau markant höher. Es wurden hier also nicht mehr Storen beschädigt als im Thurgau, doch erlitten diese deutlich teurere Schäden. Dies lässt sich am plausibelsten dadurch erklären, dass in beiden Kantonen zum Zeitpunkt des Hagelschlags an den meisten betroffenen Gebäuden mindestens eine Store ausgefahren war. Entsprechend wurde für diese Ge-

bäude ein Hagelschaden an Storen verzeichnet, und der Anteil an der Schadenanzahl fiel in beiden Kantonen ähnlich aus.

Da aber der Hagelschlag im Aargau zu nächtlicher Stunde eintrat, war der Anteil heruntergefahrener Storen pro Gebäude hier deutlich höher, so dass eine grössere Storenfläche dem Hagel ausgesetzt war. Folglich fielen die Schadenbeträge für Storen an den damit ausgestatteten Gebäuden im Schnitt höher aus. Der Zeitpunkt des Ereignisses hatte somit einen entscheidenden Einfluss auf die Schäden: Nicht bezüglich der Anzahl von Gebäuden mit Schäden an Storen, sondern bezüglich der Schadenhöhe.



Diese Beobachtung belegt die Zweckmässigkeit von Steuerungssystemen, die bei Hagelgefahr das automatische Hochfahren von Storen auslösen. Ein solches System befindet sich gegenwärtig in der Testphase (vgl. Kasten).

Fazit: Sowohl im Thurgau als auch im Aargau waren Storen, Dächer und Wände/Fassaden die wichtigsten Kostentreiber, was im Hinblick auf Präventionsmassnahmen (z.B. Hagelregister) zu berücksichtigen ist.

**Projekt «Hagelvorwarnung für den rechtzeitigen Einzug von Sonnenschutzelementen» der Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen**

Gemeinsam mit SRF Meteo und weiteren Partnern hat die VKF ein modernes Hagelvorwarnsystem zum Schutz von Storen und anderen Sonnenschutzelementen entwickelt. Sobald für ein Gebäude akute Hagelgefahr besteht, sendet SRF Meteo ein Signal an eine elektronische Gebäudesteuerung. Daraufhin fahren die Storen automatisch hoch und bleiben verschont. Ist der Hagelanschlag vorüber, sorgt ein zweites Signal dafür, dass sich die Storen wieder in ihre Ausgangsposition bewegen.

Damit das Vorwarnsystem in der Lage ist, Schäden effizient zu verhindern, wird eine höchstmögliche Zuverlässigkeit vorausgesetzt. Die entsprechenden Prognosen erfordern komplexe und aufwendige Berechnungen. Als Grundlage dienen Wettermodelle mit Radar-, Blitz- und Stationsdaten. Zudem greift das System auf statistische Auswertungen zurück. Insgesamt werden pro Tag über 714 Millionen Werte berechnet. Damit wird alle 5 Minuten eine aussagekräftige Hagelprognose erstellt. Im Ereignisfall wird das Signal sowohl über Internet als auch per SMS an das Steuergerät übermittelt.

Derzeit steht das Vorwarnsystem noch in der Testphase. Diese dauert insgesamt drei Jahre und wird Ende 2015 abgeschlossen sein.

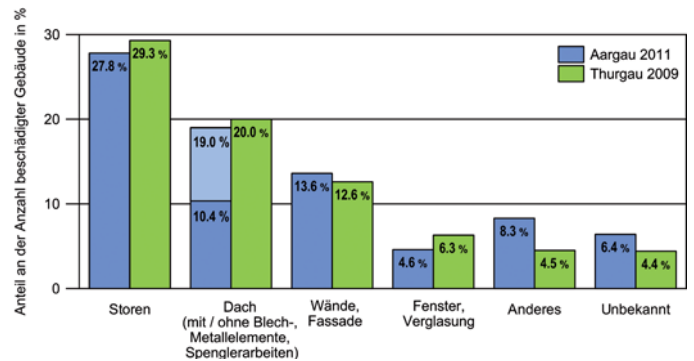


Abb. 24: Vergleich des Anteils der einzelnen Kategorien an der Gesamtzahl der Schadenfälle zwischen den Ereignissen in den Kantonen Aargau 2011 und Thurgau 2009.

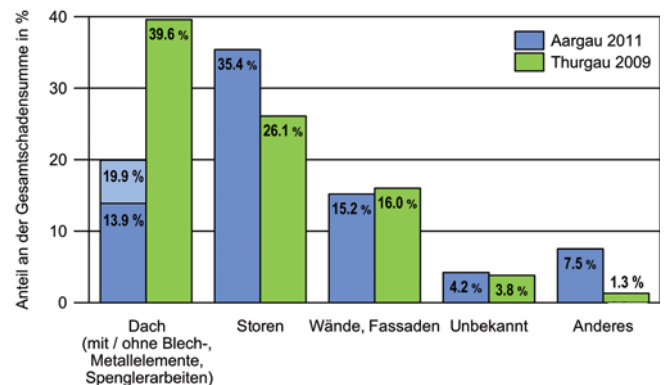
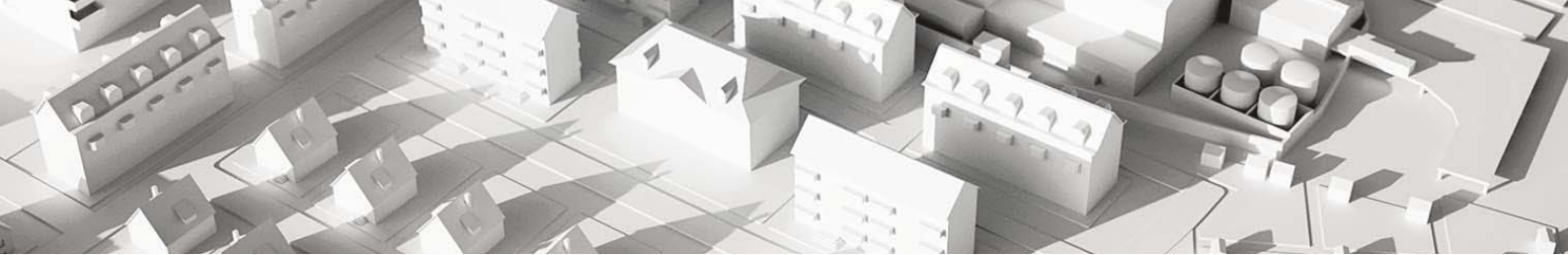


Abb. 25: Vergleich des Anteils der einzelnen Kategorien an der Gesamtschadenssumme zwischen den Ereignissen in den Kantonen Aargau 2011 und Thurgau 2009.

In der Kategorie «Dach» ist der anzahlmässige Prozentsatz mit gut 10% nur halb so hoch wie im Thurgau, für den die Studie zum Hagel 2009 (IRV, 2012) 20% aufführt. Hierzu ist aber anzumerken, dass sich der Inhalt der Kategorie «Dach» in den beiden Studien unterscheidet.

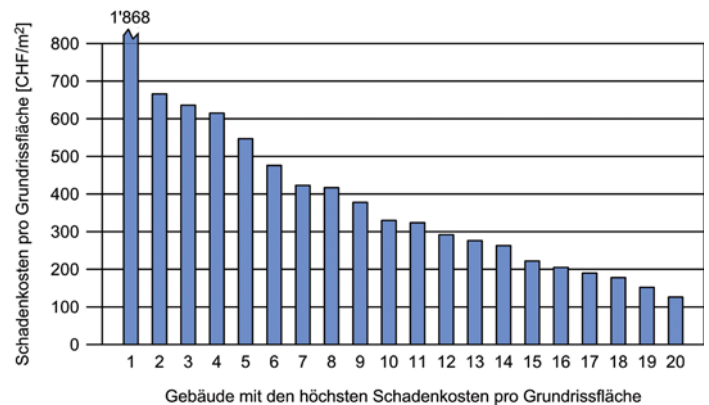
Eine ähnliche Tendenz zeigen auch die Zahlen zu den Schäden an Wänden und Fassaden: Gegenüber dem Thurgauer Ereignis ist der zahlenmässige Anteil beschädigter Fassaden leicht höher, bezüglich der Schadenssumme jedoch tiefer. Zu beachten ist dabei aber, dass der hohe Anteil der Storen an der Schadenssumme im Kanton Aargau denjenigen der anderen Kategorien entsprechend drückt. Die gleiche Wirkung übt auch die Kategorie «Anderes» aus, die im Kanton Aargau wesentlich stärker vertreten ist als im Kanton Thurgau. Aus diesem Grund ist der Vergleich der Zahlen zwischen den beiden Kantonen nur mit gewissen Vorbehalten möglich.



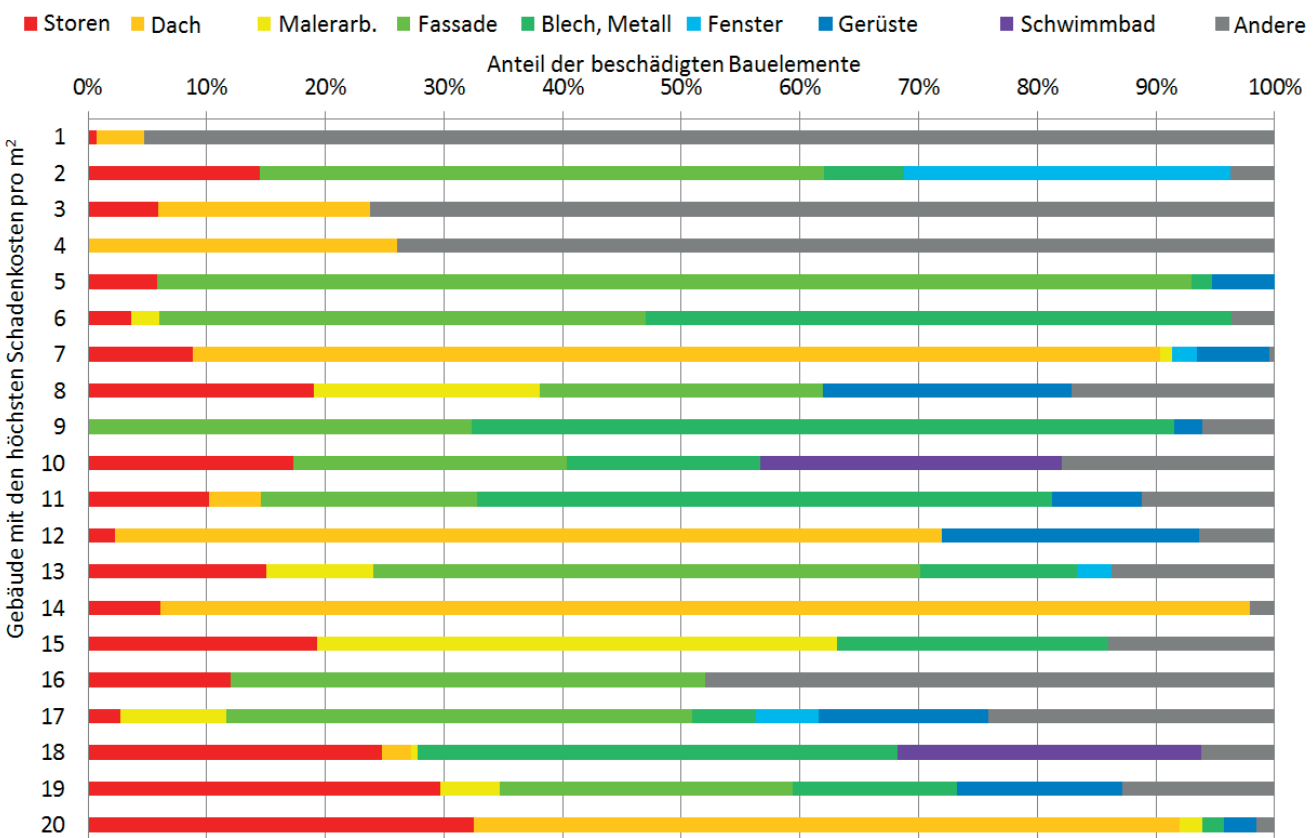
### 3.6 Die zwanzig Gebäude mit dem höchsten Schaden pro m<sup>2</sup> Grundrissfläche

Von gewissem Interesse sind auch die besonders hoch ausgefallenen Schäden. Daher wurden die zwanzig Gebäude mit den höchsten Schadenbeträgen pro Grundrissfläche näher untersucht (Abb. 26). Dabei sticht besonders das Gebäude mit dem ausserordentlichen Spitzenwert von CHF 1'868/m<sup>2</sup> bzw. einer Gesamtschadensumme von annähernd CHF 375'000 heraus. Der weitaus grösste Teil dieses hohen Betrags lässt sich leider ausgerechnet für dieses Gebäude anhand der Daten keiner konkreten Kategorie zuordnen (Abb. 27). Das an zweiter Stelle liegende Gebäude liegt mit einem flächenbezogenen Schadenbetrag von CHF 660/m<sup>2</sup> bereits deutlich zurück. Bei diesem ist die beschädigte Fassade für den grössten Teil des Betrages verantwortlich. Bis zum zwanzigsten Gebäude sinkt dieser Betrag schliesslich auf CHF 126/m<sup>2</sup>.

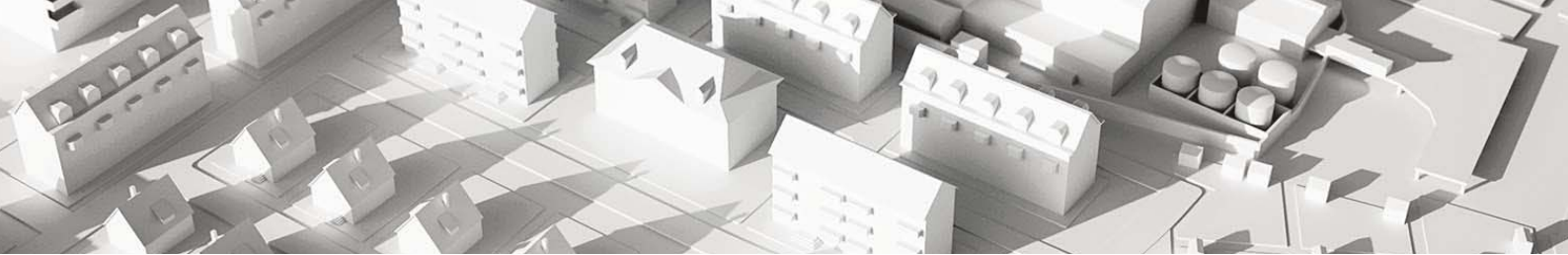
Gemäss den Schadendaten machen auch bei diesen zwanzig Gebäuden Storen, Dächer, Fassaden und Blech-/Metallelemente den Hauptanteil der Schadensumme aus.



**Abb. 26:** Die zwanzig Gebäude mit den höchsten Schadenbeträgen pro Grundrissfläche. Die Säule mit dem Spitzenwert von CHF 1'868/m<sup>2</sup> wurde aus Gründen der besseren Lesbarkeit der Grafik gekappt.



**Abb. 27:** Anteil der einzelnen Schadenkategorien für die zwanzig Gebäude mit dem höchsten Schadenbetrag pro Grundrissfläche.



### **Solarenergieanlagen – ein Damoklesschwert für die Gebäudeversicherungen?**

Bereits nach dem Hagelereignis 2009 im Kanton Thurgau (Choffet et al., 2011; IRV, 2012) tauchte die Frage auf, ob sich Solarenergieanlagen zum Problemfall für die KGV entwickeln könnten. Immerhin steht zu erwarten, dass durch die angestrebte «Energiewende» weg von fossilen bzw. hin zu erneuerbaren Energieträgern der Anteil von Sonnenenergieanlagen auf Gebäudedächern weiter zunehmen wird. Darauf deuten jedenfalls die Verkaufszahlen von Fotovoltaik-Elementen (Swissolar, 2012): Zwischen 2007 und 2012 ist die jährlich verkaufte Fotovoltaik-Leistung in der Schweiz von knapp 10'000 kW auf fast 160'000 kW emporgeschneit. Mitverantwortlich für den «Fotovoltaik-Boom» ist sicher die seit dem 1. Januar 2009 gewährte «kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)». Etwas weniger stark, aber dennoch deutlich ist der Anstieg bei thermischen Kollektoren: Die jährlich verkaufte Kollektorfläche hat sich von 2007 bis 2012 ungefähr verdoppelt.

Grund zu gewisser Sorge bietet die Feststellung, dass die durchschnittliche Schadenhöhe an Solarenergieanlagen gegenüber anderen Bauelementen sowohl im Mai 2009 als auch im Juli 2011 verhältnismässig hoch ausgefallen ist. Wie die Zahlen der Auswertung des Hagelereignisses vom Juli 2011 zeigen, beträgt der Durchschnittsschaden der betroffenen Solarenergieanlagen:

- etwa das 1.3-Fache desjenigen von Dächern bzw. von Storen
- gut 1.5-Fache desjenigen von Wänden/Fassaden,
- etwa das 2.4-Fache desjenigen von Blech-/Metallelementen.

Muss also wegen des zunehmenden Einsatzes von Solarenergieanlagen künftig mit einem starken Anstieg der Hagelschadenkosten gerechnet werden?

Die Frage ist nicht so einfach beantworten. Der Schadenanteil von Solarenergieanlagen ist in absoluten Zahlen und im Vergleich zu anderen Bauelementen derzeit recht unbedeutend. Um das künftige Potenzial beurteilen zu können, müsste bekannt sein, wie hoch der Anteil beschädigter an der Gesamtzahl verbauter Solarenergieanlagen liegt. Nur so lässt sich die Verletzlichkeit bestimmen und die künftige Entwicklung einschätzen. Die Zahl der installierten Solarenergieanlagen lässt sich jedoch nur mit grossem Aufwand zuverlässig in Erfahrung bringen.

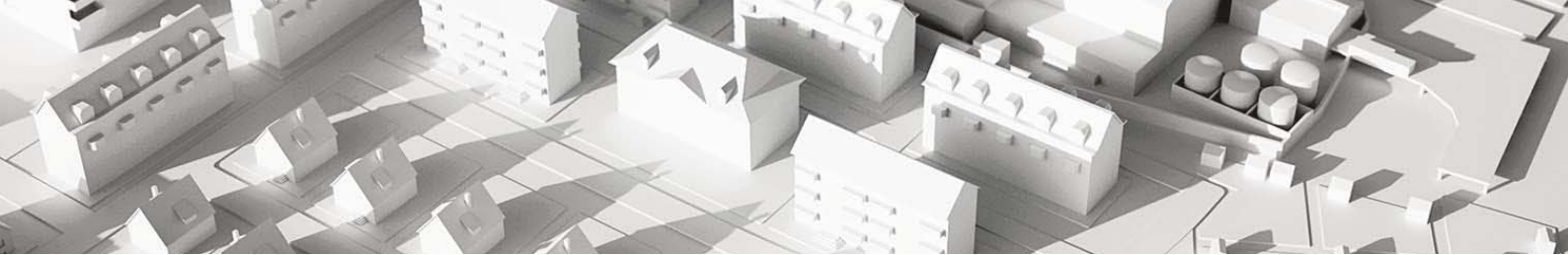
Tatsache ist aber, dass das Problem auch von den Herstellern erkannt wurde. Als besonders empfindlich ge-



**Abb. 28:** Oben defektes Fotovoltaikelement, unten beschädigter Röhrenkollektor (Fotos: AGV).

genüber Hagelschlag haben sich in der Vergangenheit Röhrenkollektoren erwiesen. Diese machen aber nur rund 10% der installierten Kollektorfläche in der Schweiz aus. Zudem ist es bei diesem Bautyp möglich einzelne Röhren auszutauschen, so dass der Schaden u.U. begrenzt bleibt. Ein Blick ins Hagelschutzregister ([www.hagelregister.ch](http://www.hagelregister.ch)) zeigt jedoch, dass heute Röhren- und Flachkollektoren auf dem Markt sind, die Hagelwiderstände von 3 und 4 aufweisen. Fotovoltaikmodule erreichen gar Hagelwiderstandswerte bis 5. Das Problem liegt also nicht in der Verfügbarkeit hagelfester Produkte, sondern darin, ob diese auch verbaut werden. Und hier gilt wie vielerorts: Qualität hat ihren Preis. Es muss den Gebäudeversicherungen also gelingen, Architekten und Bauherrschaft auf die qualitativen Unterschiede aufmerksam zu machen und aufzuzeigen, dass eine anfänglich preisgünstige Variante sich als trügerisch erweisen kann. Ob dies allenfalls auch über Ausschlüsse ungenügend hagelfester Anlagen geschehen soll, muss zumindest diskutiert werden.

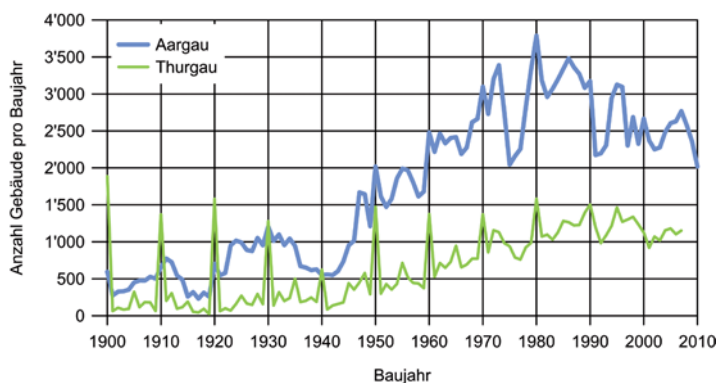




### 3.7 Schäden in Abhängigkeit des Baujahres

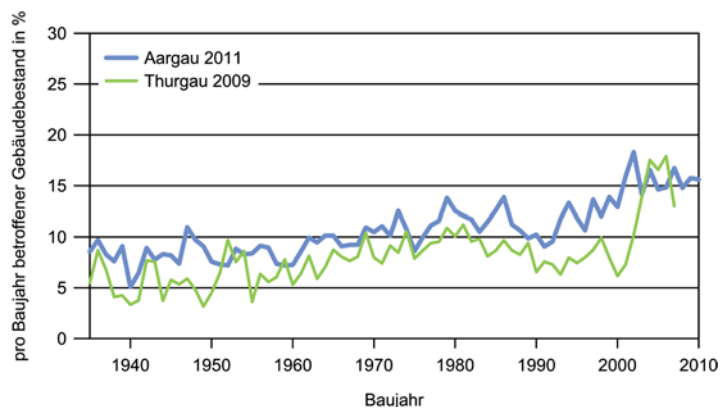
Die Auswertung der Schäden in Abhängigkeit des Baujahres der betroffenen Gebäude lieferte in der Studie 2009 Erkenntnisse, aus denen sich interessante Schlussfolgerungen zur Hagelempfindlichkeit sowie der Erwartungshaltung der Kundschaft ziehen liessen. Ungesichert blieb jedoch, ob es sich dabei um fallspezifische Ergebnisse handelt oder ob sie sich auch auf andere Hagelereignisse und Kantone übertragen lassen. So zeigte sich eine deutliche Zunahme der Verletzlichkeit von älteren hin zu neueren Wohngebäuden. Zudem stützen die Daten die Vermutung, dass Besitzer neuer Wohngebäude ihre erlittenen Schäden besonders penibel melden.

Analog zur Publikation IRV (2012) wurde daher auch für den Kanton Aargau die Anzahl betroffener Gebäude pro Baujahr untersucht. Für den Vergleich mit dem Ereignis vom 26. Mai 2009 wurden auch dieses Mal Gebäude ab Jahrgang 1935 ausgewertet (18'972 beschädigte Gebäude). Wie im Kanton Thurgau ist der Anteil von Gebäuden mit Baujahren vor 1945 gering: Der wirtschaftliche Aufschwung in der Nachkriegszeit spiegelt sich deutlich im markanten Anstieg der Gebäudezahl (Abb. 29). Hinzu kommt natürlich, dass etliche ältere Gebäude in der Zwischenzeit bereits wieder abgerissen und durch neue ersetzt worden sind. Abgesehen von den Spitzen bei den durch zehn teilbaren Baujahren (1900, 1910, 1920, ...), die in der Aargauer Kurve wesentlich schwächer ausgeprägt sind, verlaufen die Kurven ähnlich, wenn man berücksichtigt, dass die Bevölkerungszahl im Kanton Aargau mehr als doppelt so hoch ist wie diejenige im Kanton Thurgau. So sind beispielsweise die Einbrüche Mitte der 1970er und anfangs der 1990er Jahre (wirtschaftliche Rezessionsphasen) in beiden Kurven deutlich erkennbar.



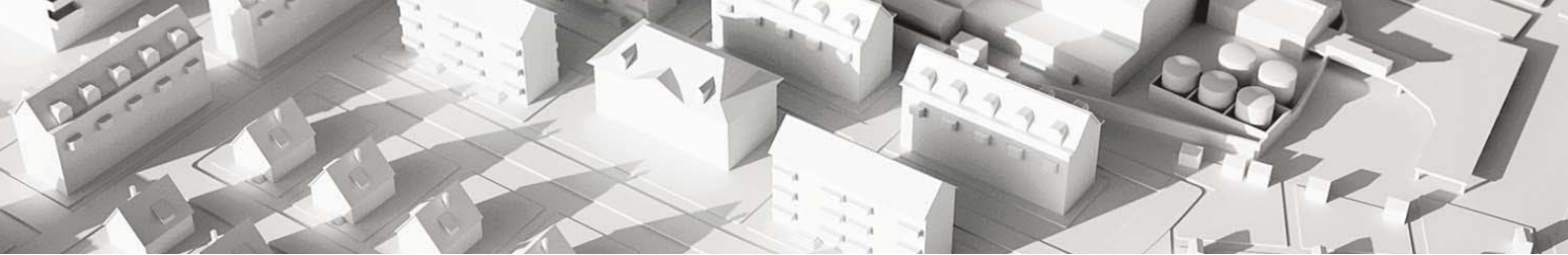
**Abb. 29:** Anzahl der Gebäude pro Baujahr in den Kantonen Aargau und Thurgau.

In Abb. 30 wird ab 1935 für jedes Baujahr der Prozentsatz der durch die Hagelereignisse im Mai 2009 bzw. im Juli 2011 beschädigten Gebäude am Gesamtbestand aller Gebäude des entsprechenden Baujahres dargestellt. So wird kompensiert, dass – wie Abb. 29 zeigt – die Anzahl existierender Gebäude pro Baujahr sehr unterschiedlich hoch ist. Die Kurven erlauben damit Aussagen zur mittleren Hagelanfälligkeit des Gebäudebestandes jedes Baujahres. Für den Direktvergleich der beiden Kurven ist zu beachten, dass der Prozentsatz nicht nur von der Hagelempfindlichkeit, sondern auch von der Ereignisintensität abhängt. Es erscheint daher wahrscheinlicher, dass der Hagelschlag im Kanton Aargau intensiver und / oder ausgedehnter ausfiel, als dass dort hagelempfindlichere Gebäude stehen. Beiden Kurven ist aber gemein, dass der Anteil beschädigter Gebäude mit dem Baujahr sukzessive ansteigt – im Thurgau auf das Dreifache, im Aargau fast auf das Doppelte des Anfangswertes. Durch die grössere Gebäudezahl verläuft die Aargauer Kurve etwas gleichmässiger, doch zeigt sich auch hier zwischen den Baujahren 1990 und 2000 ein deutlicher Anstieg: Während etwa 8% der Gebäude aus den 1940er Jahren Schäden erlitten, war dies für Gebäude der Bauperiode nach 2000 bei etwa 15% der Fall.

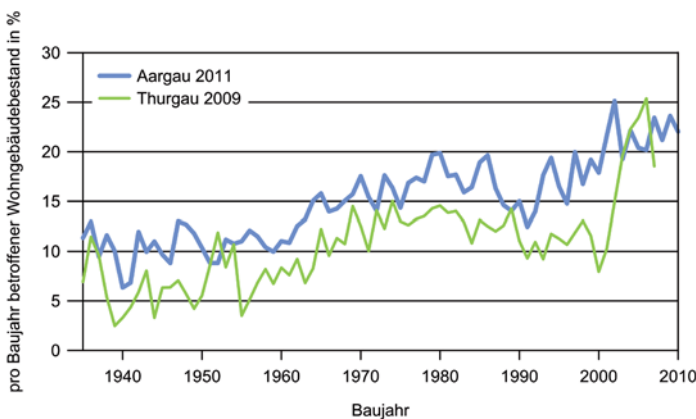


**Abb. 30:** Prozentualer Anteil **beschädigter Gebäude** am Gebäudebestand der betroffenen Aargauer und Thurgauer Gemeinden in Abhängigkeit ihres Baujahres.

Wie bereits für den Thurgau in der Studie «Hagel 2009» (IRV, 2012) wurden auch für den Aargau Wohngebäude (Zweckbestimmungscode 20–29) separat betrachtet (Abb. 31). In der entsprechenden Kurve zeigt sich ein markanter und relativ gleichmässiger Anstieg ab Baujahren um 1990. Den abrupten Anstieg der Thurgauer Kurve ab Baujahr 2000 zeigt die Aargauer Kurve nicht. Der Thurgauer Sprung wurde in der Vorgängerstudie dahingehend interpretiert, dass die Gebäudeeigentümer ihre Schäden an ihren fast neuen Gebäuden besonders gewissenhaft gemeldet hatten, da die erste Beschädigung an einem neuen Gegenstand dessen Besitzer gewöhnlich besonders schmerzt. Die Aargauer

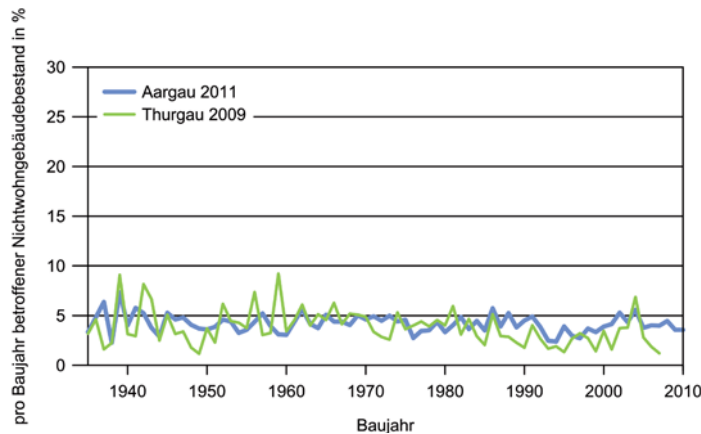


Daten widersprechen dieser Interpretation zumindest nicht, denn es wird im Aargau dasselbe Niveau erreicht, nämlich Werte zwischen 20 und 25 %. Interessant ist, dass in der Aargauer Kurve zwischen den Baujahren 1980 und 1990 eine leichte Tendenz zu tieferen Prozentsätzen erkennbar ist, die auch die Thurgauer Kurve zeigt. Eine Analyse der Bauweise von Wohngebäuden aus der entsprechenden Periode sowie aus der Zeit davor und danach wäre diesbezüglich interessant, wenn auch aufwendig.



**Abb. 31:** Prozentualer Anteil **beschädigter Wohngebäude** (Zweckbestimmung 20–29 des VKF-Codes) am Wohngebäudebestand der betroffenen **Aargauer** und **Thurgauer** Gemeinden in Abhängigkeit ihres Baujahres.

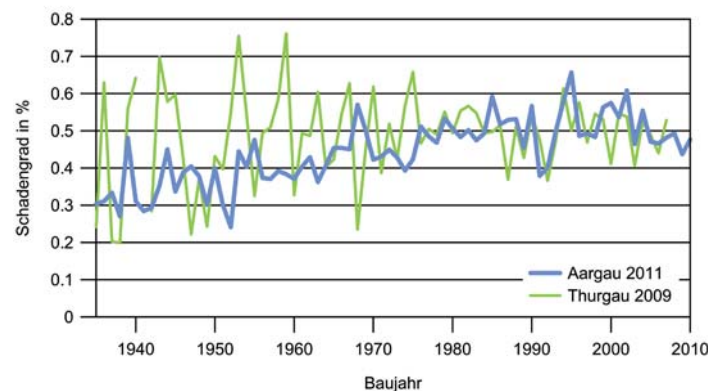
Die entsprechenden Kurven für Nicht-Wohngebäude (Zweckbestimmungscodes 10–19 bzw. 30–90) zeigt Abb. 32. Die beiden Kurven verlaufen auf tiefem Niveau eng beieinander und zeigen keine klare Tendenz. Im Aargau schwanken die Anteile zwischen 4 und 7 % und liegen damit deutlich unterhalb jener der Wohngebäude. Das Problem einer Zunahme der Hagelempfindlichkeit oder allenfalls der höheren Sensibilität der Gebäudebesitzer neuerer Bauten stellt sich hier offenbar nicht. Angesichts moderner blechverkleideter und



**Abb. 32:** Prozentualer Anteil **beschädigter Nicht-Wohngebäude** (Zweckbestimmung 10–19 bzw. 30–90 des VKF-Codes) am Nicht-Wohngebäudebestand der betroffenen **Aargauer** und **Thurgauer** Gemeinden in Abhängigkeit ihres Baujahres.

mit Dichtungsbahnen gedeckter Industriegebäude erstaunt dies einigermaßen. Die tieferen Werte bei Nicht-Wohngebäuden können möglicherweise zum Teil damit erklärt werden, dass sich KGV und Kunden häufiger auf eine Teilvergütung nur ästhetischer, nicht aber funktionaler Gebäudeschäden (z. B. Dellen in Blechverkleidungen) einigen als bei Wohngebäuden, insbesondere, wenn kaum einsehbare Gebäudeteile betroffen sind.

Die vorgängig aufgeführten Kurven beziehen sich einzig auf den Prozentsatz betroffener Gebäude pro Baujahr; das Ausmass der Schäden bleibt dabei unberücksichtigt. Wird die vermutete Verletzlichkeitszunahme aber auch durch den Schadengrad, d. h. das Verhältnis zwischen Schadenbetrag und Versicherungswert (mit anderen Worten: der Anteil vernichteter Werte) gestützt? Die entsprechende Auswertung für die Kantone Aargau und Thurgau (Abb. 33) zeigt tatsächlich für beide Kurven einen leichten Anstieg von den älteren zu den neueren Gebäuden hin, von rund 0.4 % auf etwa 0.5 %. Die Änderung ist geringfügig, kann sich für ein grosses Ereignis aber dennoch zu nennenswerten Beträgen aufsummieren: Für ein durchschnittliches Aargauer Wohngebäude (VKF-Zweckcode 20) mit einem Versicherungswert von CHF 900'000 bedeutet die Zunahme des Schadengrades um 0.1 Prozentpunkte immerhin einen um CHF 900 höheren Schadenbetrag. Angesichts der rund 120'000 Wohngebäude, von denen 2011 rund 14 % betroffen waren, läge die mögliche Einsparung bei einem vergleichbaren Hagelereignis somit in der Grössenordnung von CHF 10 Mio., wenn es gelänge, die moderneren Gebäude bezüglich ihrer Hagelresistenz auf das Niveau der 1940er Jahre verbessern!



**Abb. 33:** Medianwerte der **Schadengrade** beschädigter Wohngebäude (Zweckbestimmung 20–29) in den Kantonen **Aargau** und **Thurgau** in Abhängigkeit des Baujahres.

## 4. Sparpotenzial durch Anwendung von Bauelementen mit Hagelwiderstand $HW \geq 3$

### 4. Sparpotenzial durch Anwendung von Bauelementen mit Hagelwiderstand $HW \geq 3$

Laut der Hagelgefährdungskarte der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (KGV, 2007) ist ein Gebäude im Kanton Aargau ungefähr einmal in 50 Jahren einem Hagelschlag mit Korngrössen von  $\geq 3$  cm ausgesetzt. Die VKF empfiehlt daher für den Kanton den Einsatz von Bauelementen mit Hagelwiderstand ab  $HW 3$ , so dass sie Hagelkorngrössen von bis zu 3 cm widerstehen. Um die Auswirkung eines konsequenten Einsatzes solcher Bauelemente auf die Schadensumme abzuschätzen, wurde das Ereignis vom Juli 2011 einer entsprechenden Auswertung unterzogen.

Vereinfachend wurde dabei angenommen, dass Gebäude ausserhalb der Bereiche, in denen die Radarkarte am Ereignistag Hagelkorngrössen  $> 3$  cm verzeichnete, schadenfrei geblieben wären. Diese wurden mittels einer GIS-Analyse ausgeschieden, deren Beitrag an die Gesamtschadensumme bestimmt und dieser Anteil von der Gesamtschadensumme abgezogen (Abb. 34). Die Auswertung ergab folgendes Ergebnis:

Von den etwa 18'000 georeferenzierten beschädigten Gebäuden liegen rund 4'100 ausserhalb der Intensitätszone mit Hagelkorngrössen von  $> 3$  cm. Sie trugen ca. 17 % an die Gesamtschadensumme von CHF 151 Mio. (brutto) bzw. CHF 145 Mio. (netto) bei. Mit anderen Worten: Mit der konsequenten Anwendung von Bauelementen hätten Schäden von ca. CHF 25 Mio. verhindert werden können, und die AGV hätte rund CHF 24 Mio. an Vergütungszahlungen eingespart (die Differenz entspricht dem Selbstbehalt der Gebäudebesitzer).

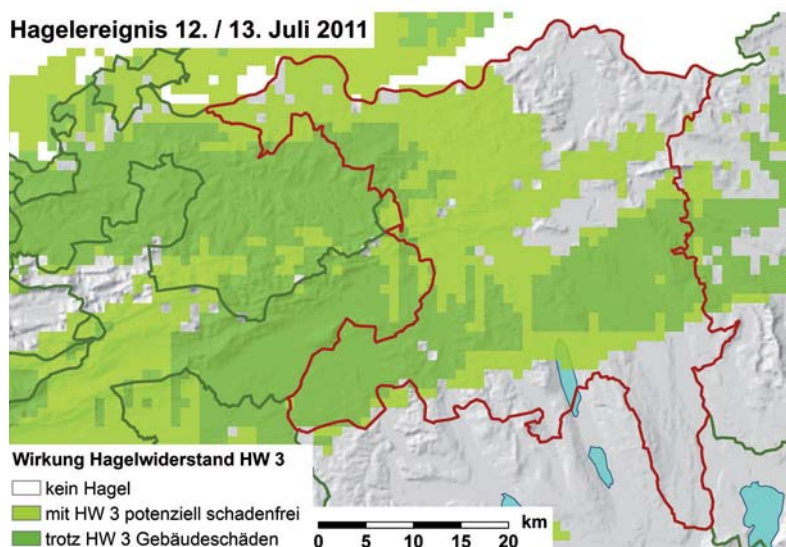
Nach dem Ereignis vom 23. Juli 2009 war in der diesbezüglichen Studie ein Einsparpotenzial von 5–15 %, entspre-

chend einer Summe von CHF 15–40 Mio., für die Kantone Waadt, Freiburg, Bern und Luzern abgeschätzt worden (IRV, 2012).

Selbstverständlich handelt es sich bei der Annahme völliger Schadenfreiheit in den Gebieten mit Hagelkorngrössen  $\leq 3$  cm um eine grobe Vereinfachung. Andererseits ist zu erwarten, dass bei konsequenter Umsetzung der Vorgabe  $HW \geq 3$  auch in den von grösseren Hagelkörnern betroffenen Gebieten die Schäden tiefer ausgefallen wären. So wären z. B. doppelschichtige Lichtkuppeln oder Faserzementdächer zwar beschädigt, aber nicht gänzlich durchgeschlagen und dadurch Schäden durch eindringendes Regenwasser verhindert worden. Weiter handelt es sich bei den aus den Radardaten abgeleiteten Hagelkorngrössen nicht um exakte Werte, und unbekannt ist zudem der Anteil bereits heute verbauter Bauelemente mit  $HW \geq 3$  im Gebäudebestand der AGV. Der Wert von 17 % für das Einsparpotenzial ist daher nicht als exakte Zahl zu betrachten. Dennoch ist er in seiner Grössenordnung durchaus plausibel und belegt eindrücklich das Potenzial dieser Präventionsmassnahme.

Eine noch wirksamere Massnahme zur Schadenverminderung bietet sich im Einfahren der Storen während des Hagelschlags an: Wie Abb. 22 zeigt, hätte das entsprechende Einsparpotenzial im Juli 2011 35,4 % der Gesamtschadensumme umfasst, was in absoluten Zahlen rund CHF 50 Mio. entspricht. Zwar spielt es grundsätzlich keine Rolle, ob die Storen von Hand oder automatisch eingefahren werden. Beim manuellen Einzug ist die erforderliche Zuverlässigkeit jedoch aus naheliegenden Gründen stark eingeschränkt.

Auf die Behebung ebendieses Mangels zielt das in Abschnitt 3.5 beschriebene VKF-Projekt "Hagelvorwarnung" zur automatischen Auslösung des Storeneinzugs ab.



**Abb. 34:** Ausdehnung der von Hagelkörnern  $> 3$  cm (dunkelgrün) bzw.  $\leq 3$  cm (hellgrün) betroffenen Gebiete im Kanton Aargau gemäss den Radardaten von meteoradar (vgl. mit Abb. 1). Die nicht eingefärbten Gebiete blieben entweder niederschlagsfrei oder verzeichneten nur Graupel und/oder Regen (kartografische Grundlagen: swisstopo).

## 5. Untersuchung der Beziehung Gebäudeorientierung – Gebäudeschaden

### 5. Untersuchung der Beziehung Gebäudeorientierung – Gebäudeschaden

#### 5.1 Einleitung

Bekanntlich wirkt sich die Alterung oder Verwitterung von Baumaterialien negativ auf deren Hagelwiderstand aus (z. B. Cullen, 1992; Crenshaw & Koontz, 2001; Hohl et al., 2002). Hingegen kennen wir keine Untersuchungen zum Einfluss der räumlichen Orientierung von Gebäuden auf deren Verletzlichkeit. Dabei wird die Alterung/Verwitterung – insbesondere die Deckung von Schrägdächern – nicht zuletzt durch die Gebäudeausrichtung bestimmt. Weiter ist die Gebäudeorientierung auch eine Einflussgrösse, sobald der Hagelschlag von Wind begleitet wird. Um die Beziehung zwischen den Gebäudeschäden und der Ausrichtung der Gebäudeachse in Bezug auf die Nordrichtung bzw. in Bezug auf die Zugbahn der Hagelzelle zu untersuchen, wurden zwei Analysen vorgenommen. Hierfür wurde aus den verfügbaren Wetterradar- und Wetterdaten die mittlere Zugrichtung der Hagelzelle vom 12./13. Juli 2011 mit 73° abgeleitet, d. h. die Zelle bewegte sich von WSW nach ENE. Für die erste Analyse wurde der gesamte Gebäudebestand des Kantons Aargau in die Untersuchung einbezogen. Für die zweite und bezüglich der Gebäudeorientierung methodisch detaillierter vorgenommene Auswertung wurden die Gebäude in zwei stark vom Hagel betroffenen Gemeinden des Kantons betrachtet.

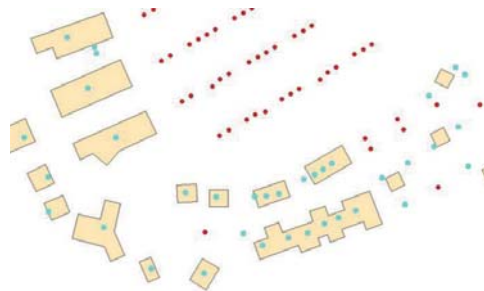
Bei der Gegenüberstellung mit der Zugbahn der Hagelzelle wurde die Gesamtheit der Schäden pro Gebäude berücksichtigt, zudem die Schäden allein an der Bedachung sowie allein an Storen. Bei der Betrachtung in Bezug auf die Nordrichtung wurden zwar dieselben Kategorien untersucht, jedoch wird im vorliegenden Bericht nur jene der Kategorie «Dach» präsentiert, da davon ausgegangen wird, dass sich der Einfluss der Alterung v. a. an der Dachdeckung äussert.

#### 5.2 Vorgehensweise

##### Untersuchung über den ganzen Kanton Aargau

Als erster Schritt wurde die Ausrichtung des gesamten Gebäudebestandes im Kanton Aargau bestimmt. Dies erfolgte mithilfe des Geografischen Informationssystems «ArcMap 10®» anhand der Funktion «Calculate Polygon Main Angle» auf Basis des Datensatzes «VECTOR25»<sup>4</sup> des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo). Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass der Dachfirst der Gebäude mit der Längsachse der Gebäude übereinstimmt. Dies dürfte für die Mehrzahl der Wohngebäude mit zwei entgegengesetzt geneigten Dachflächen (Satteldach u. ä.) zutreffen, weniger jedoch für Gebäude mit annähernd

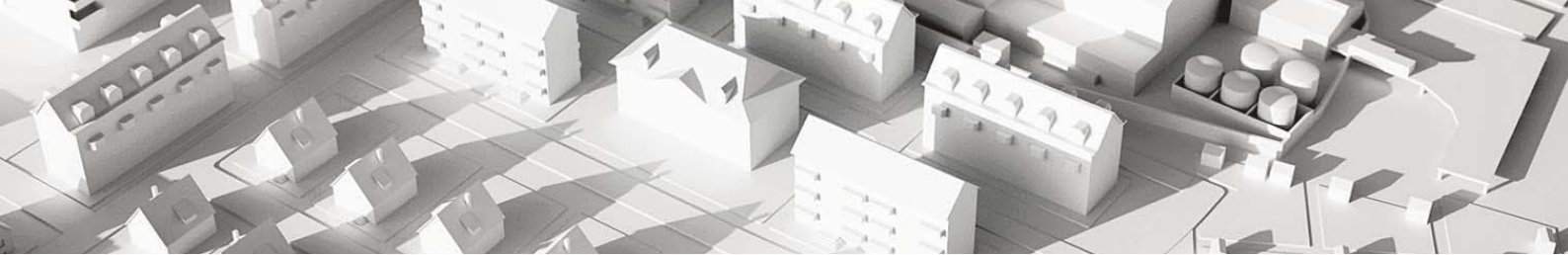
quadratischem Grundriss (wo die Firstachse in der Längs- so gut wie in der Querachse des Grundrisses verlaufen kann) sowie für solche mit nichtrechteckigem Grundriss (Abb. 35). Als gewisser Unsicherheitsfaktor dieser Methode erwies sich der nicht immer mit dem Erscheinungsbild in der entzerrten Luftaufnahme (Orthofoto) übereinstimmende Grundriss in VECTOR25. Die Gebäudestandorte wurden anhand des GeoPostDatensatzes<sup>5</sup> georeferenziert und räumlich mit den Gebäudepolygonen in VECTOR25 verknüpft. Dabei wurde die Lagekoordinate jedes beschädigten Gebäudes mit dem nächstliegenden Gebäudepolygon verknüpft, sofern der Abstand zu diesem weniger als 10 m beträgt. Andernfalls kommt keine Verknüpfung zustande. Mit dieser Bedingung sollte verhindert werden, dass die beschädigten Gebäude falschen Gebäudepolygonen zugeordnet werden.



**Abb. 35:** Erläuternde Darstellung zur Verknüpfung der Gebäude in VECTOR25 mit den Gebäudekoordinaten gemäss GeoPost-Adressdatenbank. Ein Koordinatenpunkt und ein Gebäudepolygon werden dann miteinander verknüpft, wenn ersterer innerhalb des Polygons liegt oder in einer Pufferzone von maximal 10 m um dieses herum. Die blauen Punkte entsprechen einer gelungenen Zuordnung, die roten einer nicht gelungenen (Distanz zum nächsten Gebäude > 10 m oder Gebäude noch nicht in VECTOR25 enthalten). Nur für die blauen Punkte wurde somit eine Gebäudeorientierung berechnet.

<sup>4</sup> Digitales Landschaftsmodell der Schweiz, das inhaltlich und geometrisch auf der Landeskarte 1:25'000 basiert. Es enthält die natürlichen und künstlichen Objekte der Landschaft im Vektorformat.

<sup>5</sup> Adressdatensatz der Post, enthaltend u. a. die Lagekoordinaten der Gebäudeeingänge.



Die Orientierungsberechnung nach dieser Methode erfolgt also unter folgenden drei Bedingungen korrekt:

1. Der Dachfirst folgt der Längsachse des Gebäudes.
2. Das Gebäudepolygon im Datensatz der swisstopo entspricht in seiner Form dem tatsächlichen Grundriss.
3. Die aus GeoPost abgeleiteten Gebäudekoordinaten der beschädigten Gebäude liegen innerhalb oder nicht mehr als 10m ausserhalb des Gebäudepolygons von VECTOR25.

Wenn die solcherart bestimmten Gebäudeorientierungen auch teilweise nicht korrekt sein mögen, dann hat die Methodik doch den Vorteil, dass sich damit rasch und standardisiert die Ausrichtung einer grossen Zahl von Gebäuden bestimmen lässt. Die berechnete Gebäudeausrichtung wurde mit der Bewegungsrichtung der Hagelzelle sowie mit der Nordrichtung in Bezug gesetzt. Anschliessend wurde für jedes beschädigte Gebäude der Schadengrad, d.h. der Verhältniswert zwischen Schadenbetrag (insgesamt/an Storen/an der Bedachung) und Versicherungswert, berechnet.

### Lokale Untersuchung in Bremgarten und Widen

Die lokale Untersuchung wurde für die beiden benachbarten Gemeinden Bremgarten und Widen im Osten des Kantons Aargau durchgeführt. Bremgarten, eine Kleinstadt mit 6'423 Einwohnern (Stand 2011), liegt auf 390m ü.M. und wird durch die Reuss durchflossen. Die Gemeinde umfasste zum Ereigniszeitpunkt 3'702 Wohngebäude und 12 landwirtschaftliche Betriebe. Widen wies 2011 eine Einwohnerzahl von 3'536 Personen, 1'644 Wohngebäude sowie 7 Landwirtschaftsbetriebe auf. Die Gemeinde erstreckt sich über den Südwesthang eines Höhenzuges zwischen 470 und 700m ü.M. Bremgarten befindet sich am Fuss desselben.

Die beiden Gemeinden umfassen eine breite Palette von Gebäudetypen, so moderne Ein- und Mehrfamilienhäuser, aber auch historische Gebäude im alten Ortszentrum. Für die Auswertung musste als erstes die Gebäudeausrichtung bestimmt werden. Spezialbauten wie z. B. Industriegebäude wurden von der Auswertung ausgenommen.

Die Bestimmung der Firstorientierung erfolgte anhand von Orthofotos der swisstopo aus dem Jahr 2006, also fünf Jahre vor dem Hagelereignis. Die räumliche Auflösung der Orthofotos beträgt 25cm.

Am GIS wurde jeder Dachfirst im Untersuchungsperimeter manuell als Linie (Polygonzug) erfasst und dann die X- und die Y-Koordinate des Anfangs- und Endpunktes jeder Linie abgespeichert. Mit der Software «Matlab® 2013» liessen sich daraus die Firstausrichtungen per trigonometrische Funktionen berechnen und in Bezug setzen zur Zugrichtung

der Hagelzelle einerseits und zur Nordrichtung andererseits. Die Werte aus den vier Quadranten wurden schliesslich auf zwei Quadranten umgerechnet, da Firstausrichtungen mit einem Winkel von  $\alpha$  gegenüber der Nordrichtung (Azimut) gleichbedeutend sind mit Firstausrichtungen von  $\alpha + 180^\circ$  (Abb. 36). Die Ausrichtungen wurden sodann über die Versicherungsnummer mit den Gebäudekoordinaten sowie den Schadendaten verknüpft.

Gebäude, die erst zwischen 2006 und 2011 neu erstellt oder strukturell massgeblich umgebaut wurden, sind in den Orthofotos nicht enthalten, weshalb ihre Ausrichtung nicht bestimmt werden konnte.

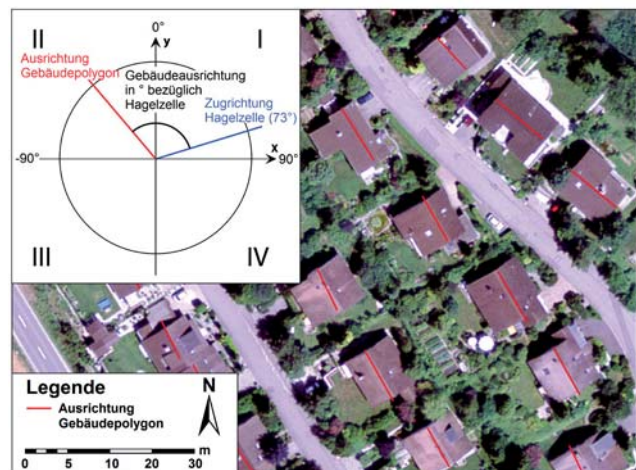


Abb. 36: Bestimmung der Firstausrichtung mittels GIS ArcMap 10® anhand eines Orthofotos (Aufnahme: swisstopo).

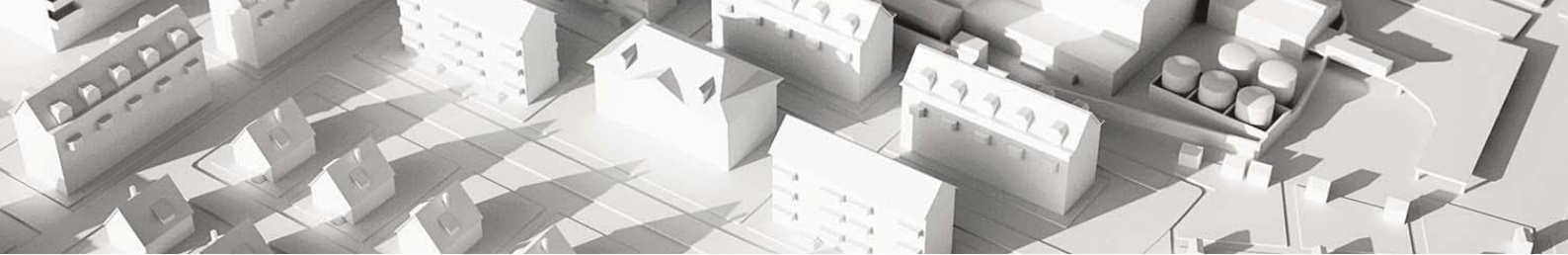
### 5.3 Ergebnisse der kantonsweiten Analyse

Die Analyse wurde einerseits über die Gesamtheit aller Schäden durchgeführt (im folgenden als «Gesamtschäden» bezeichnet), andererseits für die Schäden an Storen sowie an Dächern. Für die Auswertung zur Gebäudeorientierung in Bezug auf die Nordrichtung werden einzig die Ergebnisse zu Schäden an Dächern vorgestellt. Jede Auswertung wird jeweils anhand zweier Grafiken veranschaulicht:

- Ein Histogramm zeigt den Prozentanteil beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Ausrichtung.
- Ein Boxplot präsentiert den Zusammenhang zwischen Schadengrad und Ausrichtung der Gebäude.

### Dateninhalt

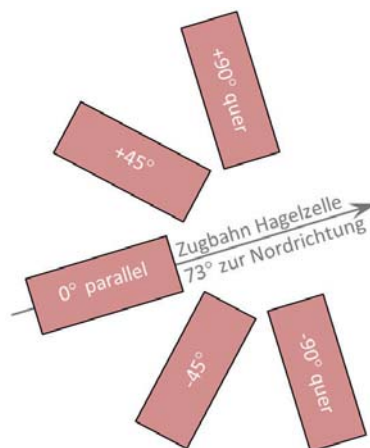
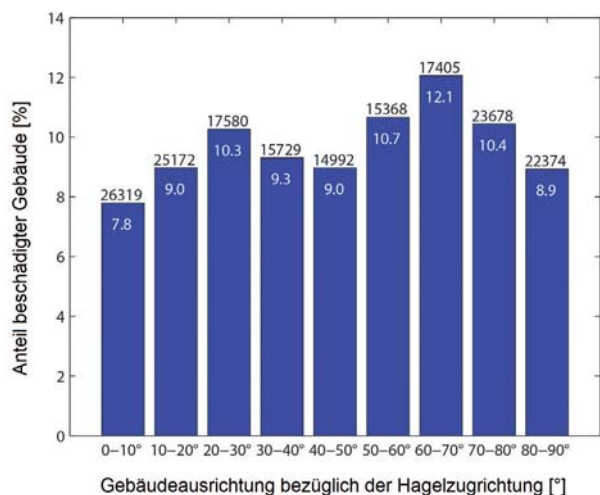
Zur Berechnung der Gebäudeorientierung wurde die Ausrichtung von 139'076 Gebäudepolygone im Datensatz VECTOR25 bestimmt. 219'042 bei der AGV versicherte Gebäude wurden anhand des GeoPost-Adressdatensatzes georeferenziert und mit dem VECTOR25-Datensatz und



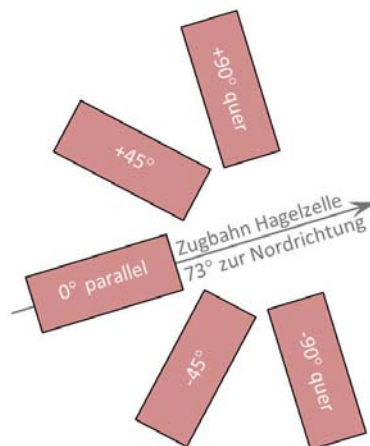
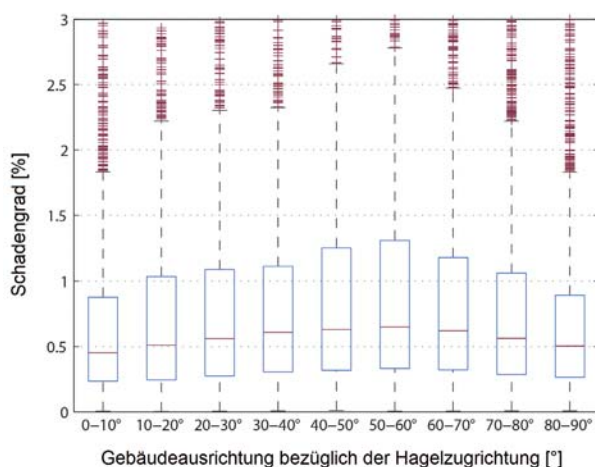
deren berechneter Orientierung verknüpft. Als Ergebnis konnte 179'923 versicherten Gebäuden eine Orientierung zugeordnet werden. Bei vielen Gebäuden handelt es sich um Reihenhäuser, so dass in solchen Fällen mehrere Gebäudekoordinaten auf ein Gebäudepolygon von VECTOR25 entfielen. Diese 179'923 Gebäude wurden mit 53'495 Einzelschäden verknüpft (wobei ein Gebäude mehrere Einzelschäden aufweisen kann). Hiervon entfallen 13'443 Schäden auf Storen, 5'068 auf Dächer. Unter dem Schadengrad eines Gebäudes ist der Quotient «Schadenbetrag geteilt durch Versicherungswert» zu verstehen.

### Gesamtschäden

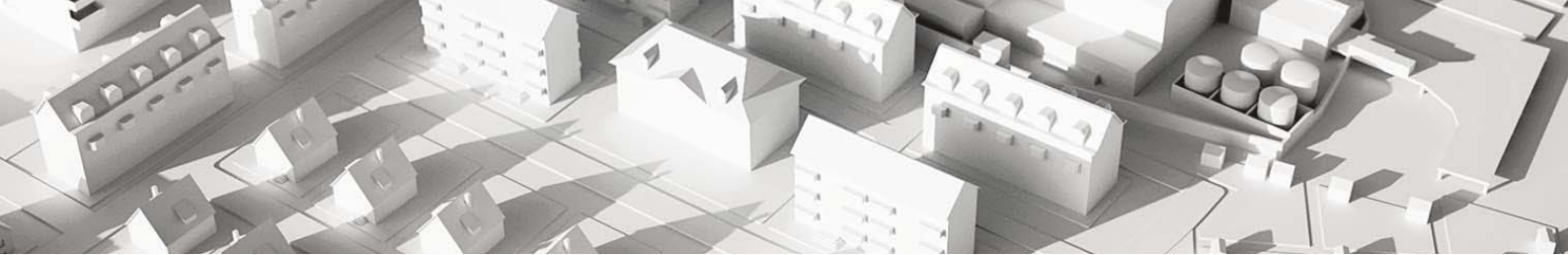
Der Anteil beschädigter Gebäude pro Orientierungsklasse bewegt sich zwischen den Werten 7.8% für Gebäude der Kategorie 0–10° Abweichung von der Zugrichtung der Hagelzelle (also nahezu parallel mit dieser) und 12.1% für Gebäude mit einer Abweichung von 60–70° davon. Gebäude mit einer stärkeren Abweichung der Firstachse gegenüber der Zugrichtung – zwischen 50 und 80° – sind insgesamt stärker betroffen (Schadengrad 10.4–12.1%) als solche, deren Längsrichtung mit 0–50° weniger stark von der Zugrichtung abweicht (Schadengrad 7.8–10.3%; vgl. Abb. 37).



**Abb. 37:** Anteil beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



**Abb. 38:** Schadengrade beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.



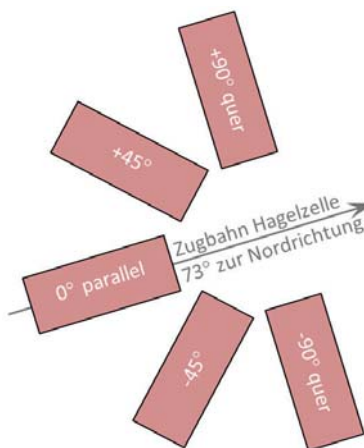
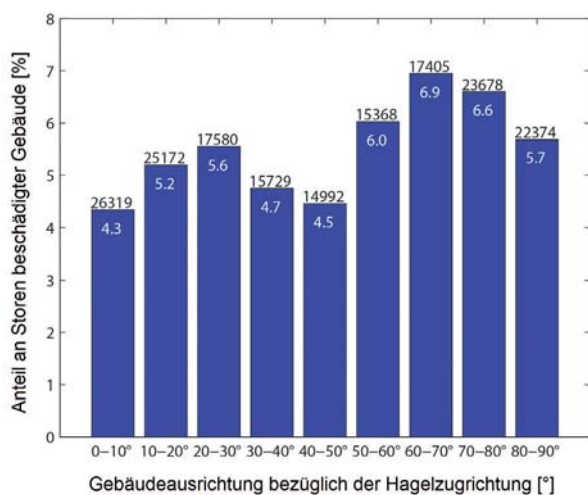
Die Medianwerte der Schadensgrade streuen von 0,45% (Klassen 0–20° Abweichung von der Zugrichtung) bis fast 0,65% (Klassen 40–60° Abweichung; vgl. Abb. 38).

90° von der Hagelzugrichtung wurden mit 5,7 bis 6,9% an Storen beschädigt, gegenüber 4,3 bis 5,6% bei Gebäuden mit einer geringeren Abweichung von 0 bis 50° (Abb. 39).

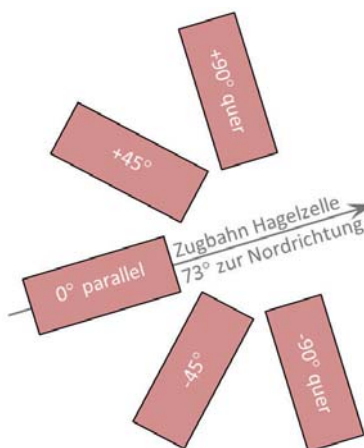
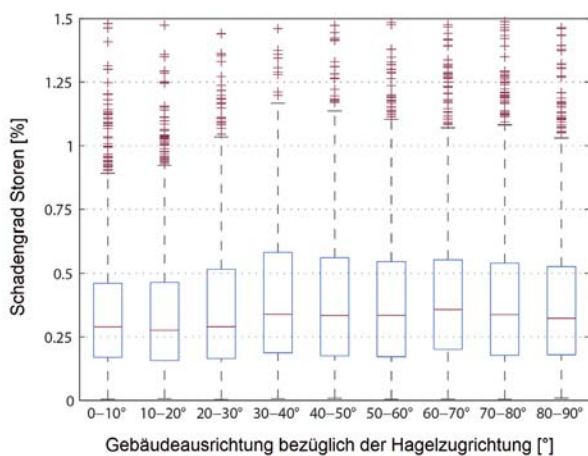
### Schäden an Storen

Der relative Anteil von Gebäuden mit Schäden an Storen variiert zwischen 4,3% für die Klassen mit der geringsten Abweichung von der Zugrichtung und 6,9% für jene mit Abweichungen zwischen 60 und 70°. Die Werte sind demnach mit denjenigen der Gesamtschäden vergleichbar. Gebäude mit einer deutlichen Abweichung der Ausrichtung von 50 bis

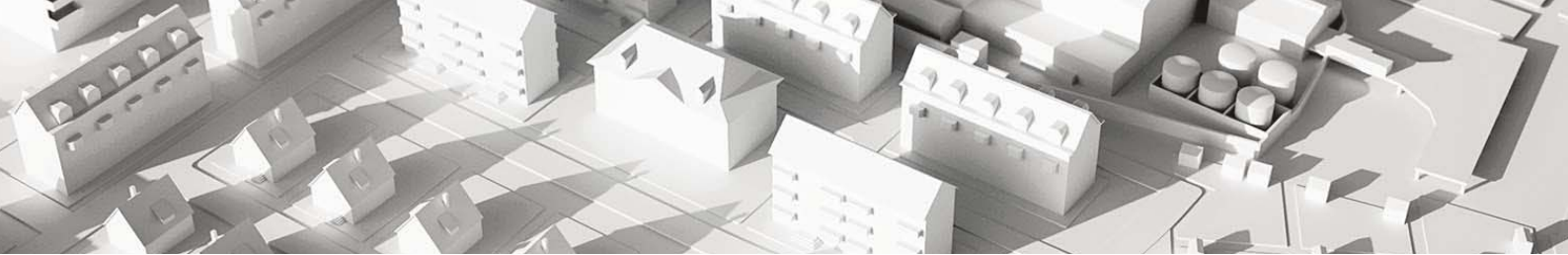
Die Medianwerte der Schadensgrade betragen zwischen 0,28% (Klassen 0–20° Abweichung von der Zugrichtung) und 0,36% (Klasse 60–70° Abweichung; vgl. Abb. 40). Es zeigt sich somit bei den Storenschäden eine nur sehr geringe Abhängigkeit der Schadensgrade von der Gebäudeausrichtung.



**Abb. 39:** Anteil an Storen beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



**Abb. 40:** Schadensgrade an Storen beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.



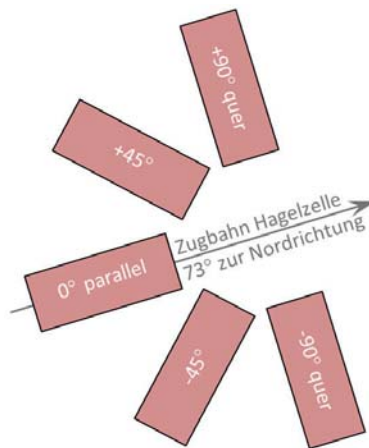
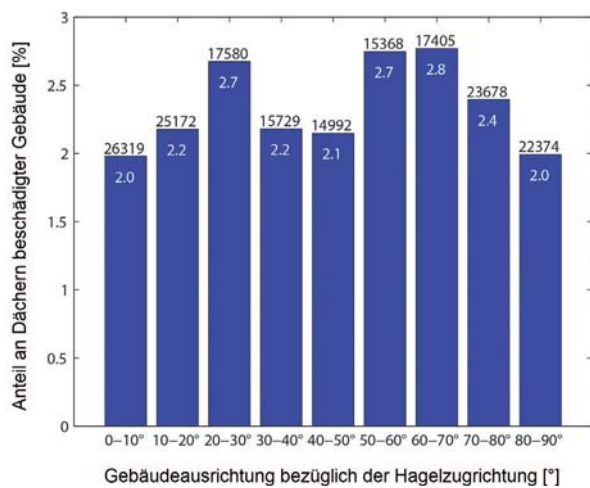
### Schäden an Dächern

Der prozentuale Anteil der an Dächern beschädigten Gebäude in Abhängigkeit ihrer Ausrichtung bezüglich der Hagelzugrichtung variiert zwischen 2.0 % (Klassen 0–10° und 80–90° Abweichung von der Zugrichtung) und 2.8 % (Klassen 50–70° Abweichung) und ist damit vergleichbar mit den Werten der Gebäude mit Schäden an Storen. Die Verteilung weist ein zweites Maximum mit 2.7 % in der Klasse 20–30° Abweichung auf (Abb. 41).

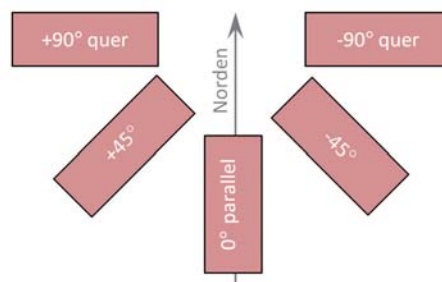
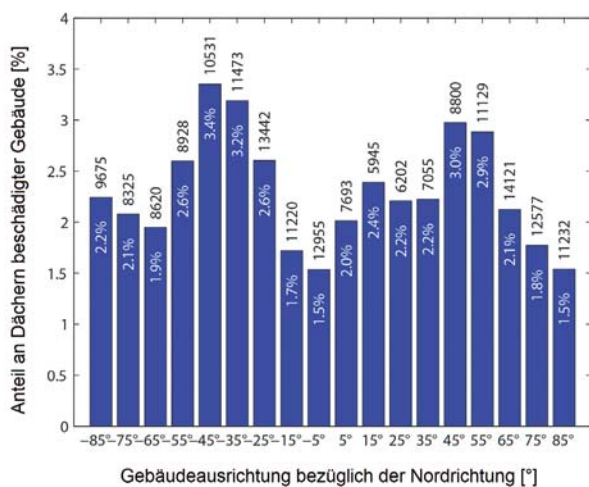
Das Säulendiagramm des Anteils von Gebäuden mit Schäden an der Bedachung in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Nordrichtung weist zwei Spitzen auf: Je eine

bei Gebäudeausrichtungen nach Nordosten sowie nach Nordwesten. Der Anteil an Dächern beschädigter Gebäude variiert zwischen 1.5 und 3.4 % der betroffenen Gebäude (Abb. 42).

Die Schadengrade der an der Bedachung beschädigten Gebäude variieren in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Hagelzugrichtung nur geringfügig; sie liegen zwischen 0.18 und 0.28 % (Abb. 43). Dasselbe gilt logischerweise auch für die Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Nordrichtung (Abb. 44).

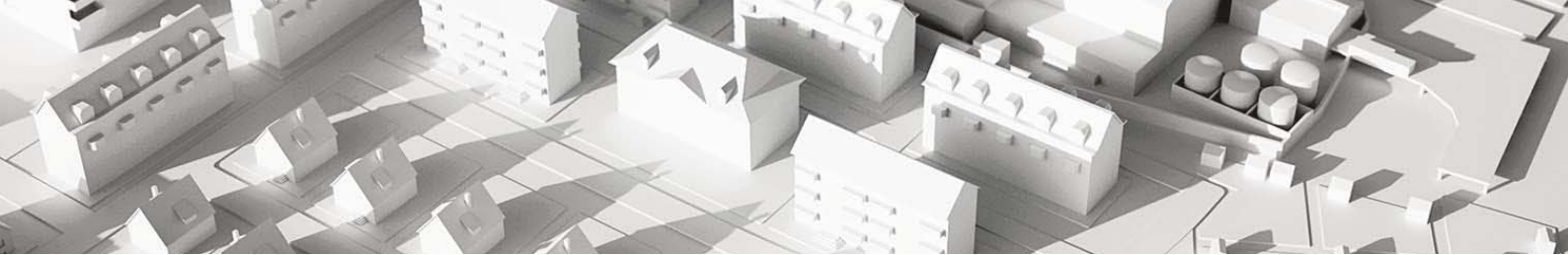


**Abb. 41:** Anteil an Dächern beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



**Abb. 42:** Anteil der Gebäude mit Schäden an der Bedachung in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Nordrichtung (0°) nach Klassen von -90° (Osten) bis +90° (Westen). Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



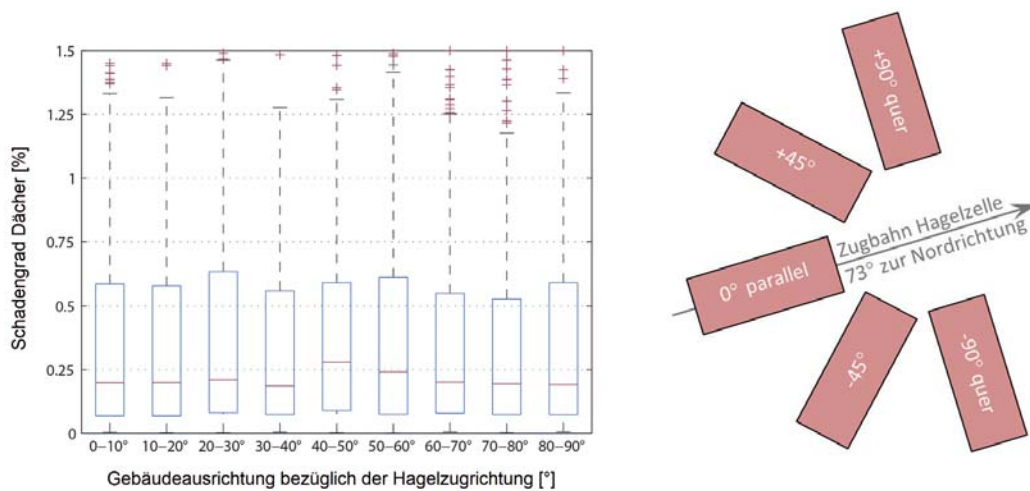


## 5.4 Ergebnisse der lokalen Analyse

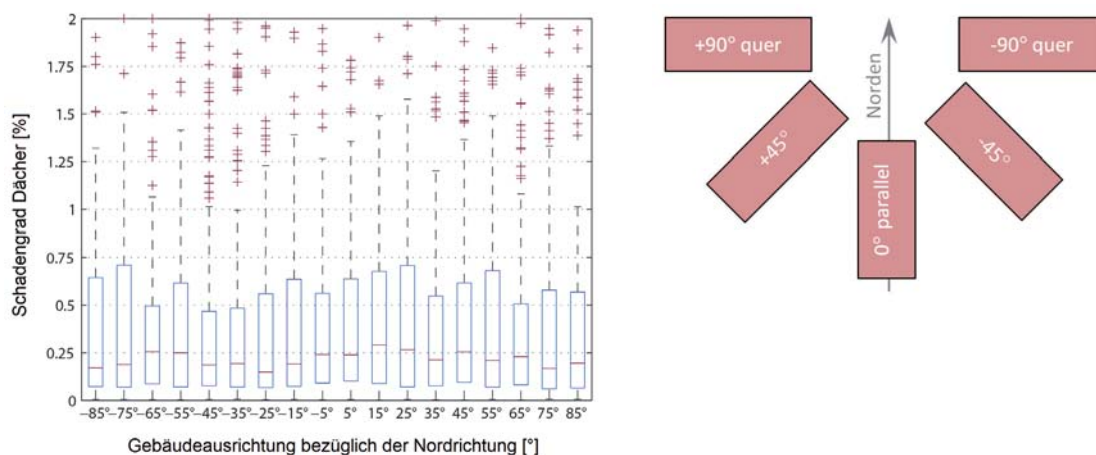
Bevor wir die Ergebnisse der lokalen Analyse näher betrachten, sei darauf hingewiesen, dass die geringe Anzahl berücksichtigter Gebäude keine absolut zuverlässigen Aussagen ermöglicht, sondern in erster Linie Tendenzen erkennbar macht. Aus diesem Grund werden die Grafiken mit nur neun statt mit achtzehn Orientierungsklassen in Bezug auf die Nordrichtung präsentiert, denn die geringe Anzahl in den einzelnen Klassen erlaubt keine verlässlichen Aussagen für eine so grosse Klassenzahl.

## Dateninhalt

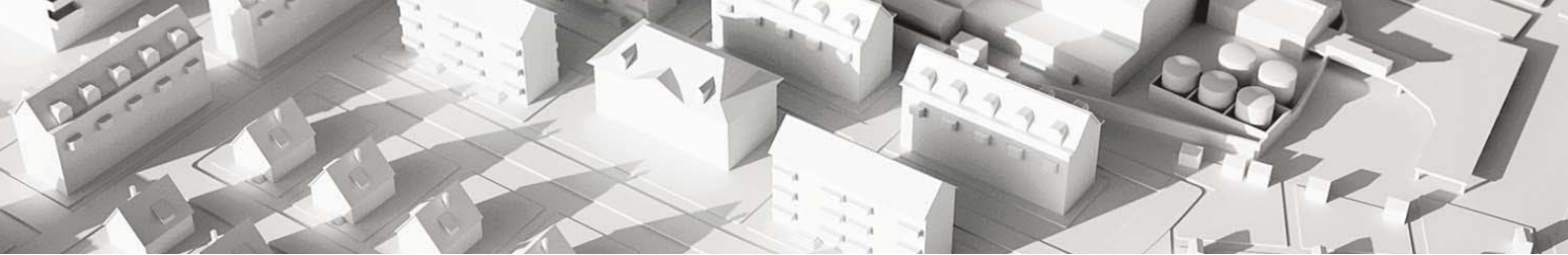
Insgesamt wurden 1'931 Firstausrichtungen anhand von Luftaufnahmen (Orthofotos) im GIS ArcMap® manuell definiert und berechnet. In den beiden Gemeinden wurden zusammen 3'275 Einzelschäden festgestellt, wobei auf ein Gebäude mehrere Einzelschäden entfallen können. Dabei handelt es sich um 906 Schäden an Storen und 418 Schäden an Dächern. Alle diese Schäden wurden in der lokalen Analyse berücksichtigt. Der Schadengrad eines Gebäudes entspricht dem Quotienten von Schadenbetrag (insgesamt bzw. an Storen sowie an Dächern) und Versicherungswert.



**Abb. 43:** Schadengrade an der Bedachung beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.



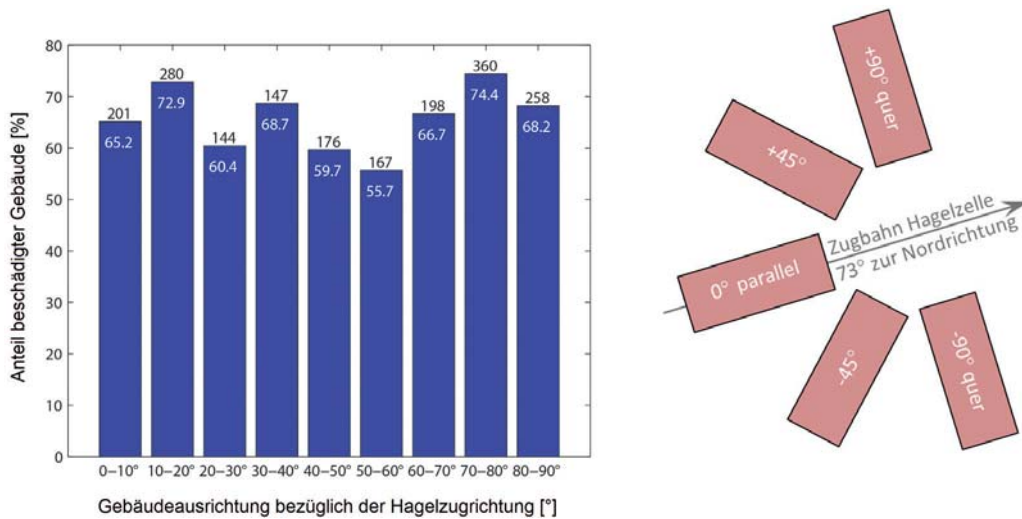
**Abb. 44:** Schadengrade an der Bedachung beschädigter Gebäude in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Nordrichtung nach Klassen von -90 bis +90°.



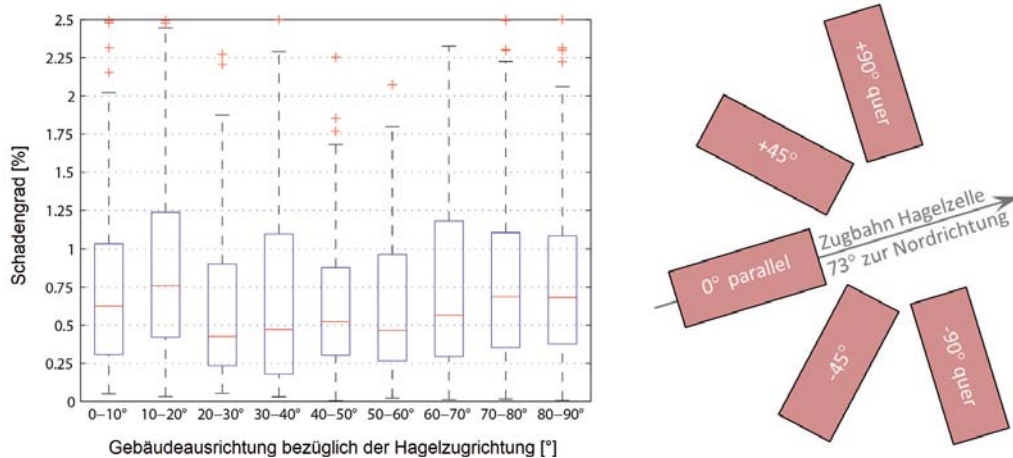
### Gesamtschäden

Es zeigt sich, dass der Anteil der beschädigten Gebäude in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung bezüglich der Hagelzugrichtung in den beiden Gemeinden Bremgarten und Widen in der Kategorie 50–60° mit 55.7% am geringsten ist (Abb. 45). Bei den annähernd quer dazu orientierten Gebäuden (Kategorie 70–80°) beträgt der entsprechende Anteil 74.4%, bei den annähernd parallel ausgerichteten Gebäuden hingegen 65%. Allerdings lässt sich keine eindeutige Tendenz feststellen.

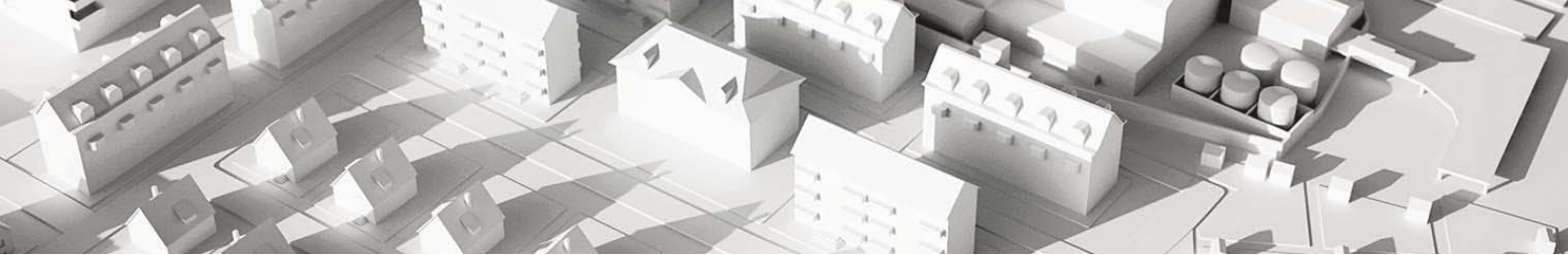
Die Schadengrade der beschädigten Gebäude zeigen weitgehend unabhängig von ihrer Firstausrichtung gegenüber der Hagelzugrichtung recht ähnliche Werte (Abb. 46).



**Abb. 45:** Anteil beschädigter Gebäude in Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



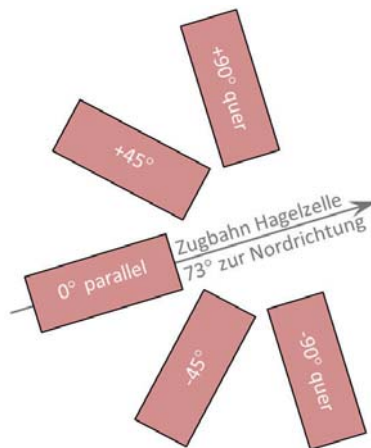
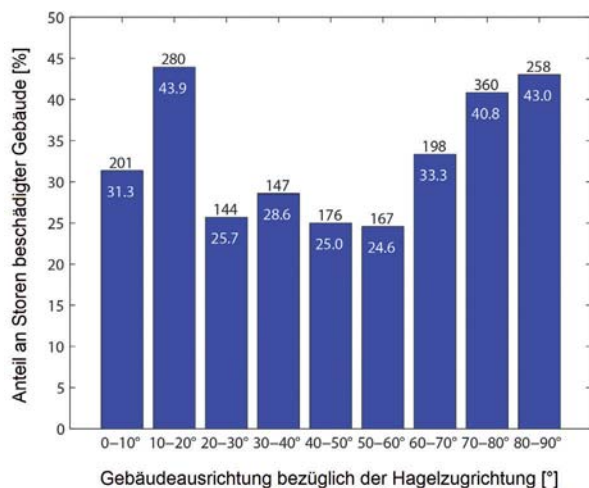
**Abb. 46:** Schadengrade beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.



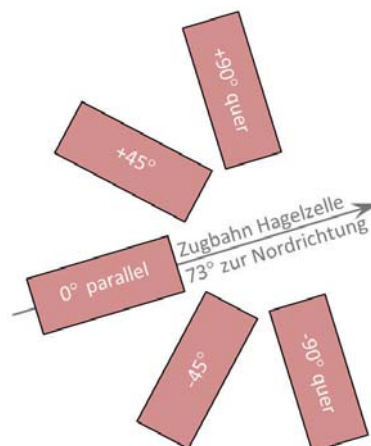
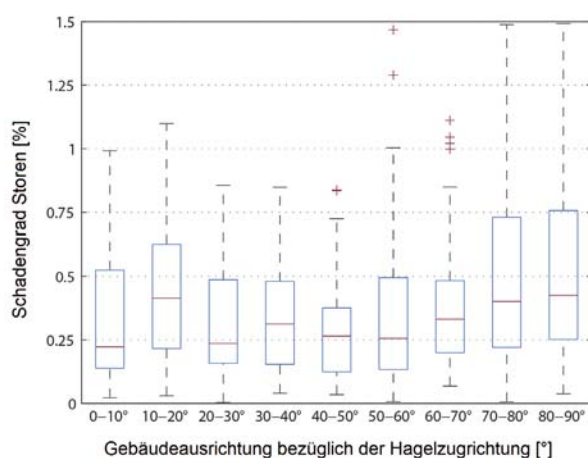
### Schäden an Storen

Gemäss Abb. 47 ist der Anteil der Firstausrichtung von Gebäuden mit Schäden an Storen bezüglich der Hagelzugrichtung in den beiden Gemeinden in der Kategorie 50–60° mit 24.6% am geringsten, in der Kategorie 10–20° mit 43.9% sowie der Kategorie quer zur Hagelzugrichtung (80–90°) mit 43.0% am höchsten. Anscheinend besteht eine leichte Tendenz zu höheren Anteilen für Gebäude mit Firstausrichtungen über 60° gegenüber der Hagelzugrichtung, doch der Höchstwert in der Kategorie 10–20° nährt Zweifel an der Signifikanz dieser Beobachtung.

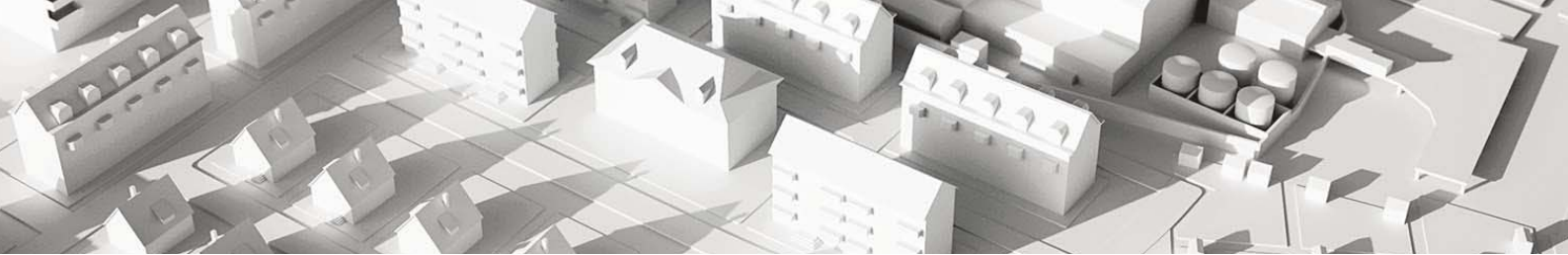
Die Medianwerte der Schadengrade der an Storen beschädigten Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen bezüglich ihrer Firstausrichtung gegenüber der Hagelzugrichtung liegen zwischen 0.23 und 0.44% (Abb. 48). Sie geben weitgehend die Verhältnisse in Abb. 47 wieder, zeigen also die höchsten Werte bei Firstausrichtungen quer zur Hagelzugrichtung sowie in der Kategorie 1–20°.



**Abb. 47:** Anteil an Storen beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



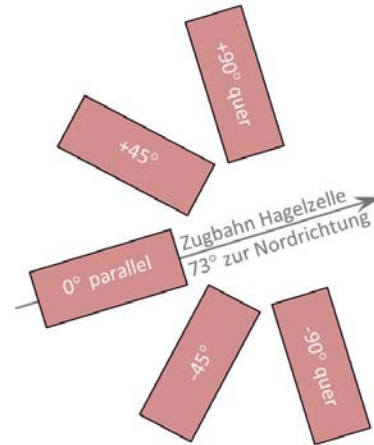
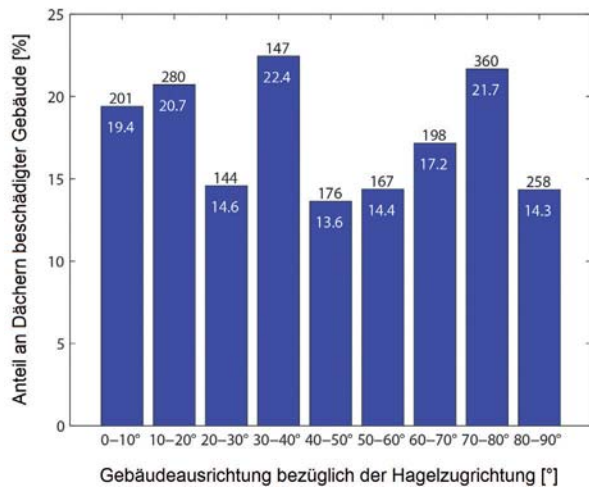
**Abb. 48:** Schadengrade an Storen beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.



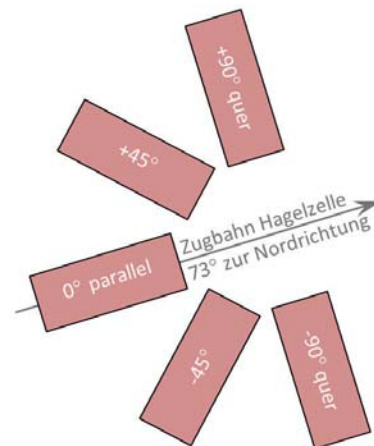
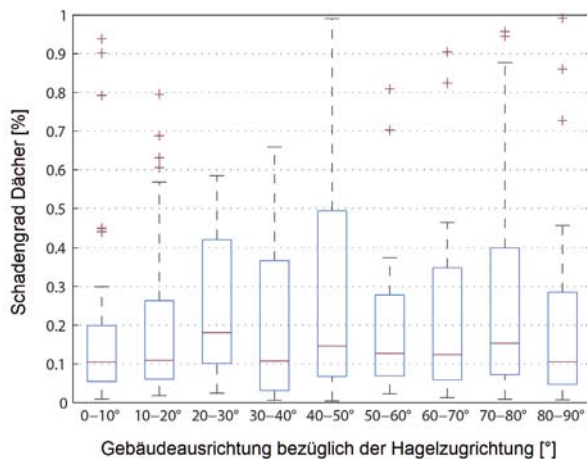
### Schäden an Dächern

Der Prozentsatz der an Dächern beschädigten Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung gegenüber der Hagelzugrichtung beträgt zwischen 13,6 % (Kategorie 40–50°) und 22,4 % (Kategorie 30–40°; vgl. Abb. 49). Auch hier lässt sich keine eindeutige Tendenz herauslesen.

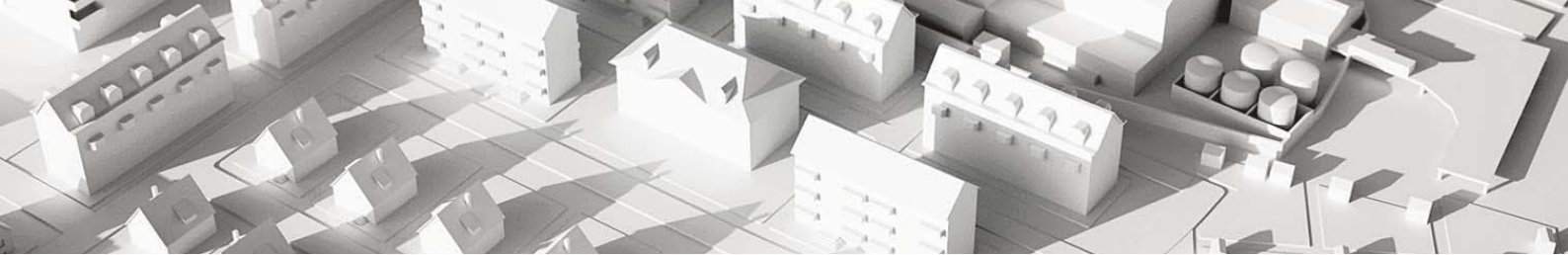
Die Schadensgrade der an der Bedachung beschädigten Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen bezüglich ihrer Firstausrichtung gegenüber der Hagelzugrichtung streuen zwischen 0,10 und 0,18 % (Abb. 50), ebenfalls ohne erkennbare Tendenz.



**Abb. 49:** Anteil an Dächern beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Firstausrichtung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°. Die Prozentanteile sind in Weiss innerhalb der Säulen angegeben, die absolute Anzahl der Gebäude pro Klasse in Schwarz über den Säulen.



**Abb. 50:** Schadensgrade an Dächern beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in Abhängigkeit ihrer Orientierung gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle nach Klassen von 0 bis 90°.

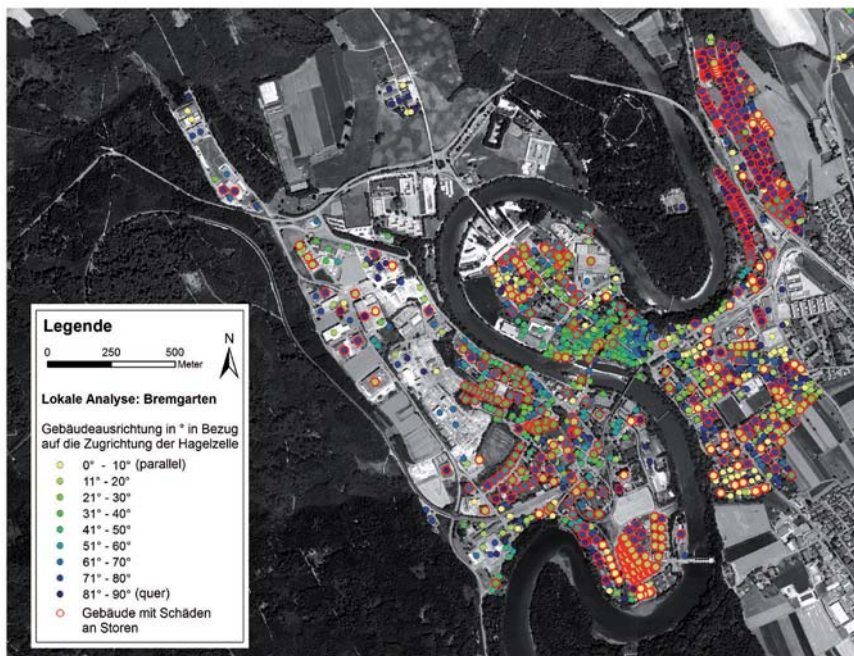


### Räumliche Betrachtung

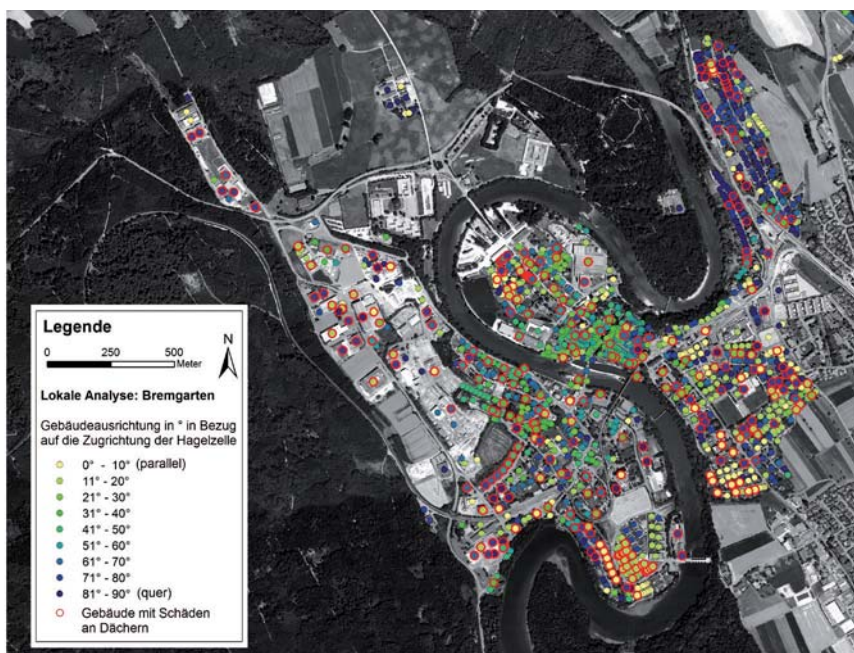
Anhand der nachstehend aufgeführten Luftbilder lassen sich die Ergebnisse der Analyse zur Firstausrichtung beschädigter Gebäude in den Gemeinden Bremgarten und Widen in ihrem räumlichen Zusammenhang betrachten (Abb. 51–54). Gebäude mit Schäden an Storen bzw. der Bedachung sind darin durch rote Ringe markiert, während die Farbe der Punkte die Firstausrichtung bezüglich der Hagelzugbahn derjenigen Gebäude angibt, für die eine solche berechnet wurde.

Wenig überraschend weisen die Gebäude innerhalb eines Quartiers im allgemeinen ähnliche Ausrichtungen auf, wie sich sowohl in Bremgarten als auch in Widen deutlich zeigt.

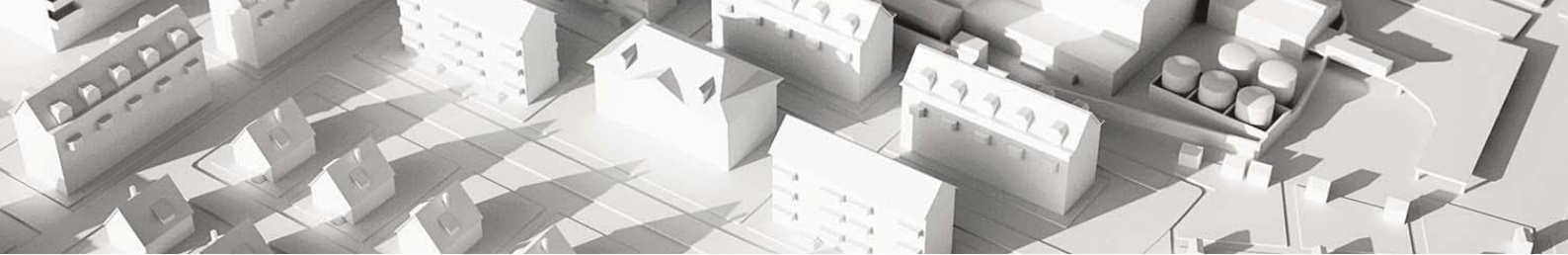
Gebäude mit Schäden an der Bedachung haben in den meisten Fällen auch Schäden an Storen erlitten. Eine Ausnahme hiervon bildet das historische Kerngebiet, wo Schäden an der Bedachung gegenüber Storenschäden überwiegen. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Dächer der oft aneinanderggebauten Häuser die darunterliegende Fassade (und damit die Storen) schützen, dass die Abstände zwischen den Gebäuden gering sind (Abschirmwirkung) und v.a. darauf, dass Storen in historischen Siedlungskernen stark untervertreten sind. Schäden an Storen sind auch in den durch Industrie und Landwirtschaft geprägten Siedlungsteilen untervertreten, wo bestimmte Gebäudetypen kaum mit Storen versehen sind und Schäden an Dächern daher überwiegen.



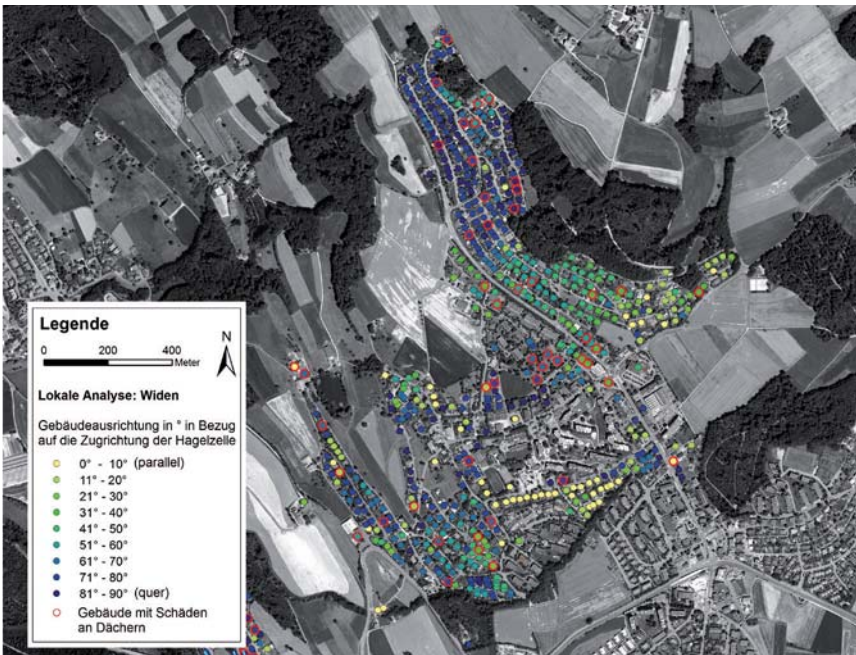
**Abb. 51:** Orthofoto von Bremgarten; rote Ringe bezeichnen Gebäude mit Schäden an Storen, die farbigen Punkte bezeichnen die Firstorientierung bezüglich der Hagelzugrichtung (vgl. Legende). (Aufnahme: swisstopo.)



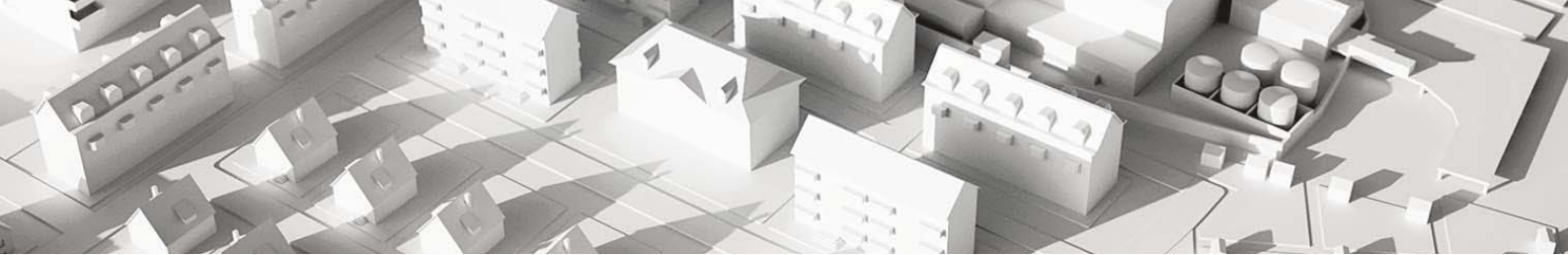
**Abb. 52:** Orthofoto von Bremgarten; rote Ringe bezeichnen Gebäude mit Schäden an Dächern, die farbigen Punkte bezeichnen die Firstorientierung bezüglich der Hagelzugrichtung (vgl. Legende). (Aufnahme: swisstopo.)



**Abb. 53:** Orthofoto von Widen; rote Ringe bezeichnen Gebäude mit Schäden an Storen, die farbigen Punkte bezeichnen die Firstorientierung bezüglich der Hagelzugrichtung (vgl. Legende). (Aufnahme: swisstopo.)



**Abb. 54:** Orthofoto von Widen; rote Ringe bezeichnen Gebäude mit Schäden an Dächern, die farbigen Punkte bezeichnen die Firstorientierung bezüglich der Hagelzugrichtung (vgl. Legende). (Aufnahme: swisstopo.)



### 5.5 Validierung der automatisch bestimmten Gebäudeorientierungen

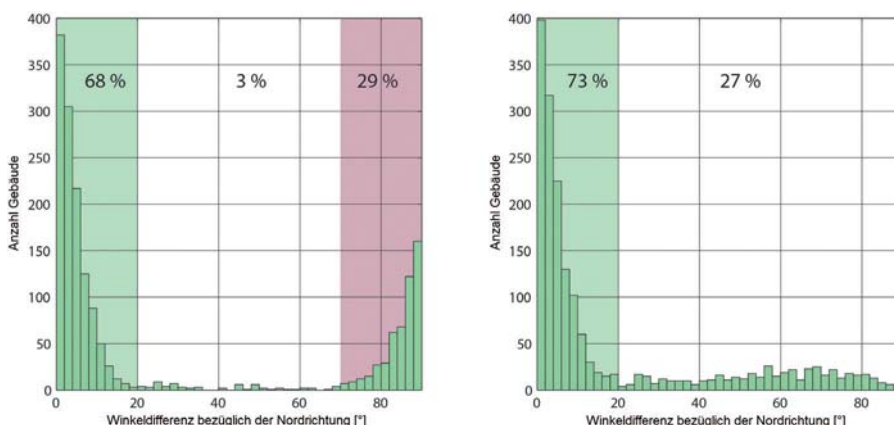
Die automatisierte Analyse der Gebäudeorientierungen anhand der Längsachse der Grundrisspolygone im kantonalen Massstab hat den Vorteil rascher und standardisierter Bearbeitung einer grossen Zahl von Gebäuden. Hingegen sind die Ergebnisse unsicherer, worauf bereits hingewiesen wurde. Um die Zuverlässigkeit der Methode zu überprüfen, wurden die automatisch bestimmten Gebäudeorientierungen in den Gemeinden Bremgarten und Widen mit den manuell bestimmten Firstausrichtungen verglichen (Abb. 55 links). Hierbei zeigt sich, dass 68% der automatisch bestimmten Orientierungen innerhalb eines Toleranzbereichs von  $\pm 20^\circ$  mit den manuell bestimmten Firstausrichtungen übereinstimmen. Bei 29% der Fälle liegt die Längsachse hingegen in einem gleichen Toleranzbereich quer zur manuell bestimmten Firstausrichtung, was bedeutet, dass der First bei diesen Gebäuden mit der kurzen Grundrissachse übereinstimmt. Zu bemerken ist, dass die Winkeldifferenz zwischen Firstausrichtung und Längsachse maximal  $90^\circ$  betragen kann, wenn die Achsen nicht als gerichteter Vektor betrachtet werden (d. h. eine Nord-Süd-verlaufende Achse ist demnach identisch mit einer Süd-Nord-verlaufenden Achse). Das Ergebnis ist noch dadurch zu relativieren, dass für bestimmte Gebäude mit komplexem Grundriss keine manuelle Bestimmung der Firstausrichtung vorgenommen werden konnte, weshalb sie nicht berücksichtigt wurden, während dies für die automatisierte Methode kein Problem darstellte.

Umgerechnet in Bezug auf die Hagelzugrichtung, stimmen die automatisch und manuell bestimmten Achsen innerhalb eines Toleranzbereichs von  $\pm 20^\circ$  zu 73% überein; der Rest verteilt sich relativ gleichmässig zwischen  $20^\circ$  und  $90^\circ$  Winkelabweichung. Hier zeigt sich kein zweites Maximum bei  $90^\circ$ , da – damit die Differenz zwischen der automatisch und der manuell bestimmten Achse  $90^\circ$  beträgt – die eine Achse in einem Winkel von  $90^\circ$  zur Hagelzugrichtung steht, wodurch die andere Achse zwingend exakt in der Hagelzugrichtung liegt. Stehen beide Achsen rechtwinklig zueinander und die erste Achse gleichzeitig in einem Winkel von beispielsweise  $62^\circ$  zur Hagelzugrichtung, dann steht

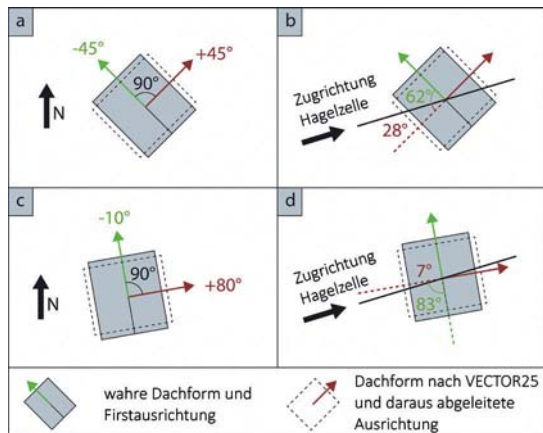
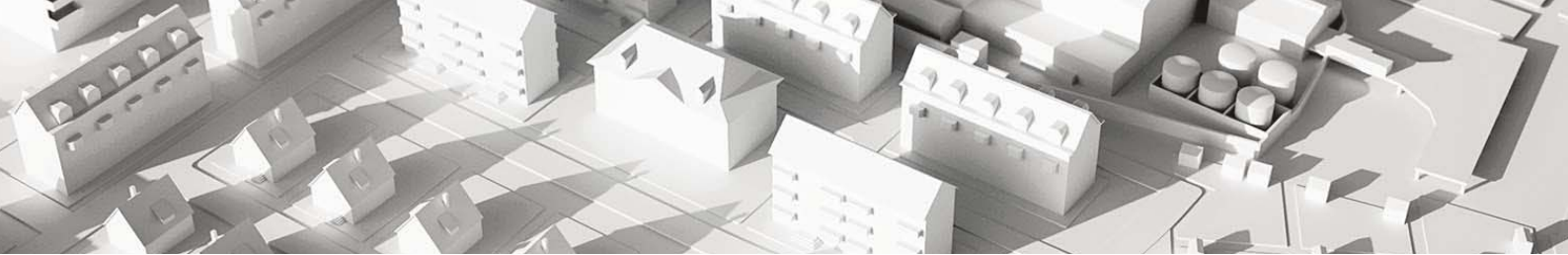
zwangsläufig die zweite in einem Winkel von  $28^\circ$  zur Hagelzugrichtung (Abb. 56). Bei einem entsprechenden Winkel von  $90^\circ$  zwischen der wahren Orientierung und der aus dem Polygon VECTOR25 abgeleiteten Orientierung ergibt bei einem Winkel einer der beiden Gebäudeachsen von  $7^\circ$  bezüglich der Hagelzugrichtung der Winkel zur anderen Hauptgebäudeachse zwingend  $83^\circ$ . Dies bedeutet, dass die um  $90^\circ$  unterschiedlichen Gebäudeorientierungen in Bezug auf die Hagelzugrichtung Werte zwischen  $0$  und  $90^\circ$  aufweisen müssen.

Gemäss Abb. 55 fallen somit rund 70% der automatisch bestimmten Werte akzeptabel aus. Sofern ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Gebäudeorientierung und Gebäudeschäden besteht, ist für die Auswertung der Gebäudeorientierung bezüglich der Nordrichtung ein zweites, um  $90^\circ$  gegenüber dem ersten versetztes Maximum zu erwarten. Für die Auswertung bezüglich der Hagelzugrichtung entsteht hingegen kein sekundäres Maximum, da die nicht übereinstimmenden Achsenrichtungen gleichmässig verteilt sind.

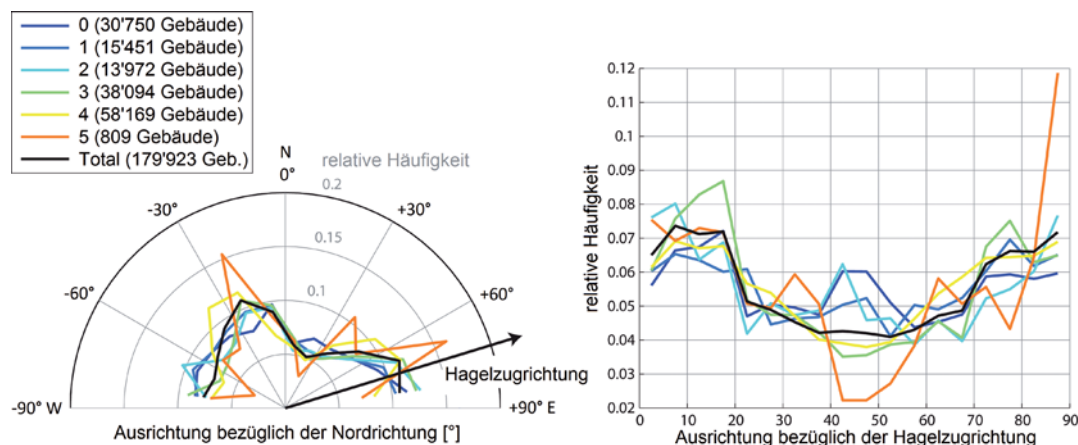
Neben den mit der Bestimmung der Gebäudeorientierung zusammenhängenden Problemen, kann die Analyse im kantonalen Massstab auch dadurch beeinträchtigt sein, dass die Gebäudeorientierungen räumlich nicht gleichmässig verteilt, sondern durch die Topografie – z. B. den Talverlauf – bestimmt sind. Um zu überprüfen, ob die Ausrichtungen der Gebäude eine entsprechende systematische Verzerrung aufweisen, wurde für jede aus den Radardaten abgeleitete Hagelkorngrössenklasse die Gebäudeorientierung auf ihre Verteilung untersucht (Abb. 57). Mit Ausnahme der Korngrössenklasse 5 cm, die nur wenige Gebäude umfasst, sehen die Verteilungen in den verschiedenen Klassen allgemein ähnlich aus. Dennoch zeigt sich bei den tieferen Intensitätsklassen (Korngrössen kategorien 0 bis 2 cm), dass dort die Gebäudeorientierungen im Bereich von  $45^\circ$  in Bezug auf die Zugrichtung der Hagelzelle leicht übervertreten sind. Das könnte bewirken, dass der Anteil der beschädigten Gebäude und damit die Schadensätze der Gebäude mit einer Orientierung von ca.  $45^\circ$  zur Hagelzugrichtung verringert erscheinen.



**Abb. 55:** Winkeldifferenz zwischen den manuell bzw. automatisch bestimmten Gebäudeorientierungen. Links bezüglich der Nordachse, rechts bezüglich der Hagelzugrichtung.



**Abb. 56:** Differenz der Gebäudeachsen bezüglich der Nordrichtung (a und c) zwischen der tatsächlichen (grün) und der aus VECTOR25 abgeleiteten (rot). In beiden Fällen wird angenommen, dass die aus VECTOR25 abgeleitete Gebäudeachse um  $90^\circ$  von der wahren Gebäudeachse abweicht. Bei gleicher Situation in Bezug auf die Hagelzugrichtung (b und d) liegen die Differenzen zwischen  $0$  (beide Achsen bilden einen Winkel von  $45^\circ$  zur Hagelzugrichtung) und  $90^\circ$  (wenn eine der Achsen exakt in der Zugrichtung liegt). In den dargestellten Fällen b und d betragen die Winkeldifferenzen in Bezug zur Zugrichtung  $34^\circ$  ( $62^\circ - 34^\circ$ ) bzw.  $76^\circ$  ( $83^\circ - 7^\circ$ ).



**Abb. 57:** Relative Häufigkeit der Gebäudeorientierungen in Bezug auf die Nordrichtung (links) sowie auf die Hagelzugrichtung (rechts) in jeder Hagelkorngrößenklasse. Die Werte jeder Klasse wurden auf eine Summe von  $1$  normiert. Die Gebäudeanzahl in jeder Klasse ist in der Legende aufgeführt und gibt einen Eindruck zur Repräsentativität der entsprechenden Kurve. Die Kurvenstützpunkte sind auf dem mittleren Wert jeder Winkelkategorie platziert. Die Spanne der einzelnen Winkelkategorien beträgt  $10^\circ$  für die linke und  $5^\circ$  für die rechte Grafik.

## 5.6 Diskussion der Ergebnisse

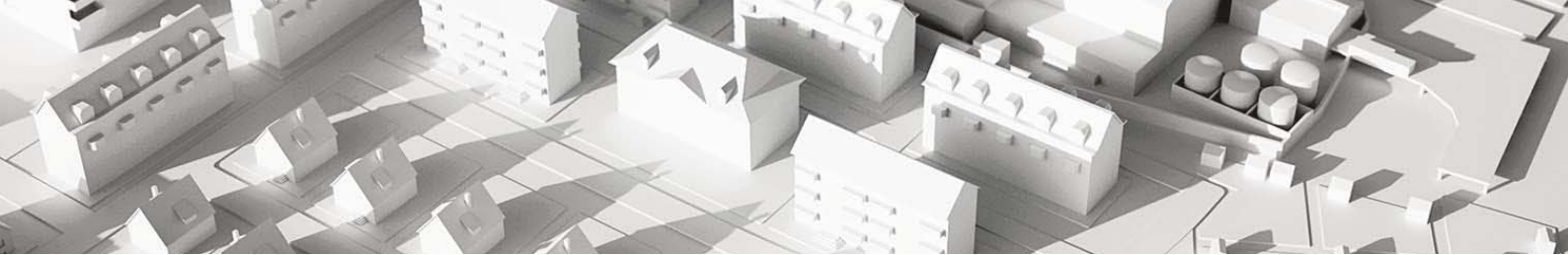
Gewisse Bauelemente sind dem Hagel in Abhängigkeit ihrer Ausrichtung unterschiedlich stark ausgesetzt. Diese Tatsache wird durch die Ergebnisse der lokalen und der kantonalen Analyse zumindest teilweise gestützt und kann beispielsweise für Präventionsmassnahmen berücksichtigt werden.

Im kantonalen Massstab sind die Schadensätze betroffener Gebäude anscheinend am höchsten, wenn diese in einem Winkel von ca.  $50^\circ$  zur Hagelzugrichtung stehen (Abb. 58). Dies ist insbesondere bei den Gesamtschäden der Fall, weniger deutlich bei den Schäden an Storen. Bei letzteren ist zwischen den Kategorien von  $0$  bis  $30^\circ$  (die weniger stark beschädigten) und denjenigen von  $30$ – $90^\circ$  (die stärker beschädigten) ein leichter Sprung erkennbar (Abb. 40). Die Schadensgrade der Dächer sind – mit Ausnahme der Kategorien zwischen  $40$  und  $60^\circ$ , die geringfügig höhere Schä-

den aufweisen – relativ gleichmässig verteilt (Abb. 43). Der Grund hierfür könnte darin liegen, dass bei einem Winkel von  $45^\circ$  zwei Seiten bzw. Dachflächen der Gebäude exponiert sind, während dies bei paralleler oder quer dazu verlaufender Orientierung nur für eine Seite bzw. Dachfläche zutrifft.

Bezüglich des Anteils beschädigter Gebäude ist in den Kategorien  $20$ – $30^\circ$  und  $60$ – $70^\circ$  je ein Maximum erkennbar (Abb. 37). Die Interpretation hiervon ist schwieriger. Ungünstige Ausrichtungen, die zur Exposition mehrerer Gebäudesseiten führen, wobei eine davon annähernd frontal dem Hagelschlag ausgesetzt ist, könnten eine Rolle spielen, so dass die Anzahl potenziell betroffener Bauelemente höher ausfällt. Etwas weniger deutlich ist dies bei den an der Bedachung beschädigten Gebäuden erkennbar, was daran liegen könnte, dass die Dachflächen dem Hagelschlag grundsätzlich jederzeit ausgesetzt sind. Abb. 58 veranschaulicht die gemäss der Untersuchung günstigen bzw.





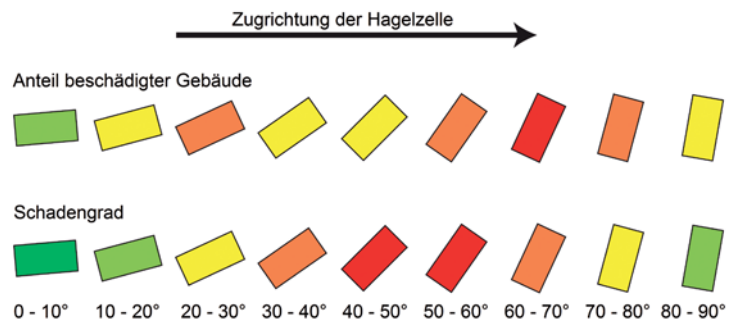
ungünstigen Ausrichtungen gegenüber der Zugrichtung der Hagelzelle. Sie beruht hauptsächlich auf den Auswertungen der Gesamtschäden.

In der lokalen Analyse des Anteils beschädigter Gebäude sind ebenfalls zwei (allerdings nur schwach ausgeprägte) Spitzen erkennbar; sie liegen aber eher im Bereich von 15° bzw. 75° (Abb. 45). Die Erklärung dürfte in derselben Richtung zu suchen sein wie bei der kantonalen Analyse. Hingegen ist es schwierig, aus den Schadengraden der betroffenen Gebäude eindeutige Schlussfolgerungen zu ziehen (Abb. 46).

Die Auswertung der Schäden in Bezug auf die Nordrichtung wurde nur für Schäden an der Bedachung durchgeführt, unter der Annahme, dass Frost-Tau-Zyklen insbesondere zur Verwitterung von Ziegeln führen. Was den Anteil betroffener Gebäude betrifft, so ist bei ca. -45° und bei ca. +45° je ein Maximum erkennbar (Abb. 42). Da die beiden Maxima in einem Winkel von 90° zueinander stehen, sind sie vermutlich durch die Berechnungsmethode zu erklären, indem bestimmten annähernd quadratischen Gebäuden fälschlicherweise eine rechtwinklig zur wirklichen Ausrichtung verlaufende Orientierung zugeordnet wurde. Dies würde bedeuten, dass es sich in Wahrheit nur um ein einziges Maximum handelt, wahrscheinlich das stärker ausgeprägte bei ca. -45°. Dieses Maximum stimmt gut überein mit der Orientierung von 57° in Bezug auf die Hagelzugbahn, in der die Gebäude am stärksten betroffen wurden. Es steht daher wohl eher im Zusammenhang mit der Zugrichtung der Hagelzelle als mit den Frost-Tau-Zyklen, da die Gebäude mit einer Firstausrichtung von ±90° (Ausrichtung einer der Dachflächen nach Süden) keine aussergewöhnlich hohen Schadengrade aufweisen.

Die beobachteten Tendenzen können nun aber nicht unbezogen auf beliebige andere Hagelereignisse übertragen werden. Ein meteorologischer Faktor kann diese nämlich beeinflussen: Der Auftreffwinkel der Hagelkörner auf die betroffenen Bauelemente (Abb. 59). Als extremes Beispiel sei ein Hagelschlag mit starkem Windeinfluss angenommen, der den fallenden Hagelkörnern eine annähernd horizontale Bewegungsrichtung verleiht (B und C): Bei Firstausrichtung parallel zur Hagelbewegung erleidet die Fläche eines Satteldaches nur relativ geringe Schäden, da die Körner in sehr flachem Winkel auftreffen (B). Umgekehrt fallen die Schäden an der Dachfläche sehr gross aus, wenn die Firstorientierung rechtwinklig zur Bewegungsrichtung der Hagelkörner steht und die Körner somit steil auf die Dachfläche aufschlagen (C).

Fällt der Hagel bei schwachem Wind hingegen annähernd senkrecht, werden die Fassaden nur geringfügig betroffen, die sie schützende Bedachung wird hingegen unabhängig von der Firstausrichtung beschädigt (A).



**Abb. 58:** Schematische Darstellung der optimalen (grün) bzw. ungünstigen Gebäudeorientierungen (rot), bezogen auf die Zugrichtung der Hagelzelle. Oben nach Anteil betroffener Gebäude, unten gemäss dem Schadengrad der betroffenen Gebäude.



**Abb. 59:** Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Schadenwirkung vom Einschlagswinkel der Hagelkörner. Fall A: Ohne Wind fallen die Hagelkörner nahezu senkrecht. Fall B: Getrieben durch starken Wind treffen die Hagelkörner in sehr flachem Winkel auf die Dachfläche mit parallel zur Windrichtung verlaufendem First. Fall C: Getrieben durch starken Wind treffen die Hagelkörner in steilem Winkel auf die Dachfläche mit quer zur Windrichtung verlaufendem First. Rechtwinklig zur Einschlagsrichtung verlaufende Bauelemente sind dem Hagel stark bis sehr stark ausgesetzt, parallel dazu verlaufende Bauelemente sind hingegen nur mässig bis geringfügig ausgesetzt, je nachdem, ob sie noch durch ein Vordach geschützt sind oder nicht.

Ziel dieses Teils der Untersuchung war es zu klären, ob eine Beziehung zwischen der allgemeinen Hagelzugrichtung und dem Schadengrad besteht, ob also ein Unterschied zwischen den Fällen B und C feststellbar ist. Entsprechende Tendenzen sind in den Daten erkennbar. Allerdings wird der Einfallswinkel direkt von der Windgeschwindigkeit und -richtung in Bodennähe bestimmt und hängt von verschiedenen Faktoren wie Topografie und Bodenbedeckung (Gebäude, Wald, Hecken) ab, die Wirbel erzeugen, deren Windrichtung von derjenigen, die die Zugrichtung der Hagelzelle bestimmt, stark abweichen kann. Da die Bodenwindverhältnisse während des Hagelereignisses im Juli 2011 nicht bekannt sind, konnte für die vorliegende Studie nur die mittlere Zugrichtung der Hagelzelle von 73° berücksichtigt werden. Um aussagekräftigere Resultate zu erhalten, ist für künftige Untersuchungen dieser Art eine bessere Kenntnis der Bodenwindverhältnisse anzustreben.

## 6. Rasche Einschätzung der Schäden nach dem Ereignis

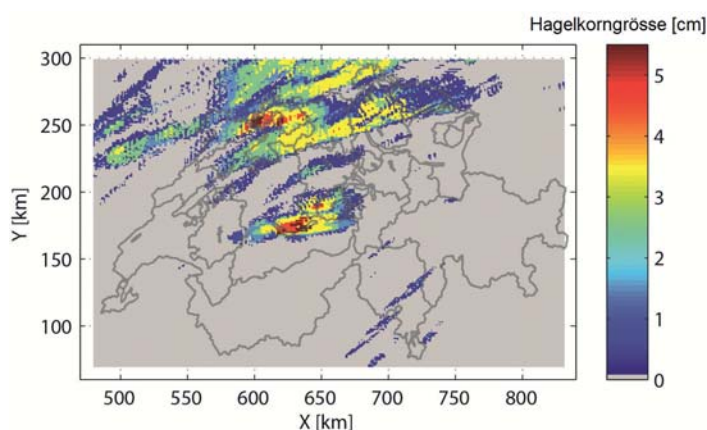
### 6. Rasche Einschätzung der Schäden nach dem Ereignis

#### 6.1 Einleitung

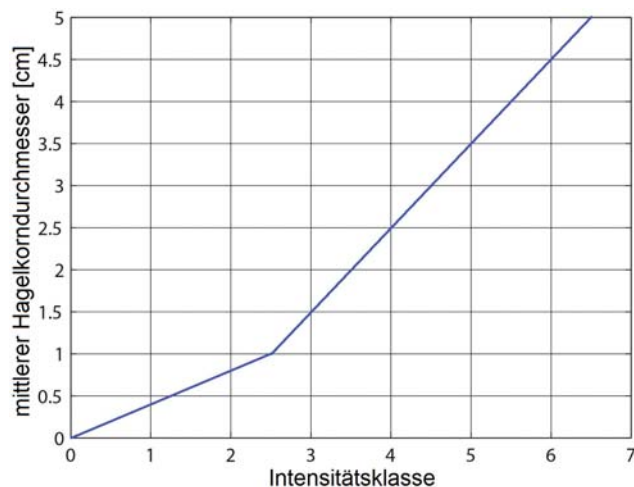
Nach einem Hagelereignis wie demjenigen am 12./13. Juli 2011 fällt eine bedeutende Arbeitslast bei der Gebäudeversicherung an – sie muss eine Vielzahl von Dossiers bearbeiten. So war die AGV ab dem Ereignis bis Ende 2012 gezwungen, 26 neue Vollzeitstellen zu schaffen, um die anfallende Arbeit zu bewältigen. Der durchschnittliche Zeitraum bis zur Auszahlung der Schadenvergütung stieg dennoch von normalerweise üblichen sechs Tagen auf 30 Tage (AZ, 2012). Unter diesem Gesichtspunkt kommt der raschen Einschätzung des anfallenden Zusatzaufwandes sowie der zu erwartenden Schadensumme grosse Bedeutung zu.

Zu den nach einem Ereignis rasch verfügbaren Informationen zählen Radardaten. Die Firma meteoradar GmbH liefert auf Bestellung eine Karte der maximalen während eines Ereignisses erreichten Intensitäten für die gesamte Schweiz (Abb. 60 und 61). Hierbei handelt es sich um eine Schätzung der den Boden erreichenden Hagelkorngrössen, die in einer direkten Beziehung zur kinetischen Energie der Hagelgeschossen stehen.

Zur Überprüfung, inwiefern die Radardaten zur raschen Schadeneinschätzung nach einem Hagelereignis benutzt werden können, wurde die nachfolgend beschriebene Untersuchung anhand der Gebäudeschadendaten der zwei grossen Hagelereignisse im Jahr 2009 vorgenommen.



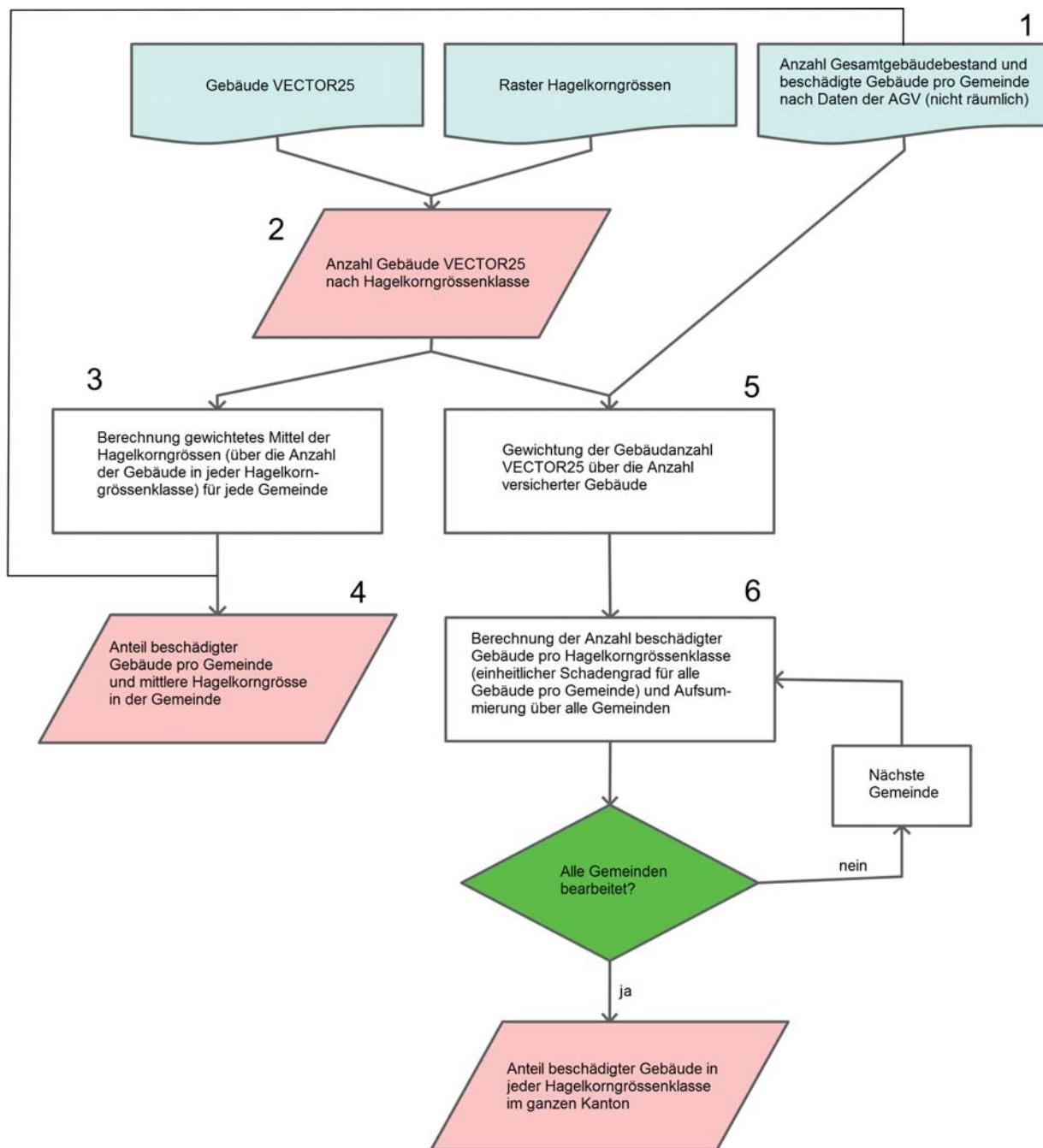
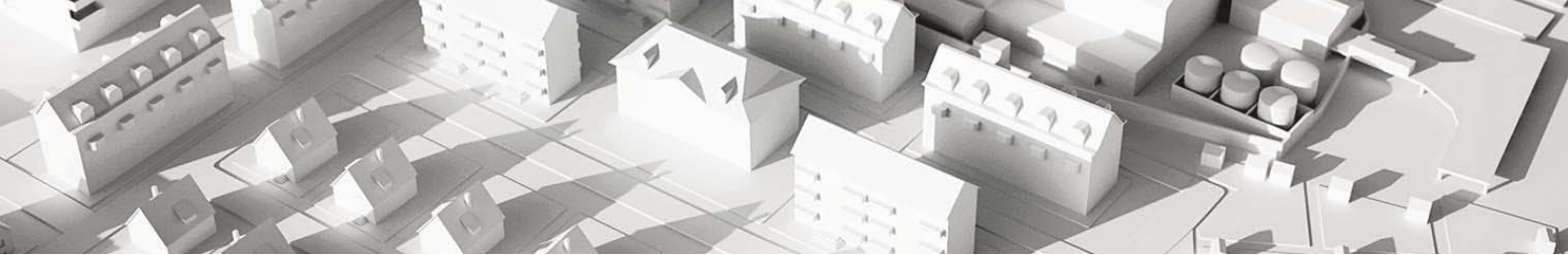
**Abb. 60:** Karte der mittleren Hagelkorngrössen, abgeleitet aus den Niederschlagsintensitäten gemäss der Funktion in Abb. 61 (Daten: meteoradar).



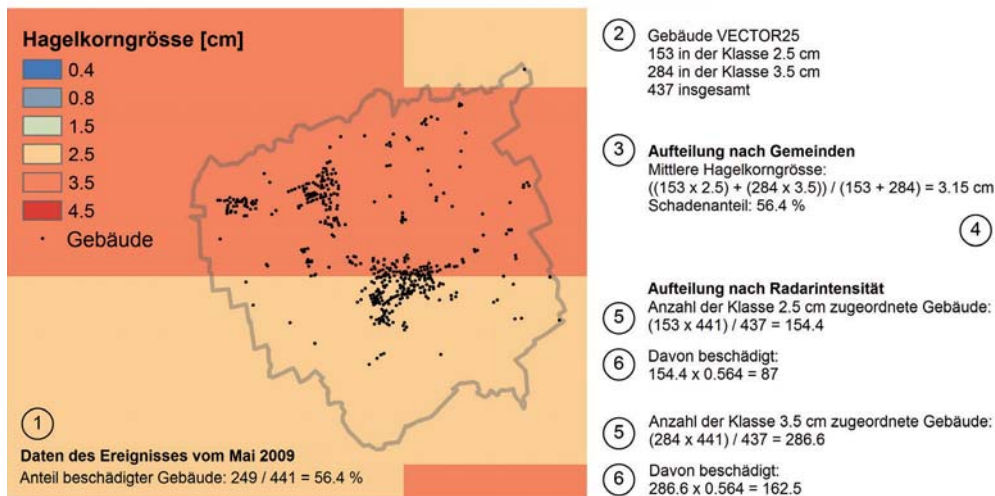
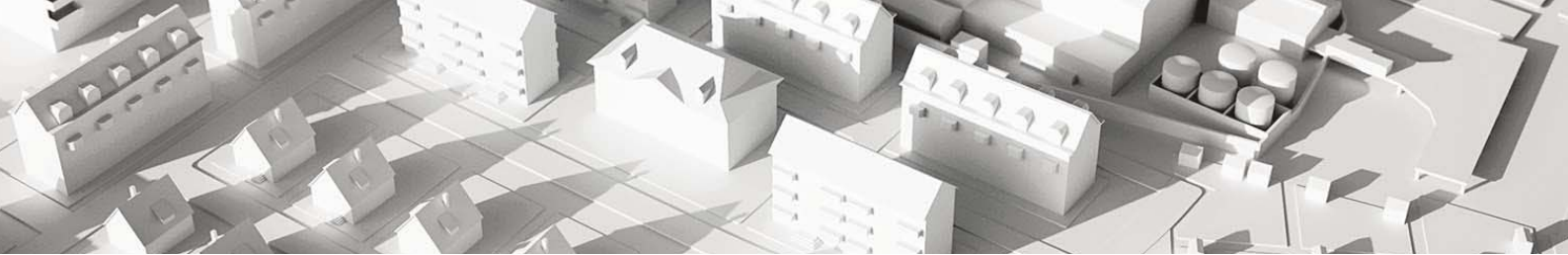
**Abb. 61:** Beziehung zwischen den Intensitätsklassen von meteoradar GmbH und der entsprechenden ungefähren Hagelkorngrösse.

#### 6.2 Gebäudeschäden der beiden grossen Hagelereignisse von 2009

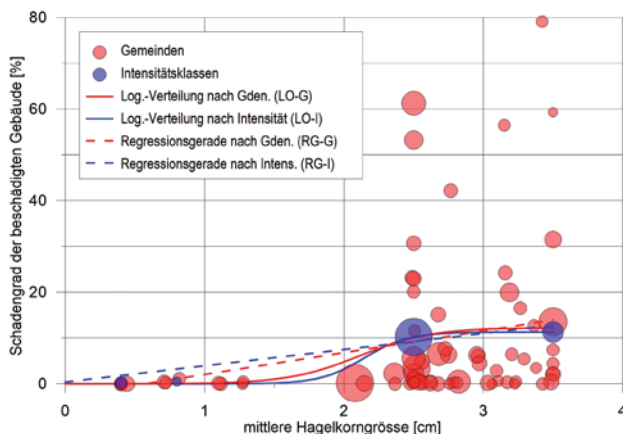
Basierend auf den Schadendaten des Hagelereignisses vom 23. Juli 2009 in den Kantonen Waadt, Freiburg, Bern und Luzern sowie den aus Radardaten abgeleiteten Hagelkorngrössen, wurde eine lineare Regression berechnet (IRV, 2012). Diese erlaubt es, ausgehend von der festgestellten Hagelkorngrösse auf die zu erwartende Gebäudeschadenshöhe zu schliessen. Allerdings liefert diese Regression keine Aussage zum Anteil betroffener Gebäude. Um diesen Anteil zu bestimmen, wurden Daten des Hagelereignisses vom 26. Mai 2009 im Kanton Thurgau beigezogen. Der entsprechende Wert ist nicht direkt verfügbar, doch ist für jede Gemeinde sowohl die Anzahl betroffener als auch die Anzahl bestehender Gebäude bekannt.



**Abb. 62:** Ablaufschema der angewandten Methodik zur Berechnung der Anteile beschädigter Gebäude pro Intensitätsklasse und Gemeinde. Die Ziffern entsprechen den Arbeitsschritten des Beispiels in Abb. 63. Die beiden Ergebnisvarianten sind in Abb. 64 wiedergegeben.



**Abb. 63:** Berechnungsbeispiel zur Hagelkorngrösse sowie der Verteilung der Gebäude auf die Intensitätsklassen für eine Beispielgemeinde im Kanton Thurgau. Die Lagepunkte der Gebäude entstammen dem Datensatz «VECTOR25» (swisstopo). Die Ziffern entsprechen den im Ablaufschema (Abb. 62) beschriebenen Arbeitsschritten.



**Abb. 64:** Anteil beschädigter Gebäude pro Intensitätsklasse (blau) und pro Gemeinde (rot) in Abhängigkeit der mittleren Hagelkorngrösse in der Gemeinde. In beiden Fällen wurden die Regressionsgeraden und die logistischen Funktionen unter Gewichtung nach Anzahl beschädigter Gebäude pro Kreisfläche an die Daten angepasst (die Grösse der Kreisflächen widerspiegelt die Anzahl beschädigter Gebäude; der Massstab der roten und blauen Kreisflächen ist unterschiedlich). Die logistische Funktion wurde angepasst unter der Voraussetzung, dass der Parameter  $k$  (Wert der oberen Asymptote) zwischen 0 und 1 liegt, der Ordinatenwert im Ursprung unter 0.1 % beträgt und der Wendepunkt zwischen 1 und 6 cm liegt.

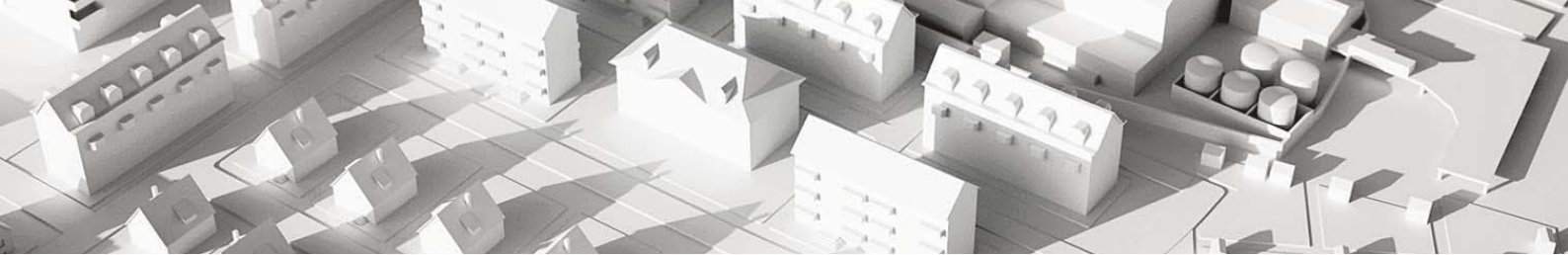
Um den Anteil beschädigter Gebäude pro Hagelintensitätsklasse zu bestimmen, wurden die Daten in zwei Schritten bearbeitet: In einem ersten Schritt wurde der Gebäudebestand des Datensatzes VECTOR25 der swisstopo mit den Radardaten verschnitten, was den Prozentsatz der Gebäude jeder Gemeinde in den einzelnen Radar-Intensitätszonen lieferte. In einem zweiten Schritt wurde die Anzahl beschädigter Gebäude und die Anzahl aller Gebäude jeder Gemeinde den einzelnen Intensitätsklassen gemäss dem vorgängig bestimmten Prozentsatz zugeordnet, unter der Annahme, dass die beschädigten Gebäude gleichmässig über die jeweilige Gemeinde verteilt sind. Hierfür wird davon ausgegangen, dass der Anteil beschädigter Gebäude pro Gemeinde in jeder Intensitätsklasse gleich hoch ist. Dabei handelt es sich zugegebenermassen um eine stark vereinfachende Annahme, aber anhand der verfügbaren Daten lassen sich die wahren Anteile nicht bestimmen. Anschliessend wurden die Anzahl der beschädigten bzw. die Gesamtanzahl der Gebäude pro Gemeinde in jeder Intensitätsklasse zusammengestellt, um den Verhältnisanteil auf Kantonsniveau zu bestimmen (Abb. 61 und 62). An diese

Werte wurden schliesslich eine lineare Regression und eine logistische Funktion angepasst (Abb. 63).

### 6.3 Gebäudeschäden des Hagelereignisses von 2011

Für diesen Teil der Untersuchung wurden 194'122 Gebäude (88.6 % des Gebäudebestandes der AGV) mithilfe des Geo-Post-Datensatzes georeferenziert. Der Prozentsatz der georeferenzierten an den insgesamt beschädigten Gebäuden beläuft sich auf CHF 123 Mio. bzw. 94 % des Gesamtschadens.

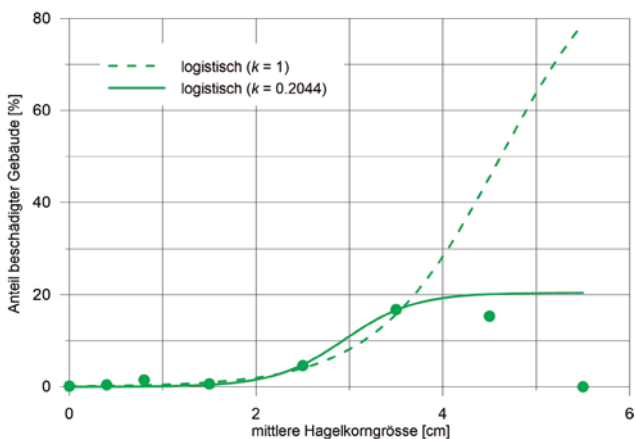
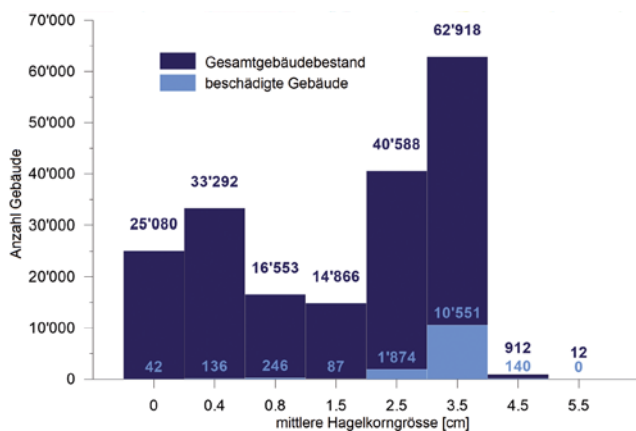
Abb. 65 zeigt die Anteile beschädigter Gebäude in jeder Korngrössenklasse. An diese Daten wurde eine logistische Funktion angepasst. Dieser Funktionstyp wurde gewählt, weil die Steigung in seinem ersten Abschnitt progressiv zunimmt und weil er auf einen Maximalwert begrenzt werden kann. Das ist sinnvoll, weil der Anteil beschädigter Gebäude einen Wert von 1 (bzw. 100 %) nicht übersteigen kann. Die Anpassung der Kurve ist allerdings nicht ganz einfach und



erfordert die Festlegung bestimmter Vorgaben. Für die Anpassung wurde die Anzahl der Gebäude in jeder Klasse mitberücksichtigt, um sicherzustellen, dass die geringe Gebäudenzahl in den Korngrößenklassen 4.5 und 5.5 cm das Resultat nicht zu stark beeinflusst. Mit einer Gaußskurve könnte beispielsweise der in Abb. 65 erkennbare Rückgang beschädigter Gebäude bei den Hagelkorngrößen >4 cm genauer wiedergegeben werden, doch erscheint dies nicht sinnvoll, da der Rückgang offensichtlich durch die ungenügende Repräsentativität der Anteile in den entsprechenden Klassen bedingt ist. Weiter erzeugt eine Kurvenanpassung nach dem Verfahren der kleinsten quadratischen Abweichungen einen abrupten Anstieg der Prozentanteile bei Hagelkorngrößen von über 2.5 cm. Eine gemilderte Zunahme erscheint demgegenüber realistischer. Es werden daher zwei Kurven vorgeschlagen, für die folgende Bedingungen vorgegeben werden.

Für die erste Kurve:

- maximaler Wert  $k$  zwischen 0 und 1
- maximale Steigung kleiner oder gleich der maximalen beobachteten (wie sie zwischen den Klassen 2.5 und 3.5 cm auftritt)



**Abb. 65:** Anzahl beschädigter Gebäude bzw. Gesamtgebäudebestand in jeder Korngrößenklasse (oben) und logistische Funktionen der Anteile beschädigter Gebäude (unten).

- Wendepunkt zwischen 1 und 6 cm
- Ordinatenwert im Ursprung kleiner oder gleich 0.1%

Für die zweite Kurve:

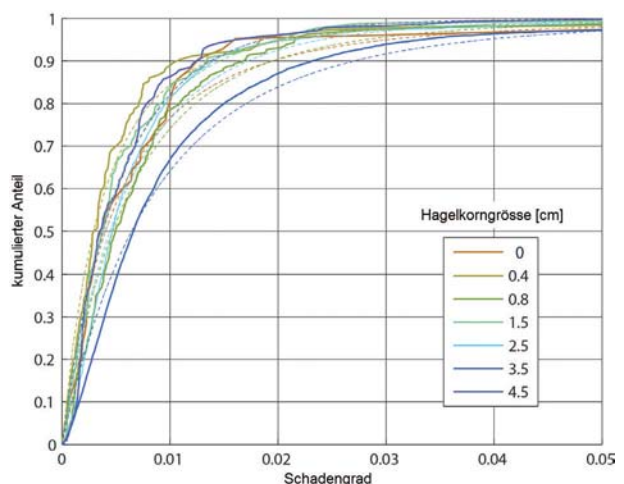
- maximaler Wert  $k = 1$
- Wendepunkt zwischen 1 und 10 cm
- Ordinatenwert im Ursprung kleiner oder gleich 0.1%

Abb. 65 zeigt die beiden Kurven sowie die Anzahl beschädigter Gebäude und den Gesamtgebäudebestand für die einzelnen Korngrößenklassen. Anhand der vorgegebenen Bedingungen zur Kurvenanpassung sowie der Unterschiede zwischen den beiden Kurven wird deutlich, dass die zu erwartenden wahren Schadengrade der beschädigten Gebäude mit grosser Unsicherheit behaftet sind. Der Vergleichstest der beiden immerhin plausiblen Lösungsvarianten ermöglicht es aber, die Unsicherheit der Anzahl betroffener Gebäude einzuschätzen.

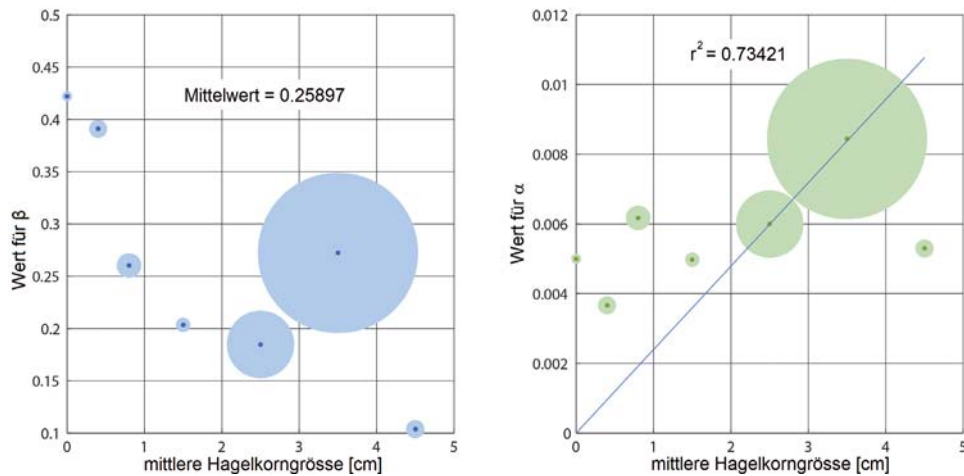
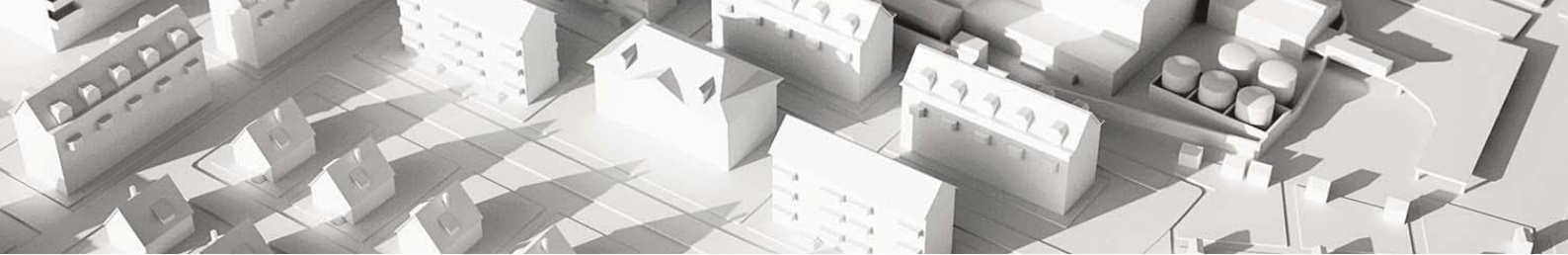
Für jedes Gebäude wird durch Teilung des Schadenbetrags durch den Versicherungswert der Schadengrad berechnet. Die Verteilung der Schadengrade jeder Klasse wird anschliessend mit der verallgemeinerten Pareto-Verteilung beschrieben, deren kumulierte Verteilungsfunktion lautet:

$$F(x) = 1 - \left(1 + \beta \frac{x}{\alpha}\right)^{-\frac{1}{\beta}}$$

Dabei bestimmt  $\alpha$  die Skalierung und  $\beta$  die Form. Die an die Daten angepassten Schätzfunktionen sind in Abb. 66 als strichlierte Kurven dargestellt. Um die Funktionen zu schätzen, werden die Parameter  $\alpha$  und  $\beta$  mithilfe linearer Funktionen unter Gewichtung der Anzahl beschädigter Gebäude in jeder Klasse angepasst (Abb. 67). Die Formvariable  $\beta$  zeigt keine ausgeprägte Tendenz, die Skalierungsvariable  $\alpha$  hingegen ist im grossen und ganzen proportional zu den



**Abb. 66:** Summenkurven der verschiedenen Schadengrade für jede Korngrößenklasse (ausgezogene Kurven). Die strichlierten Kurven entsprechen den aus den Daten geschätzten Pareto-Verteilungen.



**Abb. 67:** Parameter  $\alpha$  und  $\beta$  der aus den Daten geschätzten Pareto-Funktionen und lineare Regression zur Verallgemeinerung der Parameterfunktionen. Parameter  $\beta$  wird durch einen Mittelwert angenähert, da keine Abhängigkeit von der mittleren Korngröße erkennbar ist. Die Größe der Kreise ist proportional zur Anzahl der Werte in jeder Klasse, anhand welcher die Funktionen gewichtet werden.

Korngrößenkategorien. Die angepasste Gerade der Skalierungsvariable  $\alpha$  wurde durch den Ursprung verlaufend festgelegt, so dass eine Intensität von Null keinen Schaden ergibt. Das ist zwar diskutabel, insofern als eine andere Funktion (die logistische ja/nein-Funktion) bestimmt, ob ein Gebäude beschädigt wird oder nicht und da Reparaturarbeiten einen bestimmten Mindestbetrag erfordern (minimale Grundkosten). Diese Schätzfunktionen werden dennoch für die weitere Analyse benötigt und sind in Abb. 68 dargestellt. In der Folge wird angenommen, dass diese Funktionen auch für den Gebäudebestand des Kantons Aargau repräsentativ sind.

variable  $u$  mit einem Wert zwischen 0 und 1 erzeugt, deren Wahrscheinlichkeitsdichte gleichförmig zwischen diesen beiden Schwellen verteilt ist (vgl. Abb. 69). Liegt die Zufallsvariable unterhalb des durch die Hagelkorngröße in der X-Achse (abgeleitet aus den Radardaten am Gebäudestandort) bestimmten Kurvenwertes, wird das Gebäude als beschädigt betrachtet. Ist dies der Fall, ergibt sich der Schadenbetrag direkt aus der linearen Beziehung, wie sie anhand des Ereignisses im Juli 2009 erstellt wurde (IRV, 2012):

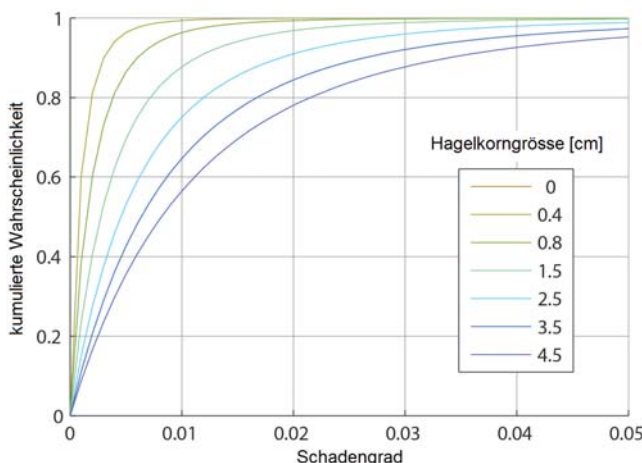
$$S = 695 \times d + 1'623$$

Dabei entspricht  $S$  dem Schadenbetrag in CHF und  $d$  dem Hagelkorndurchmesser in cm.

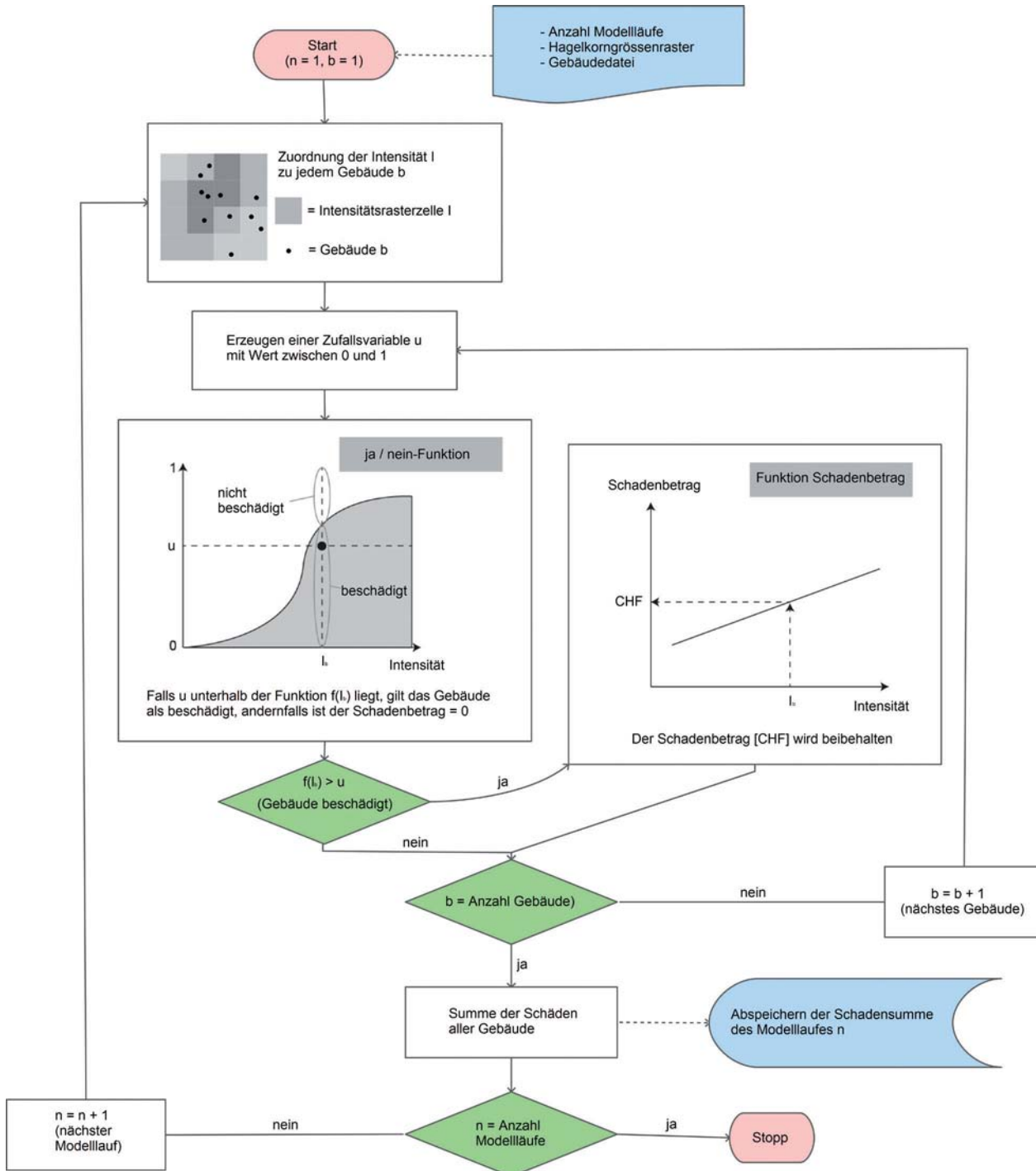
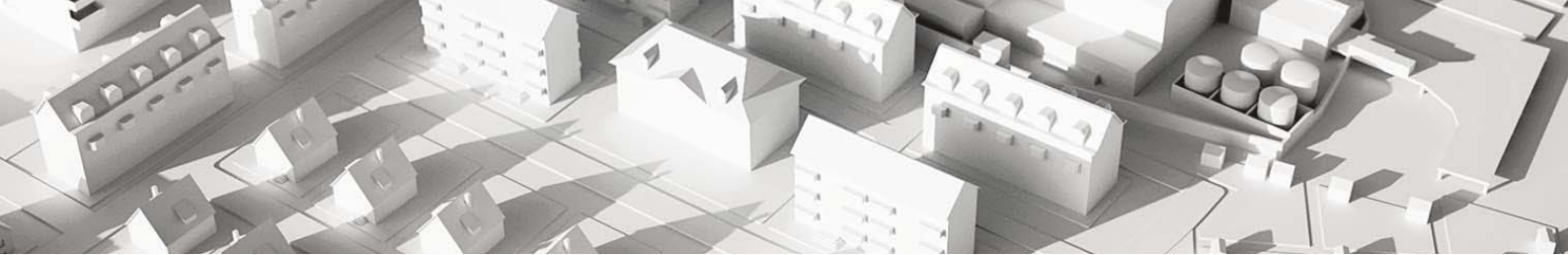
### 6.4 Rasche Schadenabschätzung

Die Schäden werden veranschlagt, indem der Anteil betroffener Gebäude und der Schadenbetrag mithilfe von Tab. 2 geschätzt werden. Das Modell entscheidet für jedes Gebäude, ob es betroffen ist oder nicht, indem es eine Zufalls-

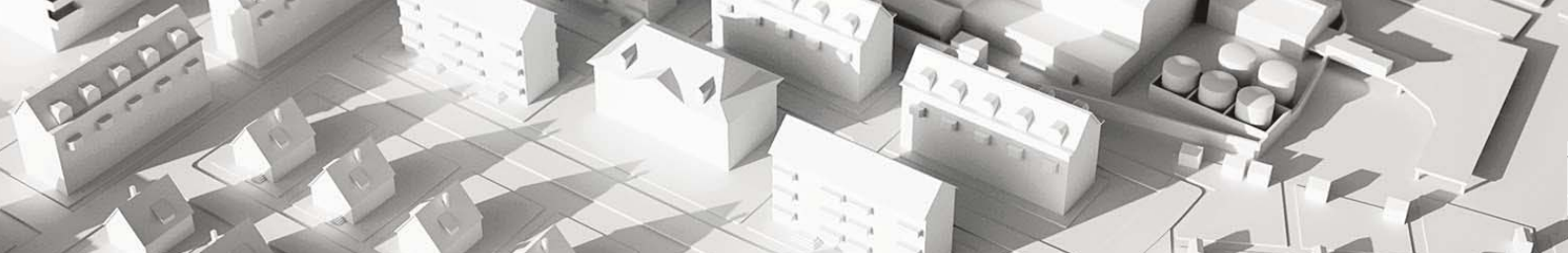
Der Anteil betroffener Gebäude bei einer gegebenen Intensität scheint bei beiden Ereignissen ähnlich gewesen zu sein, da – mit Ausnahme der an die Thurgauer Daten angepassten Regressionsgerade nach Intensitätsklassen (RG-I) – die Regressionsgeraden nach Gemeinden und die logistischen Funktionen die Anzahl der 2011 beschädigten Gebäude recht gut wiedergeben. Auch wenn die beiden logistischen Funktionen den erwarteten Wert um ungefähr 10% unterschätzen, so reproduzieren die an das Ereignis von 2011 angepassten Funktionen die Anzahl betroffener Gebäude zwar nicht perfekt, doch bewegen sie sich innerhalb eines akzeptablen Fehlerbereichs.



**Abb. 68:** Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Schadengrade für verschiedene Korngrößenklassen. Die Kurve für die Klasse 0 cm ist nicht sichtbar, da angenommen wird, dass in dieser Klasse keine Schäden möglich sind.



**Abb. 69:** Schema der Vorgehensweise für die Zuweisung der Schadenhöhe. Die «ja/nein-Funktion» definiert, ob das Gebäude beschädigt ist oder nicht, während die «Schadenbetragsfunktion» dem beschädigten Gebäuden einen Schadenbetrag zuordnet. Um die Streuung der Ergebnisse auszumitteln, können mehrere Modellläufe gerechnet werden.



«ja/nein-Funktion»	«Schadenbetragsfunktion»	Schadenssumme [Mio. CHF]	Quote	Anzahl beschädigter Gebäude	Quote
RG-G	Regressionsbeziehung (Juli 2009)	51.1	0.42	13'514	1.03
RG-I		75.8	0.61	22'500	1.72
LO-G		46	0.37	12'076	0.92
LO-I		43.4	0.35	11'400	0.87
LO-AG ( $k = 0.2044$ )		50.1	0.41	12'686	0.97
LO-AG ( $k = 1$ )		48.4	0.39	12'267	0.94
LO-AG ( $k = 0.2044$ )	Pareto AG	123	1	12'676	0.97
LO-AG ( $k = 1$ )		119	0.97	12'273	0.94
<b>Erwarteter («wahrer») Wert</b>		<b>123</b>	<b>1</b>	<b>13'076</b>	<b>1</b>

**Tab. 2:** Schadenssumme und Anzahl beschädigter Gebäude nach den verschiedenen Funktionen. Die Spalten «Quote» bezeichnen das Verhältnis zwischen geschätztem Schadenbetrag bzw. Anteil beschädigter Gebäude und dem erwarteten («wahren») entsprechenden Wert. Die Anteile betroffener Gebäude werden entweder mittels linearer Regression (RG) oder mit einer logistischen Funktion (LO) bestimmt, die einerseits vom Hagelereignis 2009 im Thurgau (G und I; vgl. Abb. 64), andererseits vom Hagelereignis 2011 im Aargau (AG; vgl. Abb. 65) hergeleitet wurden. Die Schadenbeträge der beschädigten Gebäude werden entweder anhand der oben beschriebenen Regressionsbeziehung geschätzt oder anhand der in Abb. 68 dargestellten Paretofunktionen.

Was den mit der Regressionsbeziehung von 2009 geschätzten Schadenbetrag betrifft, so liegt dieser systematisch zu tief, obschon die betroffene Gebäudeanzahl deutlich überschätzt wird. Warum das so ist, kann anhand der verfügbaren Daten nicht entschieden werden, aber es lassen sich zumindest Hypothesen hierzu aufstellen:

- Der Hagelschlag im Juli 2011 ereignete sich nachts, also zu einem Zeitpunkt, wenn die Storen im allgemeinen heruntergefahren sind. Der Anteil der Storen an der Gesamtschadenssumme war dementsprechend deutlich höher als im Mai 2009, was die Differenz zumindest teilweise erklären könnte.
- Ein weiterer Erklärungsansatz wäre die Annahme eines windbedingt flacheren Einschlagswinkels im Juli 2011, so dass bei vergleichbaren Gebäuden unterschiedliche Bauelemente (oder dieselben zu abweichenden Anteilen) betroffen wurden. Es ist allerdings anzumerken, dass der Anteil betroffener Bauelemente mit den Zahlen des Thurgauer Ereignisses im Mai 2009 verglichen wird, die Gesamtschadenssummen aber mit jenem im Juli 2009. Mangels entsprechender Daten lassen sich daher keine weitergehenden Schlüsse ziehen.
- Neben dem Hagel haben auch Sturm, eindringendes Regenwasser und Überschwemmung zu Gebäudeschäden geführt. Da die Gebäudeversicherungen die Schadenursache erstens nach dem Prinzip des dominanten Schadenprozesses (nur einer pro beschädigtes Gebäude) und zweitens nach der auslösenden Ursache zuordnen<sup>6</sup>, sind teilweise auch Schäden durch diese sekundären Prozesse in den Hagelschäden mitenthalten. Dadurch könnte sich der Anteil der Kategorien «Dach» und «Storen» proportional zugunsten anderer Bauelemente (überwiegend im Gebäudeinneren) verändern. Eine solche Verschiebung konnte bei der Auswertung der Einzelschäden jedoch nicht festgestellt werden.
- Eine wahrscheinlichere Erklärung ist, dass es sich bei den in besonders stark betroffenen Dörfern beschädigten Gebäuden vorwiegend um Einfamilienhäuser mit nicht-traditioneller Bauweise handelt, die viele potenziell teure Bauelemente aufweisen. Dies könnte erklären, warum 2011 die eingetretenen Schäden höher ausgefallen sind als beim Hagelschlag vom Juli 2009. Überdies ist der Anteil von Einfamilienhäusern im Kanton Aargau höher als im Kanton Thurgau und den vier im Juli 2009 betroffenen Kantonen (BFS, 2014c).

<sup>6</sup> D. h. Schäden aufgrund von durch ein zerschlagenes Dachfenster eindringendem Wasser werden ebenfalls unter der Ursache «Hagel» aufgeführt.



## 7. Risikoanalyse

Eine der grossen Unsicherheiten der Untersuchung ist die tatsächliche Grösse der Hagelkörner. Selbst unter Annahme, dass die Radarmessungen perfekte Ergebnisse liefern, ist offensichtlich, dass die Radarauflösung keine hundertprozentig korrekte Zuordnung der Hagelkorngrössen zu den betroffenen Gebäuden erlaubt. So wird die in Abb. 63 dargestellte Gemeinde durch eine scharfe Grenze in zwei Hagelkorngrössenklassen geteilt, was natürlich nicht der Wirklichkeit entspricht. Wenn die Grössendifferenz zwischen zwei benachbarten Zellen gering ist (Sprung um nur eine Klasse), ist der damit verbundene Fehler relativ bescheiden. Ist die Differenz aber grösser, erhöht sich entsprechend die Unsicherheit bezüglich der «wahren» Hagelkorngrösse.

Eine weitere potenzielle Fehlerquelle ist die Anzahl der Gebäude: Wenn die Untersuchung auf den georeferenzierten Gebäudeversicherungsdaten beruht, ist die Anzahl der Gebäude höher als wenn sie beispielsweise anhand der Gebäudeumrisse in VECTOR25 erfolgt. Im letzteren Fall werden z. B. Reiheneinfamilienhäuser anhand des gemeinsamen Grundrisses als ein einziges Objekt erfasst, während sie von der Gebäudeversicherung als mehrere Gebäude interpretiert werden. In diesem Fall wäre die Verwendung des Schadengrades statt des Schadenbetrags für die Aufteilung des Gesamtversicherungswertes auf die einzelnen Gebäude geeigneter, um einen realistischeren Wert für die Schadenssumme zu erhalten.

Der beschriebene Methodik vernachlässigt einige wesentliche Parameter für die Berechnung der Schadengrade wie z. B. den Gebäudetyp, die Windrichtung, die Frage, ob die Storen zum Ereigniszeitpunkt aus- oder hochgefahren waren und weitere. Diese Faktoren könnten relativ einfach in der Abschätzung berücksichtigt werden, sofern sie in ihrer Wirkung bekannt sind. Hierfür wie auch zur Verminderung der Unsicherheit der Schadenfunktionen, die noch sehr unscharf definiert sind (Abb. 64), ist die Analyse weiterer Ereignisse erforderlich.

## 7. Risikoanalyse

### 7.1 Gefährdung

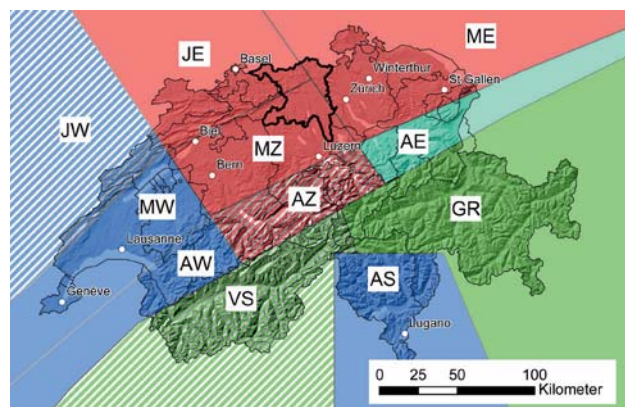
Im Rahmen des Präventionsstiftungsprojekts «Hagelregister» (KGV, 2007; vgl. Abb. 70) wurde eine Karte der Hagelgefährdungszonen für die ganze Schweiz erstellt. Diese Karte bezeichnet für verschiedene Wiederkehrperioden die zu erwartende minimale Hagelkorngrösse in jeder Zone. Der Kanton Aargau befindet sich darin in der höchsten Gefährdungszone. Für jeden beliebigen Gebäudestandort in dieser Zone sind im Schnitt Hagelkörner mit 1 cm Durchmesser einmal pro Jahr, solche mit 2 cm einmal in 5, solche mit 3 cm einmal in 20 und solche mit 4 cm Durchmesser einmal in 100 Jahren zu erwarten. Das schliesst nicht aus,

dass innerhalb des Kantons mehrere Ereignisse mit den genannten Hagelkorngrössen in den jeweiligen Zeiträumen auftreten, da die Hagelzüge meist nur Teile des Kantons betreffen.

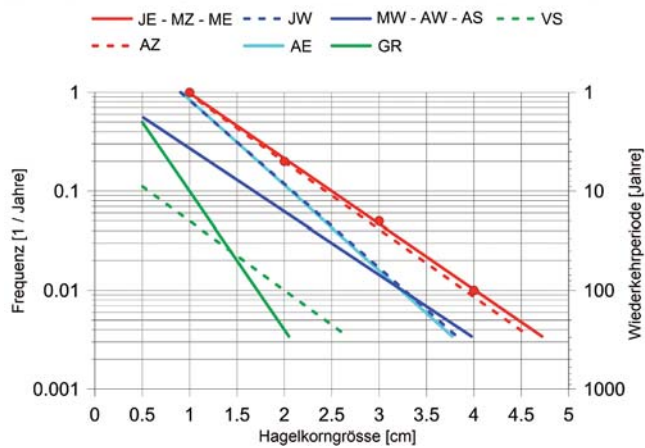
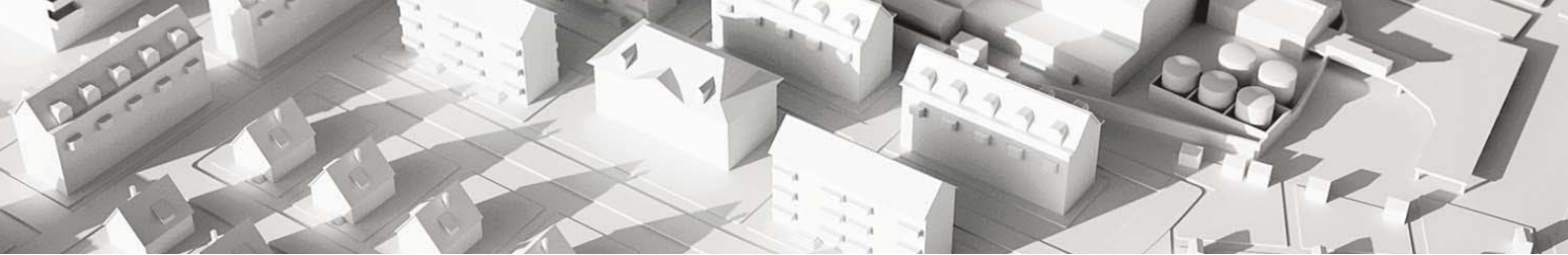
In Bezug auf die Grössenverteilung der Hagelkörner eines Ereignisses stellen Pruppacher & Klett (2010) fest, dass die meisten Autoren für die Anpassung an ihre Daten eine Exponentialverteilung vom Typ «Marshall-Palmer» benutzen:

$$n(d) = n_0 e^{-\lambda d}$$

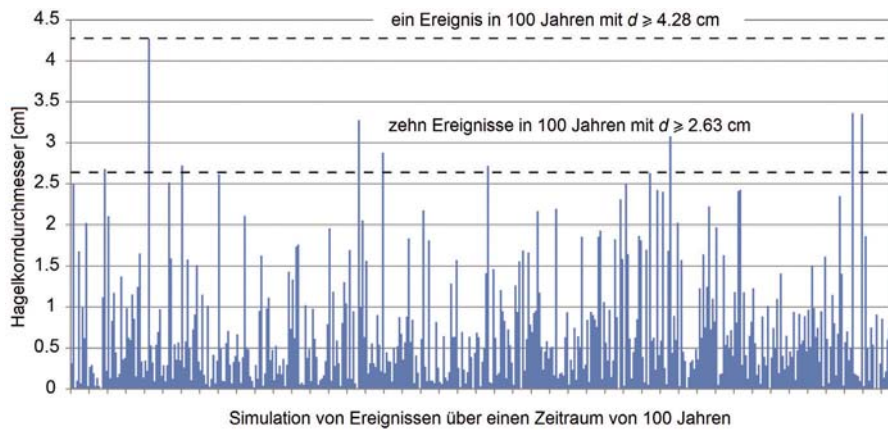
Dabei entspricht  $n(d)$  der Anzahl Körner mit gleichem oder grösserem Durchmesser als  $d$ ;  $n_0$  und  $\lambda$  sind vom Ereignis oder der Region abhängige Parameter. Die Beziehung beschreibt auch die ersten paar Grössenklassen auf der Karte in KGV (2007) relativ gut. Abb. 71 zeigt die verschiedenen an die Daten angepassten Funktionen sowie die Datenpunkte der Zonen «Mittelland Zentrum», «Mittelland Ost» und «Jura Ost», in welchen sich der Kanton Aargau befindet. Punge et al. (2014) benutzen ebenfalls eine von der genannten Exponentialverteilung abgeleitete Beziehung (mit  $n_0 = \lambda$ ), um die relative Häufigkeitsverteilung der Hagelkorngrössen verschiedener Ereignisse zu beschreiben.



**Abb. 70:** Gefährdungszonen gemäss der Studie in KGV (2007), für die Beziehungen von Wiederkehrperiode und Hagelkorngrösse definiert wurden (Abb. 71). Die Zonenfarben entsprechen den Farben der entsprechenden Kurven in Abb. 71. Für die Modellrechnungen wurden die Gefährdungszonen über die Landesgrenze hinaus extrapoliert.



**Abb. 71:** Exponentialfunktionen der Wiederkehrperioden der Mindesthagelkorngrössen gemäss KGV (2007). Die Punkte entsprechen den Rohdaten für die Zonen «Mittelland Ost» und «Mittelland Zentral» (ME und MZ) sowie für «Jura Ost» (JE). Abb. 70 zeigt die Lage der entsprechenden Zonen.



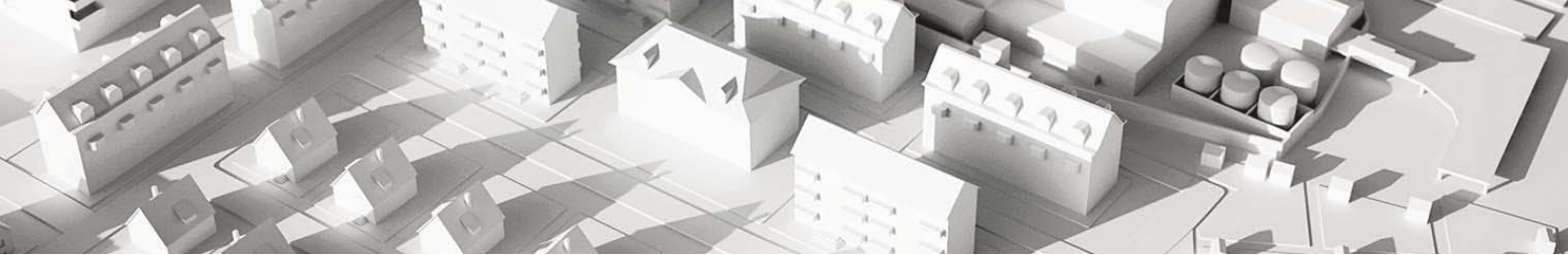
**Abb. 72:** Beispiel zufällig erzeugter Daten nach der für den Kanton Aargau angepassten Formel über einen Zeitraum von 100 Jahren. Gemäss diesen Rohdaten würde das Szenario für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren ohne eine Anpassung des Verteilungsgesetzes Hagelkorngrössen bis 4.28 cm liefern, da diese Grösse einmal erreicht wird. Eine Korngrösse von 2.63 cm würde demnach in einem 10-jährlichen Szenario erreicht oder überschritten. Soll das Gesamtrisiko unter Verwendung der Szenarien 10- und 100-jährlich berechnet werden, ist für das 10-jährliche Szenario eine Frequenz  $f'_{10} = 0.09$  (d. h.  $0.1 - 0.01$ ) anzusetzen. Damit wird verhindert, dass das Ereignis mit Hagelkorngrössen von 4.28 cm zweimal berücksichtigt wird. Entsprechend beträgt die Frequenz für Hagelkorngrössen von 2.63 (eingeschlossen) bis 4.28 cm (ausgeschlossen)  $9/100$  bzw.  $0.09$ .

Betrachtet man die Frequenz eines Ereignisses  $i$  mit einer mindestens erreichten Hagelkorngrösse, dann ist die Frequenz eines selteneren Ereignisses  $i+1$  im Szenario von  $i$  mitenthalten. Wenn also das 30-jährliche Szenario durch die Hagelkorngrösse definiert ist, die im Schnitt einmal in 30 Jahren erreicht oder überschritten wird, dann ist ein Ereignis mit Hagelkorngrössen, die im Schnitt einmal in 100 Jahren erreicht oder überschritten werden, bereits im 30-jährlichen Szenario berücksichtigt. Daher lautet die Ereignisfrequenz zur Aufsummierung mehrerer Szenarien wie folgt:

$$f'_i = f_i - f_{i+1}$$

Dabei ist  $f_i$  die Frequenz des Szenarios  $i$  unabhängig von den anderen berücksichtigten Szenarien, und  $f_{i+1}$  ist die Frequenz des nächsthöheren Szenarios. Dadurch wird die Frequenz eines Szenarios mit einer bestimmten Hagelkorngrösse zwischen den Szenarien  $i$  und  $i+1$  begrenzt.

Dieses Vorgehen liegt auch dem bekannten Analysetool «EconoMe» zur Bestimmung des Naturgefahrenrisikos zugrunde (Bründl et al., 2011); es wird in Abb. 72 anhand einer Serie zufällig erzeugter Daten veranschaulicht.

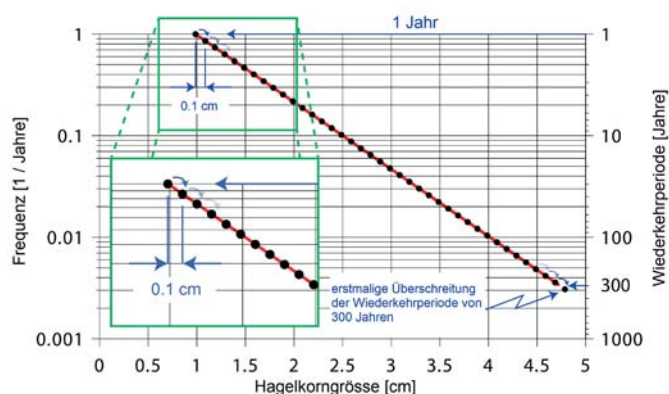


## 7.2 Berechnung des mittleren jährlichen Risikos

Um die Risiken für die vorgehend definierten Wiederkehrperioden anhand der vorliegenden Schadendaten einzuschätzen, wurde in der Software «Matlab®» ein einfaches Modell entwickelt. Für jede verfügbare Hagelkorngrossen-karte berechnet dieses den zu erwartenden Schaden anhand der logistischen Funktion, indem für jedes Gebäude mittels Zufallsvariable entschieden wird, ob es beschädigt ist oder nicht. Gilt es als beschädigt, wird ihm anhand einer weiteren Zufallsvariable ein Schadengrad gemäss Abb. 68 zugewiesen und dieser mit dem Versicherungswert multipliziert, woraus sich der Schadenbetrag in CHF ergibt. Die Schadenbeträge aller Gebäude werden sodann aufsummiert. Dies wird um die zwanzigmal wiederholt, um daraus eine mittlere Gesamtschadensumme zu erhalten. Diese mittlere Gesamtschadensumme wird schliesslich mit der Ereignisfrequenz multipliziert, woraus sich das Risiko in CHF/Jahr ergibt.

Dieser Ablauf wurde mithilfe der beiden an die Ereignisdaten von 2011 angepassten logistischen Funktionen anhand der Hagelgefährdungskarten in KGV (2007) durchgespielt, dann anhand der Gefährdungskarten, die mit der Exponentialfunktion erstellt wurden. Letzteres geschieht wie folgt (vgl. auch Abb. 73):

1. Der Anwender legt die minimale und die maximale Wiederkehrperiode fest, ebenso die «Auflösung» (oder Erhöhungsschritt), d.h. der Unterschied der Hagelkorngrossen von einem zum nächsten Rechenschritt.
2. Die Hagelkorngrossen wird für die geringste Wiederkehrperiode berechnet, dann wird die Hagelkorngrossen um den vom Anwender gewählten Auflösungsschritt erhöht, und die der Hagelkorngrossen entsprechende Wiederkehrperiode wird berechnet. Liegen Gebäude in Zonen mit unterschiedlichen Exponentialfunktionen, dann passt sich das Modell entsprechend an, so dass die mittlere Grössendifferenz dem vom Anwender definierten Wert entspricht. Mit jedem Rechenschritt wird unter der An-



**Abb. 73:** In diesem Beispiel der Berechnung der Wiederkehrperiode hat der Benutzer eine minimale Wiederkehrperiode von 1 Jahr definiert, eine maximale Wiederkehrperiode von 300 Jahren und einen Erhöhungsschritt von 0.1 cm. Zuerst wird die Hagelkorngrossen für die Wiederkehrperiode von 1 Jahr berechnet, im nächsten Schritt dann die Hagelkorngrossen um 0.1 cm erhöht und die Wiederkehrperiode gemäss der Exponentialfunktion abgeleitet. Dies wiederholt sich solange, bis die Wiederkehrperiode den maximalen Wert (300 Jahre) erreicht oder überschreitet. Bei jedem Schritt wird das Risiko berechnet.

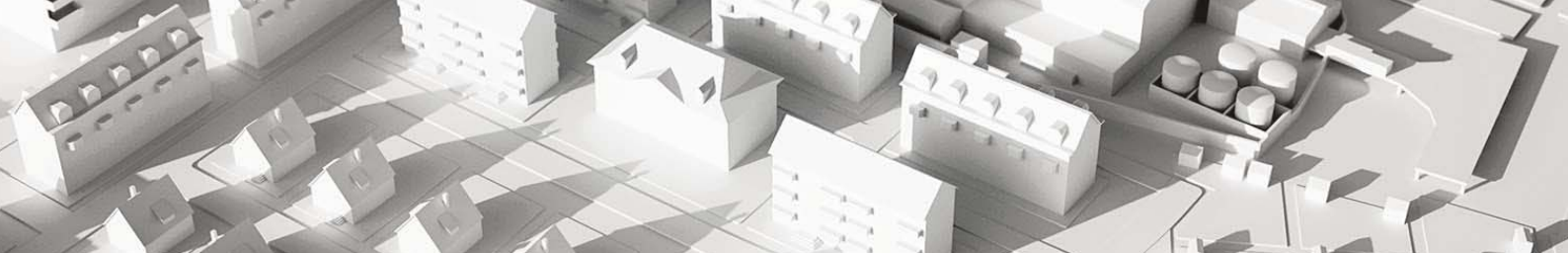
nahme, dass der gesamte Kanton gleichzeitig mit der festgelegten Hagelkorngrossen betroffen wird, die Schadenssumme berechnet.

3. Die Berechnung wird gestoppt, wenn die maximale definierte Wiederkehrperiode erreicht oder überschritten wird.

Das Risiko wurde mithilfe der Exponentialfunktionen für drei verschiedene Zeitspannen von Wiederkehrperioden berechnet, nämlich für 1–300 Jahre (was dem durch die Hagelgefährdungskarten in KGV (2007) abgedeckten Zeitraum entspricht), für 0.1–300 Jahre sowie für 1–100 Jahre. Dies, um den Einfluss sehr kurzer bzw. extrem grosser Wiederkehrperioden auf die Risikoberechnung zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 wiedergegeben:

Gefährdung	Schadenmodell	Zeitspannen Wiederkehrperioden		
		0.1–300 Jahre	1–300 Jahre	1–1000 Jahre
Karten	AG (k = 0.2044)		15.2 Mio. CHF/J	
Karten	AG (k = 1)		17.4 Mio. CHF/J	
Exponentialfunktion	AG (k = 0.2044)	27.3 Mio. CHF/J	27.1 Mio. CHF/J	27.2 Mio. CHF/J
Exponentialfunktion	AG (k=1)	35.5 Mio. CHF/J	34.1 Mio. CHF/J	35.8 Mio. CHF/J

**Tab. 3:** Risiken im Kanton Aargau für verschiedene Zeitspannen von Wiederkehrperioden und mit unterschiedlichen Ansätzen. Die Korngrössensprünge für die Exponentialfunktionen wurden zu 0.1 cm festgelegt. Die berechneten Risiken beziehen sich ausschliesslich auf die georeferenzierten Gebäude, die 88.6% der Gesamtgebäudezahl im Portfolio der AGV entsprechen (die übrigen sind in den Berechnungsgrundlagen nicht berücksichtigt).



Die Verwendung der Exponentialfunktionen liefert beträchtlich höhere Ergebnisse als die auf den Funktionen der Gefährdungskarten (KGV, 2007) beruhenden Berechnungen. Das erklärt sich aus dem Erhöhungsschritt in der Berechnung. Wird dieser für die Berechnung mit den Exponentialfunktionen auf 1 cm festgelegt, wird das Risiko für die Wiederkehrperioden 1, 5, 21 und 439 Jahre berechnet, und das Ergebnis für den Kanton Aargau ist ebenfalls 15.2 Mio. CHF/Jahr. Wird er hingegen auf 0.01 cm festgelegt, ergibt sich ein höheres Resultat (28.8 Mio. CHF/Jahr), doch ist die Differenz vergleichsweise gering. Grund hierfür ist, dass die Berechnungsmethode darauf beruht, dass die Hagelkorngrösse (und damit auch die Schadengrade) bis zum nächsthöheren Wert dieselbe bleibt. Je kleiner die Erhöhungsschritte gewählt werden, desto korrekter werden die Berechnungen aus mathematischer Sicht.

Bei Anwendung der auf 1 begrenzten logistischen Funktion fallen die Schadenssummen höher aus, wenn die Hagelkorngrössen über etwa 3.5 cm liegen (entsprechend einer Wiederkehrperiode von ca. 90 Jahren), da dann der Anteil beschädigter Gebäude stark zunimmt. Die relative Zunahme des Risikos zwischen der Zeitspanne von 1–300 und jener von 0.1–300 Jahren fällt mit dieser Funktion ebenfalls höher aus. Dies ist auf einen leicht höheren Ausgangsordinatenwert dieser Kurve zurückzuführen, was bei den tieferen Korngrössenklassen leicht höhere Anteile beschädigter Gebäude zur Folge hat. (Der geringfügige Unterschied zwischen den beiden logistischen Funktionen ist für kleine Korngrössen in der Grafik nicht erkennbar.) Selbst wenn dieser Unterschied wenig bedeutend ist, veranschaulicht er doch, wie wichtig es ist, Anpassungskurven vernünftig zu begrenzen, um wirklichkeitsnahe Ergebnisse zu erhalten.

### 7.3 Künftige Entwicklung des Risikos

Die Frage, wie sich das Hagelrisiko in Zukunft entwickeln wird, ist zugegebenermassen heikel, doch lassen sich einfache Szenarien dennoch erstellen. Gehen wir davon aus, dass sich die Ereignishäufigkeit von Hagelschlägen nicht verändert, dann sind allfällige Änderungen des Hagelrisikos einzig durch Veränderungen des Gebäudebestandes bedingt. Nach Hochrechnungen des Bundeamtes für Statistik (BFS, 2014a) dürfte die Bevölkerungszahl im Kanton Aargau zwischen 2010 und 2035 von 608'000 auf 725'000 ansteigen. Ungefähr über denselben Zeitraum soll sich die Anzahl Personen pro Haushalt von 2.17 im Jahr 2010 auf 2.02 im Jahr 2030 vermindern (BFS 2014b). Ausgehend von der Annahme, dass die 2.02 Personen pro Haushalt auch im Jahr 2035 gelten, wird die Anzahl der Haushalte somit von rund 280'000 auf etwa 360'000 zunehmen. Betrachten wir die Anzahl versicherter (und georeferenzierter) Gebäude im Jahr 2011, stellen wir fest, dass gegenwärtig 3.13 Personen auf jedes Gebäude entfallen. Unter Berücksichtigung des

Bevölkerungszuwachses sowie des Rückgangs der Anzahl Personen pro Haushalt ergibt sich daraus bis 2035 ein Zuwachs um rund 55'000 Gebäude.

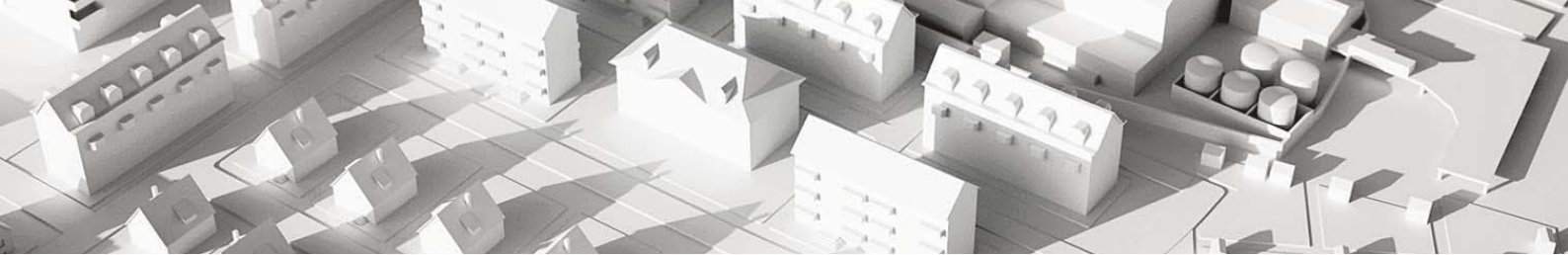
Die Lage der Gebäude innerhalb des Kantons ist unwesentlich, sofern wir von einer einigermaßen vergleichbaren Gefährdung im ganzen Kanton ausgehen (vgl. Abb. 70). Rechnen wir bei den neuen Gebäuden mit derselben Schadfunktion wie bei den bestehenden, so wird das Risiko um ca. CHF 7.7 Mio. /Jahr zunehmen. Diese Zunahme bedeutet für die Aargauer Bevölkerung, dass das Risiko pro Person von heute CHF 45 pro Jahr auf CHF 48 (heutiger Währung) im Jahr 2035 zunimmt. Gelänge es der AGV jedoch, den von der VKF empfohlenen Hagelwiderstand HW 3 als Standard zu etablieren und geht man vereinfachend davon aus, dass bei Hagelereignissen mit Korndurchmessern von weniger als 3 cm kein Schaden eintritt, bei solchen mit Korndurchmessern von über 3 cm hingegen gleiche Schäden wie heute, dann erhöhte sich das Risiko nur um CHF 4.1 Mio. /Jahr. Pro Person und Jahr verminderte sich dadurch das Risiko von CHF 45 auf CHF 43.

### 7.4 Ereignissimulation

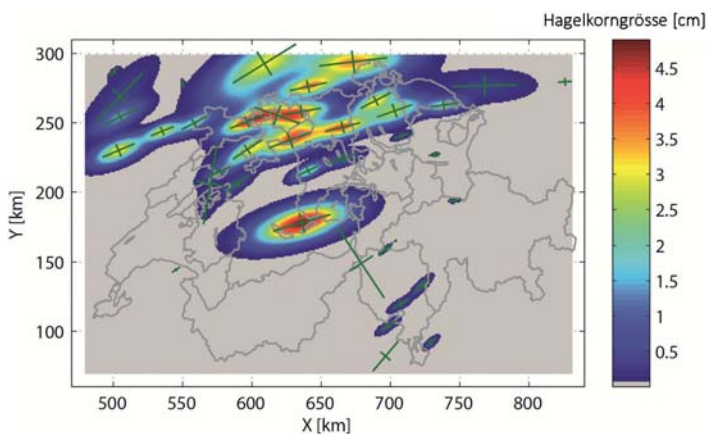
Die oben beschriebene Vorgehensweise vermittelt einen Eindruck des mittleren Risikos, liefert aber keine Aussage über die zu erwartenden Schäden von Hagelereignissen, insofern als es unwahrscheinlich ist, dass dabei eine gegebene Hagelkorngrösse homogen über dem ganzen Kanton auftritt. Um einen Eindruck der Schadenverteilung von Hagelereignissen zu erhalten, wird gegenwärtig ein entsprechendes Simulationsmodell entwickelt. Dieses Modell besteht aus zwei Modulen. Im ersten werden zweidimensionale Gaußskurven auf das von der Firma meteoradar GmbH gelieferte Radarbild angepasst, während im zweiten Teilmodul neue (synthetische) Ereignisse basierend auf den Parametern des ersten erzeugt werden.

#### Parameteranpassung

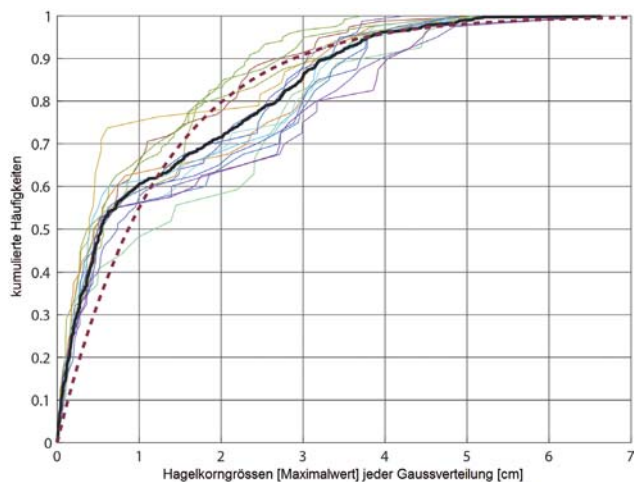
Bevor die Gaußskurven auf das Radarbild angepasst werden können, muss dessen Inhalt zuerst in die einzelnen Hagelkornklassen umgerechnet werden. Anschliessend wird der Bildinhalt geglättet. Die lokalen Maxima bestimmen Lage und Anzahl der benötigten Gaußskurven. Je stärker das Radarbild geglättet wird, desto mehr lokale Maxima gehen verloren und desto weniger Gaußskurven werden benötigt. Die Gaußskurven sind durch sechs Parameter definiert: X- und Y-Koordinate ihres Zentrums, die Orientierung, die Standardabweichung der Querachse, die Exzentrizität (Verhältnis zwischen den Standardabweichung der Quer- und der Längsachse) sowie die Intensität. Jeder dieser Parameter kann innerhalb von durch den Anwender definierten Grenzen einen beliebigen Wert annehmen, so dass der mittlere quadratische Fehler (RMSE) minimiert wird.



Dabei gilt es einen optimalen Kompromiss zwischen einem möglichst geringen Fehler und einer einfach modellierbaren Lösung zu finden. Tatsächlich führt eine grosse Anzahl von Gausskurven zu einer guten Lösung, wobei dann aber die Parameter in der Modellierungsphase kompliziert anzuwenden sind, da das Ergebnis in Kartenform aus einer komplexen Überlagerung der einzelnen Gausskurven besteht. Ein Beispiel eines guten Kompromisses zeigt die Karte in Abb. 74. Ein Beispiel mit aus den Kurvenanpassungen abgeleiteten Parametern – in diesem Fall die Hagelkorngrösse – stellt Abb. 75 vor.



**Abb. 74:** Ergebnis der Kurvenanpassung von 40 Gausskurven. Deren Hauptachsen sind als grüne Linien dargestellt; sie erstrecken sich von  $-1$  bis  $+1$  Standardabweichung. Die festgelegten Grenzen für die Anpassung sind: Verlagerung in X- und Y-Richtung um  $\pm 10$  km, Intensität zwischen  $1/10\times$  und  $2\times$  des Ausgangswertes des geglätteten Radarbildes, beliebige Orientierung, Standardabweichung der Querachse zwischen  $500$  m und  $10$  km sowie eine Exzentrizität zwischen  $1$  und  $3$ . Aus Gründen der darstellerischen Klarheit sind die schwächsten Intensitäten in Grau wiedergegeben.



**Abb. 75:** Summenkurven der Hagelkorngrößen gemäss Verfahren der Gausskurven nach verschiedenen Kurvenanpassungen an das gleiche Hagelereignis. Die schwarze Kurve entspricht dem Total der einzelnen Kurven, die rot strichlierte Kurve ist die an die schwarze Kurve angepasste Exponentialfunktion. Der Parameter  $\mu$  dieser Funktion ( $1.25$ ) wird für die Simulationen verwendet.

### Simulation synthetischer Ereignisse

Die Simulation synthetischer Ereignisse geschieht auf folgende Weise (vgl. auch Abb. 76).

1. Eine zweidimensionale Gausskurve wird definiert, basierend auf der Grundstruktur des Ereignisses (nachfolgend als «primäre Gausskurve» bezeichnet). Deren Parameter werden anhand der Intensitäten im Radarbild (Position) und vorgängig festgelegter Verteilungen (Orientierung und Exzentrizität) bestimmt. Der Maximalwert ist immer  $1$  (relative Skala), und aus dem Volumen der Gausskurve wird die Anzahl Hagelzellen abgeleitet.
2. Ebenfalls mithilfe einer Gausskurve (nachfolgend als «sekundäre Gausskurve» bezeichnet) wird eine erste Hagelzelle erzeugt. Die Funktion, die die Grundstruktur des Ereignisses beschreibt (primäre Gausskurve), dient als Wahrscheinlichkeitskarte für die Position der Hagelzelle, während die allgemeine Orientierung des Ereignisses als Erwartungswert für die Zufallsvariable «Orientierung der Hagelzelle» dient. Die Exzentrizität der Zelle wird mit einer Zufallsfunktion festgelegt, die Standardabweichung ihrer Querachse nach einer Exponentialfunktion innerhalb der Grenzen von  $500$  m und  $10$  km.
3. Sobald die Hagelzelle mittels sekundärer Gausskurve erstellt ist, wird sie von der primären Gausskurve, die die Grundstruktur des Ereignisses definiert, abgezogen, so dass die nachfolgend erzeugten Zellen nicht allzu nahe an den bereits bestehenden auftreten können.
4. Die Schritte 2 und 3 werden wiederholt, bis die zu Beginn festgelegte Anzahl Hagelzellen erreicht sind oder bis kein Raum mehr für neue Zellen verbleibt.
5. Sobald das Ereignis synthetisch nachgebildet ist, werden allfällige Schäden berechnet und gespeichert, um für nachfolgende Auswertungen zur Verfügung zu stehen. Ebenfalls festgehalten werden die für die einzelnen Teile des Untersuchungsgebiets errechneten Hagelkorngrößenklassen, um die Ergebnisse zu validieren.

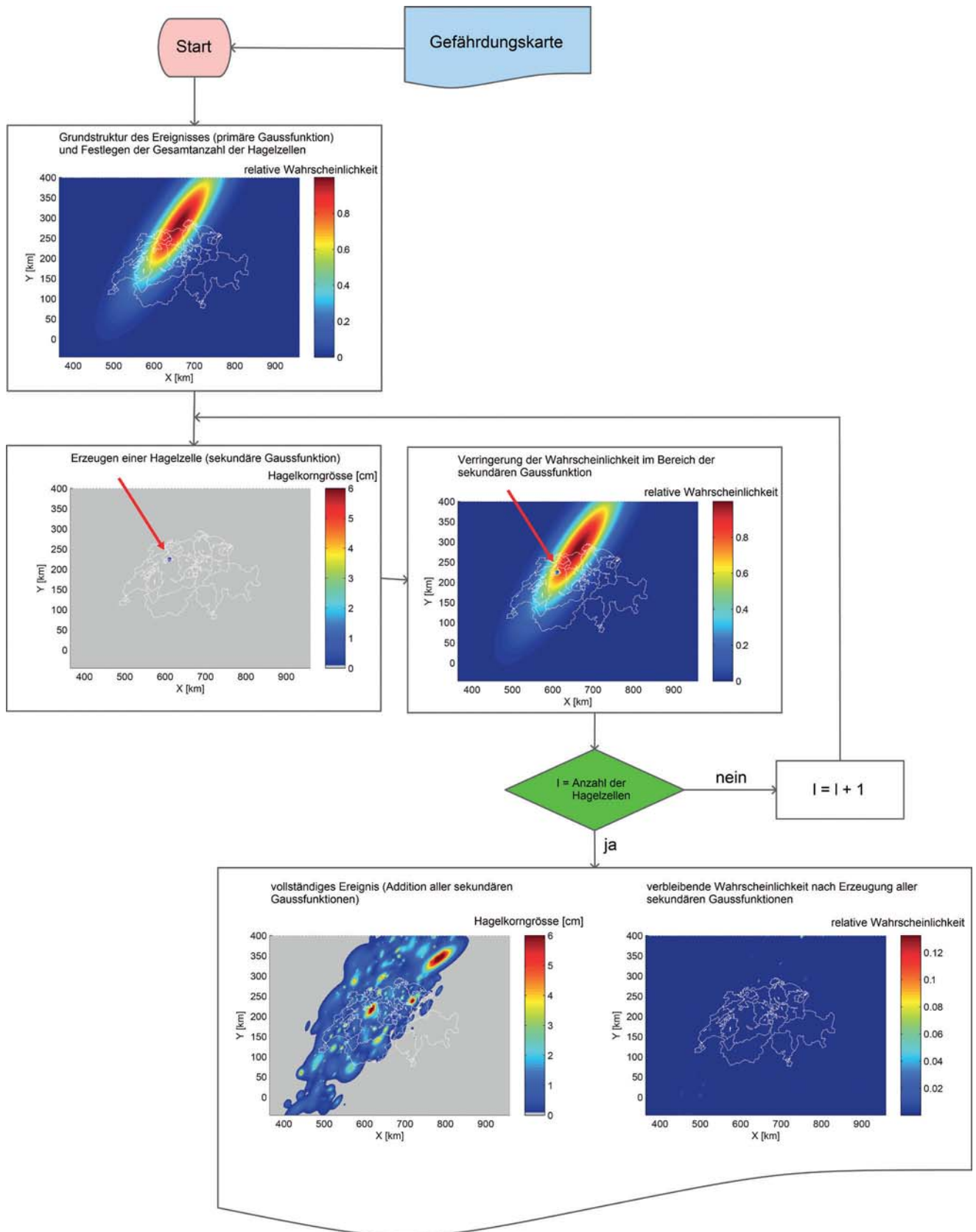
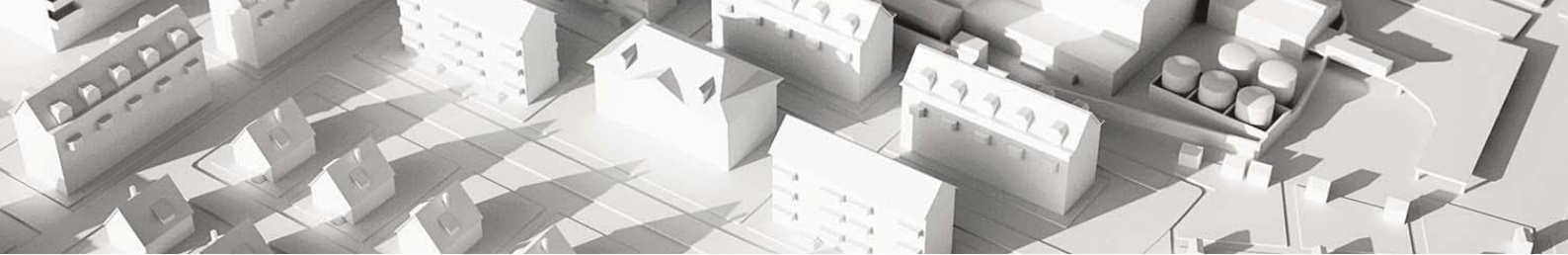


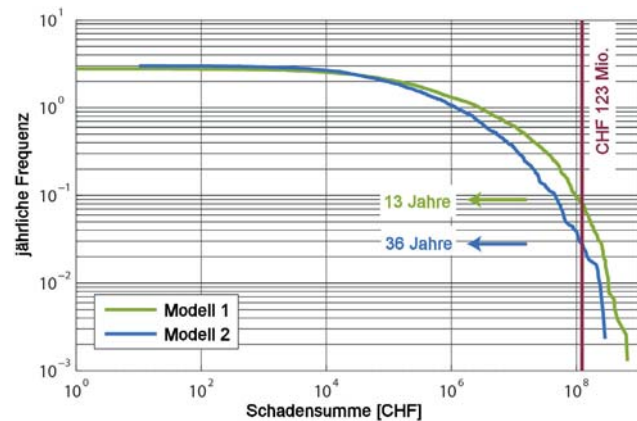
Abb. 76: Ablaufschema zur synthetischen Erzeugung eines Hagelereignisses.

## 8. Schlussfolgerungen, Erkenntnisse, Ausblick

Nachdem eine grosse Anzahl synthetischer Ereignisse erstellt worden ist, wird an jede Gitterzelle eine Exponentialfunktion angepasst, um zu überprüfen, ob die generierten Ereignisse einer ähnlichen Kurve folgen, wie sie aus den Gefährdungskarten (KGV, 2007) abgeleitet wurden. Dies insbesondere bezüglich des Parameters  $\lambda$ , der die Steigung der Funktion beschreibt und somit angibt, ob sich die Anteile der verschiedenen Auftretenshäufigkeiten von Hagelkorngrossen mit denjenigen der Hagelgefährdungskarten (KGV, 2007) decken. Der Parameter  $n_0$  hingegen muss skaliert werden, um festzulegen, welche Ereignisfrequenz die einzelnen Modellläufe beschreiben, also wie viele Simulationen einem Jahr in der Realität entsprechen. Sobald die Skalierung vorgenommen ist, kann das Risiko berechnet werden.

Die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Modelle werden im Folgenden vorgestellt. Nach dem ersten Modell folgt die maximale Intensität jeder Zelle der in Abb. 77 wiedergegebenen Verteilung. Nach dem zweiten Modell wird der Mittelwert dieser Verteilung für jede Simulation angepasst, so dass die maximalen Intensitäten eines kleineren Ereignisses im Schnitt immer tiefer ausfallen als diejenigen eines grösseren Ereignisses. Das erste Modell liefert ein mittleres Risiko, das leicht höher liegt, als es im Abschnitt 7.2 berechnet wurde (CHF 40.8 Mio. statt ca. CHF 30 Mio. pro Jahr), jedoch ist die Steigung der Exponentialfunktionen zu flach. Umgekehrt beschreibt das zweite Modell die Steigung der Exponentialfunktionen besser, doch liegt das Risiko mit ca. CHF 18.1 Mio. pro Jahr unter dem erwarteten Wert von ca. CHF 30 Mio. pro Jahr.

Die beiden Modelle geben in Bezug auf die Schäden einen Eindruck der Wiederkehrperiode von Ereignissen in der Grössenordnung desjenigen von 2011. Gemäss dem ersten Modell entspräche die Wiederkehrperiode ungefähr 13 Jahren, was als untere Grenze für ein solches Ereignis zu betrachten ist. Nach dem zweiten Modell läge die Wiederkehrperiode bei 36 Jahren. Die Modellrechnungen reagieren offensichtlich sehr sensibel auf die Eingangsparameter. Entsprechend sind noch weitere Tests notwendig, um die Ergebnisse zu verfeinern und sie optimal mit den erwarteten Parametern in Übereinstimmung zu bringen, so z.B. das mittlere Risiko oder die Steigung der an die erwarteten Hagelkorngrossen für beliebige Gebäudestandorte im Kanton angepassten «Marshall-Palmer»-Beziehung. Es ist durchaus möglich, dass die Kostenverteilung und damit die Steigung und Form der Kurven in den beiden Fällen nicht korrekt wiedergegeben wird. Unsicherheit besteht insbesondere im Bereich der häufigen kleineren Ereignisse, da keine Radardaten von solchen Ereignissen zur Verfügung standen.

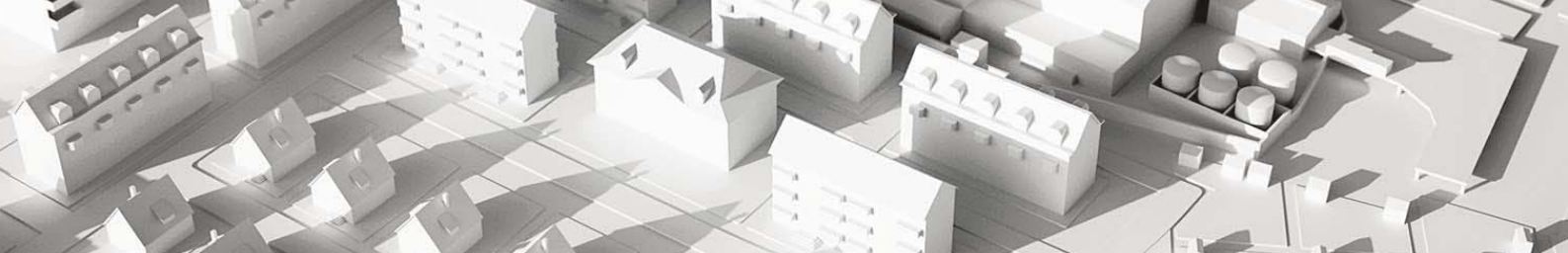


**Abb. 77:** Gemäss erstem Modell (grün) wird die Schadenssumme des Hagelereignisses von 2011 etwa alle 13 Jahre erreicht, und Schäden in einer Höhe von  $\geq$  CHF 2.8 Mio. sind im Schnitt einmal pro Jahr zu erwarten. Nach dem zweiten Modell (blau) beträgt die Wiederkehrperiode des Ereignisses ca. 36 Jahre. Für das erste Modell wurden 560'000 Simulationsläufe berechnet (wovon 2'153 zu Schäden im Kanton Aargau geführt hätten), für das zweite Modell 360'000 (davon 1'299 mit Schäden im Kanton Aargau).

## 8. Schlussfolgerungen, Erkenntnisse, Ausblick

In den Schlussfolgerungen der «Ereignisanalyse Hagel 2009» wurde neben Verbesserungsvorschlägen für künftige Untersuchungen auch folgendes Fernziel formuliert: «... die möglichst rasche und – obwohl noch auf unvollständigen Informationen beruhende – einigermaßen zuverlässige Abschätzung der durch ein Hagelereignis verursachten Schäden.» Mit dem präsentierten Hagelmodell sind wir diesem Ziel einen grossen Schritt näher gekommen: Das neue Modell ist grundsätzlich funktionsfähig; was in erster Linie noch fehlt, ist eine umfangreiche Datenbasis als Kalibrierungsgrundlage zur Verfeinerung der Parameter, denn auf diese reagiert das Modell relativ empfindlich, sowie ausgiebige Tests an Ereignissen unterschiedlicher Intensität.

Angesprochen wurde in der Vorgängerstudie auch die Repräsentativität der ausgewerteten Stichprobe der Schadendaten. Dadurch, dass in der neuen Studie statt einer Stichprobe gleich die Gesamtheit aller Schadendaten ausgewertet wurde, ist das Problem der Repräsentativität für das untersuchte Ereignis gelöst. Dies gilt natürlich nicht für die Repräsentativität der gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Übertragung auf andere Hagelereignisse. Die teilweise sehr gute Übereinstimmung mit den Daten der Hagelschläge vom Mai und Juli 2009 (insbesondere Anteil betroffener Gebäudekategorien an ihrem jeweiligen Gesamtbestand, Schadensgrad nach Gebäudekategorie sowie Abhängigkeit des Anteils betroffener Gebäude vom Baujahr) lässt aber



vermuten, dass etliche Ergebnisse auch auf andere Hagelereignisse bzw. Kantone übertragbar sind.

Insbesondere folgende Ergebnisse der Studie «Hagel 2009» werden auch durch die vorliegende Untersuchung weitgehend bestätigt:

- Mehr als die Hälfte der Schadenssumme von Hagelereignissen ist auf Schäden an Storen, Dach und Wänden/Fassaden zurückzuführen.
- Wohngebäude sind im Schnitt klar hagelempfindlicher als Nicht-Wohngebäude.
- Neuere Wohngebäude sind im Schnitt eindeutig hagelempfindlicher als ältere Wohngebäude.
- Neuere Wohngebäude sind nicht nur deutlich häufiger von Hagelschäden betroffen als ältere, sie werden auch stärker beschädigt (höherer Schadengrad).
- Durch den Einsatz von Bauelementen mit Hagelwiderstand HW 3 und höher können Hagelschäden wirksam reduziert und bedeutende Kosten eingespart werden. Der Hagelgefährdung nicht angepasste Bauweise strapaziert die Solidarität unter den Prämienzahlern, da sie die Prämie für alle Kunden in die Höhe treibt.
- Wegen der grossen Anzahl und der ausgeprägten Hagelempfindlichkeit von Wohngebäuden sollten Präventionsanstrengungen der KGV besonders auf diese abzielen.

Die Studie hat gegenüber der Studie zum 2009er Hagel Schlag aber auch neue Erkenntnisse geliefert:

- Das Hagelereignis vom 12./13. Juli 2011 war für die Aargauische Gebäudeversicherung zwar das grösste verzeichnete Elementarschadeneignis überhaupt (d. h. seit 1941). Die statistische Wiederkehrperiode eines solchen Ereignisses dürfte jedoch eher bei 50 als bei 100 Jahren liegen, worauf auch die Modellrechnungen der Universität Lausanne hindeuten.
- Bei geringfügig nördlicherer Zugbahn der Hagelzelle wären die Schäden noch höher ausgefallen – die grössten Ballungsräume im Kanton wurden von ihr nur gestreift. Mit noch schadenträchtigeren Ereignissen muss also selbst ohne eine durch Klimawandel bedingte Zunahme der Hagelintensität gerechnet werden.
- Das nächtliche Auftreten des Hagelschlags hat sich zwar nicht in der Anzahl der Schadenfälle, jedoch in der Schadenssumme betroffener Storen ausgewirkt. Ein auf Kurzfristprognosen beruhendes automatisches System für den Einzug von Storen während Hagelereignissen ist daher insbesondere für Nachtgewitter sinnvoll und dürfte sich auch wirtschaftlich lohnen.
- Durch konsequenten Einsatz von Bauelementen mit Hagelwiderstand HW 3 und höher liesse sich das Hagelrisiko selbst unter Annahme der gegenwärtigen Zuwachsrates des Aargauer Gebäudebestandes bis 2035 gegenüber heute noch reduzieren.

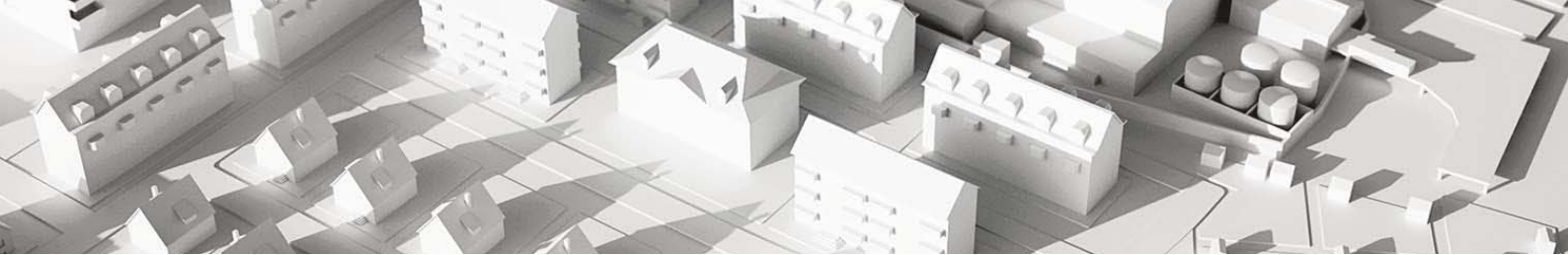
- Zwischen der Gebäudeausrichtung von Wohngebäuden und der Zugrichtung der Hagelzellen besteht ein statistischer Zusammenhang bezüglich Schadenhäufigkeit bzw. Schadengrad.
- Am häufigsten und gravierendsten beschädigt wurden nicht jene Gebäude (mit Schrägdach), deren Firstausrichtung im rechten Winkel zur Zugrichtung der Hagelzelle stand, sondern jene, deren Längsachse um 40 bis 70° von der Zugrichtung abwich, da so eine grössere Gebäudeoberfläche den (windgetriebenen) Hagelschlossen ausgesetzt war.
- Gewisse Gebäudeausrichtungen führen somit zu grösseren Schäden als andere. Gerade für ungünstige Ausrichtungen kann sich der Einsatz hagelresistenter Bauelemente v.a. auf der «Wetterseite» der Gebäude lohnen, da sich Hagelzellen oft auf «etablierten» Zugbahnen bewegen.
- Anhand von Radardaten können mit einem geeigneten Modell wie dem beschriebenen Ausdehnung und Grössenordnung der eingetretenen Schäden nach einem Ereignis rasch überschlagsmässig eingeschätzt werden. Entscheidend ist dabei jedoch die geschickte Parameterwahl.
- Die Auswertungsmethodik der Ereignisanalyse 2009 liess sich nicht wie erhofft auch für das Ereignis vom Juli 2011 übernehmen, sondern es musste ein anderes Vorgehen gewählt werden. Im ersten Fall wurden die aus separaten Excel-Dateien bestehenden Verfügungen der GVTG an ihre Kunden ausgewertet, was die Entwicklung eines geeigneten Datenauswahl-Tools erforderte. Im Kanton Aargau waren die benötigten Informationen hingegen in einer Datenbank abgelegt, was die Auswertung vereinfachte. Dafür waren hier die entsprechenden Einträge knapper abgefasst, so dass insbesondere das Material der beschädigten Bauelemente oft nicht ersichtlich war, was einer aussagekräftigen statistischen Auswertung im Wege stand.

Einige Fragestellungen bleiben aber auch weiterhin offen. So ist das Problem der statistischen Bestimmung der Verletzlichkeit von Bauelementen gegenüber Hagel weiterhin ungelöst. Hierzu würden neben den Zahlen beschädigter Bauelemente auch jene der nicht beschädigten Bauelemente benötigt. Diese Daten sind leider nicht ohne weiteres verfügbar, sondern würden aufwendige Erhebungen erfordern.

Auch die Wirkung der Alterung auf den Hagelwiderstand bestimmter Bauelemente – insbesondere solchen aus Kunststoff – liess sich mangels entsprechender Informationen nicht statistisch untersuchen. Hierfür sind systematische Hageltests im Labor aber ohnehin besser geeignet, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Die Zuverlässigkeit der Radardaten für eine rasche Abschätzung der Hagelschäden an Gebäuden hängt in hohem





Grad von der korrekten Beziehung zwischen Signalstärke des Radarechos und daraus abgeleiteter Hagelintensität ab. Messsysteme für die permanente Erfassung der Hagelintensität sind zwar heute erhältlich, doch besteht in der Schweiz gegenwärtig kein Messnetz für eine flächendeckende und kontinuierliche Erfassung. Die Kalibrierung erfolgt daher am einfachsten anhand aufgefundener Hagelkörner. Zu diesem Zweck ruft die Firma meteoradar GmbH auf ihrer Website ([www.meteoradar.ch](http://www.meteoradar.ch)) zur Meldung entsprechender Beobachtungen auf mit Angaben zu Hagelkorngrossen, Beobachtungsort und -zeitpunkt.

Die Aussagekraft des vorgestellten Hagelmodells wird entscheidend durch den Inhalt der Gefährdungskarte bzw. die ihr zugrundeliegenden Exponentialfunktionen geprägt. Sie beruht auf Radardaten von 1992 bis 2004 sowie einer Zeitreihe der Grosswetterlagen nach Hess/Brezowsky von 1881 bis 2001 (Schiesser, 2006; KGV, 2007). Somit sind die grossen Hagelereignisse der letzten Jahre (2005, 2009, 2011, 2013) nicht berücksichtigt. Aufgrund der relativ kurzen verfügbaren Radardaten-Zeitreihe wurde die Schweiz in elf Gefährdungszonen eingeteilt, wodurch die räumliche Auflösung der Gefährdungskarte zwangsläufig gering ausfiel. Eine Neuauflage der Karte unter Berücksichtigung der Daten der letzten zehn Jahre ist daher für die nahe Zukunft geplant; sie soll die aktuelle Gefährdungssituation detaillierter abbilden und die Planung von Präventionsmassnahmen auf eine neue Grundlage stellen.



## 9. Dank

### 9. Dank

Der IRV und das ISTE danken der Aargauischen Gebäudeversicherung herzlich für die angenehme Zusammenarbeit und das umfangreiche Datenmaterial.

Besonderer Dank geht an:

- Herrn Armin Wittmer von der Aargauischen Gebäudeversicherung für die zahlreichen Auskünfte und Ratschläge zu den Schadendatensätzen des Ereignisses vom 12./13. Juli 2011.
- Herrn Matthieu Weber von der Aargauischen Gebäudeversicherung für das Bereitstellen des umfangreichen Bildmaterials.

## 10. Literaturverzeichnis

### 10. Literaturverzeichnis

AZ (2012): Gebäudeversicherung zieht Lehren aus dem Hagel-GAU. Aargauer Zeitung vom 3. August 2012. (<http://www.aargauerzeitung.ch/aargau/kanton-aargau/gebaeudeversicherung-zieht-lehren-aus-dem-hagel-gau-124955840>; letzter Zugriff am 6. Nov. 2014)

BFS (2014a): Zukünftige Bevölkerungsentwicklung – Daten, Indikatoren – Kantonale Szenarien ([http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key\\_kant/01.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key_kant/01.html); letzter Zugriff am 12. Sept. 2014).

BFS (2014b): Zukünftige Bevölkerungsentwicklung – Daten, Indikatoren – Haushaltsszenarien ([http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key\\_hhsz.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key_hhsz.html); letzter Zugriff am 12. Sept. 2014).

BFS (2014c): Statistischer Atlas der Schweiz ([http://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/map/mapIdOnly/0\\_de.html](http://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/map/mapIdOnly/0_de.html); letzter Zugriff am 25. Sept. 2014).

Brandenberger, U. (2011) Weiach – Aus der Geschichte eines Unterländer Dorfes. 4. Überarbeitete Auflage von Zollinger, W. (1972): «Weiach. 1271–1971. Aus der Vergangenheit des Dorfes Weiach». Online-Ausgabe (<http://weiachergeschichten.ch/wp-content/uploads/2011/06/GeschWeiach-Ausg2011-06.pdf>). 80 S.; letzter Zugriff am 17. Nov. 2014).

Bründl, M., Krummenacher, B., Rheinberger, C. & Winkler, C. (2011) : Formeln zur Berechnung des Risikos bei Naturgefahren. ([http://www.econome.admin.ch/doc/Formeln\\_Risiko\\_111221\\_D.pdf](http://www.econome.admin.ch/doc/Formeln_Risiko_111221_D.pdf); letzter Zugriff am 17. Nov. 2014).

Choffet, M., Imhof, M., Caspard, O. & Jaboyedoff, M. (2011): Analyse des événements de grêle de 2009 – Etude pilote dans le canton de Thurgovie. Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque, Universität Lausanne, Rapp.-Nr. IGAR-Grêle-R001. 47 S.

Crenshaw, V. & Koontz, J. D. (2001): Simulated hail damage and impact resistance test procedures for roofing coverings and membranes. Roofing Industry Committee on Weather Issues (RICOWI) meeting Oct. 27, 2000. Dallas, Texas. 10 S.

Cullen, W. C. (1992) : Hail damage to roofing: assessment and classification. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Roofing Technology, NRCA/NIST. S. 211–216.

Die Post (2013): GeoPost Coordinates – Gebäudeadressen auf die Koordinaten genau. Die Post. (<http://www.post.ch/post-startseite/post-adress-services-match/post-gis/post-gis-geopost-coordinates>; letzter Zugriff am 9. Okt. 2014). 4 S.

GEA (2013): Dickstes Hagelkorn Deutschlands. Reutlinger Generalanzeiger vom 27. Aug. 2013. ([https://www.facebook.com/gea.reutlingen/posts/641601495857987?stream\\_ref=5](https://www.facebook.com/gea.reutlingen/posts/641601495857987?stream_ref=5); letzter Zugriff am 9. Okt. 2014).

Hohl, R., Schiesser, H.-H. & Aller, D. (2002): Hailfall: the relationship between radar-derived hail kinetic energy and hail damage to buildings. Atmospheric Research 63 (2002). S. 177–207.

IRV (Hrsg.; 2008): Ereignisanalyse Hochwasser 8./9. August 2007. Studie des Interkantonalen Rückversicherungsverbandes. Bern. 27 S.

IRV (Hrsg.; 2012): Ereignisanalyse Hagel 2009. Untersuchung der Hagelunwetter vom 26. Mai und 23. Juli 2009. Studie des Interkantonalen Rückversicherungsverbandes. Bern. 51 S.

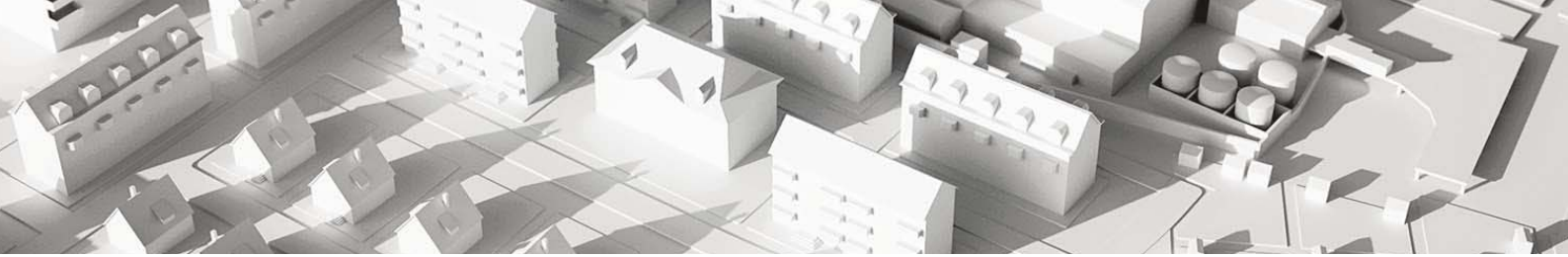
KGV (Hrsg.; 2007): Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle. Synthesebericht. Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen. Bern. 34 S.

Lanz-Stauffer, H. & Rommel, C. (1936): Elementarschäden und Versicherung. Studie des Rückversicherungsverbandes kantonal-schweizerischer Feuerversicherungsanstalten zur Förderung der Elementarschadenversicherung. II. Band. Bern. 1154 S.

Pruppacher, H. R. & Klett, J. (2010): Microphysics of clouds and precipitation. Springer. 976 S.

Punge, H., Bedka, K., Kunz, M. & Werner, A. (2014): A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe. Natural Hazards Vol. 73. Springer Dordrecht. S. 1625–1645.

Riniker, H. (1881): Die Hagelschläge und ihre Abhängigkeit von Oberfläche und Bewaldung des Bodens im Kanton Aarau nach Beobachtungen des Forstpersonals und amtlichen Quellen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. 152 S.



Sauerländer, H. R. (Hrsg.; 1824): Der aufrichtige und wohlverfahrene Schweizer-Bote. Nr. 32. Aarau. S. 250–251.

Schiesser H.-H. (2006): Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrößen – eine Abschätzung. Unveröffentlichte Studie, erstellt für die Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen. Zürich. 23 S.

Sigg, O. (1994): «Inclementia aeris» – Wetter, Teuerung und Armut in den Jahrzehnten um 1600. Sonderdruck aus: Vom Luxus des Geistes. Festgabe zum 80. Geburtstag von Bruno Schmid. Schulthess Polygraphischer Verlag, Zürich. 13 S.

Steigmeier, A. (2004): Feuer, Wind und Wasser. 200 Jahre Gebäudeversicherung im Aargau. Kasimir Meyer AG, Wohlen. 119 S.

Swissolar (2012): Schweizer Solarindustrie. Know-how für die Energiewende. Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie. Zürich. 18 S.

# Anhang A: Orientierungskarte für die im Bericht genannten Örtlichkeiten

## Anhang A: Orientierungskarte für die im Bericht genannten Örtlichkeiten

### Kanton Aargau

(kartografische Grundlagen: swisstopo)





## Anhang B: VKF-Code Zweckbestimmung

### Anhang B: VKF-Code Zweckbestimmung

#### Verwaltungsgebäude und öffentliche Gebäude

10	Bürogebäude
11	Gebäude für Ausbildungszwecke
12	Kirchliche Gebäude
13 (14)	Spitalgebäude, Pflegeheime
16	Kunst-, Kultur- und Sportgebäude
19 (15)	Übrige

#### Wohngebäude

20	Reine Wohngebäude
29 (21–29)	Gemischte Wohngebäude

#### Landwirtschaft

30	Landwirtschaftliche Wohngebäude
39 (31–39)	Übrige landwirtschaftliche Gebäude

#### Verkehrswesen

40 (40–49)

#### Handel

50 (55)	Läden, Handels- und Warenhäuser
51	Lagergebäude

#### Industrie und Gewerbe

60 (61)	Verarbeitung von Steinen und Erde
62	Baugewerbe (ohne Holz)
63	Nahrungs- und Genussmittel
64 (65,69)	Textilindustrie, Kleider, Leder
66	Holzbearbeitung (inkl. Baugewerbe)
67 (68)	Papierindustrie, Graphisches Gewerbe
70	Kunststoffindustrie
71	Chemische Industrie
72 (73)	Metall- und Maschinenindustrie
74	Uhrenindustrie
76	Gebäude für Ver- und Entsorgung
79 (75,77–79)	Übrige

#### Gastgewerbe

80	Hotelbetriebe
81 (89)	Gastwirtschaftsbetriebe

#### Kleinbauten und Nebengebäude

90

