

Dissertation

Hagelschauerprüfungen an Gebäudehüllen

**ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der technischen Wissenschaften**

1. Betreuer / 1. Beurteiler

Univ.-Prof. Mag. DI Dr. techn. Dr. jur. Peter Kautsch

Technische Universität Graz / Professur für Hochbau und Bauphysik

2. Beurteiler

Univ.-Doz. DI Dr. nat. techn. Josef Bodner, M.S.

Universität für Bodenkultur Wien / Institut für Holzforschung

Eingereicht an der Technischen Universität Graz

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

DI Heinz Wascher, B.Sc.

MA: 0631826

Vorlagejahr: 2013

Impressum

DI Heinz Wascher, B.Sc.

Brunnerweg 4

8052 Graz

Studium:

- 2002-2005 Bachelorstudium; Bauplanung und Bauwirtschaft; Vertiefung Infrastruktur; an der Fachhochschule Joanneum in Graz
- 2005-2007 Masterstudium; Baumanagement und Ingenieurbau; an der Fachhochschule Joanneum in Graz
- 2007-2013 Doktoratsstudium der technischen Wissenschaften; Vertiefung Bauingenieurwesen; an der Technischen Universität Graz

Beruflicher Werdegang:

- Seit 2007 Prüfungskordinator und Leiter des Fassadenprüfstandes der Firma „Hans Höllwart - Forschungszentrum für integrales Bauwesen Aktien Gesellschaft“; kurz „FIBAG“
- Seit 2010 Experte im Austrian Standards Institute im Komitee 227 „Fenster, Türen, Tore, Beschläge und Vorhangfassaden“

Veröffentlichung:

- 15.10.2008 Österreichisches Gebrauchsmuster „Fassade in Konsolenbauweise“; AT 10 702 U2
- 21.9.2010 Europäisches Patent „Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten“ EP 2 431 725 B1

Preis:

- 2011 3 Platz beim Science-Park-Graz-Ideenwettbewerb für die „Hagelprüfmaschine“

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

(Unterschrift)

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „multi-functional plug & play facade“, kurz MPPF. Ein Ziel des Forschungsprojektes ist es, Vorhangfassaden in einer höheren Qualität vergleichbar mit handelsüblichen Vorhangfassaden herzustellen. Die Feststellung der Qualität erfolgt anhand zahlreicher Prüfungen.

Vorhangfassaden werden gemäß dem Stand der Technik in den unterschiedlichsten Bereichen geprüft. Diese werden in Standsicherheit (z.B. Widerstand gegen Windlast, Stoßfestigkeit, Feuerwiderstand), technische Tauglichkeit (z.B. Schlagregendichtheit, Luftdurchlässigkeit), Energie (z.B. Wärmedurchgang, Lichtdurchlässigkeit), Gesundheit (z.B. Luftschalldämmung, Strahlungseigenschaften), Nutzbarkeit (z.B. Bedienbarkeit, Dauerfunktion), Terrorismus und Vandalismus (z.B. Einbruchsicherheit, Durchschusshemmung, Sprenghemmung) unterteilt.

Nachdem durch die Klimaerwärmung eine Zunahme von Extremwetterereignissen erwartet wird, muss damit gerechnet werden, dass auch die Schäden an Gebäuden zunehmen. Während die Auswirkungen von Wind, Sturm und Regen auf Vorhangfassaden bereits geprüft werden, werden in den derzeitigen Prüfungen die Auswirkungen des Hagels vernachlässigt. Hagelschauer allerdings verursachen nicht nur Schäden in der Landwirtschaft, sondern auch an Industriegütern und somit auch an Gebäudeaußenteilen wie z.B. der Vorhangfassade. Die Einführung einer Hagelprüfung für Gebäudehüllen ist damit notwendig.

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Univ.- Prof. Mag. DI DDr. Kautsch bedanken, dass er sich für die Betreuung meiner Dissertation bereit erklärt hat. Einen weiteren Dank möchte ich meinem 2. Begutachter Univ.- Doz. DI Dr. Bodner, M.S. aussprechen. Er gab mir viele Hinweise über die Betrachtung und Beurteilung von Hagel-schäden.

Ein großer Förderer meiner Dissertation war Herr DI Dr. Mario J. Müller, welcher mich während der gesamten Dissertation unterstützte und auch bei der Suche nach einem Betreuer wertvolle Hilfestellung leistete. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Ing. Johann Höllwart und seiner Frau Birgit Höllwart bedanken. Sie ermöglichten mir meine Visionen finanziell umzusetzen und gaben mir die notwendige Hilfe in der Firma SFL-technologies GmbH. Ich möchte mich auch gerne bei allen Mitarbeitern der Firma SFL-technologies und der Firma FIBAG für ihre Hilfestellung und ihr Verständnis bedanken. Ganz besonderer Dank gilt Herrn Ing. Marinko Pranjko, Herrn Erich Lang, Frau MMag Frau Sybille Leser, Herr Julius Hübner, Frau DI Julia Gratzner, Herrn DI (FH) Benjamin Pernthaler und Herrn Michael Russ.

Ein sehr großer Dank gebührt meiner Familie, insbesondere meiner Großmutter (Helga Thormann). Der wohl wichtigste Dank gebührt aber meiner Mutter, welche mir überhaupt die Möglichkeit geschaffen hat, die Matura zu absolvieren und damit den Weg in meine akademische Laufbahn ermöglichte. Ein besonderer Dank für ihre Hilfe gebührt auch Frau Mag. Beate Friedl.

Ebenso möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken, die mich bei meinem Vorhaben unterstützt haben. Besonders möchte ich mich beim Herrn Dipl.- Ing. David Liebethat bedanken, der mir immer Unterlagen für meine Dissertation bereitgestellt hat. Einen weiteren besonderen Dank möchte ich Herrn Mag. Martin Kahlbacher aussprechen – nämlich für die Hilfestellungen bei den Berechnungen und den Simulationen. Zusätzlicher Dank gebührt Herrn Baumeister Dipl.- Ing. Peter Treitler sowie meinen ehemaligen Lehrern Herrn Mag. Robert Kozak und Herrn Dieter Weingrill.

Kurzfassung

Diese Dissertation beschäftigt sich mit der Entwicklung einer realitätsnahen Hagelschauerprüfung an Gebäudeaußenteilen. Im ersten Schritt werden aktuell durchgeführte Hagelprüfungen (z.B. an Photovoltaikmodulen und thermischen Solaranlagen) analysiert und auf ihre Schwachstellen untersucht. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswertung von Aufzeichnungen und Daten von Hagelschauern. Die Erkenntnisse aus den Auswertungen werden herangezogen, um einen realitätsnahen Hagelschauer für eine Prüfung simulieren zu können. Aus diesen Berechnungen bzw. Simulationen entwickelt sich die Hagelschauerprüflast. Diese wird aus der Hagelkornverteilung, der Hagelschauerdauer, der Hagelintensität, der Hagelkornklasse und dem Einfallswinkel definiert. Im Zuge der Dissertation konnte anhand von Berechnungen gezeigt werden, dass eine deutliche Abhängigkeit zwischen Objektneigung, Hagelkorndurchmesser und Windgeschwindigkeit besteht. Bezugnehmend auf diese Erkenntnisse konnte eine erste Abschätzung der Hagelschauerlast (Summe der Auftreffenergie) abgeschätzt und eine Prüfmaschine entwickelt und errichtet werden.

Die Prüfmaschine ermöglicht die Durchführung einer Hagelschauerprüfung mit einer Leistung von zehn Schüssen pro Quadratmeter mit einem Hagelspektrum von 5 - 100 mm (und größer). Durch paralleles Abfahren der Vorhangfassade kann gewährleistet werden, dass jede Hagelkanone die gleiche Entfernung zum Prüfobjekt aufweist. Jede Kanone wird einzeln angesteuert und jeder Hagelbeschuss einzeln gemessen. Zusätzlich ist es möglich, Hagelszenarien einzuspielen und entsprechend zu prüfen. In einem weiteren Schritt erfolgte die Produktion von Hagelkörnern. Da bei der Durchführung einer Hagelschauerprüfung bis zu 400 Hagelkörner benötigt werden, wurde eine Maschine entwickelt, welche es ermöglicht, reproduzierbare Hagelkörner in einer großen Anzahl herzustellen. Die Hagelschauerprüfmaschine wurde als europäisches Patent angemeldet und genehmigt. Darüber hinaus konnte im Rahmen des „Science-Park-Graz-Ideenwettbewerbs“ der 3. Platz gewonnen werden.

Auf Basis dieser Entwicklungen kann eine Gebäudehülle und alle ihre Bestandteile (z.B. Sonnenschutz, Markisen, Verglasung) geprüft und entsprechende hagelbeständige Konstruktionen bzw. Materialien ausgesucht werden. Zusätzlich kann anhand dieser Prüfungen die Funktionalität der Vorhangfassade (Luftdurchlässigkeit, Schlagregendichtheit) nach mehrmaligem Beschuss untersucht werden.

Abstract

This dissertation deals with the development of a practicable hail testing procedure for facades. The first part contains an analysis of current hail tests and their weaknesses. Part two outlines and evaluates the records and data of hail storms. These experiences have been used to simulate a real-to-life hail storm for testing. From these calculations and simulations, I developed the hailstorm test load. It can be broken down in hailstone density, duration of the hail shower, hail intensity, hailstone classification and impact angle. Additionally, calculations were carried out that aimed at showing the relationship between object tilt, hail stone diameter and wind speed, which were listed in tables showing the impact energy and speed for a first estimation of the hail load.

On the basis of these calculations, a testing machine was developed and built. This machine enables the performance of a hail storm test at a rate of 10 shots per square meter sized 5–100 mm and larger. The parallel up and down movement of the hail guns ensures exactly the same distance to the test object. Each gun is controlled separately and each hail bombardment is measured separately. Moreover, there is the option of loading different hailstorm scenarios and evaluating them. Another major aspect was the preparation of hail stones. Due to the fact that a hail storm testing requires up to 400 hail stones per test, a machine producing reproducible hail stones in greater quantities was developed.

On the basis of these developments, curtain facades and all their components (e.g. sun screens, awnings and glazing) can be tested and the most suitable materials and constructions will be chosen that will withstand hail storms. These tests can also be used to examine long-term performance such as air permeability and driving rain tightness of curtain facades.

Stichwörter – key words

Deutsch	English
Hagelschauerprüflast	hailstorm proof load
Hagelklassen	hail class
Hagelkornspektrum	hailstone spectrum
Hagelintensität	hail intensity
Auftreffenergie	impact energy
Einfallsgeschwindigkeit	incidence speed
Einfallswinkel	incidence angle
Hagelschauerprüfmaschine	hailstorm proof machine
Hagelkornproduktion	hailstone production
Hagelschauerlaufskurve	run of the hailstorm curve

Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG.....	1
2. HAGEL.....	2
2.1. Wie entsteht Hagel?.....	2
2.2. Hagelschmelze	4
2.3. Hagelkarten in Österreich	5
2.4. Hagelphysik.....	8
2.4.1. Aufprallenergie.....	8
2.4.2. Hagelgewicht	8
2.4.3. Aufprallgeschwindigkeit.....	9
2.4.4. Hagelauflast.....	10
2.4.5. Physikalische Hagelraten	12
2.5. Hagelschäden	13
2.5.1. Einflussfaktoren	14
2.5.2. Zusätzliche Lasten bzw. Lastkombinationen.....	14
2.5.3. Hagelschadensskala	17
3. STAND DER TECHNIK.....	18
3.1. EN – Normen für Hagelprüfungen	18
3.1.1. Dachabdichtungsbahnen.....	18
3.1.2. Thermische Solaranlagen.....	21
3.1.3. Photovoltaik	24
3.2. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.....	30
3.2.1. Statische Berechnung gemäß Schweizer Norm.....	30
3.2.2. Grundlagen zur SIA.....	32
3.2.3. Laborversuchsvorschriften der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)	36
3.2.4. Spezifische VKF-Richtlinien für unterschiedliche Materialien (Stand bis 31.12.2010)	40
3.2.5. Klassifikationsverfahren der VKF.....	64

3.2.6.	Ergebnisse/Auswertungen der VKF	64
3.3.	Zusammenfassung	67
3.4.	Probleme der derzeitigen Prüfungen	67
3.4.1.	Projektil.....	67
3.4.2.	Prüfungsdurchführung.....	68
3.4.3.	Testobjekt	69
4.	ENTWICKLUNG DER HAGELSCHAUERPRÜFUNG	70
4.1.	Entwickeln der Prüf Szenarien.....	70
4.1.1.	Lasten.....	70
4.1.2.	Lastenkombination.....	73
4.1.3.	Berechnung der Hagellast.....	80
4.1.4.	Hagelschauerprüfablauf für Vorhangfassaden.....	90
4.2.	Herstellung von Eiskugeln.....	91
4.2.1.	Eisphysik	91
4.2.2.	Unterschiedliche Herstellungsverfahren von Eiskugeln	92
4.2.3.	Zusammenfassung.....	101
4.3.	Hagelschauerprüfmaschine (HSPM)	103
4.3.1.	Anforderungen	103
4.3.2.	Traggerüst	104
4.3.3.	Beschussgerüst	105
4.3.4.	Hagelkanone.....	105
4.3.5.	Hagelmagazin	106
4.3.6.	Pneumatikantrieb der Hagelkörner	107
4.3.7.	Ansteuerung des Ladevorgangs des Magazins	107
4.3.8.	Geschwindigkeitsmesstechnik.....	108
4.3.9.	Technische Zusammenfassung der HSPM.....	109
5.	PRÜFUNG UND PRÜFERGEBNISSE.....	110
5.1.	Prüfaufbau	110
5.2.	Prüfablauf	110
5.3.	Ergebnisse	111

5.3.1.	Anwendung des Hagelschauerprüfmaschine	111
5.3.2.	Erkenntnisse beim Beschuss der Testobjekte.....	112
6.	ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	116
6.1.	Zusammenfassung	116
6.2.	Schlussfolgerung.....	117
6.3.	Ausblick.....	118
6.3.1.	Erstellen einer Hagelkarte für Österreich bzw. Europa	119
6.3.2.	Erstellen von statischen Modellen	119
6.3.3.	Oberflächenuntersuchung	119
6.3.4.	Zukünftige Anforderungen an die Hagelschauerprüfmaschine	119
6.3.5.	Entwickeln der Hagelgeschosse.....	119
7.	QUELLENVERZEICHNIS	121
7.1.	Normenverzeichnis.....	121
7.2.	Linkverzeichnis.....	123
7.3.	Literaturverzeichnis.....	126
8.	ANHANG.....	127
8.1.	Winddruck – Windgeschwindigkeitsberechnung	127
8.2.	Hagelaufprallenergetischen Tabellen und Diagramme	128
8.3.	Patentschrift „Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten“	139
8.4.	Auszüge von der Hagelaufprallberechnung (ZAMG – Daten „Hagellastplattenaufzeichnung“)	153
8.5.	Auszüge von der Hagelaufprallberechnung (ZAMG – Daten „Hagellastplattenaufzeichnung“)	155
8.6.	Datenauswertung aus dem Versuchen	163
8.7.	Prüfungsablauf für die Hagelschauerprüfung an Vorhangfassaden.....	180
8.8.	Inflation und Wechselkurs des Schweizer Frankens.....	183

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TORRO Skala.....	5
Tabelle 2: Hageldaten (Durchmesser, Volumen, Gewicht, Aufprallgeschwindigkeit, vertikale Aufprallenergie, Eisdichte, Luftwiderstand).....	12
Tabelle 3: Schadensklassen	13
Tabelle 4: Auswertung der ZAMG-Daten – Windeinfluss	15
Tabelle 5: Schadensbeschreibung abhängig von der Hagelkorngröße	17
Tabelle 6: Massen der Eiskugeln und Prüfgeschwindigkeiten.....	25
Tabelle 7: Auftreffpunkte für kristalline Silizium-PV-Module	27
Tabelle 8: Auftreffpunkte für Dünnschicht-PV-Module.....	27
Tabelle 9: Hagelkorndurchmesser und Hagelhäufigkeit nach der SIA 261/1.....	31
Tabelle 10: Mindestens zu erwartende Korngrößen (in mm) in den Klimazonen bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden (WP).....	33
Tabelle 11: Entwicklung der Baumaterialien bei Einfamilienhäusern.....	34
Tabelle 12: Entwicklung der Baumaterialien bei Büro- und Verwaltungsgebäuden...34	
Tabelle 13: Entwicklung der Baumaterialien bei Industrie und Gewerbe.....	34
Tabelle 14: Systematisch zusammengestellte Kriterien zur Schadeneinschätzung. .35	
Tabelle 15: Hagelwiderstandsklassen aufgrund der kinetischen Energie der Eiskugeln.....	37
Tabelle 16: Zuordnung der Werte nach EN 13583 in HW 1 - 5	51
Tabelle 17: Bauteile mit den Funktionen, Schadenskriterien und den Messmethoden	63
Tabelle 18: Ergebnisse der Hagelprüfung der VKF (Teil 1)	65
Tabelle 19: Ergebnisse der Hagelprüfung der VKF (Teil2)	66
Tabelle 20: Zusammenfassung des derzeitigen Standes der Technik	67
Tabelle 21: Auszüge aus der Hagelaufzeichnung in der Steiermark der ZAMG.....	74
Tabelle 22: Gewichtstabelle von Hagelkörnern und Daten der Hagelaufzeichnungsplatte	74
Tabelle 23: Gewichtstabelle und Gesamtauflast.....	74
Tabelle 24: Links Hageltage; rechts Anzahl der Treffer (im Messraum Steiermark)..81	
Tabelle 25: Durchschnittliche jährliche Anzahl von Abdrücken, Kornspektren auf D und die berechneten Energiewerte.....	82

Tabelle 26: Anzahl getroffener Stationen, geordnet nach einzelnen Energieklassen (EK, in Joule/m ²).....	84
Tabelle 27: Hagellasteingabe für 3 min	87
Tabelle 28: Hagellasteingabe für 5 min	87
Tabelle 29: Auszüge aus der Hagelaufzeichnung der ZAMG in der Steiermark.....	88
Tabelle 30: Prozentuelle Aufteilung der Einschläge pro Hagelkorndurchmesser	88
Tabelle 31: Energietabelle und Hageltestplattenabmessungen.....	89
Tabelle 32: Beispielsrechnung Gesamtenergie	89
Tabelle 33 Winddruck - Windgeschwindigkeitsberechnung.....	127
Tabelle 34 Modell 2 Berechnung der ZAMG - Daten.....	155
Tabelle 35 Inflation und Wechselkurs des Schweizer Franken.....	183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Legende der Hagelschadenereigniskarten	6
Abbildung 2: Akkumulationshöhe	11
Abbildung 3: Prüfeinrichtung für Dachabdichtungsbahnen.....	19
Abbildung 4: Prüfkörperhalterung für Dachabdichtungsbahnen	20
Abbildung 5: Vakuumapparatur für Dachabdichtungsbahnen	21
Abbildung 6: Hagelprüfung an Thermischen Solaranlagen; Variante 1	22
Abbildung 7: Hagelprüfung an Thermischen Solaranlagen; Variante 2.....	24
Abbildung 8: Hagelprüfeinrichtung für PV.....	26
Abbildung 9: Auftreffpunkte bei kristallinen PV-Modulen.....	27
Abbildung 10: Auftreffpunkte für Dünnschicht-PV-Module.....	28
Abbildung 11: Konzentrator-Photovoltaik-(CPV-)Module.....	28
Abbildung 12: Hagelgefährdung in der Schweiz.....	31
Abbildung 13: Horizontaler Beschuss mit einem Beschusswinkel von 45°.....	36
Abbildung 14: Horizontaler Beschuss mit einem Beschusswinkel von 90°.....	37
Abbildung 15: Hagelkanone mit aufgebauten Ziegeln, Foto EMPA.....	38
Abbildung 16: Schematischer Ablauf (links) und Beispiel (rechts) für die Versuchsdurchführung	39
Abbildung 17: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) als Dachbauteil im Seitenriss (Maße in Millimetern)	41
Abbildung 18: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) als Fassadenbauteil mit horizontaler oder diagonaler Profilrichtung im Seitenriss (Maße in Millimetern).....	41
Abbildung 19: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) an einer Fassade bei vertikaler Ausrichtung der Welle	42
Abbildung 20: Beschussorte an der Lichtkuppel: Mitte und Randzone (Ecke, Rand, Befestigungspunkte) (Maße in Millimetern)	43
Abbildung 21: Versuchsaufbau Putz mit drei Außendämmplatten (Maße in Millimetern).....	44
Abbildung 22: Beschussorte für den Putz im Grundriss. Fläche, Rand und Stoßzone (x = 1/5 Projektildurchmessers, Maße in Millimetern).....	46

Abbildung 23: Beschussort Ecke, Stoß Rand und Stoß Mittellinie im Grundriss bei der Faserzementplatte ($x = y = 1/5$ Projektildurchmesser, Maße in Millimetern)	47
Abbildung 24: Beschussorte im Grundriss bei schieferartigem Faserzement ($x = y: 1/5$ Projektildurchmessers).....	48
Abbildung 25: Beschuss der Verglasung an den Beschussorten Mitte und Ecke im Grundriss.....	49
Abbildung 26: Beschussort bei Dichtungsbahnen im Grundriss (Maße in Millimetern)	50
Abbildung 27: Beschussort beim Rollladen	52
Abbildung 28: Beschussorte im Grundriss der Rollladenoberfläche (Maße in Millimetern).....	52
Abbildung 29: Beschussorte am Raffstore	53
Abbildung 30: Beschussorte und Beschusswinkel bei Raffstoren als Fassadenbauteil im Seitenriss. Links im geschlossenen Zustand und rechts mit geöffneten Lamellen.....	54
Abbildung 31: Beschussorte im Grundriss für den Ziegel ohne Falz (links) und den Falzziegel (rechts). Maße in Millimetern.....	55
Abbildung 32: Beschussorte bei Fensterläden und Türläden	57
Abbildung 33: Beschussorte der Fenster- und Türprofile	58
Abbildung 34: Beschussorte der Schindeln, Schindelform exemplarisch	59
Abbildung 35: Versuchsaufbau zur Prüfung der Schwimmbadabdeckung (Maße in Millimetern).....	60
Abbildung 36: Beschussorte der Schwimmbadabdeckung (Maße in Millimetern)	61
Abbildung 37: Beschussorte an der Steinfassade (Maße in Millimetern).....	62
Abbildung 38: Auftreffenergie in Abhängigkeit von Wind und Objektneigung.....	79
Abbildung 39: Dichteverlauf von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur	91
Abbildung 40: Eiskugelhalbschalen aus Niro; geöffnete Ansicht	92
Abbildung 41: Verschraubte Eiskugelhalbschalen aus Niro	93
Abbildung 42: Silikonform geöffnet.....	94
Abbildung 43: Silikonform mit Gummiband.....	94
Abbildung 44: Silikonform beim Befüllen	94
Abbildung 45: Eisherstellung für den Schmelzprozess.....	95
Abbildung 46: Ansicht der Halbschalen aus Aluminium mit Laufschiene.....	96

Abbildung 47: Halbschalen mit Laufschiene im Heißwasserbad	96
Abbildung 48: Halbschale mit Eis befüllt.....	96
Abbildung 49: Eisherausschmelzprozess mit Laufschiene	97
Abbildung 50: Herausgeschmolzene Eiskugel.....	97
Abbildung 51: Hagelformen aus Kupfer und Niro	97
Abbildung 52: Eiskugelgefäß aus Aluminium.....	98
Abbildung 53: Eiskugelgefäß mit Einsatzprofil.....	98
Abbildung 54: Einsatzprofil mit Eiskugel.....	99
Abbildung 55: Eisform mit Lufteinblasvorrichtung.....	100
Abbildung 56: Eiskugel, die mit Lufteinblasfunktion erschaffen wurde	100
Abbildung 57: Hagelgerüst mit Hagelkanonen.....	104
Abbildung 58: Hagelkanone-Traggerüst und Beschussgerüst.....	105
Abbildung 59: Hagelkanone mit Magazin	106
Abbildung 60: Hagelkanone mit Magazin und Geschwindigkeitsmesseinrichtung...	107
Abbildung 61: Pneumatik und SPS-Steuereinheit	108
Abbildung 62: 1. Versuchsaufbau.....	113
Abbildung 63: 1. Versuch: Testobjekte nach dem Beschuss (Teil 1).....	114
Abbildung 64: 1.Versuch: Testobjekte nach dem Beschuss (Teil 2).....	114

Planverzeichnis

Plan 1: Hagelschadenereignisse der Landwirtschaft in Österreich.....	6
Plan 2: Hagelschadenereignisse des Industriebereichs in Österreich.....	7
Plan 3: Einfrier- und Herausschmelzformen	101
Plan 4: Eiskugelproduktionsmatrix.....	102
Plan 5: Prüfungsaufbau 1. Versuch.....	115

Formelverzeichnis

Formel 1: Energie des Hagelaufpralls	8
Formel 2: Vertikale Aufprallgeschwindigkeit des Hagels	9
Formel 3: Vertikale Aufprallgeschwindigkeit des Hagels (2 Art)	10
Formel 4: Hagel als Auflast.....	10
Formel 5: Abgeänderte Werte der SIA 261/1.....	30
Formel 6: Umrechnung der Einheit der Hagelaufpralllast.....	71
Formel 7: Luftstaudruck.....	71
Formel 8: Gesamthagelauflast.....	73
Formel 9: Gesamteinfallsgeschwindigkeit.....	75
Formel 10: Aufprallgeschwindigkeit.....	76
Formel 11: Kritische Windgeschwindigkeit bei ($\alpha=\beta$) in Abhängigkeit von Objektneigung (β) und Fallgeschwindigkeit.....	76
Formel 12: Herleitung der Gesamtaufprallenergieformel.....	77
Formel 13: Allgemeine Normalverteilungsfunktion mit den Annahmen	85
Formel 14: Hagelschauererlaufsnormalverteilungsfunktion	85
Formel 15: Integral der Hagelschauererlaufsnormalverteilungsfunktion.....	85
Formel 16: Integral der Prüfungslast	86
Formel 17: Gefrierpunkt in Abhängigkeit des Druckes	99

1. Einleitung

In den letzten Jahren nahmen durch Hagel verursachte Schäden kontinuierlich zu. Somit wurde Hagel in letzter Zeit mehr und mehr zu einem Thema, welchem eine wachsende Bedeutung zukommt. Doch weder die Statik noch die Bauphysik haben bis dato den Hagel und dessen Auswirkungen in ihren Berechnungen berücksichtigt.

Diese Dissertation beschäftigt sich mit der Entwicklung einer realistischen Hagelschauerprüfung (realistisch im Sinne der Berücksichtigung mehrerer gleichzeitiger Einflussfaktoren wie z.B. Wind, Temperatur etc.). Berücksichtigt und simuliert werden somit die Einwirkungen vor, während und nach dem Hagelschauer.

Nachdem ein Hagelschauer nicht aus einem Hagelkorn besteht sondern aus mehreren, muss auch die Wechselwirkung zwischen den Hagelkörnern und dem Prüfobjekt untersucht und geprüft werden. Eine Vorhangfassade muss aber nicht nur einem Hagelschauer standhalten, sondern unter Umständen mehreren pro Jahr; dadurch können Ermüdungserscheinungen bei den Materialien entstehen.

Einleitend werden bereits bestehende Hagelprüfungen analysiert und im Hinblick auf ihre Schwächen untersucht. Den Hauptteil der Arbeit bildet die Analyse vorhandener Studien und Aufzeichnungen. Diese bilden die Basis der in der Dissertation erstellten Simulationen. Zusätzlich wurden Berechnungen durchgeführt, welche ein Abschätzen der Energie mit allen Randbedingungen ermöglicht.

Aus den Eckdaten der Simulationen bzw. Berechnungen wurde eine Simulations- bzw. Prüfmaschine entwickelt. Diese soll eine realitätsnahe Prüfung an Versuchsobjekten ermöglichen und einen Vergleich der Berechnungen mit der Simulation zulassen.

Aus dieser Arbeit kann in Zukunft eine Analyse bzw. Untersuchung der Widerstandsfähigkeit der Materialien gegenüber einem Hagelschauerbeschuss durchgeführt werden; ebenso kann die Konstruktion der Bauteile beurteilt werden, was letztendlich zu Verbesserungen von Konstruktionen und verwendeten Materialien führen kann.

2. Hagel

Hagel gilt seit jeher als gefährlich. Wurde er einst als Strafe Gottes angesehen, fürchtet man in der heutigen Zeit vor allem die Schäden, die durch Hagelschlag entstehen. Laut der WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) hat ein Hagelkorn einen Mindestdurchmesser von 5 mm, liegt die Größe darunter, wird es als Graupel bezeichnet. Diese Definition ist wohl die am weitesten verbreitete, wobei eine Unterscheidung zwischen einem Hagelkorn und einem Graupelkorn auch physikalisch durch die Entstehung bzw. den Aufbau des Kornes getroffen werden kann. Nach der physikalischen Definition gilt ein Hagel als ein mit einer harten Eisschicht umgebener Embryo, ein Graupel hingegen als eine Ansammlung von Schneekristallen. Folgt man dieser Definition, kann Hagel auch kleiner als 5 mm im Durchmesser sein, Graupel auch größer. Wissenschaftlich gesehen gilt jedoch die Beschreibung der WMO als die offizielle Definition. Es ist nicht bekannt, wie groß Hagelkörner maximal werden können, es wurde allerdings schon von Hagelkörnern mit einem Durchmesser von 180 mm berichtet. Hagelniederschlag kann nur in Zusammenhang mit Gewitterzellen vorkommen. Die Faktoren für das Entstehen von Hagel sind vielfältig und fordern ein Zusammenspiel der notwendigen Bedingungen, um die Bildung und das Wachstum von Hagel zu ermöglichen.¹

2.1. Wie entsteht Hagel?

Viele Faktoren, die zusammenwirken sind für das Entstehen und das Wachstum von Hagel entscheidend.²

Der Embryo kann durch zwei Prozesse entstehen: Einerseits durch das Gefrieren von Regentropfen, welche eine Eisdichte von 80 - 100 % erreichen und andererseits durch das Entstehen von Graupelkörnern, welche durch das Vergraupeln von Eiskristallen, Schneeflocken oder Graupeln entstehen.³

Wasser besitzt einen höheren Wärmespeicher als Luft, daher sind die Wassermoleküle im unteren Frostbereich der Wolke flüssig (stark unterkühlt). Nur ein geringer Anteil der Wassermoleküle ist fest, diese heißen Gefrierkerne. Gefrierkerne bilden die Voraussetzung für das Wachstum von Hagelkörnern. Daher besteht eine – zumindest teilweise – positive Korrelation zwischen der Anzahl der Gefrierkerne und dem Entstehen von Hagel. Beim Hagelwachstum unterscheidet man zwei unterschiedliche Prozesse: den Trockenzuwachs, auch „dry growth“ genannt, sowie den Feuchtzuwachs, auch als „wet growth“ bezeichnet. Der Trockenzuwachs wird kalten

¹ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

² vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

³ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

und eher trockenen Gebieten innerhalb einer Gewitterzelle zugeordnet. Durch ein plötzliches Frieren der Eiskristalle scheint es, als ob die Oberfläche trocken bliebe. Das rasche Frieren der Eiskristalle führt zu einem milchig weißen Aussehen der Eiskristalle, da die Zwischenräume der Eiskristalle durch den raschen Prozess nicht vollständig ausgefüllt werden können und Luftbläschen überbleiben.⁴

Von einem Feuchtzuwachs spricht man bei einem Wachstum in feuchten, warmen Gebieten der Gewitterzelle. Die Begrifflichkeit *warm* bezeichnet hier Temperaturen von über -25 °C. Die warme Umgebung sowie eine Überzahl von unterkühlten Wassertropfen lassen die Temperatur an der Hageloberfläche bis auf 0 °C ansteigen. Als Resultat frieren die Wassertropfen nicht sofort, sondern füllen Lufträume aus. Durch diesen langsamen Prozess kann eine klare und harte Eisschicht entstehen.⁵

Der Hauptwachstumsprozess des Hagelkorns liegt im Auf- und Abwindbereich innerhalb eines Gewitters. Die Wege durch das Gewitter sind ebenso entscheidend für das Hagelwachstum wie die Luftschichtung innerhalb einer Zelle. Trajektorien bezeichnen die unterschiedlichen Wege, die ein Hagelkorn durch das Gewitter nehmen kann. Trajektorien können ein- oder mehrmalig durch den Aufwindbereich führen. Enthält ein Gewitter mehrere Aufwindbereiche, können die Hagelkörner vermehrt an Größe zunehmen. Das Wachstum hängt jedenfalls stark mit der Dauer des Aufenthaltes des Hagelkorns in den Auf- und Abwindbereichen zusammen. Meist entstehen die Embryonen in einer Tochterzelle, welche sich am Rande einer Mutterzelle befindet. Diese werden dann von der Mutterzelle aufgenommen. Eine andere Möglichkeit ist, dass sich Embryonen in der Randaufwindzone befinden und durch horizontale oder vertikale Winde in das Zentrum geblasen werden. Weil am Randbereich der Hauptaufwindzone der Luftfeuchtegehalt hoch ist, kann dort der Wachstumsprozess beginnen. Befindet sich das Hagelkorn in der Hauptzelle, wird es durch die Aufwinde vertikal in die Höhe transportiert, bindet dabei das unterkühlte Wasser und kann dadurch wachsen. Ein Hagelkorn wächst nicht nur in der Auf-, sondern auch in der Abwärtsbewegung.⁶

Nur ein abgestimmtes Zusammenspiel vieler Faktoren innerhalb der Gewitterzelle ermöglicht das Wachstum der Hagelkörner. So befördert beispielsweise ein zu starker Aufwind das Hagelkorn zu schnell durch die Wachstumszone (zwischen -10 °C und -30 °C). Zu kleine Hagelkörner werden ebenso zu schnell durch die Wachstumszone befördert. Ein zu großer, schwerer Aufbau oder ein schwacher Aufwind lassen die Hagelkörner zu Boden fallen. Nur ideale Bedingungen gewährleisten, dass die Hagelkörner längere Zeit in der Hauptwachstumszone bleiben und somit an Größe und Intensität zunehmen.⁷

⁴ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

⁵ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

⁶ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

⁷ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

Je länger das Hagelkorn in der Wachstumszone ist, desto größer kann es werden. Ist das Hagelkorn einmal so schwer, dass es vom Aufwind nicht mehr gehalten werden kann, wird es zu Boden fallen. Aber auch Winde, welche sich durch die Hauptwachstumszone bewegen, können Hagelkörner heraustransportieren, sodass sie zu Boden fallen.⁸

2.2. Hagelschmelze

Auf dem Weg Richtung Boden schmelzen die Hagelkörner mehr oder weniger stark. Der Grad des Abschmelzens hängt wiederum von vielen verschiedenen, nachstehend angeführten Einflussfaktoren ab. Rein theoretisch müsste ein Hagelkorn ab einer Lufttemperatur von 0 °C schmelzen. Im Abschmelzungsprozess weiter zu berücksichtigen ist aber auch der Parameter Luftfeuchtigkeit. Ist die Luftmasse trocken, entsteht beim Fall des Hagelkorns eine Verdunstungskälte, welche die 0 °C Grenze eigentlich absenkt. Dies bewirkt, dass das Hagelkorn bei etwa +5 °C zu schmelzen beginnt. Dieser Vorgang wird auch Gefrierpunkt der Feuchttemperatur oder WBZ „wet bulb zero“ genannt und kann ebenfalls beobachtet werden, wenn es bei +5 °C zu schneien beginnt. Durch dieses Phänomen kommt es zu einer Verkürzung der Schmelzzone.⁹

Weitere Einflüsse für das Abschmelzen von Hagelkörnern stellen die Form, Größe und Dichte des Eises dar. Je dichter das Eis ist, desto langsamer schmilzt es. Aber auch das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen spielt bei diesem Vorgang eine Rolle. Je kleiner das Korn ist, desto größer ist die Oberfläche – bezogen auf sein Volumen. Dies führt dazu, dass kleine Hagelkörner schneller schmelzen als große Hagelkörner. Die geringere Geschwindigkeit kleinerer Hagelkörner im Vergleich zu größeren führt dazu, dass kleinere Körner länger im Abschmelzbereich verbleiben.¹⁰

⁸ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

⁹ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

¹⁰ vgl. Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

2.3. Hagelkarten in Österreich

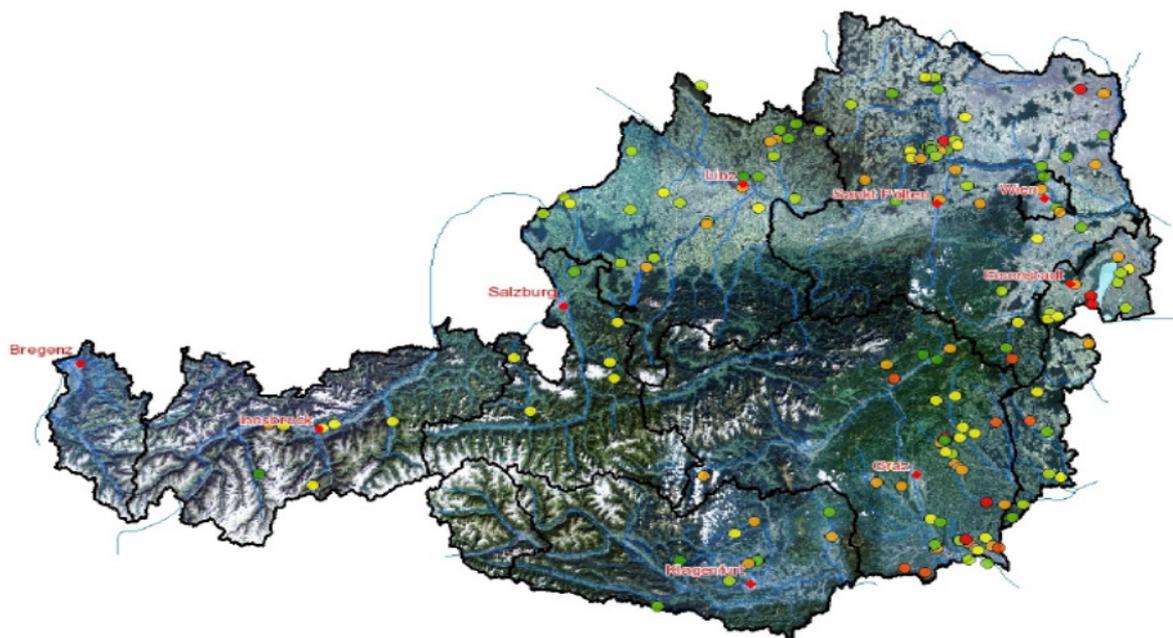
Die Tabelle 1 „TORRO – Hail Intensity Scale“ beschreibt Hagelschäden, Hagelintensitäten und Schloßengröße. Somit können Sach- bzw. Landwirtschaftsschäden beurteilt und in TORRO Klassen eingestuft werden (siehe Plan 1 und Plan 2). Zu den Industrieschäden zählen Schäden an Fenstern, Glashäusern, Kraftfahrzeugen, Immobilien, Fassaden oder Dächern nach einem Hagelschauer. Ausgewertet wurden 260 Ereignisse und 136 Hagelschläge zwischen 1977 und 2006.¹¹

Tabelle 1: TORRO Skala¹²

Hagelskala, 0-10	Wirkungsgrad	Hagelkorn- Durchmesser, in Millimeter	Geschätzte kinetische Energie, in Joule/m ²	Schadensausmaß
H0 – TORRO0	Eiskörner	5	0 bis 25	kein Schaden
H1 – TORRO1	Schadensspuren	5 bis 15	>25	leichte Schäden an Pflanzen, Getreide
H2 – TORRO2	spürbarer schaden	10 bis 20	>125	deutliche Schäden an Früchten, Getreide und Bodenpflanzen
H3 – TORRO3	ernste Schäden	20-30	>275	Schäden an Glas- und Plastikkörpern, Risse an Holz und Anstrichen
H4 – TORRO4	schwere Schäden	25-40	>450	verbreitete Glasschäden und Schäden an Kfz-Karosdserien
H5 – TORRO5	zerstörend	30-50	>650	ausgedehnte Glasbrüche, Schäden an Ziegeldächern, hohe Verletzungsgefahr
H6 – TORRO6	zerstörend	40-60		Flugzeughüllen werden zerbeult, Ziegelmauern abgeschlagen
H7 – TORRO7	vernichtend	50-75		schwere Dachschäden, Gefahr schwerer Körperverletzungen
H8 – TORRO8	vernichtend	60-90		schwerste Schäden auch bei Flugzeugen
H9 – TORRO9	außergewöhnlicher Schadenshagel	75-100		schwerste Bauwerks- und Konstruktionsschäden, schwere Verletzungen bei Aufenthalt im Freien
H10 – TORRO10	extrem außergewöhnlicher Schadenshagel	>100		schwerste Bauwerks- und Konstruktionsschäden, schwere Verletzungen bei Aufenthalt im Freien

¹¹ Vgl. Herausgeber: ZAMG, Lebensministerium, VVO; Seite 1; http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hagelschadensereignisse_Landwirtschaft.pdf . Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:00 Uhr.

¹² Herausgeber: ZAMG, Lebensministerium, VVO; Seite 1; http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hagelschadensereignisse_Landwirtschaft.pdf und http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hagelschadensereignisse_Industrie.pdf Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:04 Uhr.



Plan 1: Hagelschadenereignisse der Landwirtschaft in Österreich¹³

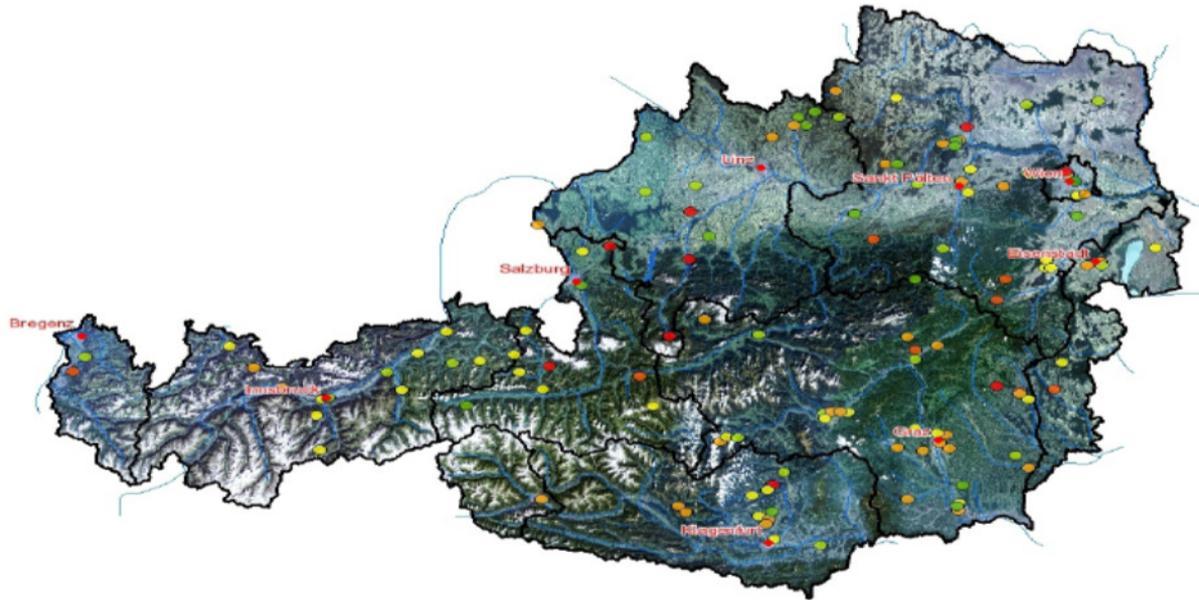
Legende

- Landeshauptstaedte
- TORRO 1
- TORRO 2
- TORRO 3
- TORRO 4
- TORRO 5
- TORRO 6
- TORRO 7
- Bundeslaender
- Flüsse

Abbildung 1: Legende der Hagelschadenereigniskarten¹⁴

¹³ Herausgeber: ZAMG, Lebensministerium, VVO;
http://gis.lebensministerium.at/ehora/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHORA; Datum des Zugriffs 15.2.2011 um 9:05 Uhr.

¹⁴ Herausgeber: ZAMG, Lebensministerium, VVO;
http://gis.lebensministerium.at/ehora/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHORA; Datum des Zugriffs 15.2.2011 um 9:05 Uhr.



Plan 2: Hagelschadenereignisse des Industriebereichs in Österreich¹⁵

¹⁵ Herausgeber: ZAMG, Lebensministerium, VVO;
http://gis.lebensministerium.at/ehora/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHORA; Datum des Zugriffs 15.2.2011 um 9:05 Uhr.

2.4. Hagelphysik

2.4.1. Aufprallenergie

Die Aufprallenergie ist eine kinetische Energie (siehe Formel 1).

$$E_H = \frac{m_H \cdot v_A^2}{2}$$

E_H : Energie des Hagelkorns [J]

m_H : Masse des Hagelkorns [kg]

v_A : Aufprallgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

Formel 1: Energie des Hagelaufpralls

2.4.2. Hagelgewicht

Um die Masse des Hagelkorns leichter berechnen zu können geht man davon aus, dass das Hagelkorn eine einheitliche Kugel darstellt und dass die Eisdichte, welche von der Temperatur abhängt, immer gleich ist. Dies stimmt nicht ganz mit der Wirklichkeit überein, kann aber als ausreichend akzeptiert werden.

$$V_H = \frac{d_H^3 \cdot \pi}{6}$$

V_H : Volumen des Hagelkornes [m^3]

d_H : Durchmesser des Hagelkornes [m]

$$m_H = V_H \cdot \rho_E$$

m_H : Masse des Hagelkornes [kg]

ρ_E : Eisdichte 870 – 900 $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

2.4.3. Aufprallgeschwindigkeit

Die vertikale Aufprallgeschwindigkeit (siehe Formel 2) wird nach der SIA 261/1 oder SN 505 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen“, Ausgabe 1.1.2003, 1. Auflage berechnet.

$$v_f = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_E \cdot d_H \cdot g}{3 \cdot \rho_L \cdot c_w}}$$

$$v_f : \text{Fall geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\rho_E : \text{Eisdichte} 870 - 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_L : \text{Luftdichte} 1,2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$d_H : \text{Durchmesser des Hagelkorns} [m]$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$c_w : \text{Luftwiderstandsbeiwert einer leicht rauhen Kugel} 0,46 - 0,50 [-]$$

Formel 2: Vertikale Aufprallgeschwindigkeit des Hagels¹⁶

Zur Berechnung der vertikalen Geschwindigkeit gibt es mehrere Möglichkeiten (siehe z.B. Formel 3), jedoch ähneln sich die Ergebnisse sehr.

¹⁶ Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 12; Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Seite 55.

$$v_f = \frac{0,2222 \cdot g \cdot (\rho_E - \rho_L) \cdot d_H^2}{4 \cdot n}$$

$$v_f : \text{Fall geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\rho_E : \text{Eisdichte} 917 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\rho_L : \text{Luftdichte} 1,2923 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$d_H : \text{Durchmesser des Hagelkorns} [m]$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$n : \text{kinematische Viskosität nahe dem Erdboden} 0,00018 [g / cm / s]$$

Formel 3: Vertikale Aufprallgeschwindigkeit des Hagels (2 Art)¹⁷

Einen starken Einfluss auf die Hagelgeschwindigkeit hat der Wind. Laut einer Untersuchung besitzt ein runder Gegenstand ~36 %¹⁸ der Windgeschwindigkeit [Windbeiwert (WB)]. Nachdem die Geschwindigkeit ein Vektor ist, kann die endresultierende Geschwindigkeit mithilfe des Pythagoras-Satzes berechnet werden.

2.4.4. Hagelauflast

Wenn der Hagel auf einem Gebäudeteil liegen bleibt, entsteht eine Auflast (siehe Formel 4).

$$q_a = h_H \cdot \rho_E \cdot g$$

$$q_a : \text{Auflast der Hagelablagerung} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$h_H : \text{Akkumulationshöhe} [m]$$

$$\rho_E : \text{Eiskugelschüttdichte} 750 - 850 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Formel 4: Hagel als Auflast¹⁹

¹⁷ Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage.

¹⁸ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Seite 28.

¹⁹ Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Seite 55.

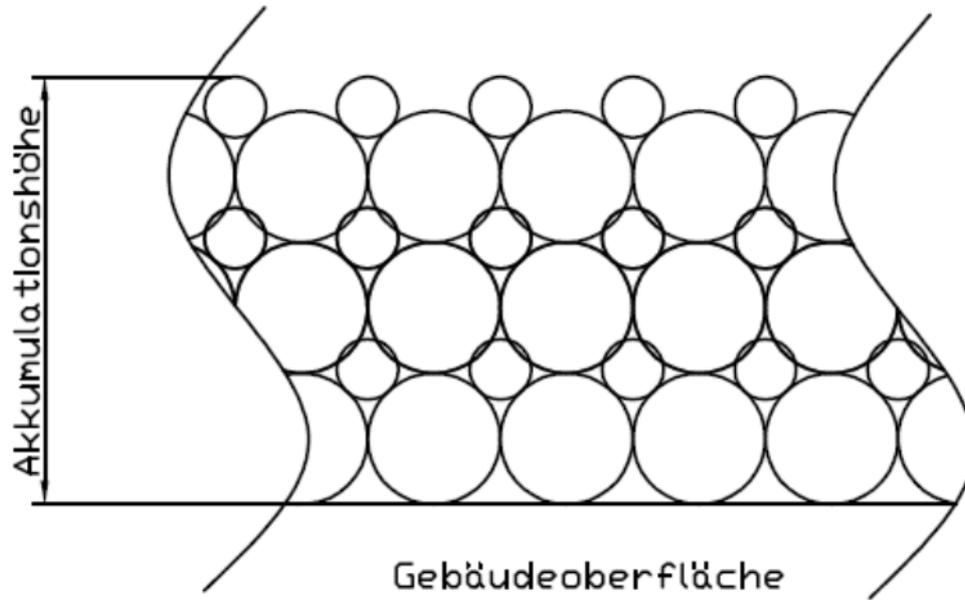


Abbildung 2: Akkumulationshöhe

2.4.5. Physikalische Hagelraten

Die nachfolgende Tabelle 2 beschreibt die Aufprallgeschwindigkeit und die Aufprallenergie in Abhängigkeit von der Eisdichte und vom Luftwiderstandsbeiwert.

Tabelle 2: Hagelraten (Durchmesser, Volumen, Gewicht, Aufprallgeschwindigkeit, vertikale Aufprallenergie, Eisdichte, Luftwiderstand)

Energieberechnung und Umrechner Hagelphysik													
Erdbeschleunigung		9,8100 ms ⁻²		Luft		1,2000 kg/m ³							
Hagelhorn d mm	Volumen mm ³	Luftwiderstand		0,50		0,50		0,50		0,46			
		Dichte	Eis	Geschwindigkeit	kinetisch	Dichte	Eis	Geschwindigkeit	kinetisch	Dichte	Eis	Geschwindigkeit	kinetisch
		Gewicht (-20°)	Gewicht (-20°)	Gewicht (-20°)	Energie [N·m]	Gewicht (-20°)	Energie [N·m]	Gewicht (-20°)	Energie [N·m]	Gewicht (-20°)	Energie [N·m]	Gewicht (-20°)	Energie [N·m]
		Gramm	ms	Gramm	km/h	Gramm	ms	Gramm	km/h	Gramm	ms	Gramm	km/h
5	65,46	0,057	9,7381	0,059	35,6571	0,057	9,9045	0,059	35,6564	0,057	10,1528	0,057	36,5496
10	263,60	0,456	13,7717	0,456	14,0071	0,456	14,0071	0,456	50,4257	0,456	14,3580	0,456	51,6888
15	1.767,15	1,537	16,8668	1,537	17,1552	1,537	17,1552	1,537	61,7586	1,537	17,5849	1,537	63,3056
20	4.188,79	3,644	19,4761	3,644	19,8091	3,644	19,8091	3,644	71,3127	3,644	20,3053	3,644	73,0990
25	8.181,23	7,118	21,7750	7,118	22,1472	7,118	22,1472	7,118	79,7300	7,118	22,7020	7,118	81,7272
30	14.137,17	12,299	23,8533	12,299	24,2611	12,299	24,2611	12,299	87,3399	12,299	24,8688	12,299	89,5276
35	22.449,30	19,531	25,7645	19,531	26,2060	19,531	26,2060	19,531	94,3379	19,531	26,8614	19,531	96,7009
40	33.510,32	29,154	27,5494	29,154	28,0143	29,154	28,0143	29,154	100,8514	29,154	28,7160	29,154	103,3776
45	47.712,94	41,510	29,2142	41,510	29,7136	41,510	29,7136	41,510	106,9691	41,510	30,4579	41,510	109,6485
50	65.449,85	56,941	30,7945	56,941	31,3209	56,941	31,3209	56,941	112,7653	56,941	32,1055	56,941	115,5797
55	87.113,75	75,789	32,2975	75,789	32,8497	75,789	32,8497	75,789	118,2588	75,789	33,6725	75,789	121,2210
60	113.087,34	98,395	33,7337	98,395	34,3103	98,395	34,3103	98,395	123,5173	98,395	35,1898	98,395	126,6112
65	143.783,31	125,100	35,1111	125,100	35,7113	125,100	35,7113	125,100	128,5608	125,100	36,6059	125,100	131,7811
70	179.594,38	156,247	36,4365	156,247	37,0594	156,247	37,0594	156,247	133,4139	156,247	37,9877	156,247	136,7657
75	220.880,23	192,177	37,7154	192,177	38,3601	192,177	38,3601	192,177	138,0965	192,177	39,3210	192,177	141,5556
80	268.082,57	233,232	38,9523	233,232	39,6182	233,232	39,6182	233,232	142,6254	233,232	40,6106	233,232	146,1980
85	321.555,10	279,753	40,1511	279,753	40,8375	279,753	40,8375	279,753	147,0149	279,753	41,8604	279,753	150,6975
90	381.035,51	332,082	41,3151	332,082	42,0214	332,082	42,0214	332,082	151,2771	332,082	43,0740	332,082	155,0664
95	448.920,50	390,561	42,4473	390,561	43,1729	390,561	43,1729	390,561	155,4225	390,561	44,2543	390,561	159,3156
100	523.586,78	455,531	43,5500	455,531	44,2945	455,531	44,2945	455,531	159,4601	455,531	45,4040	455,531	163,4543

2.5. Hagelschäden

Jeder Bauteil hat eine oder mehrere Funktionen, welche durch den Hagel beeinträchtigt werden können. Diese sind:²⁰

Wasserdichtheit: z.B. Wand, Fassade, Fenster, Tür, ...

Lichtdurchlässigkeit: z.B. Glasfenster, Kunststoffkuppeln, ...

Lichtabschirmung: z.B. Fixverblendung, Jalousie, ...

Mechanik: z.B. Jalousie, Fenster, Tür, ...

Aussehen: z.B. Verblendungen, Verkleidungen, ...

Unwetter, insbesondere Hagel, können vielfältige Schäden an Bauteilen verursachen. Da Bauteile meist mehrere Funktionen ineinander vereinen (siehe oben), können die Schäden vielfältig sein. Das Ausmaß der Schädigung ist vor allem vom Hagelkorndurchmesser abhängig. Weiters muss hinsichtlich der Schädigung auch eine Reihung der Wichtigkeit der jeweils betroffenen Funktionen vorgenommen werden. Daraus ergeben sich unterschiedliche Schadensklassen (siehe Tabelle 3).²¹

Tabelle 3: Schadensklassen²²

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

²⁰ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 7.

²¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 7.

²² Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 57.

2.5.1. Einflussfaktoren

Der Hagelschaden hängt von vielen gleichzeitig auftretenden Faktoren ab:

Durchmesser des Hagelkorns: Je größer ein Hagelkorn ist, desto größer ist die Flugeschwindigkeit und somit auch die Aufprallgeschwindigkeit. Beim Aufprall größerer Hagelkörner wird somit mehr Energie frei.²³

Hagelschauerdauer: Je länger ein Hagelschlag andauert, desto mehr kinetische Energie wirkt auf eine Gebäudefläche ein. Ebenso steigt die Akkumulationshöhe mit der Dauer des Hagelschlages an.²⁴

Temperaturverlauf: Einen weiteren Einflussfaktor stellt die Abkühltemperatur auf den betreffenden Materialien dar. Durch ein schnelles Abkühlen können Materialien brechen oder spröde werden.

Einfallswinkel: Durch den Einfluss des Windes können auch vertikale Bauteile vom Hagel betroffen werden.²⁵

Hagelform: Hagelkörner treten nicht immer in Form einer Kugel auf, sondern können eine beliebige Gestalt annehmen. Es ist von entscheidender Bedeutung, ob ein Hagelkorn mit Kanten oder aber mit einer abgerundeten Fläche auf die Gebäudehülle auftrifft.²⁶

Wiederkehrperiode: Tritt der Hagel öfter im Jahr an einem Ort auf, so kann es zur Materialermüdung kommen.²⁷

Akkumulationshöhe: Kann der Hagel von der Gebäudehülle nicht abfallen oder abrinnen, so wirkt er als Auflast.²⁸

2.5.2. Zusätzliche Lasten bzw. Lastkombinationen

Welche Lasten (Wettereinflüsse) auf ein Gebäude einwirken, muss zusätzlich zum Hagelschlag berücksichtigt werden.²⁹

Wind: Wind und Windkraft beeinflussen den Einfallswinkel des Hagels. Die Windkraft, die während eines Hagelschauers auf die Gebäudehülle einwirkt, muss während des Hagelschauers betrachtet werden. Außerdem verteilt sich die Hagelauflast nicht gleichmäßig.³⁰ Gemäß den Aufzeichnungen³¹ (siehe Tabelle 4) tritt der Hagel-

²³ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 50f.

²⁴ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 52.

²⁵ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 52.

²⁶ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 52.

²⁷ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 52.

²⁸ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 53.

²⁹ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 54.

³⁰ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 54.

schauer meist in Verbindung mit Wind auf. Von insgesamt 1.658 Aufzeichnungen traten nur 11% der Hagelschauerereignisse ohne Windwindeneinfluss auf, im Gegensatz dazu wiesen 57% der Einschläge einen Winkel von 45° auf – dies entspricht einer Windgeschwindigkeit von ca. 95-130km/h (siehe Tabelle 4 und Diagramm 1). Die Berechnung der Windgeschwindigkeit wird in Kapitel 4 beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass der Winkel durch die Einschlagsform bestimmt worden ist; somit kann die genaue Windgeschwindigkeit nicht bestimmt werden. Ebenso ist die Aufprallgeschwindigkeit abhängig vom Hagelkorndurchmesser.

Tabelle 4: Auswertung der ZAMG-Daten³² – Windeinfluss

Anzahl	Prozent	Einfallswinkel	Windgeschwindigkeit
188	11,34%	0°	0 km/h
59	3,56%	10°	15-30 km/h
198	11,94%	20°	35-50 km/h
266	16,04%	30°	55-90 km/h
947	57,12%	45°	95-130 km/h
1658	100,00%		

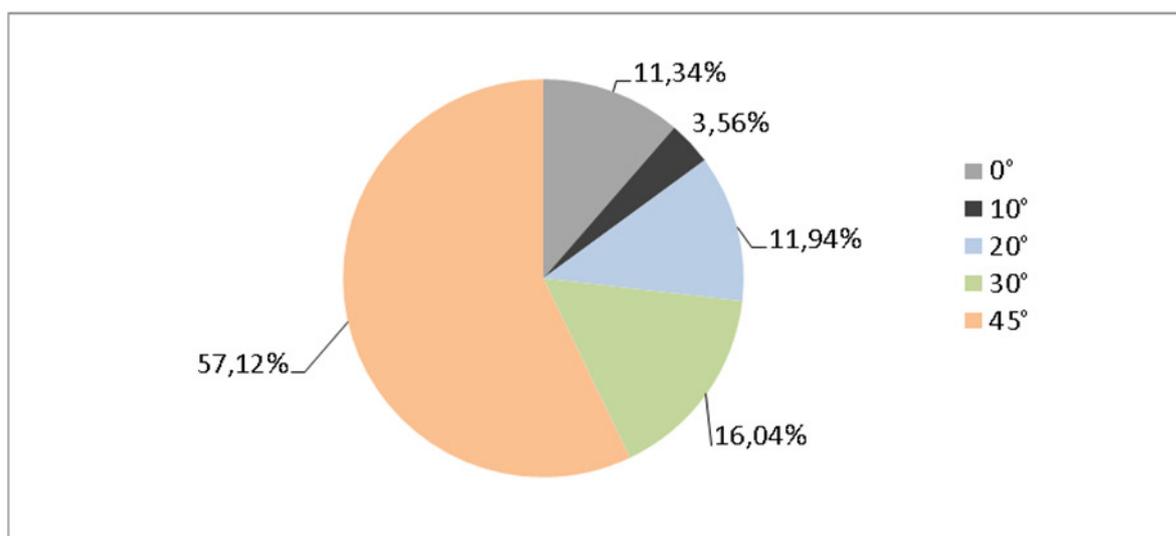


Diagramm 1: Auswertung der ZAMG-Daten – Windeinfluss

³¹ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Anhang.

³² Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Anhang.

Regen: Hagelkörner können Abflussleitungen verstopfen, dadurch kann das Regenwasser nicht abfließen und es kommt zu Überschwemmungen. Zusätzlich wird die Auflast extrem erhöht, wodurch es zum Versagen oder dem Einbruch von Baukörpern kommen kann.³³

Temperatur: Vor einem Hagelschauer ist die Temperatur meist sehr hoch, somit steigt der isochore Druck im Glasscheibenzwischenraum (SZR) an, wodurch es zu Spannungen kommt. Während des Hagelschauers kühlt es rapide ab. Dies verursacht zusätzliche Spannungen in den einzelnen Materialien und der isochore Druck im Glasscheibenzwischenraum sinkt. Nach dem Hagelschlag erwärmt sich die Gebäudehülle wieder – mit Ausnahme der Stellen, an welchen der Hagel liegen geblieben ist. Dadurch kommt es zu unterschiedlichen Ausdehnungen, was wiederum zu Spannungen führt.³⁴

³³ Vgl. Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 54.

³⁴ Vgl. Österreichische Normungsinstitut; ÖNORM B 3716-1 „Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau Teil 1 : Grundlagen“ Seite 7ff.

2.5.3. Hagelschadensskala

Die nachstehende Tabelle 5 soll veranschaulichen, welcher Hagelkorndurchmesser welchen Schaden verursachen kann.

Tabelle 5: Schadensbeschreibung abhängig von der Hagelkorngröße³⁵

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

³⁵ Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren; Seite 51.

3. Stand der Technik

3.1. EN – Normen für Hagelprüfungen

Aktuell finden europaweit 5 Normen Anwendung, wobei in der Schweiz eine zusätzliche Norm für Hagelprüfungen vorgeschrieben ist. Geprüft wird auf dem Gebiet der Photovoltaik, der thermischen Solaranlagen und bei Dachabdichtungsbahnen, welche aus Bitumen, Kunststoff oder aus Elastomer bestehen.

3.1.1. Dachabdichtungsbahnen

3.1.1.1. Das Prinzip der Prüfung

Um die Widerstandsfähigkeit für Dachabdichtungen gegen Hagelschlag zu überprüfen, wurde ein Testverfahren entwickelt. Dabei wird der Prüfkörper mit einer Kunststoffkugel aus Polyamid senkrecht oder waagrecht mit einer definierten Geschwindigkeit beschossen. Die Befestigung des Prüfkörpers erfolgt auf einer aus Stahl bzw. aus einer expandierten Polystyrol-Hartschaum bestehenden Unterlage. Eine notwendige Voraussetzung stellt die Entnahme von mindestens zehn Prüfkörpern mit Abmessungen von 250 mm (± 2 mm) Länge von der kompletten Bahnbreite dar.³⁶

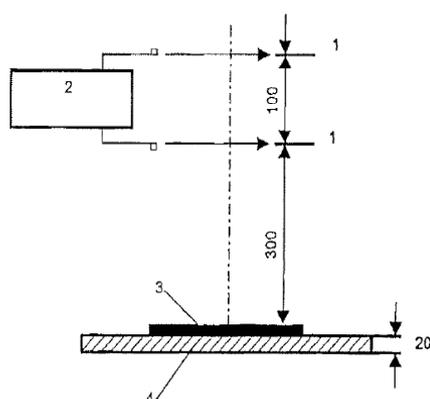
3.1.1.2. Bestandteile der Prüfmaschine

Der Antrieb der Kunststoffkugel mit einem Durchmesser von 40 mm ($\pm 0,5$ mm) und einem Gewicht von 38,5 g ($\pm 0,5$ g) erfolgt pneumatisch. In einem Luftbehälter wird die Luft vorkomprimiert und durch ein Schnellentlüfterventil freigegeben. Die Messung der Geschwindigkeit erfolgt mithilfe eines Lichtschranken mit einer Genauigkeit von 0,5 % und ist 300 mm (± 5 mm) vom Prüfkörper entfernt (siehe Abbildung 3). Um eine genaue Messung gewährleisten zu können, muss der Prüfkörper in einer Halterung montiert werden, welche mit zwei verschiedenen Unterlagen ausgestattet werden kann. Die harte Unterlage besteht aus Stahl mit den Abmessungen 500 mm (± 2 mm) x 250 mm (± 2 mm) und einer Dicke von 20 mm ($\pm 0,5$ mm). Auf diese wird ein Schleifpapier mit einer Körnung von 120 aufgelegt. Die Temperatur der Platte muss bei 10 °C (± 2 °C) liegen. Die flexible Unterlage weist verglichen mit der harten Unterlage denselben Untergrund auf. Der Unterschied besteht darin, dass anstelle des Schleifpapiers eine Polystyrol-Hartschaumplatte mit den Abmessungen

³⁶ Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“, Seite 3ff.

500 mm (± 2 mm) x 300 mm (± 2 mm) und einer Dicke von 20 mm ($\pm 0,5$ mm) mit einer Rohdichte von 20 kg/m³ (± 2 kg/m³) aufgebracht wird. Diese Variante erfordert keine Temperierung der Stahlplatte.³⁷

Die Ballastplatte besteht ebenso aus Stahl und weist dieselben Abmessungen wie die harte Unterlage auf. Weiters hat sie eine kreisförmige Öffnung mit einem Durchmesser von 200 mm (± 2 mm) in der Mitte. Um eine etwaige Perforierung der Bahn feststellen zu können, wird eine Vorrichtung mit einem Prüffeld von mindestens 30 mm benötigt.³⁸



Legende

- 1 Lichtschranke
- 2 Zeitmessgerät
- 3 Prüfkörper
- 4 Stahlplatte

Abbildung 3: Prüfeinrichtung für Dachabdichtungsbahnen³⁹

3.1.1.3. Durchführung der Prüfung

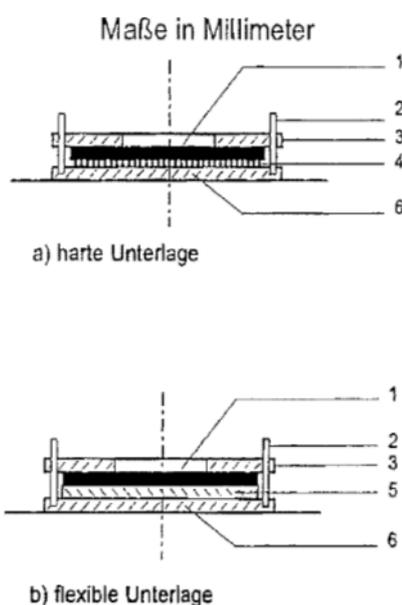
Der Einbau des Prüfkörpers erfolgt in einer der beiden Prüfkörperhalterungen (siehe Abbildung 4) – mit der Oberfläche nach oben. Anschließend wird die Ballastplatte auf die Probe aufgebracht. In die kreisförmige Öffnung der Platte werden Eisschuppen von 200 g (± 20 g) eingebracht. Nach 180 s (± 30 s) werden die Eisschuppen aus dem Zentrum der Öffnung entfernt, woraufhin der Beschusstest innerhalb von 5 s

³⁷ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 3ff.

³⁸ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 3ff.

³⁹ Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 4.

(± 2 s) durchgeführt werden muss. Die Polyamidkugel muss mitten in der Öffnung der Ballastplatte auftreffen. Die erste Geschwindigkeit der Polyamidkugel sollte kleiner als die erwartete Schädigungsgeschwindigkeit sein. Nach dem Beschuss wird der Prüfkörper auf der Unterlage um 10 cm verschoben. Weist der Prüfkörper keine Perforation auf, wird die Prüfung wiederholt, wobei die Geschwindigkeit um 1 m/s erhöht wird. Kommt es zu einer Beschädigung des Prüfkörpers, wird die Prüfung mit einer um 2 m/s verminderten Geschwindigkeit wiederholt. Die Prüfung wird solange wiederholt, bis bei fünf Proben die Schädigungsgeschwindigkeit bei einer der beiden Unterlagen (Stahl bzw. expandiertem Polystyrol Hartschaum) festgestellt wird.⁴⁰



Legende

- 1 Prüfkörper
- 2 Führungsstift
- 3 Ballastplatte
- 4 Schleifpapier
- 5 Polystyrol-Hartschaumplatte
- 6 Stahlplatte

Abbildung 4: Prüfkörperhalterung für Dachabdichtungsbahnen⁴¹

In Abbildung 3 ist die Stahlplatte mit 4 bezeichnet und in Abbildung 4 als 6.

⁴⁰ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 5.

⁴¹ Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 4.

Wurde optisch keine Perforation bei den Prüfkörpern festgestellt, werden diese auf der Beschussseite mit einer Seifenlösung für 360 s (± 60 s) bestrichen. Anschließend werden die Prüfkörper in eine Vakuum- oder Druckapparatur (siehe Abbildung 5) gebracht. Diese bringt einen Druckunterschied von 0,15 bar gegenüber der Außenluft auf. Die Einspannung des Prüfkörpers erfolgt so, dass die Oberfläche im niedrigeren Druckbereich liegt. Entstehen nach 60 Sekunden keine Blasen, ist der Prüfkörper als nicht perforiert einzustufen.⁴²

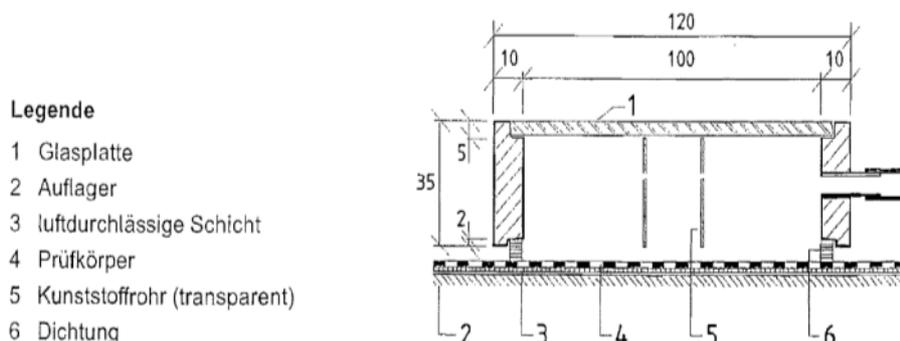


Abbildung 5: Vakuumapparatur für Dachabdichtungsbahnen⁴³

3.1.2. Thermische Solaranlagen

Im Bereich der thermischen Solaranlagen gibt es die Möglichkeit, mithilfe von zwei unterschiedlichen Verfahren den Widerstand gegen Hagelschlag festzustellen.⁴⁴

3.1.2.1. Verfahren 1 (Stahlkugelverfahren)

Die Einspannung des Kollektors kann wahlweise horizontal oder vertikal erfolgen. Die Anforderung an die Unterlage ist hoch: Sie muss so steif sein, dass es während der Prüfung weder zu einer Verbiegung noch zu einer Verdrehung des Kollektors kommen kann.⁴⁵

Für die Simulation wird der Prüfkörper mit Stahlkugeln von 150 g (± 10 g) beschossen. Erfolgte die Aufstellung des Kollektors horizontal, so werden einfach die Stahlkugeln in einer vordefinierten Höhe auf den Prüfkörper fallen gelassen (siehe Abbil-

⁴² Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 5.

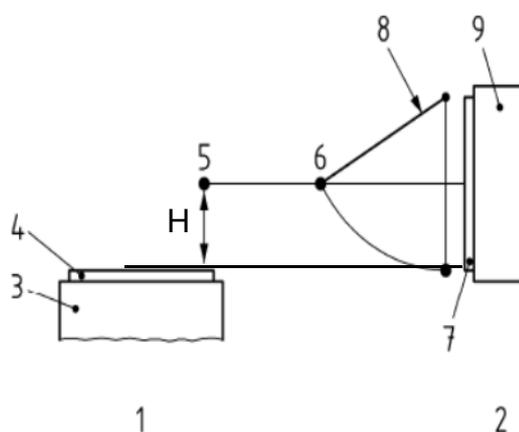
⁴³ Österreichisches Normungsinstitut EN 13583 „Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“ Seite 4.

⁴⁴ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 25.

⁴⁵ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 25f.

dung 6). Sollte der Prüfkörper vertikal eingebaut sein, wird die Kraft mithilfe eines Pendels aufgebracht (siehe Abbildung 6). Die Fallhöhe, beginnend bei 0,4 m wird in 0,2 m Schritten bis zu einer Höhe von 2 m gesteigert. Diese wird vom senkrechten Abstand zwischen der Auslöse und dem Aufschlagpunkt am Prüfkörper gemessen. Der Auftreffpunkt darf nicht mehr als 10 cm von der Ecke und 5 cm vom Rand der Kollektorabdeckung entfernt sein. Beim Loslassen der Stahlkugel muss diese um einige Millimeter verschoben werden. Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, ist die Fallhöhe der herabfallenden Stahlkugel (siehe linke Hälfte 1) gleich der Pendelfallhöhe (siehe rechte Hälfte 2) aufgrund der identischen potenziellen Energie ($m \cdot g \cdot h$).⁴⁶

Der Beschuss jeder Prüfhöhe mittels Stahlkugel erfolgt zehnmal. Dies wird solange wiederholt, bis jene Höhe erreicht worden ist, welche den Herstellerangaben entspricht. Ist nach dem Beschuss kein Schaden feststellbar, wurde die Widerstandsfähigkeit gegen Hagel festgestellt.⁴⁷



Legende

- | | |
|---|------------------|
| 1 Alternative A (senkrecht fallende Stahlkugel) | 6 Stahlkugel |
| 2 Alternative B (Pendel) | 7 Kollektor |
| 3 Starrer Rahmen | 8 Pendel |
| 4 Kollektor | 9 Starrer Rahmen |
| 5 Stahlkugel | |

H= Fallhöhe

Abbildung 6: Hagelprüfung an Thermischen Solaranlagen; Variante 1⁴⁸

⁴⁶ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 25f.

⁴⁷ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 25f.

⁴⁸ Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 80.

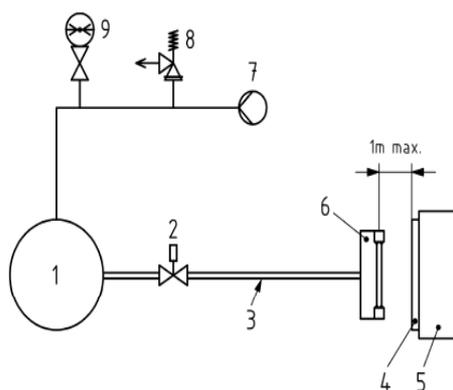
3.1.2.2. Verfahren 2 (Eiskugelverfahren)

Bei diesem Verfahren wird das Prüfobjekt mit einer Eiskugel mit einem Durchmesser von 25 mm und mit einem Gewicht von 7,53 g ($\pm 5\%$) beschossen. Diese Eiskugeln werden zuvor mit einer geeigneten Form in einem Gefrierschrank bei einer Temperatur von -10 °C ($\pm 5\text{ °C}$) hergestellt. Die Lagerung der Eiskugeln erfolgt in einem Vorratsbehälter bei -4 °C ($\pm 2\text{ °C}$). Die Beschleunigung der Eiskugel auf die festgelegte Geschwindigkeit von 23 m/s ($\pm 5\%$) erfolgt mittels Katapult. Der Beschuss ist richtungsunabhängig (horizontal, vertikal oder irgendein Winkel). Der Einbau eines Prüfkörpers hat in einem Rahmen zu erfolgen, welcher dieselben Eigenschaften wie jener in Verfahren 1 (Stahlkugelverfahren) aufweist. Für die Prüfung erforderlich ist die Bestimmung des Gewichtes der Eiskugel mittels einer Waage mit einer Standardunsicherheit von max. 2%. Weiters muss die Geschwindigkeit mit einer Genauigkeit von $\pm 2\text{ m/s}$ gemessen werden. Das Geschwindigkeitsmessgerät darf höchstens einen Meter vom Prüfobjekt entfernt sein. Die Norm schlägt vor, dass der Antrieb der Eiskugel pneumatisch erfolgt. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt dadurch, dass die Eiskugel zwei Lichtschranken durchfliegen muss und so die Zeitdifferenz für die Geschwindigkeitsmessung herangezogen werden kann.⁴⁹

Für die Durchführung der Prüfung müssen genügend Eiskugeln vorhanden sein. Dies gilt ebenso für die Kontrollschüsse am Katapult (siehe Abbildung 7). Die Eiskugeln müssen vor der Prüfung untersucht werden, ob sie keine Risse aufweisen und ob das Gewicht und der Durchmesser korrekt sind. Bevor die Eiskugeln für den Beschuss verwendet werden können, müssen sie mindestens eine Stunde im Vorratsbehälter aufbewahrt werden. Das Katapult und der Kollektor müssen nahezu die gleiche Raumtemperatur aufweisen. Vor dem Beschuss des Kollektors haben Probeschüsse zu erfolgen. Die Probeschüsse dienen dazu, um festzustellen, ob das Katapult die genaue Geschwindigkeit aufbringen kann. Die Zeitspanne des Beschussvorganges ist sehr gering: Innerhalb von 60 Sekunden muss die Entnahme aus dem Vorratsbehälter, das Laden des Katapults und der Beschuss vollzogen sein. Der Auftreffpunkt und die Beschusshäufigkeit sind gleich geregelt wie in Verfahren 1 (Stahlkugelverfahren).⁵⁰

⁴⁹ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 26f.

⁵⁰ Vgl. Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 26f.



Legende			
1	Reservoir	6	Photoelektrisches Geschwindigkeitsmesssystem
2	Großes, schnell öffnendes Magnetventil	7	Pressluftanschluss
3	Lauf	8	Sicherheitsventil
4	Kollektor	9	Druckmessgerät
5	Starrer Rahmen		

Abbildung 7: Hagelprüfung an Thermischen Solaranlagen; Variante 2⁵¹

3.1.3. Photovoltaik

3.1.3.1. Terrestrische Dünnschicht-Fotovoltaik-Module und terrestrische kristalline Silizium-Fotovoltaik

In der Photovoltaiktechnik zählen Hagelprüfungen bereits zum Stand der Technik. Sowohl bei den terrestrischen Dünnschicht-Photovoltaik-(PV-)Modulen als auch bei den terrestrischen kristallinen Silizium-Photovoltaik-(PV-)Modulen ist die Hagelprüfung Pflicht. Die Prüfungen unterscheiden sich nur hinsichtlich der Aufschlagpunkte. Ebenso verpflichtend ist die Hagelprüfung bei den Konzentrator-Photovoltaik-(CPV-) Modulen.

3.1.3.1.1. Prüfeinrichtung

Mittels einer geeigneten Form werden Eiskugeln mit einem Standarddurchmesser von 25 mm hergestellt. Für besondere Umweltbedingungen können die Eiskugeln im Durchmesser variieren. Eine Auswahl an Kugeln mit unterschiedlichen Durchmessern ist in Tabelle 6 ersichtlich.⁵²

⁵¹ Österreichisches Normungsinstitut EN 12975-2 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil 2: Prüfverfahren“ Seite 81.

⁵² Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartprüfung und Bauartzulassung“ Seite 36f oder

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartprüfung und Bauartzulassung“ Seite 38f.

Tabelle 6: Massen der Eiskugeln und Prüfungsgeschwindigkeiten⁵³

Durchmesser	Masse	Prüfungsgeschwindigkeit	Durchmesser	Masse	Prüfungsgeschwindigkeit
mm	g	m s ⁻¹	mm	g	m s ⁻¹
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

Die Eiskugeln werden in einem Gefrierbehälter mit einer Temperatur von -10 °C (± 5 °C) hergestellt. Die Aufbewahrung der Kugeln vor der Prüfung erfolgt in einem Vorratsbehälter mit einer Innentemperatur von -4 °C (± 2 °C).⁵⁴

Aufgabe der Abschussvorrichtung ist es, die Eiskugel mit der vordefinierten Aufprallgeschwindigkeit und einer Toleranz von ± 5 % zu beschleunigen. Das Prüfobjekt kann in jedem beliebigen Winkel aufgebaut werden, allerdings muss die Eiskugel im rechten Winkel auf das Prüfobjekt auftreffen; die Auftreffpunkte sind definiert (siehe Abbildung 9, Abbildung 10, Tabelle 8, Tabelle 7). Die Befestigung des Testobjektes erfolgt nach Herstellerangaben. Vor Beginn der Prüfung muss jede Eiskugel mit einer Messunsicherheit von ± 2 % abgewogen werden. Die Ablesung der Fluggeschwindigkeit erfolgt mit einer Messunsicherheit von ± 2 %. Die Messung der Geschwindigkeit erfolgt höchstens einen Meter vor dem Prüfkörper.⁵⁵

In der Norm wird als Beispiel ein pneumatisches horizontales Abschussgerät angegeben. Die Aufstellung des Prüfobjektes erfolgt vertikal, die Messung der Geschwindigkeit mittels zweier Lichtschranken (siehe Abbildung 8).⁵⁶

⁵³ Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 36; oder

Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 39.

⁵⁴ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 36f; oder

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38f.

⁵⁵ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 36f; oder

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38f.

⁵⁶ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 36f; oder

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38f.

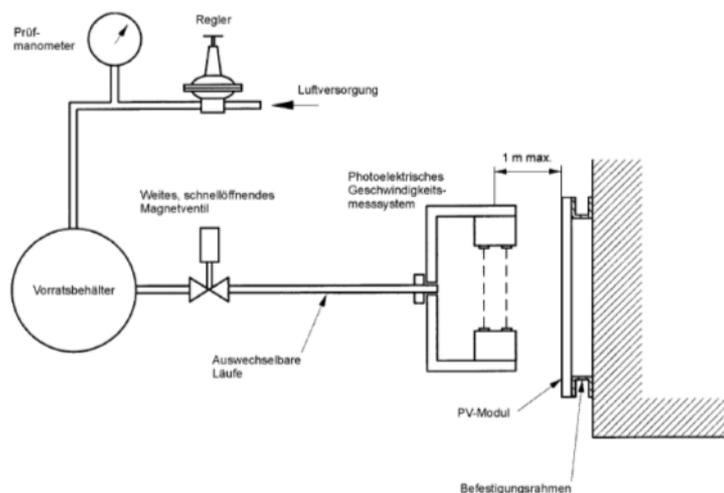


Abbildung 8: Hagelprüfeinrichtung für PV⁵⁷

3.1.3.1.2. Durchführung

Voraussetzung für die Prüfung ist eine genügende Anzahl an Eiskugeln. Jede Eiskugel muss auf Rissfreiheit, Gewicht (Toleranz $\pm 5\%$) und Größe (Toleranz $\pm 5\%$) untersucht werden. Eine Stunde vor Beginn der Prüfung werden die Eiskugeln in einem Vorratsbehälter aufbewahrt. Außerdem müssen vor der Prüfung einige Testschüsse absolviert werden. Die Zeit zwischen der Entnahme der Eiskugel vom Vorratsbehälter und dem Auftreffen am Prüfobjekt darf höchstens 60 s betragen. Der Auftreffpunkt darf höchstens 10 mm vom festgelegten Punkt entfernt sein. Die Reihenfolge der Auftreffpunkte sind der Tabelle 7 für kristalline Silizium-PV und Tabelle 8 für Dünnschicht-PV zu entnehmen. Diese Photovoltaikmodule werden in Abbildung 9 (kristalline Silizium-PV) sowie in Abbildung 10 (Dünnschicht-PV) dargestellt. Nach jedem Schuss ist das Modul auf sichtbare Beschädigungen zu untersuchen.⁵⁸

⁵⁷ Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 37; oder

Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38.

⁵⁸ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik ÖVE/ÖNORM EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 37f; oder

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38f.

Tabelle 7: Auftreffpunkte für kristalline Silizium-PV-Module⁵⁹

Schuss Nr.	Zielpunkt
1	Eine Ecke des Modulfensters, Abstand nicht größer als 50 mm vom Rahmen
2	Am Randbereich des PV-Moduls, Abstand nicht größer als 12 mm vom Rahmen
3, 4	Über den Kanten der Zellen nahe einem elektrischen Anschluss
5, 6	Über Punkten mit minimalem Abstand zwischen den Zellen
7, 8	Auf dem Modulfenster, Abstand nicht größer als 12 mm von einem der Punkte, an denen das PV-Modul an der Halterung befestigt ist
9, 10	Auf dem Modulfenster an Punkten, die am weitesten von den für die Schüsse 7 und 8 gewählten Punkten entfernt sind
11	Alle weiteren Punkte, die besonders empfindlich für den Schlag von Hagelkörnern sein könnten

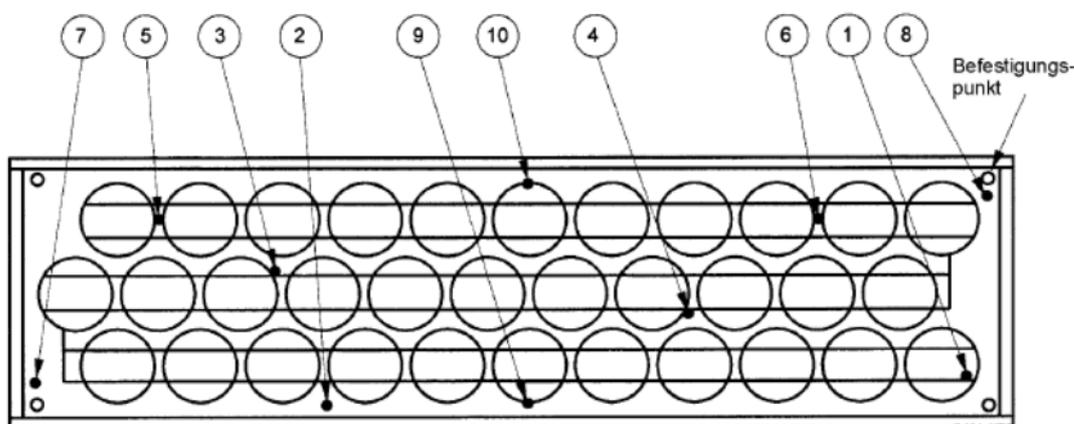


Abbildung 9: Auftreffpunkte bei kristallinen PV-Modulen⁶⁰

Tabelle 8: Auftreffpunkte für Dünnschicht-PV-Module⁶¹

Schuss Nr.	Zielpunkt
1	Eine Ecke des Modulfensters, Abstand nicht weiter als 50 mm vom Rahmen.
2	Am Randbereich des PV-Moduls, Abstand nicht weiter als 12 mm vom Rahmen.
3, 4	Über dem Randbereich des Stromkreises.
5, 6	Über dem Stromkreis nahe der Zellverbinder.
7, 8	Nahe des Befestigungspunktes an dem Stromkreis.
9, 10	In der Mitte des Stromkreises, weitest von den Befestigungspunkten.
11	Ein beliebiger Punkt, der besonders empfindlich für den Schlag von Hagelkörnern sein könnte.

⁵⁹ Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauart-eignung und Bauartzulassung“ Seite 41.

⁶⁰ Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauart-eignung und Bauartzulassung“ Seite 41.

⁶¹ Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauart-eignung und Bauartzulassung“ Seite 41.

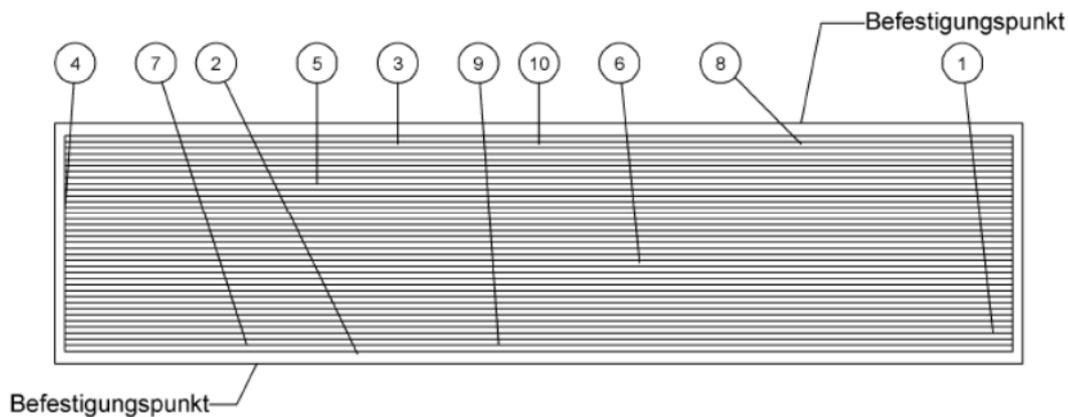


Abbildung 10: Auftreffpunkte für Dünnschicht-PV-Module⁶²

Die Leistung nach der Prüfung darf maximal 5 % schlechter sein als vor der Prüfung. Eine ebenso durchzuführende Isolationsprüfung darf keine Verschlechterung aufweisen.⁶³

3.1.3.2. Konzentrator-Photovoltaik-(CPV-)Module

Die empfindlichen Teile der Module gegen Hagelschlag stellen die Spiegel und die Linsen dar (siehe Abbildung 11). Diese sollten einem Hagelschlag widerstehen können.⁶⁴

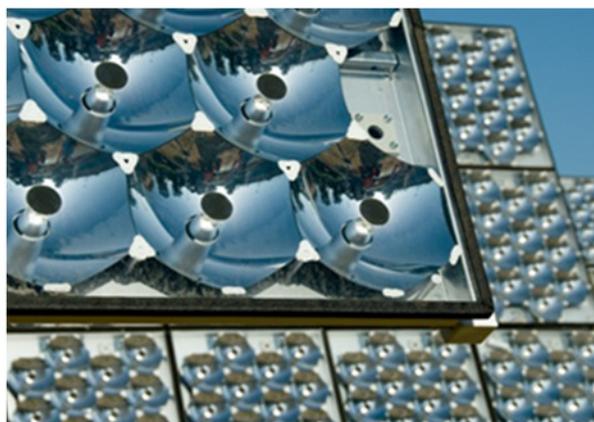


Abbildung 11: Konzentrator-Photovoltaik-(CPV-)Module⁶⁵

⁶² Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 36.

⁶³ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik ÖVE/ÖNORM EN 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 38;

Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 61215 „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 41.

⁶⁴ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 62108 „Konzentrator-Photovoltaik (CPV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 30.

3.1.3.2.1. Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung ist dieselbe wie in Kapitel 3.1.3.1.1. Der Unterschied liegt im Durchmesser der Eiskugel von 25,4 mm ($\pm 5\%$) im Vergleich zur Geschwindigkeit von 22,4 m/s ($\pm 5\%$) und bei der Masse von 7,9 g ($\pm 5\%$).⁶⁶

3.1.3.2.2. Prüfdurchführung

Die Prüfung erfolgt nach dem Prinzip der übrigen PV-Module, lediglich die Aufschlagpunkte ändern sich.

Aufschlagpunkte:⁶⁷

„Bereiche, die möglicherweise von unter einem Winkel von 45° zur Senkrechten auftreffenden Hagelkörnern getroffen werden können, wenn sich das System in einer der für den Normalbetrieb vorgesehenen Stellungen oder in der Schutzstellung befindet;“

„Ecken einschließlich des Bereichs bis zu einem Abstand von 25 mm von den Kanten;“

„Kanten einschließlich des Bereichs bis zu einem Abstand von 12 mm von der Seite;“

„Punkte in einem Abstand von höchstens 12 mm vom Befestigungspunkt zum Tragwerk;“

„Punkte mit dem größten Abstand vom Befestigungspunkt zum Tragwerk;“

„alle Stellen, die empfindlich auf Hagelschlag reagieren können.“

⁶⁵ http://www.pv-tech.org/images/uploads/solfocus/SF-Modules-Close_Hi.jpg, Datum des Zugriffs 25.7.2010 um 16:05 Uhr.

⁶⁶ Vgl. Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 62108 „Konzentrator-Photovoltaik (CPV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 30f.

⁶⁷ Zitat Österreichischer Verband für Elektrotechnik EN 62108 „Konzentrator-Photovoltaik (CPV)-Module – Bauartegnung und Bauartzulassung“ Seite 31.

3.2. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

In der SIA 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen“, Ausgabe 2003, wird Hagel als außergewöhnliche Last angenommen und ist somit Hagel-schlag als Einzellast anzusehen.⁶⁸

Berücksichtigt müssen laut dieser Norm alle örtlichen Verhältnisse werden wie z.B. Entwässerung, Anhäufungen etc. Die Wirkung, welche der Hagel auf das Gebäude hat, müssen mit statischen Ersatzkräften modelliert und berechnet werden. Ein Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit ist auf zwei Arten möglich; diese können mittels Hagelversuch oder aber durch eine versuchsabgestützte Berechnung nachgewiesen werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Berechnungen stellt die Alterung der Baustoffe dar.⁶⁹

Bereits in der Projektbasis muss das Hagelschutzkonzept in den baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen umgesetzt werden. Die von den Kantonen festgelegten Hagelvorschriften sind bindend. Verwendet werden sollen nur zugelassene Baustoffe, welche im schweizerischen Elementarschutzregister stehen und von der VKF (Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen) geprüft sowie in Hagelwiderstandsklassen eingeteilt wurden.⁷⁰

3.2.1. Statische Berechnung gemäß Schweizer Norm

Die Hagelschlageinwirkung ist von der Kornverteilung, der Intensität des Hagel-schauers und von der Hagelgeschwindigkeit abhängig. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Kornverteilung und Korngrößenwahrscheinlichkeit. Das größte Korn weist einen Durchmesser von 40 mm auf, obwohl darauf hingewiesen wird, dass dieses Phänomen jährlich bei jedem dritten bis zehnten Ereignis überschritten wird. Die Geschwindigkeit des Hagels wird nach der Formel 2 berechnet, allerdings mit abgeänderten Werten (siehe Formel 5).⁷¹

Formel 5: Abgeänderte Werte der SIA 261/1

$$\rho_E : \text{Eisdichte } 900 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$c_w : \text{Luftwiderstandsbeiwert einer leicht rauhen Kugel } 0,46 [-]$$

⁶⁸ Vgl. Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 12.

⁶⁹ Vgl. Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 12.

⁷⁰ Vgl. Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 12.

⁷¹ Vgl. Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 12f.

Tabelle 9: Hagelkorndurchmesser und Hagelhäufigkeit nach der SIA 261/1⁷²

d [mm]	Wahrscheinlichkeit [%]	Kumulierte Häufigkeit [%]
5–9	65	65
9–13	23	88
13–17	8	96
17–21	2	98
21–25	1	99
25–40	< 1	99,9

Laut VKF werden die Materialien nur mit einem Einzelschuss beschossen. Die örtlichen Verhältnisse können aus der Norm entnommen werden (siehe Abbildung 12). Die grau hinterlegten Felder sind stark hagelgefährdet.



Abbildung 12: Hagelgefährdung in der Schweiz⁷³

⁷² Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 13.

⁷³ Schweizer Norm; SN 55 261/1 „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festigkeit“ Seite 13.

3.2.2. Grundlagen zur SIA

In den letzten Jahren kam es zu einem starken Anstieg der Hagelschäden in der Schweiz. Dies führte dazu, dass die Versicherungen eine höhere Summe an Schadensgeldern bezahlen mussten (siehe Diagramm 2). Der Wechselkurs zum Schilling bzw. Euro und die Inflation des Schweizer Franken sind in Tabelle 35 ersichtlich. Der Anstieg an Hagelschäden lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen, zu nennen sind die Zersiedelung in hagelgefährdeten Zonen, die Verwendung von Baumaterialien, welche sehr hagelempfindlich sind und das Auftreten häufiger und intensiv lang andauernder Hagelschauer (intensiver als in der Vergangenheit).⁷⁴

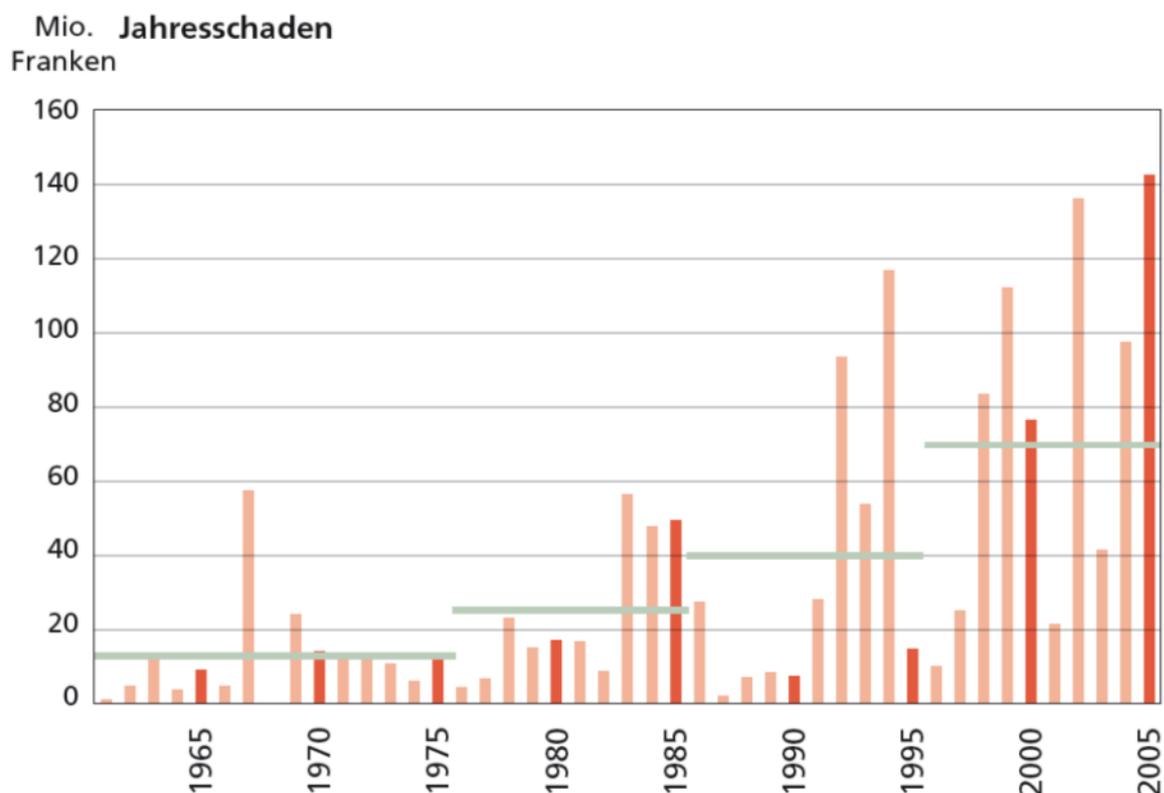


Diagramm 2: Hagelschäden an Gebäuden in Kantonen mit öffentlich-rechtlichen Gebäudeversicherungen 1961-2005; Querstriche zeigen die mehrjährigen Durchschnitte⁷⁵

Aufgrund dieser Schäden wurde eine Studie beauftragt, den Hagelwiderstand von Bauprodukten zu erforschen und herauszufinden, wie eine Hagelprüfung durchgeführt werden könnte. Daraus entstand der Synthesebericht „Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle“.

⁷⁴ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 17.

⁷⁵ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle Seite 17.

Zeitraum der Studie war der 1.4.2005 bis zum 31.12.2006 unter der Leitung der Firma Egil Engineering.⁷⁶ Als Herausgeber der Studie trat die Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherung und die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherung in Zusammenarbeit mit den Firmen EMPA, Basler & Hofmann und Egil Engineering auf.⁷⁷

Der Synthesebericht besteht aus vier Teilen: Hagelgefährdung in der Schweiz, Schadenspotenzial von Hagel in Bezug auf die historische Entwicklung der Gebäudehülle, Hagelwiderstand der Bauprodukte. Aus diesen drei Teilen entstand der vierte Teil: Elementarschutzregister Hagel.⁷⁸

Der erste Teil beschäftigt sich mit Hagelkarten und wurde erstellt mit den Parametern Häufigkeit und Durchmesser des Hagels. In diesen Karten wurde die Schweiz in elf Regionen unterteilt sowie in eine Matrix von Häufigkeiten, welche in Wiederkehrperioden in Jahren eingeteilt worden ist. Weiters erfolgte eine Einteilung in Hagelkornklassen, unterteilt nach Durchmesser in mm (siehe Tabelle 10). Die Geschwindigkeit und Auftreffenergie können der Tabelle 15 entnommen werden.⁷⁹

Tabelle 10: Mindestens zu erwartende Korngrößen (in mm) in den Klimazonen bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden (WP)⁸⁰

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

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

Gegenstand des zweiten Berichtes war die Entwicklung der Gebäudehüllen. Um die einzelnen Gebäudeklassen unterscheiden zu können, erfolgte eine Einteilung in Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Büro- und Verwaltungsgebäude, Sport und Kul-

⁷⁶ Vgl. <http://www.praeventionsstiftung.ch/listprojekte.asp?a=0&act=2> Datum des Zugriffs am 3.11.2009 um 13:47 Uhr.

⁷⁷ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 2.

⁷⁸ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 5.

⁷⁹ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 5ff.

⁸⁰ Egil Thomas; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Seite 52.

tur, Landwirtschaft sowie Industrie und Gewerbe. Zusätzlich wurden Baustoffe und Konstruktionsarten unterschieden (siehe z.B. Tabelle 11 bis Tabelle 13).⁸¹

Tabelle 11: Entwicklung der Baumaterialien bei Einfamilienhäusern⁸²

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

Tabelle 12: Entwicklung der Baumaterialien bei Büro- und Verwaltungsgebäuden⁸³

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

Tabelle 13: Entwicklung der Baumaterialien bei Industrie und Gewerbe⁸⁴

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

Tabelle 14 zeigt einen Kriterienkatalog über die Einschätzung des Hagelschadens.

⁸¹ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 10.

⁸² Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 10.

⁸³ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 12.

⁸⁴ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 15.

Tabelle 14: Systematisch zusammengestellte Kriterien zur Schadeneinschätzung.⁸⁵

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

⁸⁵ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 19.

3.2.3. Laborversuchsvorschriften der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)

3.2.3.1. Versuchsvorbereitung

Der Beschusswinkel ist vom Einsatzort der Materialien, welcher im Falle eines Daches bei 90° (siehe Abbildung 14) und bei einer Fassade bei 45° (siehe Abbildung 13) liegt, abhängig. Die Projektile können bei der Prüfung vertikal, horizontal oder schräg herausgeschossen werden, die Aufstellung des Prüfkörpers zur Abschussvorrichtung muss der Wirklichkeit entsprechen. Als Beschussort sollte jene Stelle gewählt werden, an der das Hagelkorn den größten Schaden anrichten kann. Jene Materialien, bei denen eine Temperaturabhängigkeit vorhanden ist, werden vor der Prüfung mit Eisschuppen vorbelastet.⁸⁶

Die Prüfung muss bei einer Raumtemperatur von 23 °C (± 2 °C) und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % (± 10 %) durchgeführt werden.⁸⁷

Die Herstellung der Eiskugeln erfolgt aus demineralisiertem Wasser, vor jeder Prüfung werden die Kugeln gewogen (Ableseteilung 0,01 g). Die Lagerung der Eiskugeln erfolgt bei -20 °C, die Entnahme mittels eines isolierten Handschuhes. Die Eiskugeln sind sowohl rissfrei als auch porenarm. Obwohl die Form des Hagels entscheidend für die Analyse des Schadens ist, werden nur Kugeln als Geschosse benutzt.⁸⁸

Die Messung der Geschwindigkeit, welche eine Genauigkeit von ± 1 % aufweisen muss, erfolgt mit einem Lichtschrankensystem 0,3 - 1 m vor dem Auftreffpunkt. Die Geschwindigkeit muss an zwei Stellen genau ablesbar sein. Die Auftreffgeschwindigkeit wird durch den Luftdruck gesteuert.⁸⁹

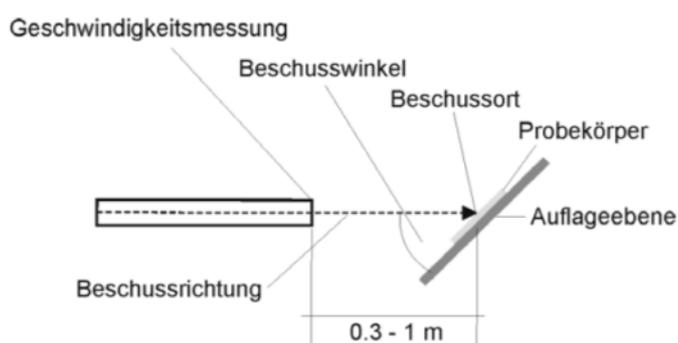


Abbildung 13: Horizontaler Beschuss mit einem Beschusswinkel von 45°⁹⁰

⁸⁶ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 9.

⁸⁷ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 9.

⁸⁸ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 9.

⁸⁹ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 10.

⁹⁰ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 8.

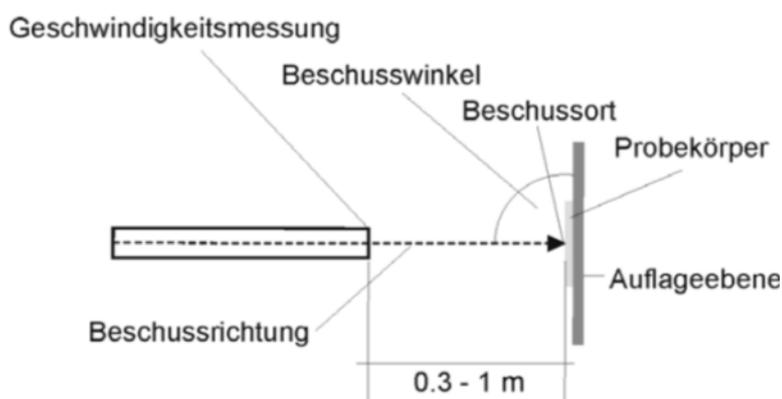


Abbildung 14: Horizontaler Beschuss mit einem Beschusswinkel von 90°⁹¹

3.2.3.2. Prüfungsdurchführung

Mittels eines Laborversuches wird versucht, den Hagelschlag zu simulieren. Der Beschuss erfolgt mit einem Einzelbeschussgerät (siehe Abbildung 15), welches das Geschoss pneumatisch antreibt. Eine Eiskugel mit einem Durchmesser von 10, 20, 30, 40 oder 50 mm wird auf das Prüfobjekt mit einer vordefinierten Geschwindigkeit (siehe Tabelle 15) geschossen. Um den Grenzfall festhalten zu können, wann genau ein Schaden eintritt, werden die Prüfkörper mit unterschiedlichen Hageldurchmessern und Aufprallgeschwindigkeiten beschossen. Jeder Bauteil muss separat geprüft werden. Will der Hersteller das Prüfobjekt auf eine Hagelwiderstandsklasse überprüfen, so muss diese Prüfung fünfmal hintereinander vorgenommen werden. Wenn es keine Beeinflussung durch den Hagelbeschuss gibt, können alle fünf Schüsse an einer Probe durchgeführt werden. Bleibt die Probe nach dem Beschuss schadfrei, kann diese in die Hagelwiderstandsklasse eingeteilt werden, in welcher sie geprüft wurde (siehe Abbildung 16). Stellt man während der Prüfung einen Schaden fest, muss die Prüfung in der niedrigeren Hagelwiderstandsklasse wiederholt werden.⁹²

Tabelle 15': Hagelwiderstandsklassen aufgrund der kinetischen Energie der Eiskugeln⁹³

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

⁹¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 9.

⁹² Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 10f.

⁹³ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 26.



Abbildung 15: Hagelkanone mit aufgebauten Ziegeln, Foto EMPA⁹⁴

⁹⁴ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle Seite 24.

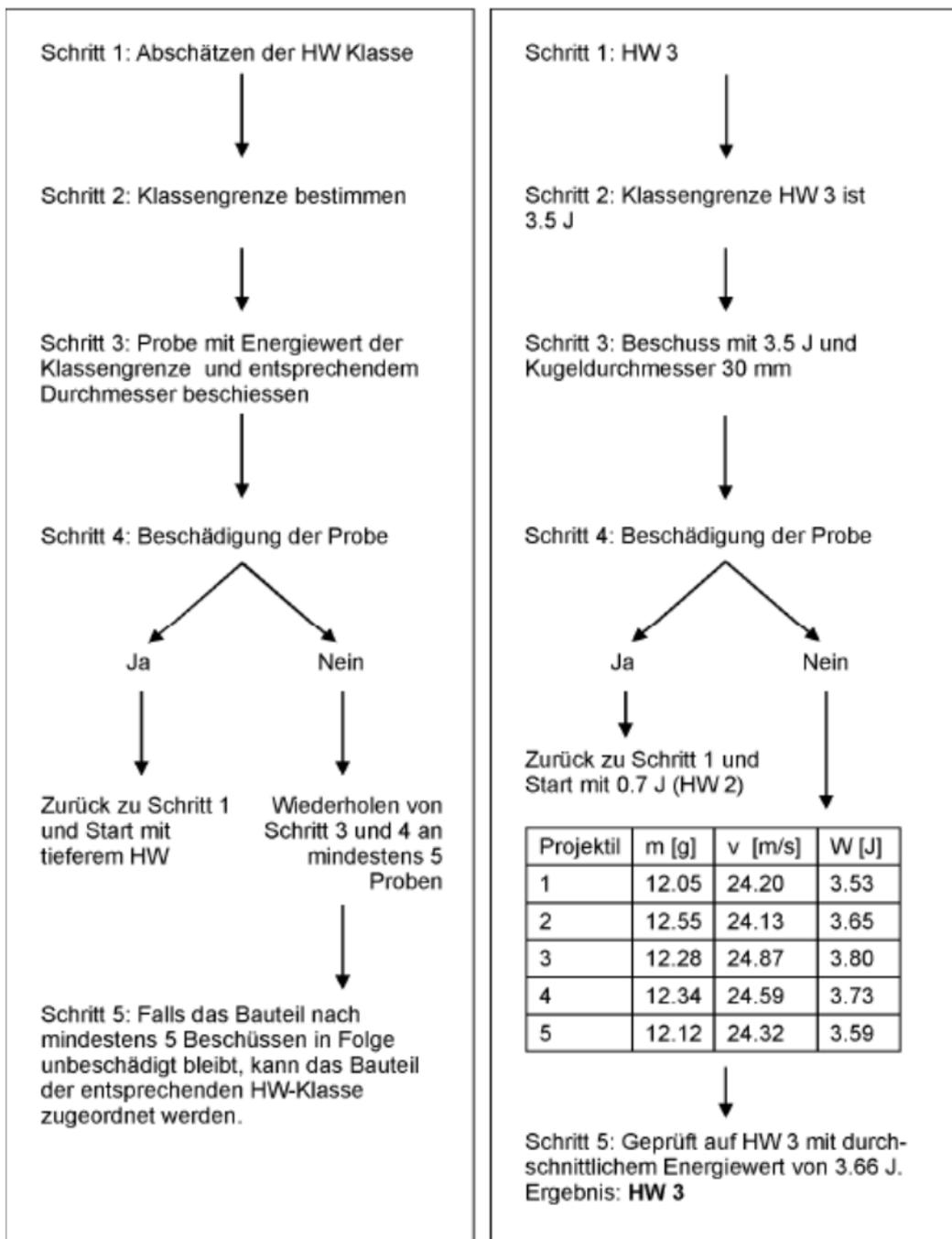


Abbildung 16: Schematischer Ablauf (links) und Beispiel (rechts) für die Versuchsdurchführung⁹⁵

Ob für jeden Versuch eine neue Probe benutzt werden muss oder auf derselben Probe mehrere Versuche durchgeführt werden kann, liegt im Ermessen des Prüfinstituts.⁹⁶

⁹⁵ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A Version 1.01; Seite 11.

⁹⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A“ Version 1.01; Seite 10.

3.2.4. Spezifische VKF-Richtlinien für unterschiedliche Materialien (Stand bis 31.12.2010)

3.2.4.1. Kunststoffplatte

Kunststoffplatten lassen sich nach vielfältigen Kriterien unterteilen:⁹⁷

Form: flach, Hohlkammerplatte, gewellt, trapezförmig, ...

Material: Kunststoffgruppe 1 – Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyethylenterephthalat (PET), (PETG), Styrol-Acrylnitril (SAN), Polyvinylchlorid (PVC-U) ; Kunststoffgruppe 2 – Polycarbonate (PC); duroplastische Kunststoffgruppe – glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), (VFK)

Einsatzort: Fassade oder Dach

Probekörper für flache Kunststoffplatten bzw. Hohlkammerplatten müssen eine Abmessung von 1 m Länge und 0,8 m Breite aufweisen. Die Befestigung erfolgt in einem Rahmenprofil. Bei profilierten Kunststoffplatten müssen Aufbau und Ausrichtung möglichst dem Aufbau der Realität entsprechend gewählt werden. Die Abmessung des Prüfkörpers soll zwischen 0,8 – 1 m² liegen.⁹⁸

Die Proben werden für mindestens drei Tage vor der Prüfung in der Klimakammer gelagert. Vor Durchführung der Prüfung ist es notwendig, die Oberfläche mittels Eisschuppen drei Minuten abzukühlen. Anschließend kann der Probekörper beschossen werden.⁹⁹

Die flachen Kunststoffplatten werden an zwei Orten beschossen: Einerseits im Eckbereich mit dem Abstand von 1/10 der jeweiligen Seitenlänge innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser von 25 mm und andererseits im Mittelfeld mit einem Radius von 150 mm. Der Prüfkörper kann mehrmals geprüft werden.¹⁰⁰

Bei der Prüfung von Hohlkammernprofilen werden zusätzlich die Bereiche im Zwischensteg sowie in der Nähe des Steges beschossen. Sind weitere Schwachpunkte bekannt, werden auch diese beschossen.¹⁰¹

⁹⁷ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 2.

⁹⁸ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 2.

⁹⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁰⁰ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 4.

¹⁰¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 4f.

Bei profilierten Kunststoffplatten liegen die Beschussorte an der Ecke und im Stoßbereich mit einem Randabstand von 1/5 des Projektildurchmessers. Dabei ist zu achten, dass der Beschussrand im Stoßbereich mindestens 75 mm betragen muss und dass jeder weitere Beschussort 150 mm entfernt sein muss. Zusätzlich wird allerdings bei gewellten Dachplatten im Wellental, in der Wellenmitte und im Wellenberg im 90°-Winkel beschossen (siehe Abbildung 17). Wird die gewellte Kunststoffplatte in der Fassade in horizontaler oder diagonaler Profilrichtung eingebaut, sollten die Elemente im Eck-, Stoßbereich und in der Wellenmittelhöhe in einem Winkel von 45° beschossen werden (siehe Abbildung 18). Ist die Profilrichtung vertikal, erfolgt der Beschuss gleich als ob es im Dachbereich eingebaut ist (siehe Abbildung 19).¹⁰²

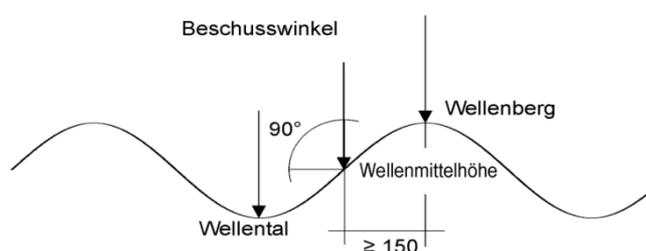


Abbildung 17: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) als Dachbauteil im Seitenriss (Maße in Millimetern)¹⁰³

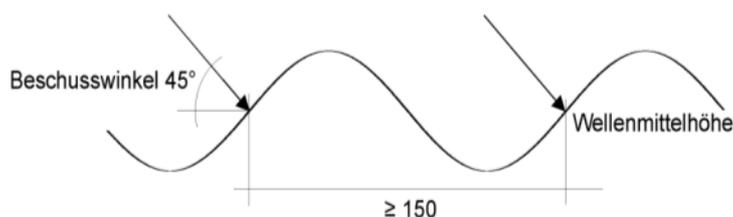


Abbildung 18: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) als Fassadenbauteil mit horizontaler oder diagonaler Profilrichtung im Seitenriss (Maße in Millimetern)¹⁰⁴

¹⁰² Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 4ff.

¹⁰³ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 6.

¹⁰⁴ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 6.

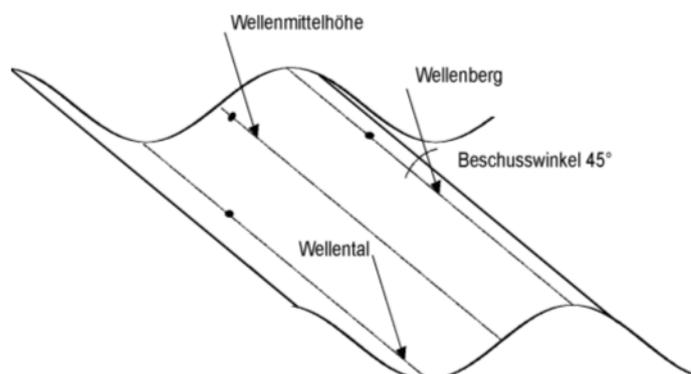


Abbildung 19: Beschussort und Beschusswinkel der profilierten Kunststoffplatte (hier am Beispiel der gewellten Kunststoffplatte) an einer Fassade bei vertikaler Ausrichtung der Welle¹⁰⁵

Nach dem Beschuss werden die Prüfkörper auf Wasserdichtheit, Lichtdurchlässigkeit und Aussehen überprüft. Bei der Kontrolle auf Wasserdichtheit wird vor allem nach Rissen und Perforationen gesucht.¹⁰⁶

Sollten die Schäden nicht mit bloßem Auge erkennbar sein, werden diese mit einem Vakuumtestgerät, wie in der EN 13583 angegeben (siehe Abbildung 5), überprüft. Wird ein Mangel festgestellt, gilt der Prüfkörper bei der Prüfung als durchgefallen.¹⁰⁷

Eine Oberflächenveränderung oder ein Materialdefekt geben Aufschluss über die Kriterien Aussehen und Lichtdurchlässigkeit. Bei einer PMMA-Platte gilt ein zusätzliches Kriterium: Sie gilt auch dann als durchgefallen, wenn eine Mikroverstreckung im Prüfobjekt auftritt. Kennzeichen dafür bilden bläulich-weiße Flecken. Bei Prüfung der Lichtdurchlässigkeit werden visuell im Abstand von fünf Metern mithilfe eines Gegenlichtes die Mikroverstreckung oder innere Materialdefekte begutachtet.¹⁰⁸

Das Aussehen des Prüfobjektes wird mithilfe eines Schräglichtes kontrolliert. Der vorgesehene Abstand zwischen Prüfkörper und Prüfer liegt bei fünf Metern.¹⁰⁹

¹⁰⁵ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 7.

¹⁰⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 7f.

¹⁰⁷ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 7f.

¹⁰⁸ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 7f.

¹⁰⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Version 1.01; Seite 1.

3.2.4.2. Lichtkuppeln

Lichtkuppeln unterscheiden sich nur hinsichtlich des Materials (Glas oder Kunststoff). Eine notwendige Voraussetzung ist, dass die Prüfkörper die gleichen Abmessungen und Befestigungen wie im eingebauten Zustand aufweisen. Besteht die Lichtkuppel aus Glas, muss diese nicht vorgelagert werden, sondern wird vor dem Beschuss benässt. Kunststoffkuppeln müssen allerdings mindestens drei Tage vor der Prüfung gelagert werden. Kunststoffkuppeln werden, ebenso wie Kunststoffplatten, drei Minuten mit Eisschuppen abgekühlt.¹¹⁰

Der Beschuss der Kuppel erfolgt an drei verschiedenen Orten im Winkel von 90° (siehe Abbildung 20):¹¹¹

in der Mitte der Kuppel innerhalb eines Kreises mit einem Radius von 300 mm,
in der Rand- und Eckzone und bei den Befestigungspunkten sowie
an der schwächsten Stelle des Testobjektes.

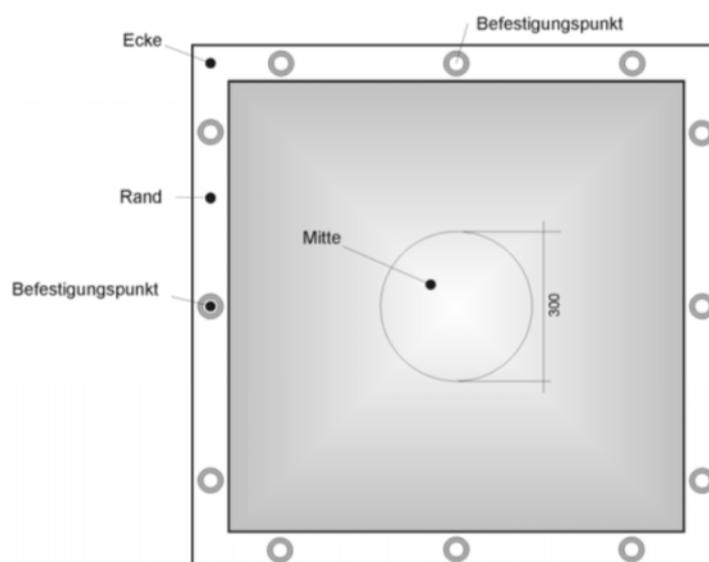


Abbildung 20: Beschussorte an der Lichtkuppel: Mitte und Randzone (Ecke, Rand, Befestigungspunkte)
(Maße in Millimetern)¹¹²

Nach dem Beschuss wird die Lichtkuppel auf die Funktionen Wasserdichtheit, Mechanik von Öffnungs- und Schließmechanismus sowie Aussehen überprüft. Besteht

¹¹⁰ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppel“ Version 1.01; Seite 2.

¹¹¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppel“ Version 1.01; Seite 3.

¹¹² Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppel“ Version 1.01; Seite 3.

die Lichtkuppel aus Kunststoff, wird sie zusätzlich auf Lichtdurchlässigkeit überprüft.¹¹³

Weist die oberste Schicht der Lichtkuppel nach der Prüfung einen oder mehrere Risse bzw. einen Bruch auf, verliert sie die Funktion der Wasserdichtheit. Die Kontrolle auf Wasserdichtheit erfolgt visuell im Abstand von maximal einem Meter. Zur Überprüfung der Mechanik muss die Kuppel nach erfolgtem Beschuss fünfmal geöffnet werden. Ist dies ohne Schwierigkeiten möglich, so gilt die Lichtkuppelmechanik als unbeschädigt. Ist keine Oberflächenveränderungen ersichtlich, gilt diese als unbeschädigt. Bei einer Kontrolle auf Oberflächenveränderung ist es wichtig darauf zu achten, ob die untere Schicht Risse oder Brüche aufweist. Diese Überprüfung erfolgt visuell in einem Abstand von fünf Metern. Die Überprüfung der Lichtdurchlässigkeit und die Schadenskriterien entsprechen jenen der Kunststoffplatten.¹¹⁴

3.2.4.3. Putz auf Außendämmung

Um einen T-förmigen Stoß zu erhalten besteht der Prüfkörper aus drei Dämmplatten, welche auf einem biegesteifen Untergrund befestigt werden. Die Abmessungen des Prüfkörpers müssen 1,2 m in der Breite und 1 m in der Höhe betragen (siehe Abbildung 21).¹¹⁵

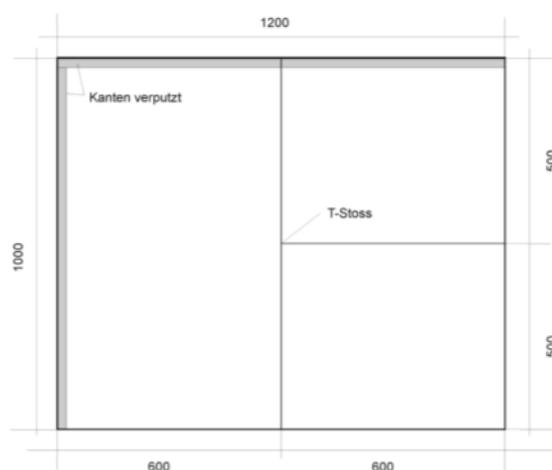


Abbildung 21: Versuchsaufbau Putz mit drei Außendämmplatten (Maße in Millimetern)¹¹⁶

¹¹³ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppel“ Version 1.01; Seite 3f.

¹¹⁴ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppel“ Version 1.01; Seite 3f.

¹¹⁵ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Aussendämmung“ Version 1.01; Seite 2.

¹¹⁶ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 2.

Weiters wird der Prüfkörper auf einem kippbaren Rahmen befestigt. Der Außenputz muss zum Zeitpunkt der Prüfung mindestens 28 Tage alt sein. Bevor die Prüfung durchgeführt werden kann, muss der Außenputz mit einem nassen Schwamm vorbehandelt werden. Diese Benässung findet dreimal im Intervall von 30 s statt. Der anschließende Beschuss erfolgt zwischen 1 und 2 Minuten nach dem letzten Benässen.¹¹⁷

Der Prüfkörper wird an folgenden drei Stellen beschossen (siehe Abbildung 22):¹¹⁸

In der Fläche der Dämmung mit einem Randabstand von 75 mm; der Abstand der Auftreffpunkte muss mindestens 150 mm betragen.

Am Rand mit einem Abstand von 1/5 des Projektildurchmessers, wobei auch hier gilt, dass der Zwischenraum der einzelnen Beschusspunkte mindestens 150 mm betragen muss.

In der Stoßzone, welche eine Breite von 50 mm aufweist. Der Abstand der Auftreffpunkte liegt ebenso bei 150 mm. Getestet wird an jenem Punkt, an dem alle drei Platten zusammentreffen.

Der Prüfkörper, der aus drei Platten besteht, kann mehrmals beschossen werden, dabei beträgt der Beschusswinkel 45 °. Nach der Prüfung wird der Prüfkörper auf Wasserdichtheit und Aussehen kontrolliert.¹¹⁹

Um die Funktion Wasserdichtheit gewährleisten zu können, darf der Prüfkörper nach dem Beschuss keine Risse aufweisen. Kontrolliert wird dies visuell mithilfe einer Lupe (sechsfache Vergrößerung). Beschussorten, bei denen keine eindeutige Beschädigung feststellbar ist, werden mit einem Färbungsmittel benässt und nach einer Stunde aufgeschnitten. Ist eine Färbung ersichtlich, gilt der Prüfkörper als durchgefallen. Ebenso wird kontrolliert, ob sich der Putz von der Dämmung gelöst hat.¹²⁰

Um das Aussehen zu begutachten wird der Prüfkörper auf Dellen oder andere Oberflächenveränderungen untersucht. Diese Kontrolle kann visuell mithilfe eines Schräglichtes im Abstand von fünf Metern vom Prüfkörper durchgeführt werden.¹²¹

¹¹⁷ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 2.

¹¹⁸ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 3.

¹¹⁹ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 4.

¹²⁰ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 4.

¹²¹ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Version 1.01; Seite 4.

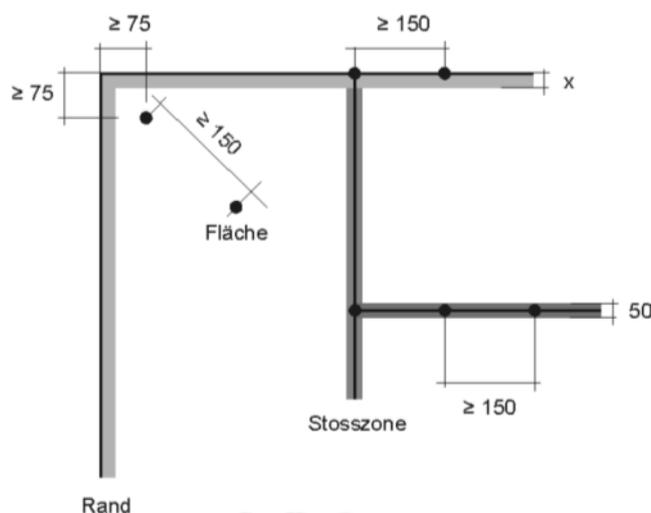


Abbildung 22: Beschussorte für den Putz im Grundriss. Fläche, Rand und Stoßzone ($x = 1/5$ Projektil-durchmessers, Maße in Millimetern)¹²²

3.2.4.4. Faserzementplatte

Fünf Faserzementplatten pro m^2 bezeichnen großflächige Platten, darunter werden sie als kleinflächige Platten benannt. Der Einsatzort liegt am Dach und an der Fassade.¹²³

Um die Prüfung durchführen zu können, ist es notwendig, den Prüfkörper der Realität entsprechend aufzubauen. Die Fläche soll zwischen $0,8 - 1 m^2$ liegen. Bei der Prüfung muss der Prüfkörper aus mindestens zwei Platten bestehen. Wird hingegen Faserzementschiefer getestet, muss der Prüfkörper mindestens drei Reihen aufweisen, welche aus mindestens vier Schiefen bestehen müssen. Diese Konstruktion wird auf einem Rahmen befestigt.¹²⁴

Der verwendete Prüfkörper muss mindestens 28 Tage alt sein und drei Tage vor der Prüfung in einer Prüfkammer gelagert werden. Bevor die Prüfung durchgeführt werden kann, ist es notwendig, den Prüfkörper mit einem nassen Schwamm vorzubehandeln. Diese Behandlung sowie das vorgegebene Zeitintervall entsprechen der Prüfung von Putz an Außenwänden.¹²⁵

Die Auftreffpunkte bei flachen Faserzementplatten liegen im Eck- und Stoßbereich. Der T-Stoß wird nur bei Faserzementplatten beschossen, welche einen stumpfen

¹²² Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außen-dämmung“ Version 1.01; Seite 4.

¹²³ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 2.

¹²⁴ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 2.

¹²⁵ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 2.

Stoß besitzen. Dabei gilt für den Eckbereich ein Abstand von $1/5$ des Projektdurchmessers der Ränder. Für den Stoßbereich gelten auf der Mittellinie ein Mindestabstand von 75 mm vom Rand sowie ein Abstand von $1/5$ des Projektdurchmessers (siehe Abbildung 23).¹²⁶

Bei profilierten Faserzementplatten, eingesetzt im Dachbereich, liegen die Aufprallpunkte im Wellental, in der Wellenmittelhöhe, am Wellenberg, am Stoß auf der Mittellinie, am Stoß am Rand und im Eckbereich (siehe Abbildung 17). Die Abstandsangaben entsprechen jenen der flachen Faserzementplatten. Ist die Profilierung horizontal oder diagonal, werden diese nur im Eckbereich und in der Wellenmittelhöhe beschossen (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19).¹²⁷

Es ist nicht notwendig, für jeden Beschuss einen Probekörper zu benützen und der Abstand zwischen den einzelnen Beschussorten darf nicht unter 150 mm liegen.¹²⁸

Wird flacher Faserzementschiefer geprüft, liegen die Beschusspunkte am Rand, im Eck- und im Stoßbereich. Bei profilierten Faserzementschiefern liegen die Beschusspunkte zusätzlich wie in Abbildung 17 und Abbildung 18. Im Stoßbereich wird die darunterliegende Zementschieferplatte beschossen (siehe Abbildung 24).¹²⁹

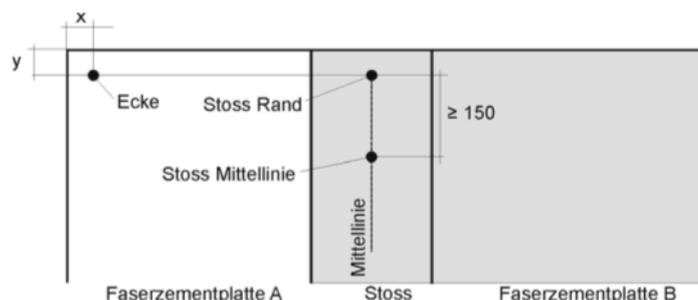


Abbildung 23: Beschussort Ecke, Stoß Rand und Stoß Mittellinie im Grundriss bei der Faserzementplatte
($x = y = 1/5$ Projektdurchmesser, Maße in Millimetern)¹³⁰

¹²⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 3.

¹²⁷ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 4f.

¹²⁸ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 4f.

¹²⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 6.

¹³⁰ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 3.

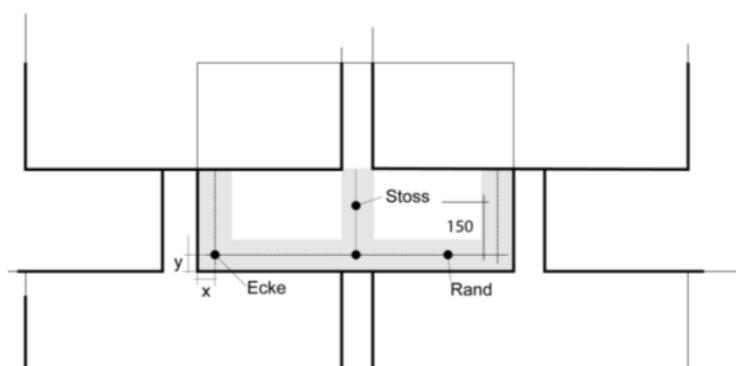


Abbildung 24: Beschussorte im Grundriss bei schieferartigem Faserzement ($x = y$: 1/5 Projektildurchmessers)¹³¹

Nach erfolgter Prüfung wird der Prüfkörper auf Wasserdichtheit und Aussehen kontrolliert. Weist das Prüfobjekt keinen Riss oder Bruch auf, gilt die Prüfung auf Wasserdichtheit als bestanden. Die Risse werden mithilfe einer Lupe mit 6-facher Vergrößerung untersucht. Können keine Risse festgestellt werden, wird der Prüfkörper mit Wasser benetzt, um so die Risse bei der Verdunstung im Abstand von 0,5 m beobachten zu können. Bei der Kontrolle des Aussehens darf das Prüfobjekt keine Dellen, Absplitterungen oder Abplatzungen größer als 1 cm² aufweisen. Sind diese größer, gilt der Prüfkörper als durchgefallen. Die Kontrolle des Testobjektes erfolgt bei Schräglicht und bei einem Abstand von fünf Metern.¹³²

3.2.4.5. Flachverglasung

Diese Prüfung kann bei Floatglas, Einscheibensicherheitsglas (ESG), Isolierglas, Verbundsicherheitsglas (VSG) und bei Drahtglas angewendet werden. Der Einsatzzweck der Gläser kann im Dach- oder Fassadenbereich liegen. Die Abmessungen laut dieser Richtlinie liegen bei einer Länge von 1 m und einer Breite von 0,8 m.¹³³

Für die Prüfung ist es erforderlich, den Prüfkörper allseitig zu befestigen und die Oberfläche anzunässen. Die Auftreffpunkte liegen einerseits in der Feldmitte in einem Radius von 150 mm und andererseits 1/10 der jeweiligen Seitenlänge in der Ecke in einem Radius von 50 mm (siehe Abbildung 25).¹³⁴

¹³¹ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 6.

¹³² Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 7.

¹³³ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 2.

¹³⁴ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 2f.

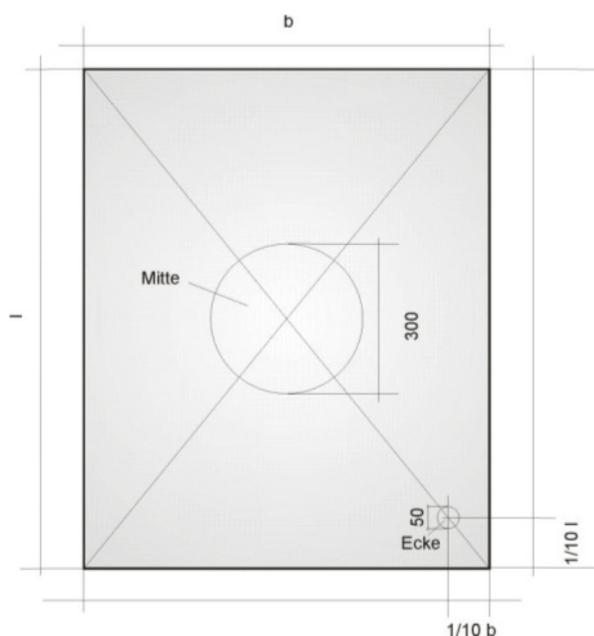


Abbildung 25: Beschuss der Verglasung an den Beschussorten Mitte und Ecke im Grundriss¹³⁵

Nach erfolgter Prüfung wird der Prüfkörper auf Wasserdichtheit und Aussehen kontrolliert. Bleibt der Prüfkörper riss- und bruchfrei, hat er die Hagelwiderstandsklasse erreicht. Die Kontrolle hierfür erfolgt visuell, dabei dürfen bei der Überprüfung des Aussehens keine Abplatzungen, keine Delaminationen und keine Oberflächenveränderungen vorhanden sein. Diese Kontrolle erfolgt aus einem Abstand von fünf Metern unter der Zuhilfenahme eines Schräglichtes.¹³⁶

3.2.4.6. Dichtungsbahnen

Nach dieser Prüfung werden nur Abdichtungsbahnen mit einem Einsatzort am Dach inklusive Eck- und Anschlussdetails geprüft. Der Prüfkörper wird vollflächig auf einen fixen Untergrund montiert. Die Abmessung der Dichtungsbahn liegt bei einer Breite von 350 mm und einer Länge von mindestens 1 m.¹³⁷

Wie schon bei der Norm EN 13583 wird der Probekörper auf zwei verschiedenen Untergründen montiert und getestet. Die Vorlagerung des Prüfobjekts erfolgt für mindestens einen Tag in der Prüfklimakammer. Vor der Prüfung muss der Prüfkörper

¹³⁵ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 3.

¹³⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Flachverglasung“ Version 1.01; Seite 3f.

¹³⁷ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 2.

drei Minuten mit Eis bedeckt sein. Besteht der Untergrund aus einer Stahlplatte, so muss diese auf 10 °C abgekühlt werden.¹³⁸

Der Beschussort liegt mindestens 75 mm vom Rand entfernt und der Mindestabstand zwischen zwei Auftrefforten liegt bei 150 mm (siehe Abbildung 26). Der Beschusswinkel liegt bei 90°. Je Prüfkörper können mehrere Schüsse erfolgen.¹³⁹

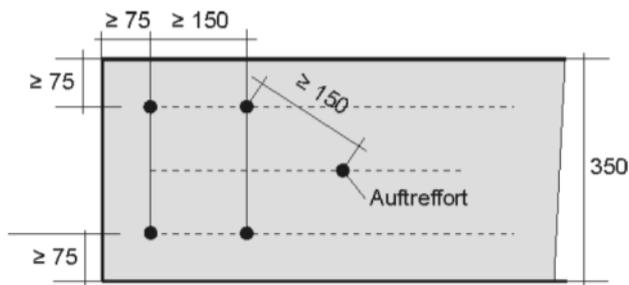


Abbildung 26: Beschussort bei Dichtungsbahnen im Grundriss (Maße in Millimetern)¹⁴⁰

Nach erfolgter Prüfung wird der Prüfkörper auf Wasserdichtheit kontrolliert. Weist er keine Perforation auf, hat er die Widerstandsklasse erreicht. Gemessen wird wie nach EN 13583.¹⁴¹

Für Dichtungsbahnen, welche schon nach EN 13583 geprüft worden sind, gibt es eine Umrechnungstabelle (siehe Tabelle 16), damit keine erneute Prüfung durchgeführt werden muss.¹⁴²

¹³⁸ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 2.

¹³⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁴⁰ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁴¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁴² Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 4.

Tabelle 16: Zuordnung der Werte nach EN 13583 in HW 1 - 5¹⁴³

Kunststoff und Elastomerbahnen		
	V_{Schaden} [m/s]	HW
Widerstand gegen Hagel, bei hartem Untergrund	≥15	4
Widerstand gegen Hagel, bei hartem Untergrund	≥25	5
Widerstand gegen Hagel, bei weichem Untergrund	≥20	4
Widerstand gegen Hagel, bei weichem Untergrund	≥30	5
Polymerbitumenbahn		
Widerstand gegen Hagel, bei hartem Untergrund	≥15	4
Widerstand gegen Hagel, bei hartem Untergrund	≥20	5
Widerstand gegen Hagel, bei weichem Untergrund	≥20	4
Widerstand gegen Hagel, bei weichem Untergrund	≥30	5
V _{Schaden} : Schädigungsgeschwindigkeit für Dichtungsbahnen geklebt, mechanisch Befestigt, bekiest		
HW: Hagelwiderstandsklasse		

3.2.4.7. Rollläden

Unterschieden werden können hierbei Rollläden nach Art des Materials: Holz, Kunststoff oder Metall. Rollläden können im Fassaden- oder Dachbereich eingesetzt werden. Das Prüfobjekt muss aus allen Originalbauteilen bestehen und eine Mindestabmessung von 1 m Breite und 2 m Länge aufweisen. Das Testobjekt wird auf eine kippbare Unterkonstruktion montiert. Liegt das Testobjekt horizontal, so muss eine Zugeinrichtung eingebaut werden, damit der gleiche Effekt erreicht werden kann, wie wenn es vertikal eingebaut wird, weil es normalerweise durch das Eigengewicht unter Zug steht.¹⁴⁴

Ist der Rollladen aus Metall oder Kunststoff gefertigt, so ist keine Vorlagerung des Prüfobjektes erforderlich, Holzrollläden hingegen müssen mindestens drei Tage vorgelagert werden. Vor der Prüfung müssen Kunststoffrollläden an der Oberfläche drei Minuten mit Eis abgekühlt werden. Rollläden, welche aus Metall bestehen, müssen nicht vorbehandelt werden, die Oberfläche bei Holzrollläden muss mit einem nassen Schwamm in einem Intervall von 30 s behandelt werden. Nach der Benässung gilt, dass die Oberfläche zwischen der ersten und zweiten Minute beschossen werden muss.¹⁴⁵

Der Beschussort liegt in der Mitte und am Stoß. Die Mindeststrandabstände liegen bei 75 mm und der Mindestabstand zwischen den einzelnen Auftreffpunkten liegt bei 150 mm (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28).¹⁴⁶

¹⁴³ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Version 1.01; Seite 4.

¹⁴⁴ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁴⁵ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“ Version 1.01; Seite 2f.

¹⁴⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“

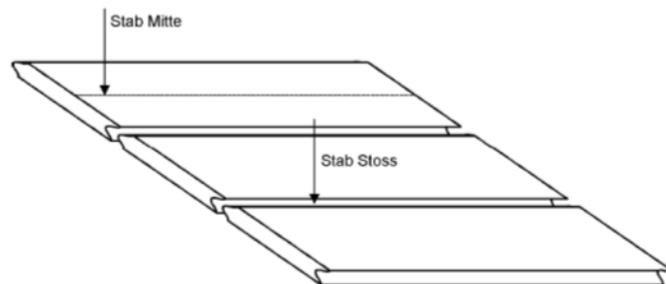


Abbildung 27: Beschussort beim Rollladen¹⁴⁷

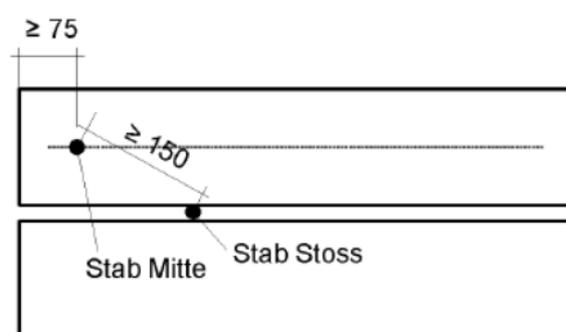


Abbildung 28: Beschussorte im Grundriss der Rollladenoberfläche (Maße in Millimetern)¹⁴⁸

Nach dem Beschuss wird das Testobjekt auf Lichtabschirmung, Mechanik und Aussehen überprüft. Bei der Überprüfung der Mechanik wird der Rollladen fünfmal auf- und abgefahren. Gibt es dabei keine Störung, hat er den Hagelwiderstand erreicht. Ist der Rollladenschlitz zwischen den Stäben um nicht mehr als 1 mm größer geworden, hat er die Hagelwiderstandsklasse erreicht. Für die Überprüfung des Kriteriums Lichtdurchlässigkeit gilt, dass Rollläden, die aus Kunststoff oder Holz bestehen keine Lochbildung im Stoßbereich aufweisen dürfen. Das Kriterium der Lichtabschirmung wird mit einem Längenmaß sowie durch das visuelle Absuchen des Testobjekts nach Löchern gemessen. Bei allen Arten von Rollläden darf nach der Prüfung bei der Kontrolle des Aussehens keine Dellenbildung ersichtlich sein. Ist der Rollladen aus Holz oder Kunststoff gefertigt, dann dürfen nach der Prüfung weder Risse noch Löcher ersichtlich sein, andernfalls fällt das Testobjekt durch. Bei einem Holzrollladen muss zusätzlich die Absplinterung von Holzteilen untersucht werden. Die Überprüfung des Aussehens erfolgt visuell. Bei Metallrollläden wird dies mithilfe von Schräglicht untersucht.¹⁴⁹

Version 1.01; Seite 3.

¹⁴⁷ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁴⁸ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁴⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollläden“ Version 1.01; Seite 4ff.

3.2.4.8. Metall-Raffstoren

Der Einsatzort liegt im Dach- und Fassadenbereich. Für den Beschuss muss das Testobjekt mit allen Originalteilen montiert werden. Die Mindestbreite liegt bei 1 m und die Mindestlänge bei 2 m. Der Probekörper muss auf einem kippbaren Rahmen montiert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Lamellen schwenkbar bleiben. Der Probekörper muss weder vorgelagert noch vorbehandelt werden. Als Beschussorte gelten die Lamellenmitte (Feldmitte zwischen den Führungsschienen), der Lamellenstoß (Verbindungsfläche zwischen den Raffstoren), die Führungsrippe beim Raffstore (Verbindeteil Lamelle mit Führungsschiene) und Führungsstanze beim Raffstore (die Öse für die Zugschnur) (siehe Abbildung 29).¹⁵⁰

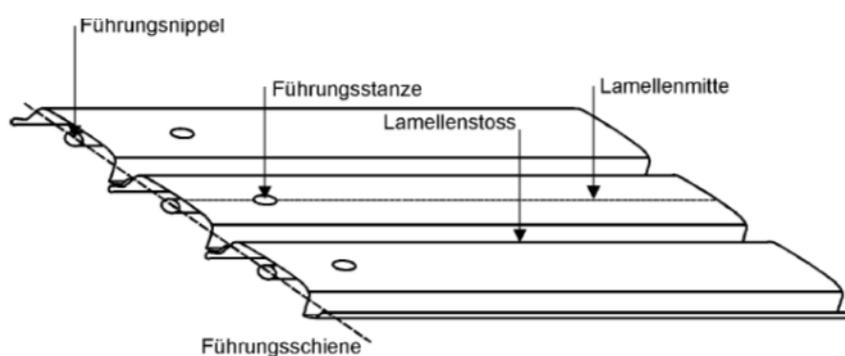


Abbildung 29: Beschussorte am Raffstore¹⁵¹

Auf der obersten und untersten Lamelle wird keine Prüfung durchgeführt. Der Mindestabstand beträgt 75 mm und der Mindestabstand zwischen den einzelnen Beschussorten liegt bei 150 mm. Es können mehrere Beschüsse auf einem Prüfobjekt durchgeführt werden. Wenn das Testobjekt als Fassadenbauteil eingesetzt wird, beträgt der Beschusswinkel im geschlossenen Zustand 45° und im halb offenen Zustand 90° . Bei geöffnetem Zustand kann der Lamellenstoß nicht geprüft werden (siehe Abbildung 30). Ist der Einsatzort des Raffstores im Dachbereich, wird er an allen vier Beschusspunkten im geschlossenen Zustand mit einem Beschusswinkel von 90° beschossen.¹⁵²

¹⁵⁰ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Metall - Raffstoren“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁵¹ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Metall - Raffstoren“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁵² Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Metall - Raffstoren“ Version 1.01; Seite 3.

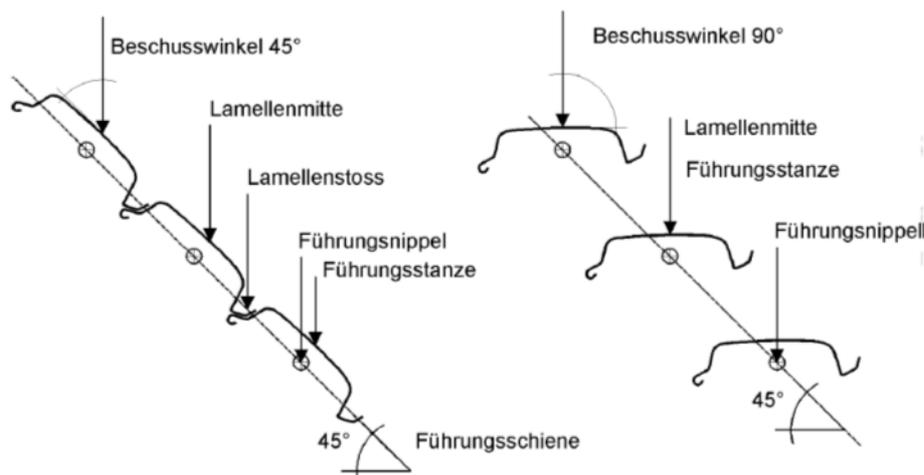


Abbildung 30: Beschussorte und Beschusswinkel bei Raffstoren als Fassadenbauteil im Seitenriss. Links im geschlossenen Zustand und rechts mit geöffneten Lamellen¹⁵³

Geprüft wird das Testobjekt auf Lichtabschirmung, Mechanik und Aussehen. Ist der Lichtspalt zwischen den Lamellen um mehr als 1 mm breiter geworden, ist das Testobjekt durchgefallen. Für die Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Mechanik wird der Raffstore fünfmal aus- und eingefahren und die Lamellen müssen sich fünfmal öffnen und schließen. Das Kriterium Aussehen ist dann erfüllt, wenn in fünf Metern Entfernung vom Testobjekt mithilfe von Schräglicht keine Dellen sichtbar sind.¹⁵⁴

3.2.4.9. Ziegel

Hierbei wird zwischen Tonziegeln, Betonziegeln, Glasziegeln, Blechziegeln und Formziegeln (z.B. First, Ortgang,...) unterschieden. Der Einsatzort liegt im Dach- oder Fassadenbereich. Der Versuchsaufbau besteht aus mindestens drei Reihen zu je vier Ziegeln. Die Ziegel müssen so auf dem Tragsystem befestigt werden, wie sie letztendlich im endgültigen Zustand eingebaut und montiert werden sollen. Dabei müssen alle Originalteile mitaufgebaut werden. Die Prüffläche soll zwischen 0,8 und 1 m² liegen. Bei Formziegeln soll der Prüfkörper im Verbund aufgestellt werden. Das Prüfobjekt wird auf einem kippbaren Rahmen befestigt. Besteht das Testobjekt aus Ton oder Beton, so soll das Prüfobjekt mindestens 28 Tage alt sein. Es muss mit einem nassen Schwamm dreimal im Intervall von 30 s benässt werden. Nach dieser Vorbehandlung muss der Beschuss zwischen der ersten und zweiten Minute erfolgen.¹⁵⁵

¹⁵³ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Metall - Raffstoren“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁵⁴ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes Metall - Raffstoren“ Version 1.01; Seite 4.

¹⁵⁵ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Ziegel“

Die Testobjekte werden an zwei unterschiedlichen Stellen beschossen, einerseits in der Mitte und andererseits an den Ecken mit einem Randabstand von $1/5$ des Projektildurchmessers (siehe Abbildung 31).¹⁵⁶

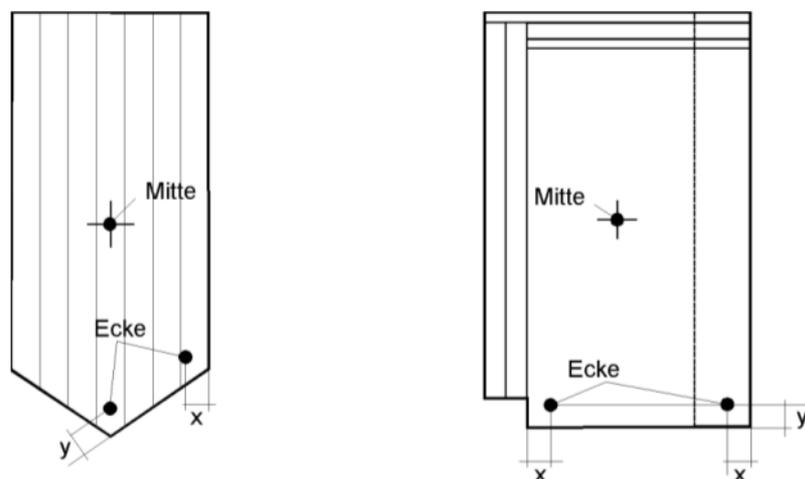


Abbildung 31: Beschussorte im Grundriss für den Ziegel ohne Falz (links) und den Falzziegel (rechts).

Maße in Millimetern¹⁵⁷

Für alle Ziegel gibt es Anforderungen bezüglich der Kriterien Wasserdichtheit und Aussehen. Nur für Glasziegel gibt es zusätzlich die Anforderung der Lichtdurchlässigkeit. Für die Überprüfung des Aussehens von Ton- und Betonziegeln dürfen keine Absplitterungen von mehr als 1 cm vorliegen. Für das Kriterium der Wasserdichtheit von Ton- und Betonziegeln muss das Prüfobjekt bruch- und rissfrei sein. Ist kein Riss oder Bruch mit dem bloßen Auge zu erkennen, muss die Klangprüfung durchgeführt werden. Durch das Anklopfen mit einem Hammer entsteht eine Schallwelle, welche bei Tonziegeln mit Rissen einen dumpferen Klang ergibt als bei rissfreien Ziegeln. Für die Wasserdichtheit von Blechziegeln darf das Testobjekt nach dem Beschuss maximal 5 mm vom Ursprung entfernt sein; zusätzlich dürfen keine Deformationen vorkommen – ein Blechziegel darf keinerlei Dellen aufweisen.¹⁵⁸

Version 1.01; Seite 2f.

¹⁵⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Ziegel“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁵⁷ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Ziegel“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁵⁸ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Ziegel“ Version 1.01“ Version 1.02; Seite 4f.

3.2.4.10. Bitumenplatte

Das Testobjekt hat eine Abmessung von 0,8 – 1 m² und wird mit originalen Befestigungsteilen auf eine Konstruktion montiert. Das Testobjekt wird mindestens 28 Tage vorgelagert und vor dem Beschuss drei Minuten mit Eis abgekühlt. Flache Bitumenplatten weisen die gleichen Beschusspunkte wie Faserzementplatten auf (mit Ausnahme des T-Stoß-Beschusses). Profilierte Bitumenplatten können bezüglich der Beschusspunkte mit profilierten Kunststoffplatten verglichen werden (siehe Kapitel 3.2.4.1).¹⁵⁹

Nach erfolgtem Beschuss werden die Bauteilfunktionen auf Wasserdichtheit und Aussehen überprüft. Die Wasserdichtheit gilt als gewährleistet, wenn nach dem Beschuss keine Risse vorhanden sind. Diese Untersuchung erfolgt visuell mithilfe einer Vakuum- bzw. Druckglocke (siehe Abbildung 5) und Seifenlösung nach der EN 13583. Bei der Untersuchung des Aussehens dürfen nach dem Test keine Dellen oder Oberflächenveränderungen ersichtlich sein. Das Aussehen wird mithilfe des Schräglichtes überprüft.¹⁶⁰

3.2.4.11. Fenster- und Türläden

Für die Prüfung wird die Fläche in der Fassade oder im Dachbereich. Die Abmessungen der Abschlussfläche der Probekörper müssen bei Fensterläden 0,5 m² und bei Türläden 1 m² besitzen. Die Probekörper werden inklusive der Beschläge geprüft. Der Probekörper muss so eingebaut werden, dass bei der Durchführung der Prüfung sowohl im geschlossen als auch im geöffneten Zustand geprüft werden kann. Die Vorbehandlung und Vorlagerung sind wie bei den anderen Prüfungen, welche aus dem gleichen Material bestehen (Holzläden – Schindeln; Metallläden – Metall-Raffstore; Kunststoffläden – Kunststoffplatten), identisch.¹⁶¹

Die Beschussorte sind in der Ecke des Ladens im Kantenbereich mit einem Randabstand von 1/5 des Projektildurchmessers, mit dem gleichen Randabstand in der Fläche des Ladens oder der Lamellen und mit einem Abstand von 1/5 des Geschossdurchmessers bei der Kante neben den Beschlägen (siehe Abbildung 32) positioniert.¹⁶²

¹⁵⁹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Bitumenplatte“ Version 1.01; Seite 2ff.

¹⁶⁰ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Bitumenplatte“ Version 1.01; Seite 4f.

¹⁶¹ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes – Fenster- und Türläden“ Version 1.01; Seite 2f.

¹⁶² Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türläden“ Version 1.01; Seite 3.

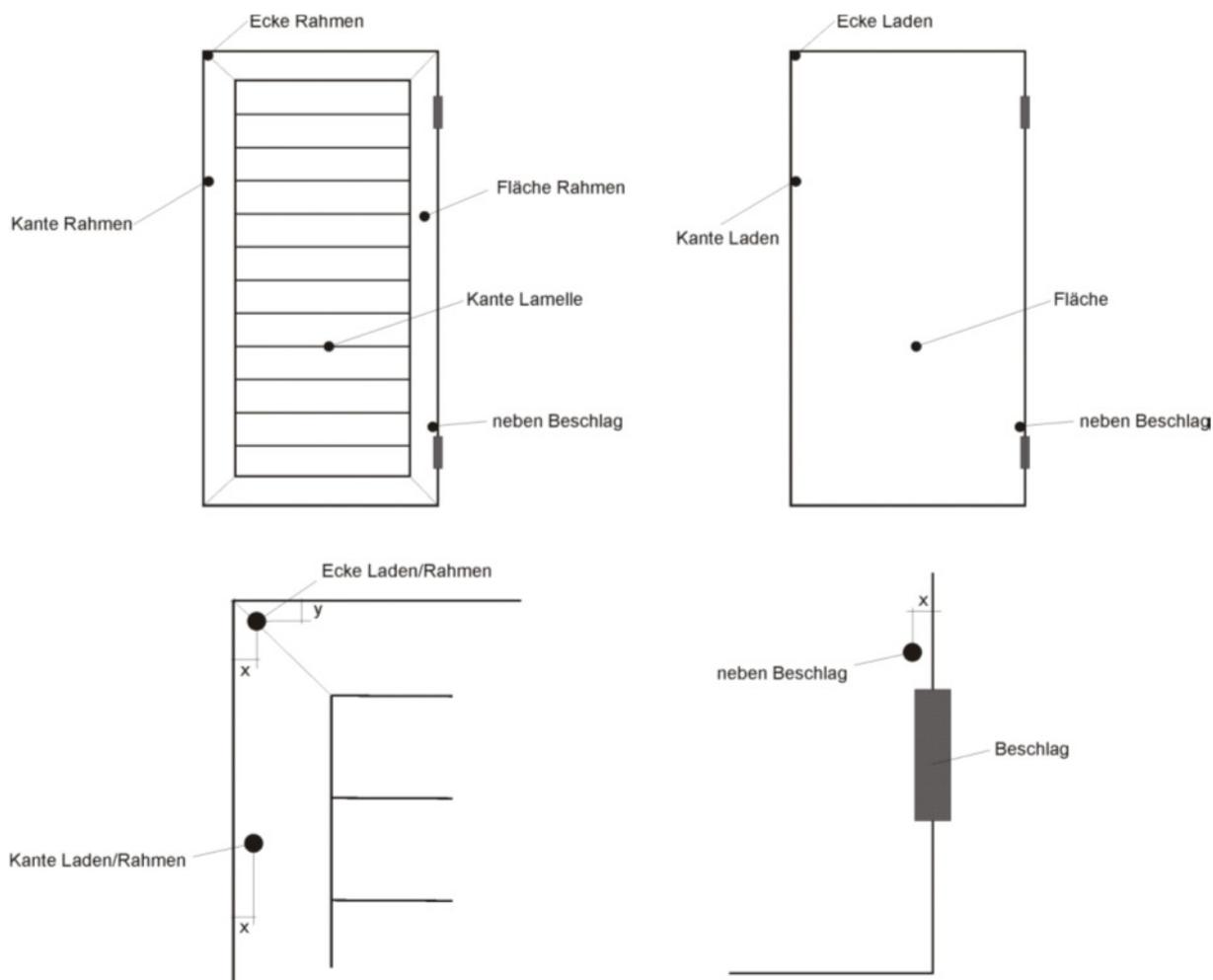


Abbildung 32: Beschussorte bei Fensterläden und Türläden¹⁶³

Überprüft werden die Bauteilfunktionen auf Lichtabschirmung, Aussehen und Mechanik (das Öffnen und Schließen der Probekörper). Die Schadenskriterien und Messmethoden sind gleich wie bei der Prüfung von Rollläden.¹⁶⁴

3.2.4.12. Fenster- und Türprofile

Unterschieden werden die Probekörper durch das Material. Es wird nur auf der Außenseite des Profils getestet. Der Probekörper kann seinen Einsatzzweck im Dach oder Fassadenbereich haben. Für den Beschuss kann der Probekörper als Ganzes geprüft werden oder als Einzelprofil mit mindestens einem Winkelteil. Für die Prüfung werden die Flügelprofile mit dem Rahmenprofil wie im Originalzustand zusammen-

¹⁶³ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türläden“ Version 1.01; Seite 4.

¹⁶⁴ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türläden“ Version 1.01; Seite 5f.

gebaut. Die Größe des Bauteils ist gleich wie bei den Fenster- und Türenläden, ebenso sind Vorbehandlung und Vorlagerung identisch.¹⁶⁵

Der Beschusspunkt liegt im Eck- und Kantenbereich mit einem Abstand vom Rand von 1/5 des Projekildurchmessers. Ebenso wird die Fläche des Flügels und des Rahmens beschossen. Zusätzlich wird im Mitteleck beschossen (siehe Abbildung 33). Die Überprüfung der Bauteilfunktionen sind einerseits die Wasserdichtheit und andererseits das Aussehen.¹⁶⁶

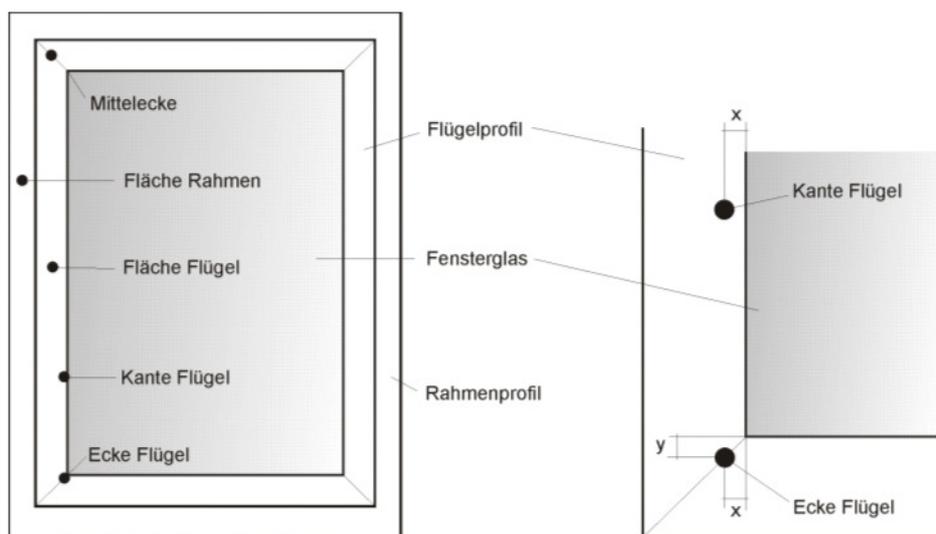


Abbildung 33: Beschussorte der Fenster- und Türprofile¹⁶⁷

3.2.4.13. Naturstein

Der Naturstein muss entsprechend dem Faserzement montiert werden. Eine Vorlagerung ist nicht nötig, jedoch wird das Testobjekt vor der Prüfung benässt. Die Beschusspunkte von Natursteinplatten lassen sich mit jenen der Faserzementplatten, welche stumpf gestoßen sind, vergleichen (siehe Abbildung 23). Der Beschussort von Naturschiefer entspricht jenem mit Faserzementschiefer (siehe Abbildung 24).¹⁶⁸

Nach erfolgtem Beschuss werden die Bauteilfunktionen Wasserdichtheit und Aussehen überprüft. Die Schadenskriterien für die Funktion Wasserdichtheit entsprechen jenen für Faserzement(3.2.4.4). Mithilfe einer Lupe werden Risse im Testobjekt ge-

¹⁶⁵ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türprofil“ Version 1.01; Seite 2f.

¹⁶⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türenläden“ Version 1.01; Seite 3f.

¹⁶⁷ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türenläden“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁶⁸ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Naturstein“ Version 1.01; Seite 2f.

sucht. Die Funktion des Aussehens gilt als erhalten, wenn keine Risse, Eck- oder Kantenbrüche durch visuelles Überprüfen festgestellt werden konnten.¹⁶⁹

3.2.4.14. Schindeln

Der Einsatzort von Schindeln liegt im Dach- und im Fassadenbereich. Es müssen mindestens 30 Einheiten /m² im verbauten Zustand vorhanden sein. Das Material der Schindeln kann Holz, Bitumen, Faserzement, Blech oder Kunststoff sein. Für die Prüfung muss die Mindestgröße des Testobjektes 0,8 – 1 m² sein. Montiert wird das Testobjekt auf einem kippbaren Rahmen.¹⁷⁰

Die Vorlagerungen der Testobjekte sind unterschiedlich. Holzschindeln müssen mindestens sieben Tage bei einer Temperatur von 20 °C und 65 % Luftfeuchtigkeit gelagert werden. Bitumen- und Faserzementschindeln müssen mindestens 28 Tage alt sein. Blechschindeln müssen nicht vorgelagert oder vorbehandelt werden. Kunststoffschindeln müssen mindestens drei Tage in der Prüfkammer sein. Holz- und Faserzementschindeln müssen mit einem nassen Schwamm vorbehandelt werden, Bitumen- und Kunststoffschindeln mit Eis.¹⁷¹

Schindeln werden an vier Auftreffpunkten beschossen: Am T-Stoß, am oberen Stoß, am unteren Stoß und in der Kantenzone mit einem Abstand zum Rand von 1/5 des Profildurchmessers (siehe Abbildung 34).¹⁷²

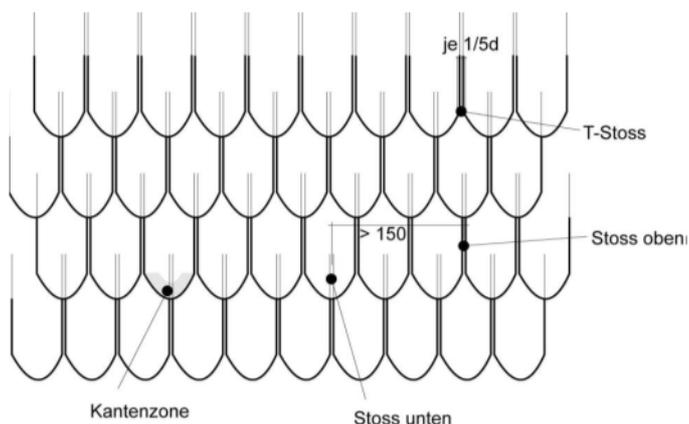


Abbildung 34: Beschussorte der Schindeln, Schindelform exemplarisch¹⁷³

¹⁶⁹ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Naturstein“ Version 1.01; Seite 4.

¹⁷⁰ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindel“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁷¹ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindel“ Version 1.01; Seite 2f.

¹⁷² Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindel“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁷³ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindel“ Version

Nach dem Beschuss werden die Testobjekte auf Wasserdichtheit und Aussehen geprüft.¹⁷⁴

3.2.4.15. Schwimmbadabdeckung

Die speziellen Bestimmungen für Schwimmbadabdeckungen gelten nur für Materialien aus Kunststoff. Die Abmessungen des Prüfkörpers müssen 1,5 m breit und 1,2 m lang sein. Der Prüfkörper kann seitliche Führungen besitzen, wenn der Hersteller diese so produziert.¹⁷⁵

Für den Versuch kann der Probekörper abgerollt, freischwimmend oder mit Führungselementen in den Wasserbehälter gelegt werden. Der Wasserbehälter hat eine Länge von 1,2 m und eine Breite von 1,5 m. Der Behälter wird mit Wasser gefüllt und sollte eine Mindesttiefe von 120 mm besitzen (siehe Abbildung 35). Der Testkörper kann in der Längsrichtung aus dem Behälter ragen, muss aber mit der vollen Breite im Becken eingetaucht werden.¹⁷⁶

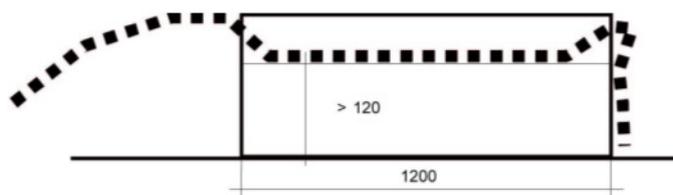


Abbildung 35: Versuchsaufbau zur Prüfung der Schwimmbadabdeckung (Maße in Millimetern)¹⁷⁷

Es ist keine Vorlagerung vorgesehen, aber der Probekörper muss vor dem Beschuss drei Minuten mit Eisschuppen abgekühlt werden. Die Beschussorte sind Stab-Schlitz und Stab-Mitte mit einem Randabstand von 75 mm sowie bei der seitlichen Führung wenn eine vorhanden ist (siehe Abbildung 36). Die Abstände zwischen den einzelnen Schüssen müssen mindestens 150 mm sein.¹⁷⁸

1.01; Seite 3.

¹⁷⁴ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindel“ Version 1.01; Seite 4f.

¹⁷⁵ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁷⁶ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁷⁷ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁷⁸ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 2f.

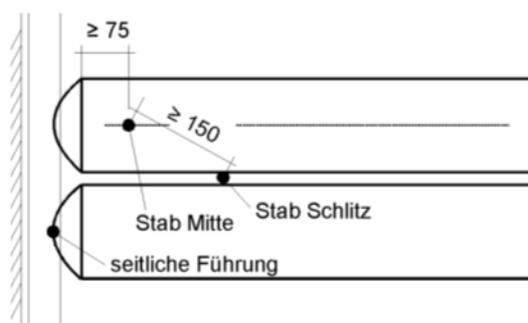


Abbildung 36: Beschussorte der Schwimmbadabdeckung (Maße in Millimetern)¹⁷⁹

Nach dem Beschuss wird der Probekörper auf Wasserdichtheit, Mechanik und Aussehen geprüft. Wenn der Probekörper nach dem Beschuss keine Risse oder Performations aufweist, hat er die Prüfung bestanden. Kontrolliert wird dies visuell in einem Abstand von 0,5 m. Die Mechanik muss nach dem Beschuss fünfmal störungsfrei auf- und abgerollt werden. Die Gleit- und Führungselemente werden ebenso visuell kontrolliert. Wenn der Prüfkörper keine Oberflächenveränderungen zeigt, ist dieser im Kriterium Aussehen durchgekommen. Dies wird ebenso visuell in einem Abstand von fünf Metern überprüft.¹⁸⁰

3.2.4.16. Steinfassade (ohne Naturstein)

Die Steinfassade muss – dem Originalzustand entsprechend – mit einer Fläche von 0,8 – 1 m² aufgebaut werden. Nach einer 28-tägigen Vorlagerung wird die Testfläche mit einem nassen Schwamm benässt. Die Beschusspunkte liegen in der Fläche, dem T-Stoß, dem Linienstoß und an der Kante mit einem Abstand vom Rand von 1/5 des Projektdurchmessers (siehe Abbildung 37).¹⁸¹

Für eine Überprüfung der Bauteilfunktion wird das Aussehen kontrolliert. Wenn der Prüfkörper keine durchgehenden Risse und keine Abbrüche im Kanten- und Eckbereich aufweist, so hat der Prüfkörper die Prüfung erfolgreich bestanden. Der Beschuss des Prüfkörpers darf dazu weder zu Löchern oder zu Abplatzungen führen. Eine visuelle Überprüfung im Abstand von fünf Metern gibt darüber Aufschluss.¹⁸²

¹⁷⁹ Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 3.

¹⁸⁰ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckung“ Version 1.01; Seite 3f.

¹⁸¹ Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes – Steinfassade (ohne Naturstein)“ Version 1.01; Seite 2.

¹⁸² Vgl. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes – Steinfassade (ohne Naturstein)“ Version 1.01; Seite 3.

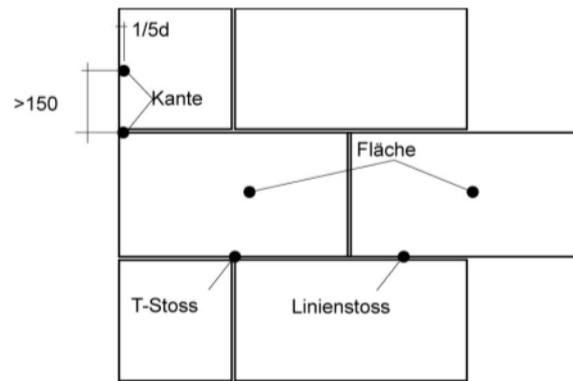


Abbildung 37: Beschussorte an der Steinfassade (Maße in Millimetern)¹⁸³

¹⁸³ Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes – Steinfassade (ohne Naturstein)“ Version 1.01; Seite 2.

3.2.4.17. Zusammenfassung der Prüfbestimmungen

In Tabelle 17 wird ein Teil der Prüfungen zusammengefasst. Die restlichen Prüfungen wurden erst nach dem Verfassen der Zusammenfassung durchgeführt.

Tabelle 17: Bauteile mit den Funktionen, Schadenskriterien und den Messmethoden¹⁸⁴

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

¹⁸⁴ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 27.

3.2.5. Klassifikationsverfahren der VKF

Nachdem die Hagelwiderstandsprüfung für Baumaterialien in der Schweiz Pflicht ist, kann man diese in zugelassenen Prüflaboren, welche von der VKF anerkannt sind, durchführen lassen. Das Verfahren der Prüfung wurde von der VKF herausgegeben. Bevor die VKF ein Produkt zertifiziert, muss diese sich bei der Kantonalen Gebäudeversicherung (KGV) und dem Schweizerischen Versicherungsverband (SVV) die Zustimmung holen.¹⁸⁵

Erfüllt ein Produkt alle Anforderungen, erhält es eine Produktklassifizierung ausgestellt, welche „VKF-Hagelschutz“ genannt wird. Diese Klassifizierung gilt für maximal fünf Jahre, kann allerdings verlängert werden. Auf dem Klassifikationszeichen muss die Hagelwiderstandsklasse ersichtlich sein. Wenn das Produkt gegen Hagelschlag getestet worden ist, wird es im Hagelschutzregister (HSR) veröffentlicht. Im Internet kann es unter: <http://www.hagelregister.ch/Default.asp> eingesehen werden. Zu Beginn jeden Jahres werden die Prüfbestimmungen aktualisiert.¹⁸⁶

3.2.6. Ergebnisse/Auswertungen der VKF

Dokumentiert wurde der Verlauf des Schadens vom Erkennen bis zur Zerstörung. Bei einem Blech beispielsweise würde eine kleine Eiskugel mit einer niedrigen Aufprallgeschwindigkeit nur eine Delle verursachen, wäre die Eiskugel jedoch größer und hätte sie eine höhere Aufprallgeschwindigkeit, könnte das Blech aufreißen. Dies wiederum würde zum Verlust der Wasserdichtheit führen. Getestet wurden 53 Produktsorten, unterteilt in elf Bauteilkategorien (siehe Tabelle 18 und Tabelle 19). Die Prüfungsergebnisse vom Beschuss mit Polyamid- und mit Eiskugeln wurden miteinander verglichen und es zeigte sich, dass Eiskugeln bei gleichem Durchmesser weniger Schaden anrichten.¹⁸⁷

¹⁸⁵ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; Schweizerisches Hagelschutzregister (HSR) Klassifikationsverfahren; Seite 1.

¹⁸⁶ Vgl. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; Schweizerisches Hagelschutzregister (HSR) Klassifikationsverfahren; Seite 1f.

¹⁸⁷ Vgl. Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 24ff.

Tabelle 18: Ergebnisse der Hagelprüfung der VKF (Teil 1)¹⁸⁸

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Ziegel	Biberschwanz (Ton)	ohne Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flachziegel (Ton)	mit Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Rollläden	Hohlprofil (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	geschäumt	0.25	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	Ganzmetall	0.9	Fassade	Aussehen	2
Raffstoren	Blech gefaltet (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Blech gebogen (Metall)		0.6	Fassade	Aussehen	1
Verglasung	Floatglas		4.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Drahtglas		7.0	Dach	Wasserdichtheit	3
	Einscheibensicherheitsglas (ESG)		6.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Verbundssicherheitsglas (VSG)		8.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Isolierglas		24.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
Bleche	Abdeck	Kupfer	0.6	Dach	Aussehen	1
				Fassade	Aussehen	2
		Chromstahl verzinkt	0.5	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
		Kupfer-Titan-Zink	0.7	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
Welle	Stahl verzinkt	0.7	Fassade	Aussehen	2	
Trapez	Aluminium	0.7	Fassade	Aussehen	1	
Faser-zement-platten	Gewellt	unbeschichtet	5.5	Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flach	lasierende Beschichtung	6.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
					Aussehen	5
Putz auf Aussenwärme-dämmung	Kunststoffputz auf EPS			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Silikatputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Kunststoffputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Holzbretter	Lärche	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	1
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
	Fichte	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2

¹⁸⁸ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 30.

Tabelle 19: Ergebnisse der Hagelprüfung der VKF (Teil2)¹⁸⁹

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Dichtungsbahnen	Polyvinylchlorid, weichgemacht (PVC – P)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
	Thermoplastische Polyolefine (TPO)	starr	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	4
	Polymerbitumenbahn SBS beschiefert	starr	5.2	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	5.2	Dach	Wasserdichtheit	4
Polymerbitumenbahn SBS besandet	starr	3.7	Dach	Wasserdichtheit	5	
	flexibel	3.7	Dach	Wasserdichtheit	4	
Kunststoffplatten	Polymethylmethacrylat (PMMA)	normal, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, SDP 16		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, S4P 32		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	3*
		schlagzäh WP 76/18	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
	Polycarbonat (PC)	Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
		S3P 16		Dach	Wasserdichtheit	5*
	Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK-UP)	Trapez	1.4	Dach	Wasserdichtheit	2*
					Aussehen	1*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
					Aussehen	1*
Welle		1.4	Dach	Wasserdichtheit	3*	
				Aussehen	1*	
			Fassade	Wasserdichtheit	3*	
				Aussehen	2*	
Strukturplatte	2.0	Dach	Aussehen	2*		
Flachplatte	5.0	Fassade	Wasserdichtheit	5*		
			Aussehen	3*		
Licht-Kuppel	Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	2*
	Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Aussehen	3*

* Diese Klassifizierung trifft nur auf neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand maßgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.¹⁹⁰

¹⁸⁹ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 30.

¹⁹⁰ Egil Thomas, Maja Stucki; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel – Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Seite 30.

3.3. Zusammenfassung

In Tabelle 20 werden alle Prüfungen zusammengefasst, inklusive Beschussmaterial, Durchmesser und Beschussgeschwindigkeit.

Tabelle 20: Zusammenfassung des derzeitigen Standes der Technik

Hagelprüfung				
Testobjekt	Norm	Hagelmaterial	Durchmesser [mm]	Beschussgeschwindigkeit [m/s]
Thermische Solaranlage	EN 12975-2	Verfahren 1: Stahlkugeln	32-33	2,83-6,32
		Verfahren 2: Eiskugeln	25	23
Konzentrator-Photovoltaik Module	EN 62108	Eiskugeln	25-26	22,4
Terrestrische Dünnschicht- Photovoltaik Module	EN 61646	Eiskugeln	12,5-75	16-39,5
Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik Module	EN 61215	Eiskugeln	12,5-75	16-39,5
Abdichtungsbahnen	EN 13583	Kunststoffkugeln aus Polyamid	40	Laut Hersteller
Verglasung, Faserzement Blech,...	VKF- Richtlinien	Eiskugeln	10,0-50,0	13,8-30,8

3.4. Probleme der derzeitigen Prüfungen

Betrachtet man die Prüfungen, ergeben sich einige Probleme, die nachfolgend aufgelistet und beschrieben werden.

3.4.1. Projektil

3.4.1.1. Material

Ist das Projektil aus Stahl oder aus anderen Materialien gefertigt, ist das Ergebnis nicht dasselbe, als würde das Testobjekt mit Eis beschossen werden. Beim Auftreffen des Hagelkorns auf die Testoberfläche zerbirst das Hagelkorn meistens und somit wird die Aufprallenergie vermindert. Nachdem die Festigkeit des Eises stark mit der Temperatur schwankt, müsste man die Hagelkörner so abkühlen bzw. lagern, dass sie eine realistische Dichte bzw. Festigkeit erreichen. Ebenso muss darauf geachtet werden, dass das Eis porenarm und rissfrei hergestellt wird, da dies beim Beschuss eine Schwachstelle wäre. Dieser Umstand würde bewirken, dass nicht die volle Energie auf die Fassade wirkt.

3.4.1.2. Form

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Hagelform in der Natur nicht immer eine Kugel ist. Hagelkörner können ebenso gut kantig oder spitz sein. Durch diese Formänderung ist auch die Krafteinwirkung auf das Testobjekt größer.

3.4.1.3. Durchmesser

Der Durchmesser des Hagelkornes spielt ebenso eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, steigt mit dem Durchmesser die Fallgeschwindigkeit und somit die kinetische Energie an. Wie aus Kapitel 2.3 (Hagelkarten in Österreich) ersichtlich, können Hagelkörner einen Durchmesser von 50 mm oder mehr erreichen werden. Somit sollten auch Prüfungen mit größeren Durchmessern (zumindest 70 mm) durchgeführt werden.

3.4.2. Prüfungsdurchführung

3.4.2.1. Rahmenbedingungen

Die Einwirkungen von Wind, Regen, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck etc. werden bei der Prüfung nicht berücksichtigt. Daher ist die Belastung auf das Testobjekt nicht realitätsnah bzw. nur abgeschwächt im Vergleich zum tatsächlichen Ereignis. Bei einer Isolierglasscheibe zum Beispiel werden für die Statik nur die Windkraft und der isochore Druck für die Dimensionierung herangezogen. Wenn zusätzlich ein Hagelschlag auftritt, überlappen sich die Kräfte, dies kann sich somit ungünstig auf die Konstruktion auswirken.

3.4.2.2. Beschusshäufigkeit

Da mehrere Hagelkörner gleichzeitig auf ein Testobjekt einwirken können, muss auch dieser Umstand berücksichtigt werden. Durch ein simultanes Auftreten mehrerer Hagelkörner kann das Testobjekt in Schwingung versetzt werden, was dazu führt, dass die endresultierende Kraft verglichen mit einem Einzelbeschuss entscheidend höher ist. Ebenso ist die Prüfung mit nur fünf Schüssen pro Testobjekt unrealistisch. Laut Tabelle 24 kam es im Jahresschnitt zwischen 1982-2001 zu fast 14 Hageltagen pro Jahr – somit müsste das Testobjekt öfter getestet werden.

Erbaut man ein Haus, sollte die Dachdeckung mindestens 30 Jahre halten. Laut der VKF-Richtlinie müsste das Testobjekt in manchen Regionen (siehe Tabelle 10) nur mit 20 mm - 30 mm beschossen werden. Geht man davon aus, dass die Schweiz die gleiche Topografie bzw. Wettererscheinungen wie Österreich besitzt, kommt es jähr-

lich öfter als fünfmal zu einem Auftreffen von 20 - 30 mm großen Hagelkörnern (siehe Tabelle 25).

3.4.2.3. Beschusswinkel

Die Konstruktionen bzw. Materialien sollten mit verschiedenen Beschusswinkeln geprüft werden, weil somit festgestellt werden kann, bei welchem Beschusswinkel die größte Beschädigung eintritt. Ein spitzer Winkel auf einer rauen Oberfläche kann höhere Scherwinklung erlangen. Somit kann ein flacherer Winkel kritischer als ein Beschuss mit 45° oder 90° sein.

3.4.3. Testobjekt

3.4.3.1. Abmessungen

Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die Abmessungen der Testobjekte dieselben Maße aufweisen sollten wie die verwendeten Elemente (Elemente im eingebauten Zustand). Je größer die Abmessungen der Lagerungen sind, desto größer ist die Spannung bei der Einwirkung von Kräften.

3.4.3.2. Prüfaufbau

Der Prüfaufbau sollte mit allen Bestandteilen in einem Maßstab von 1:1 erfolgen. Eine Vorhangfassade besteht meistens aus mehreren Materialien, die unterschiedlich auf bestimmte Einwirkungen reagieren und daher sollten diese ebenso geprüft werden – z.B. Abdichtungen bei Verglasungen.

3.4.3.3. Endkontrolle

Alle Materialien und Konstruktionen haben spezifische Funktionen. Es soll sichergestellt werden, dass die geprüften Materialien und Konstruktionen auch nach einem Beschuss noch funktionieren. Daher sollte die ganze Konstruktion nach dem Beschuss auf die vorgesehenen Funktionen (z.B. Luftdichtheit, Entwässerung, Luftdichtheit,...) kontrolliert werden. Die Testobjekte sollten nach der Prüfung auch hinsichtlich bauphysikalischer Funktionen wie beispielsweise Wärmedämmung und Schallschutz kontrolliert werden.

4. Entwicklung der Hagelschauerprüfung

4.1. Entwickeln der Prüfzenarien

Für die Simulation eines Hagelunwetters wird eine Reihe von Daten benötigt. Eine wichtige Rolle spielen unterschiedliche Lasten (Hagellast, Windlast etc.).

4.1.1. Lasten

4.1.1.1. Hagelschauerlast

Hagelschauerdauer	Zeitspanne des Hagelschauers.
Hagelschauerintensität	Anzahl der Einschläge pro Quadratmeter Fläche.
Hagelkornverteilung	Durchmesser und Anzahl der Hagelkörner je Hagelschauer und Hagelintensität.
Einfallswinkel	Winkel zwischen Fallgeschwindigkeitsvektor und der Vertikalen.
Hagelkornklassen	Die Hagelkornklassen werden in 5 mm Schritten festgelegt. Körner, welche nicht dem Durchmesser entsprechen, werden immer in die nächsthöheren Klasse eingestuft.
Auflast	Eigengewicht der Hagelkörner, das am Objekt liegen bleibt.

Anhand des Hageldurchmessers kann die Masse, die Geschwindigkeit und somit auch die Energie (Joule) des Hagelkornes berechnet werden (Kapitel 2.4). Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Intensität: Physikalisch gesehen besteht ein wesentlicher Unterschied darin, ob je Quadratmeter 100 oder nur 10 Einschläge verzeichnet werden. Ein weiterer Faktor hinsichtlich der Krafteinwirkung stellt die Hagelschauerdauer dar. Der Einfallswinkel liefert einen wichtigen Beitrag für die Bewertung des Hagelwiderstandes. Unterschieden wird dabei, ob das Hagelkorn im rechten Winkel auftrifft oder parallel vorbeifliegt. Nachdem Fassaden nicht ausschließlich im rechten Winkel zur Bodenfläche gebaut werden, besteht die Möglichkeit, dass Hagelkörner – durch den Einfluss des Windes – auch auf Fassadenflächen im rechten Winkel auftreffen. Für die Bewertung des Hagelschauers wird die Einheit kg/s^3 oder Watt/m^2 verwendet.

Die Auflast [N/m^2] wird mit den Massen der einzelnen Hagelkörner berechnet, welche aus der Hagelkornverteilung bekannt sind.

Formel 6: Umrechnung der Einheit der Hagelaufpralllast

$$\frac{joule}{m^2 \cdot s} = \frac{Watt}{m^2} = \frac{N \cdot m}{m^2 \cdot s} = \frac{kg \cdot m \cdot m}{s^2 \cdot m^2 \cdot s} = \frac{kg}{s^3}$$

4.1.1.2. Windlast

Die Windlast wird nach ÖNORM EN 1991-1-4 bzw. B 1991-1-4 berechnet. Das Ergebnis der Berechnungen ist die Windlast (N/m² = Pa). Dieser Luftdruck kann in einem Vorhangfassadenprüfstand aufgebaut werden.

Um die Windlastprüfung, welche in der ÖNORM EN 12179 beschrieben wird, durchzuführen, wird der Überdruck an jener Seite aufgebaut, an welcher sich die Hagelmaschine befindet. Dadurch wird die Situation des gleichzeitigen Auftretens von Hagel und Wind nachgestellt. Der Luftdruck sollte mindestens so hoch sein wie der höchste Flächenwert (N/m²) der Windstatik. Als Richtwert ist in Tabelle 33 die Abhängigkeit zwischen Staudruck und Windgeschwindigkeit dargestellt. Da die Luftdichte von der Temperatur abhängig ist, liegt diese bei einer Lufttemperatur von ca. 10-35 °C auf Meeresspiegelniveau zwischen 1,25 - 1,15 kg/m³.¹⁹¹ Dadurch kann sich auch der Staudruck verändern.

Formel 7: Luftstaudruck

$$Pa = \frac{\rho_L \cdot v_w^2}{2} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

$$\rho_L : \text{Luftdichte } 1,15 - 1,25 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$v_w : \text{Windgeschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]$$

4.1.1.3. Regenlast

Bezüglich der Regenlast müssen die Werte (Liter/m² = kg/m²) von Wetterstationen herangezogen werden. Die jeweilige Last muss auf das Testobjekt aufgebracht werden, wenn die Hagelkörner Rohre bzw. Regenrinnen verstopfen oder eine Abflussverhinderung verursachen. Das Wasser ist als Auflast [kN/m²] mit einer Dichte von ~1000 kg/m³ zu berechnen¹⁹². Bei der im Rahmen der Hagelprüfung durchgeführten Schlagregenprüfung sollte jenes Sprühsystem angewendet werden, welches in O-

¹⁹¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Luftdichte> Datum des Zugriffs 27.3.2012 um 12:38

¹⁹² http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dichte.html#kap02 Datum des Zugriffs 27.3.2012 um 12:36

NORM EN 12155 beschrieben wird. Der aufgebaute Druck bei der Prüfung entspricht jener der Luftdurchlässigkeitsprüfung. Diese Rahmen- und Prüfbedingungen zeigen, ob der Hagel in der Lage ist, Dichtungen zu zerstören oder einen „Hagelkornkeil“ zwischen Dichtung und Glasscheibe zu treiben. Durch den entstandenen Unterdruck in der Prüfkammer wird das Regenwasser eingesaugt und somit ein möglicher Schaden aufgedeckt. Dies ist nach der Prüfung nicht möglich, weil der „Hagelkornkeil“ nach der Prüfung schmilzt.

4.1.1.4. Temperatur

Bei Isolierverglasungen muss der Prüfraum während der Hagelprüfung abgekühlt werden, um die realen Bedingungen eines Hagelgewitters so gut wie möglich nachzustellen. Dabei wird der isochore Druck herabgesetzt, wodurch Spannungen in den äußeren Gläsern entstehen. Diese Spannungen lassen die Gläser leichter zerspringen.

Hagelschauer entstehen meistens an heißen Sommertagen. Dies führt dazu, dass die Materialien bei Einsetzen des Hagelschauers bereits stark erwärmt sind. Während und nach dem Hagelschauer bilden sich an bestimmten Stellen Hagelsackbildungen (Dachrinnen, Fensterbänke,...). Ist der Hagelschauer abgeklungen, erwärmt sich die nicht mit Hagelkörnern bedeckte Oberfläche rapide, wodurch im Material bzw. Baukörper Spannungen entstehen, die zu einem Versagen führen können. Sind Auflasten von Hagel vorhanden (z.B. durch verstopfte Regenrinnen oder Schneenasen etc.), muss die Temperaturdifferenz ebenso betrachtet, überprüft und getestet werden.

4.1.1.5. Eigengewicht

Entscheidend beim Eigengewicht ist auch, ob die Materialien horizontal oder vertikal eingebaut werden. So können bei einer horizontalen Lagerung von vornherein schon Spannungen im Material vorhanden sein und so bzw. durch das Liegenbleiben von Hagelkörnern zu einer Summierung der Hagelaufschlaglast kommen. Das Eigengewicht wird nach ÖNORM EN 1991-1-1 und nach ÖNORM B 1991-1-1 berechnet.

4.1.2. Lastenkombination

4.1.2.1. Berechnung der Hagelauflast

Die Gesamthagelauflast wird mit Hilfe von Formel 8 berechnet. Die Abhängigkeit zwischen Hagelkorndurchmesser und Gewicht ist aus Diagramm 3 ersichtlich. Auszüge aus der Berechnung der Hagelauflast mittels ZAMG-Hagelraten sind aus Tabelle 21 und Tabelle 23 ersichtlich.

Formel 8: Gesamthagelauflast

$$E_{AL} = \sum_{i=1}^N m_{H_i} \cdot g \cdot n_i$$

$$E_{AL} : \text{Hagelauflast} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

m_H : Masse des Hagelkorns in Abhängigkeit der Hagelklassen [kg]

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

n : Anzahl der Hagelkörner eines Durchmessers pro Quadratmeter

N : Anzahl der Hagelklassen

i : Abhängigkeit vom Hageldurchmesser

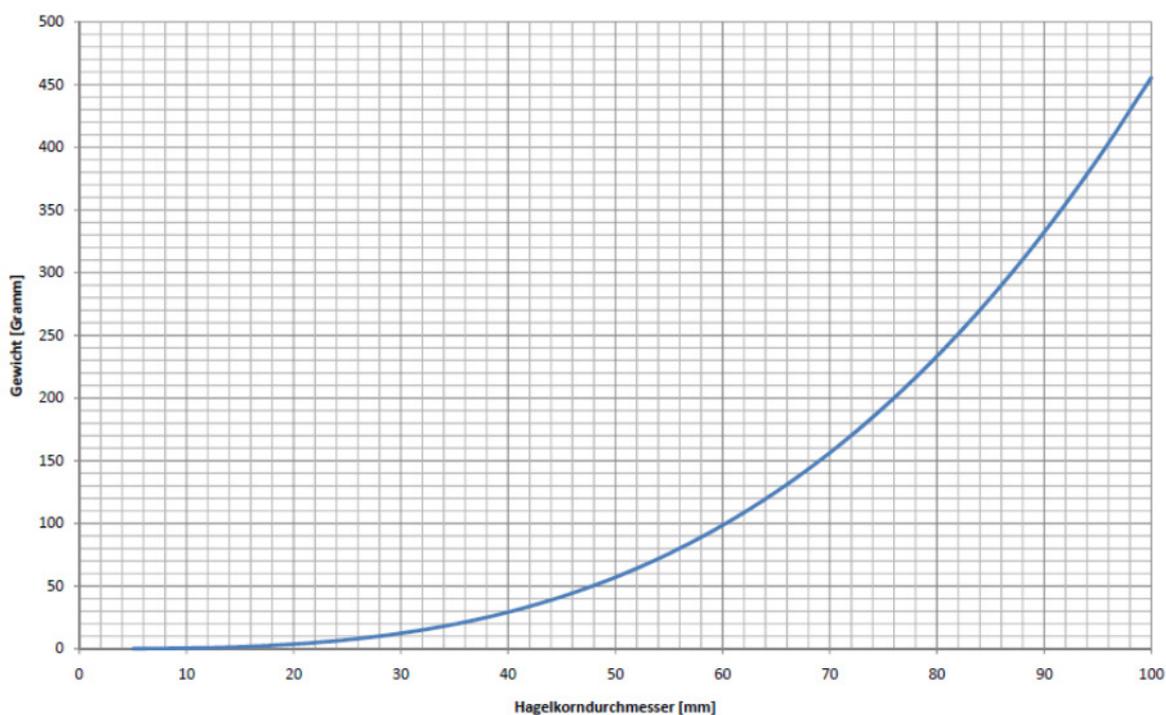


Diagramm 3: Abhängigkeit zwischen Hagelkorndurchmesser und Hagelgewicht

Beispielrechnung für die Hagelauflast:

Tabelle 21: Auszüge aus der Hagelaufzeichnung in der Steiermark der ZAMG

Datum	Abdrücke					Korndurchmesser, in mm (auf D)									
	D	N	S	O	W	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
870725	174	17	37	63	112	39	44	47	32	9	1	1	0	1	0
870725	405	383	63	61	440	159	161	69	15	1	0	0	0	0	0
870725	450	472	43	38	442	289	71	61	25	4	0	0	0	0	0

Tabelle 22: Gewichtstabelle von Hagelkörnern und Daten der Hagelaufzeichnungsplatte

Gewichtstabelle	
Hagelkorndurchmesser	Gewicht (-20°)
mm	Gramm
5	0,06
10	0,46
15	1,54
20	3,64
25	7,12
30	12,30
35	19,53
40	29,15
45	41,51
50	56,94

Hagelaufzeichnungsplatte	
Breite	0,310 m
Länge	0,320 m
Fläche	0,099 m ²
Skalierfaktor	10,081

Tabelle 23: Gewichtstabelle und Gesamtauflast

Datum	Gewicht (kg/m ²) und Prozentanteil																Gesamt kg/m ²	Auflast N/m ²				
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50												
870725	0,02	1%	0,20	6%	0,73	21%	1,18	33%	0,65	18%	0,12	4%	0,20	6%	0,00	0%	0,42	12%	0,00	0%	3,51	34,47
870725	0,09	4%	0,74	29%	1,07	42%	0,55	22%	0,07	3%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	2,52	24,75
870725	0,17	6%	0,33	12%	0,95	36%	0,92	35%	0,29	11%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	2,64	25,93

Am 25.7.1987 gab es an einer Hagelstation 174 Einschläge auf der Deckplatte, davon hatten 39 Einschläge einen Durchmesser von 5 Millimetern. Nachdem die Deckplatte eine Größe von nur 0,099m² besaß, muss der Wert auf einen Quadratmeter skaliert werden [10,081].

$$E_{AL} = \frac{10,081}{1000} \cdot \left(39 \cdot 0,06 + 44 \cdot 0,46 + 47 \cdot 1,54 + 32 \cdot 3,64 + 9 \cdot 7,12 + 1 \cdot 12,30 + 1 \cdot 19,53 + 1 \cdot 41,51 \right) = 3,51 \cdot 9,81 = 34,47 \frac{N}{m^2}$$

4.1.2.3. Berechnung der Auftreffenergie in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Testobjektneigung

Die Hagelkornendgeschwindigkeit und der Einfallswinkel werden stark vom Wind beeinflusst. Wie schon im Kapitel 2.4.3 erwähnt, nehmen kugelförmige Objekte unabhängig von der Größe ungefähr 36 % der horizontalen Windgeschwindigkeit an Eigengeschwindigkeit an (siehe Formel 9). Wie aus Diagramm 4 ersichtlich, verändert sich der Einschlagwinkel bei kleinen Kugeln mehr als bei großen. Das liegt daran, dass größere Kugeln eine höhere Fallgeschwindigkeit besitzen und dadurch nicht so stark abdriften (siehe Kapitel 8.2).

Neben dem Einfluss des Windes ist auch die Objektneigung dafür maßgebend, wie viel Energie auf das Testobjekt einwirkt. Es wirkt nur der Anteil der Kraft darauf, welcher im rechten Winkel auf das Testobjekt gerichtet ist. Somit ist nur der Hagelgeschwindigkeitsanteil maßgeblich, der im rechten Winkel auf das Testobjekt trifft. Der Winkel, bei dem die meiste Energie auf das Objekt übertragen wird, besteht somit wenn α gleich β ist (siehe Formel 9). Daraus folgend kann man den kritischsten Wind in Abhängigkeit von der Fallgeschwindigkeit für eine bestimmte Objektneigung mit Formel 11 berechnen. Berechnet wird die Aufprallenergie mit der Formel 12.

Im Anhang ist die Aufprallenergie in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Objektneigung ersichtlich. Ebenso ist aus den Diagrammen abzulesen, welche Werte über der VKF-Richtlinie liegen (VKF 90° für Dach, VKF 45° für Fassaden).

Formel 9: Gesamteinfallsgeschwindigkeit

$$v_G = \sqrt{v_{HG}^2 + v_f^2}$$

$$v_G : \text{Gesamtfallgeschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_{HG} : \text{Horizontdgeschwindigkeit des Hagelkornes} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Windgeschwindigkeit $\approx 0,36$

$$v_f : \text{Fallgeschwindigkeit des Hagelkorns} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\alpha = \arctan \frac{v_{HG}}{v_f}$$

α : Gesamteinfallswinkel [°]

v_{HG} : Horizontalgeschwindigkeit des Hagelkornes $\left[\frac{m}{s} \right]$

v_f : Fallgeschwindigkeit des Hagelkornes $\left[\frac{m}{s} \right]$

Formel 10: Aufprallgeschwindigkeit

$$v_A = v_G \cdot \cos(\beta - \alpha)$$

α : Gesamteinfallswinkel [°]

β : Objektneigung [°]

v_A : Aufprallgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

v_G : Gesamtfallgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

Formel 11: Kritische Windgeschwindigkeit bei ($\alpha=\beta$) in Abhängigkeit von Objektneigung (β) und Fallgeschwindigkeit

$$v_w = \frac{\tan(\beta) \cdot v_f}{WB}$$

β : Gebäudeoberflächenwinkel [°]

v_w : Windgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

v_f : Fallgeschwindigkeit des Hagelkornes $\left[\frac{m}{s} \right]$

WB: Windbeiwert [$\approx 36\%$]

Formel 12: Herleitung der Gesamtaufprallenergieformel

$$E_A = \frac{m \cdot v_A^2}{2}$$

Einsetzen der Formel 14

$$E_A = \frac{m}{2} \cdot v_G^2 \cdot (\cos(\beta - \alpha))^2$$

Einsetzen der Formel 13

$$E_A = \frac{m}{2} \cdot (v_{HG}^2 + v_f^2) \cdot \left[\cos \left(\beta - \arctan \left(\frac{v_{HG}}{v_f} \right) \right) \right]^2$$

$$E_A = \sum_{i=1}^N \frac{m_{Hi}}{2} \cdot (v_{HG}^2 + v_{fi}^2) \cdot \left[\cos \left(\beta - \arctan \left(\frac{v_H}{v_{fi}} \right) \right) \right]^2 \cdot n_i$$

$$E_A : \text{Aufprallenergie} \left[\frac{\text{Joule}}{m^2} \right]$$

v_A : Aufprallgeschwindigkeit

m_H : Masse des Hagelkorns in Abhängigkeit der Hagelklassen [kg]

α : Gesamteinfallswinkel

β : Gebäudeoberflächenwinkel $0^\circ = \text{Horizontal}, 90^\circ = \text{Vertikal}$

v_{HG} : Horizontales Geschwindigkeit des Hagelkorns $\left[\frac{m}{s} \right]$

v_f : Fallgeschwindigkeit des Hagelkorns $\left[\frac{m}{s} \right]$

n : Anzahl der Hagelkörner eines Durchmessers pro Quadratmeter

i : Abhängigkeit vom Hageldurchmesser

N : Anzahl der Hagelklassen

$$E_A = \frac{m \cdot v_A^2}{2}$$

$$m = \rho_E \cdot V_H = \frac{\rho_E \cdot d_H^3 \cdot \pi}{6} = 145 \cdot \pi \cdot d_H^3$$

$$v_{HG} = 0,36 \cdot v_w$$

$$v_f = \sqrt{\frac{4 \cdot \rho_E \cdot d_H \cdot g}{3 \cdot \rho_L \cdot c_w}} = \sqrt{18966} \cdot \sqrt{d_H}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{v_{HG}}{v_f}\right) = \arctan\left(\frac{0,36}{\sqrt{18966}} \cdot \frac{v_w}{\sqrt{d_H}}\right)$$

$$v_A = v_G \cdot \cos(\beta - \alpha) = \sqrt{(v_{HG}^2 + v_f^2)} \cdot \cos(\beta - \alpha)$$

$$v_A = \sqrt{(0,1296 \cdot v_w^2 + 18966 \cdot d_H)} \cdot \left[\cos\left(\beta - \arctan\left(\frac{0,36}{\sqrt{18966}} \cdot \frac{v_w}{\sqrt{d_H}}\right)\right) \right]$$

$$E_A(d_H, v_w, \beta) = 72,5 \cdot \pi \cdot d_H^3 \cdot (0,1296 \cdot v_w^2 + 18966 \cdot d_H) \cdot \left[\cos\left(\beta - \arctan\left(\frac{0,36}{\sqrt{18966}} \cdot \frac{v_w}{\sqrt{d_H}}\right)\right) \right]^2$$

Eingabe

$$d_H^3 : [m]$$

$$v_w : \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$\beta : [^\circ]$$

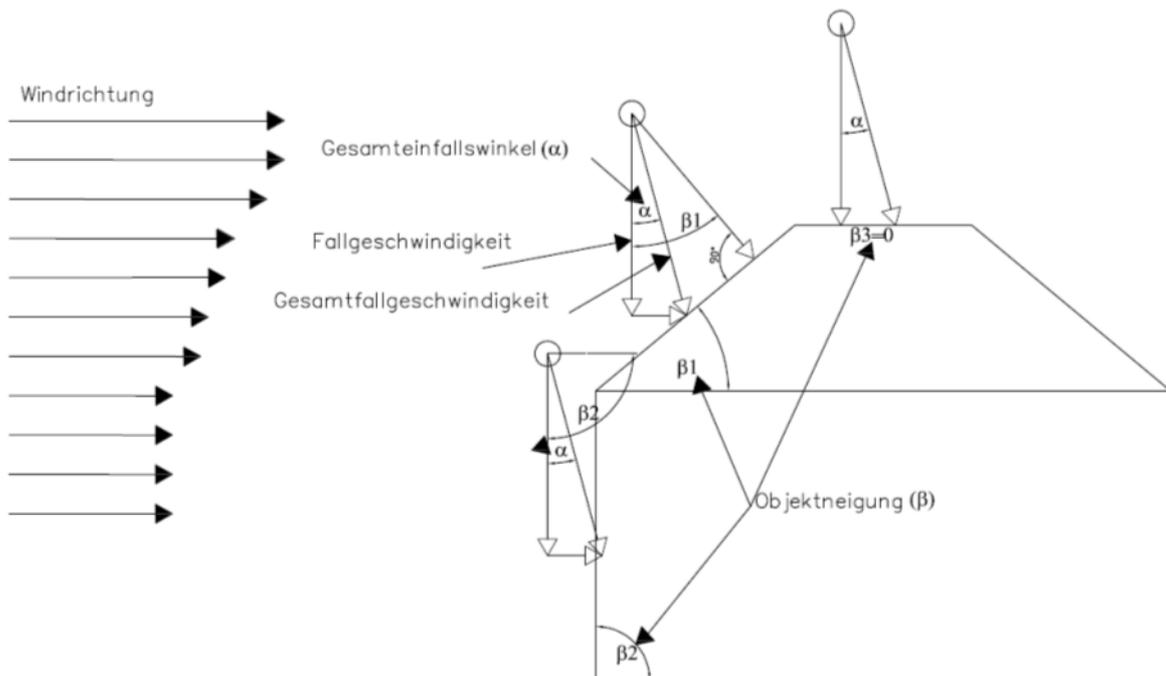
$$\rho_E = 870 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_L = 1,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$c_w = 0,50$$

Abbildung 38: Auftreffenergie in Abhängigkeit von Wind und Objektneigung



Gesamteinfallswinkel in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Hagelkorndurchmesser

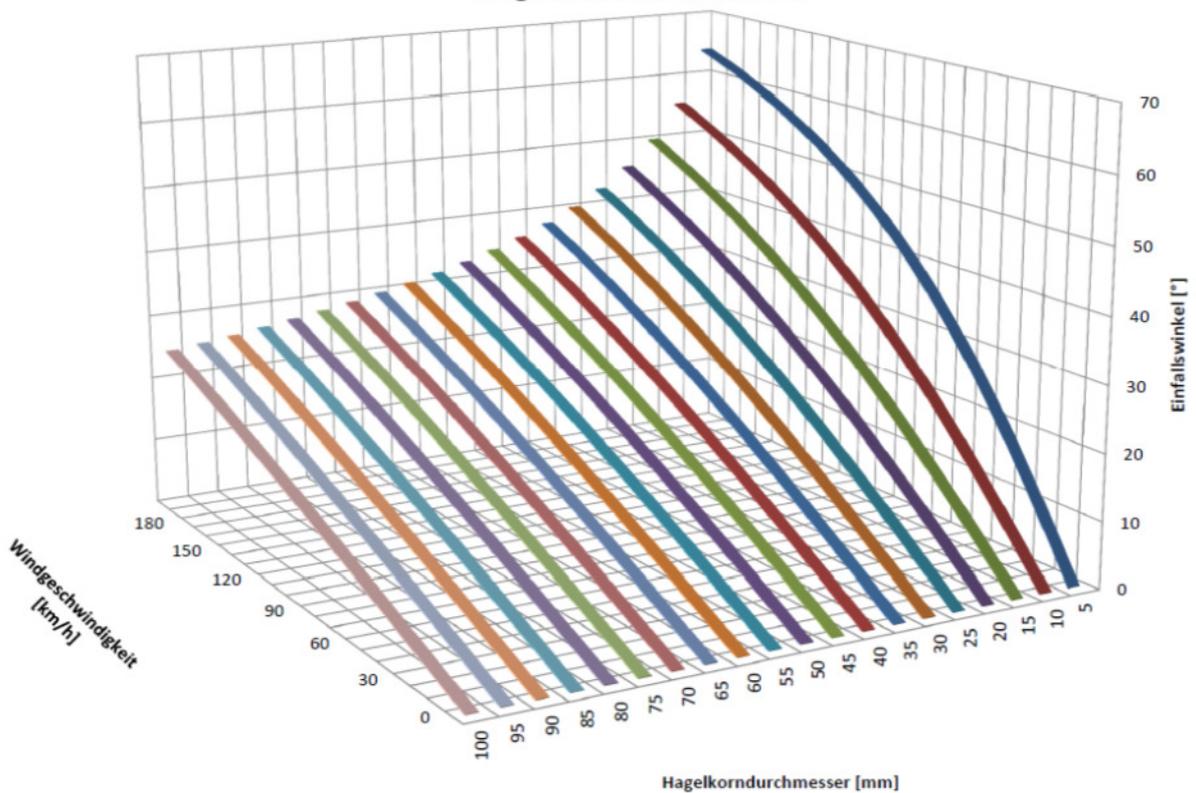


Diagramm 4: Abhängigkeit zwischen Wind, Gesamteinfallswinkel und Hagelkorndurchmesser

4.1.3. Berechnung der Hagellast

4.1.3.1. ZAMG Hageldaten¹⁹³

In Österreich wurden erst in den 80er Jahren großflächige Untersuchungen bezüglich der Hagelereignisse und der Effizienz der Hagelabwehr im Großraum Graz bzw. in der Region Krems an der Donau–Langenlois gestartet. Das damalige „Gremium zur Beratung von Abwehrmaßnahmen gegen Hagel“ beauftragte die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) eine langfristige Untersuchung zu starten. Daraus entstanden (ab dem Jahr 1981 unter der Führung von Dr. Otto Svabik) die Hageltestplattenuntersuchungen.¹⁹⁴

Diese Hageltestplatten bestanden aus verdichtetem Styroporschaum und wurden nach ihrer Kalibrierung (= Bezug der Abdruckgröße zur tatsächlichen Korngröße) auf einen 1,5 m hohen Turm montiert. Auf diesem Turm wurden vier vertikale und eine horizontale Styroporplatte mit den Abmessungen 31x33x2 cm mit einer Fläche von rund 0,1 m² fixiert. Die horizontale Platte erfasste die Hageleinschläge, wodurch das Hagelspektrum abgeleitet werden konnte. Die vertikalen Platten orientierten sich in jeweils einer Himmelsrichtung und gaben Aufschluss darüber, aus welcher Richtung die Hagelkörner kamen und in welchem Einschlagwinkel sie auf die Platten auftrafen. Nach jedem Hagelereignis wurden die Platten ausgewechselt und nach Wien zur ZAMG zur Auswertung geschickt. Bei dieser Untersuchung wurden einerseits die Einschläge auf den jeweiligen Platten gezählt und andererseits das Hagelkornspektrum in 5 mm Schritten erfasst.¹⁹⁵

Aus den aufsummierten Energiebeiträgen der einzelnen Hagelkörner (die kinetische Energie zum Zeitpunkt des Aufpralls in Abhängigkeit zu den Hagelkorndurchmessern) ergibt sich schließlich zu jeder einzelnen bei einem Hagelschlag getroffenen Station ein Energiewert in Joule pro Quadratmeter.¹⁹⁶

Die Hageltestplattenprojekte wurden im Jahr 1981 in Niederösterreich und 1982 in der Steiermark gestartet und endeten nach jeweils 20 Jahren. Insgesamt wurden in der Steiermark 181 und in Niederösterreich 127 Hageltürme aufgestellt.¹⁹⁷

¹⁹³ Vgl. In Anlehnung an Otto Svabik;

¹⁹⁴ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 2.

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 2.

¹⁹⁵ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 6f.

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 8.

¹⁹⁶ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 7.

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 8.

¹⁹⁷ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 6.

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 6.

Diese Hageltestplatten-(HTP-)Projekte zeigten, dass die Hagelsaison durchschnittlich im April beginnt und im September endet. In der Steiermark fanden sich die häufigsten Hageltage im Juni mit durchschnittlich vier Tagen; im April und September hagelte es nur jedes zweite Jahr (siehe Tabelle 24). Daraus ergeben sich im Beobachtungszeitraum durchschnittlich 14 Hageltage pro Jahr. Diese Lasten sind jedes Jahr vorhanden.¹⁹⁸

Tabelle 24: Links Hageltage; rechts Anzahl der Treffer (im Messraum Steiermark)¹⁹⁹

	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Gesamt
1982	0	4	4	5	7	0	20
1983	0	1	6	5	4	1	17
1984	0	6	1	4	2	2	15
1985	0	4	3	3	0	1	11
1986	1	5	5	4	3	0	18
1987	0	3	5	4	2	1	15
1988	1	6	5	2	4	0	18
1989	1	2	6	5	2	0	16
1990	0	4	4	1	2	1	12
1991	0	2	3	5	1	2	13
1992	1	0	5	1	2	0	9
1993	0	5	4	5	2	0	16
1994	0	3	5	3	3	0	14
1995	1	2	4	2	1	1	11
1996	0	4	5	1	1	0	11
1997	0	0	8	3	1	0	12
1998	1	1	3	4	3	1	13
1999	1	6	3	1	3	0	14
2000	2	1	2	3	3	2	13
2001	0	3	1	2	1	0	7
1982 - 2001	0.5	3.1	4.1	3.2	2.4	0.6	13.8

	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Gesamt
1982	0	17	89	37	27	0	170
1983	0	6	66	54	5	1	132
1984	0	24	6	19	76	12	137
1985	0	19	21	14	0	4	58
1986	1	11	19	75	79	0	185
1987	0	4	10	49	10	2	75
1988	1	16	24	5	19	0	65
1989	1	27	60	20	13	0	121
1990	0	23	9	28	11	38	109
1991	0	2	31	30	9	3	75
1992	4	0	32	1	3	0	40
1993	0	7	45	5	20	0	77
1994	0	16	37	15	13	0	81
1995	1	6	5	24	2	10	48
1996	0	11	33	1	1	0	46
1997	0	0	29	5	3	0	37
1998	1	3	5	51	3	1	64
1999	2	15	26	2	13	0	58
2000	4	1	23	25	3	3	59
2001	0	5	1	2	8	0	16
1982 - 2001	0.8	10.7	28.6	23.1	15.9	3.7	82.7

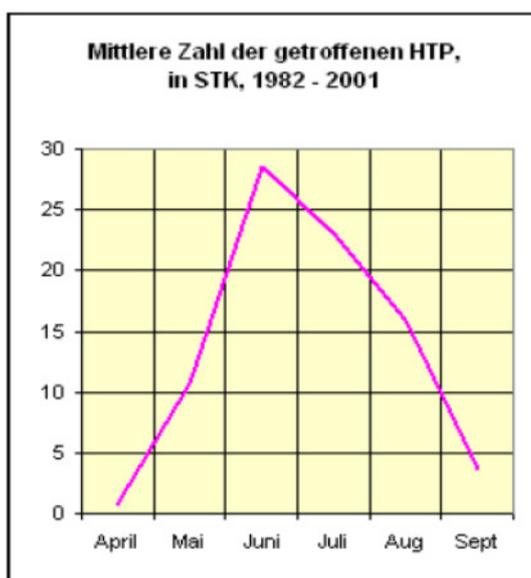
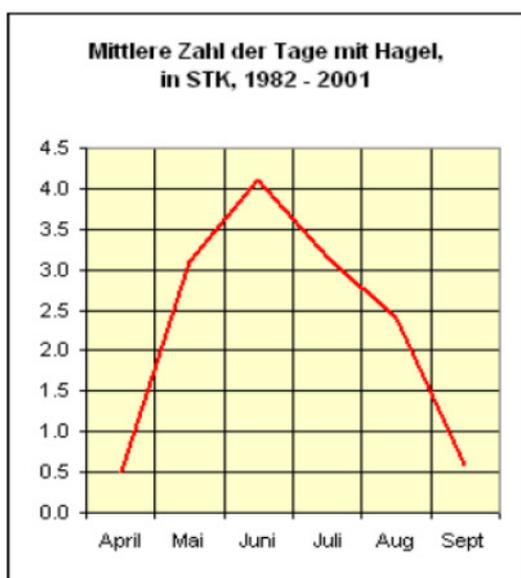


Diagramm 5: Links Hageltage; Rechts Anzahl der Treffer (im Messraum Steiermark)²⁰⁰

¹⁹⁸ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 18.

¹⁹⁹ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 18.

Eine weitere Erkenntnis dieser Statistik ist, dass bei Hagelschauern die Anzahl der Abdrücke auf den Platten jährlich gestiegen ist. Die zugehörigen Hagelkornspektren zeigen, dass der Anteil der Körner mit größeren Durchmessern gesunken ist. Dies könnte durch den verstärkten Einsatz von Quecksilberjodid verursacht worden sein.²⁰¹

Tabelle 25: Durchschnittliche jährliche Anzahl von Abdrücken, Kornspektren auf D und die berechneten Energiewerte²⁰²

	D	N	S	O	W	5mm	10mm	15mm	20mm	25mm	30mm	35mm	40mm	45mm	50mm	Ealpha _{ges} (J/m ²)
1982	136.1	69.0	14.1	24.9	40.5	91.2	42.5	10.1	6.0	2.0	2.3	3.5	0.0	0.0	0.0	56.0
1983	114.7	75.7	18.0	27.3	33.3	90.6	31.2	6.5	3.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.4
1984	148.9	68.0	25.2	31.4	92.0	73.8	56.4	29.0	11.6	7.1	4.8	1.0	1.5	0.0	0.0	189.1
1985	119.5	87.9	25.8	37.8	34.1	77.8	39.2	12.6	4.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9
1986	176.4	100.9	49.3	25.0	109.1	125.4	43.3	12.0	4.9	2.9	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.5
1987	183.3	99.6	31.5	29.5	110.5	112.7	55.9	19.5	8.8	3.8	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	120.3
1988	203.7	107.8	29.6	42.0	57.9	161.8	47.9	11.4	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.7
1989	202.4	76.3	28.5	27.6	60.0	146.6	49.7	19.0	4.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.0
1990	276.7	224.3	33.4	44.7	151.2	217.9	64.0	10.7	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.5
1991	264.6	218.9	46.6	94.7	112.0	207.6	52.6	21.1	19.8	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.3
1992	277.7	90.5	79.3	38.5	134.7	227.3	52.8	5.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.8
1993	180.4	155.2	28.4	41.7	50.2	125.0	47.2	14.9	6.1	2.7	1.9	2.0	0.0	0.0	0.0	94.0
1994	224.4	156.5	38.7	53.8	109.7	169.9	49.8	12.1	4.7	2.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	68.0
1995	344.0	222.8	142.7	112.7	156.5	269.6	68.9	12.9	9.3	8.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.1
1996	411.5	177.2	96.2	81.4	129.9	312.0	102.7	14.9	1.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.8
1997	501.7	390.0	183.5	164.4	293.8	426.9	89.1	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.1
1998	426.4	98.3	115.8	32.5	206.6	350.7	72.1	11.9	2.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.9
1999	389.0	176.0	68.5	57.5	138.5	292.3	92.8	17.0	4.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.6
2000	383.2	23.0	14.0	7.0	22.0	275.8	89.0	18.2	7.2	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.8
2001	417.4	128.4	35.6	39.8	86.7	276.9	107.2	53.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.4
2002	228.9	120.3	54.1	56.6	105.5	173.0	40.8	12.7	2.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.0

D...Deckplatte

N,S,O,W...Himmelsrichtung der vertikalen Testplatten

²⁰⁰ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 18.

²⁰¹ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 18ff.

²⁰² Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 20.

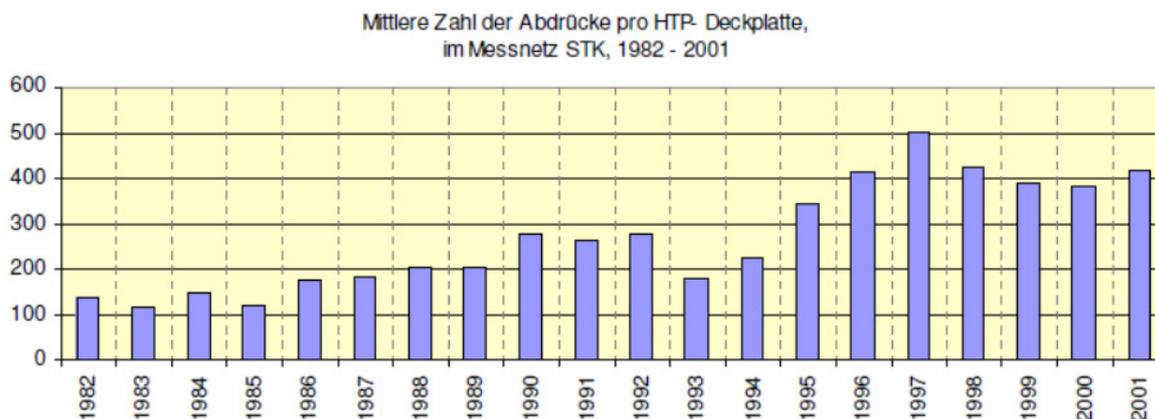


Diagramm 6: Mittlere Zahl der Abdrücke pro HTP - Deckplatte, STK, 1982-2001²⁰³

Neben den Hageleinschlägen stieg auch der durchschnittliche Energiewert einer getroffenen Platte in den letzten Projektjahren an.

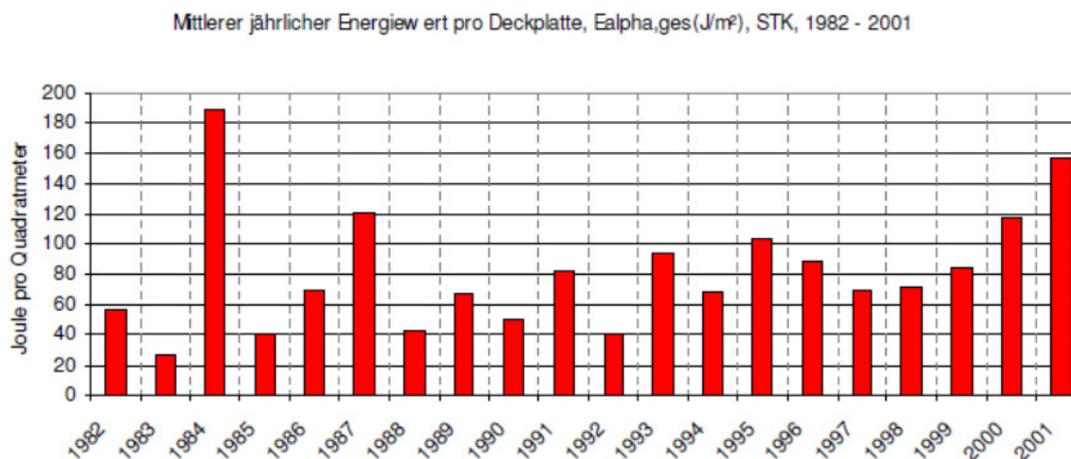


Diagramm 7: Mittlerer jährlicher Energiewert pro Deckplatte²⁰⁴

In der nächsten Tabelle erkennt man, dass in regelmäßigen Abständen Hagelschauer mit über 500 Joule / m² beobachtet wurden; mit der fortschreitenden Projektdauer wurden derartige intensive Hagelschläge seltener.

²⁰³ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 20.

²⁰⁴ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 22.

Tabelle 26: Anzahl getroffener Stationen, geordnet nach einzelnen Energieklassen (EK, in Joule/m²)²⁰⁵

	EK, 100-199	EK, 200-299	EK, 300-399	EK, 400-499	EK, 500-749	EK, 750-999	EK grgl 1000
1982	14	5	1	2	0	1	1
1983	6	2	0	0	0	0	0
1984	12	11	4	5	5	3	7
1985	2	2	0	1	0	0	0
1986	17	2	3	2	3	1	0
1987	10	5	1	2	4	1	0
1988	2	3	0	0	1	0	0
1989	15	4	4	1	1	0	0
1990	7	4	5	0	0	0	0
1991	5	1	1	0	1	0	2
1992	4	0	0	0	0	0	0
1993	10	0	2	1	2	2	0
1994	10	3	1	1	0	1	0
1995	7	2	0	1	0	0	1
1996	14	2	0	0	0	0	0
1997	4	4	0	0	1	0	0
1998	10	7	0	0	0	0	0
1999	10	1	3	1	0	0	0
2000	12	3	2	1	0	1	0
2001	2	2	0	1	2	0	0

4.1.3.2. Modellierung und Berechnung der Hagellast

Für die Berechnung der Hagellast wurde die Studie „Hageltestplatten“ der ZAMG²⁰⁶ herangezogen. Da diese Studie weder Auskunft über die Hagelintensität noch über den Zeitverlauf gibt, musste eine Modellierung des Hagelschlages durchgeführt werden. Nach Auskunft der ZAMG²⁰⁷ dauert ein Hagelschlag durchschnittlich 3 bis 5 Minuten, wobei der Höhepunkt des Hagelschauers relativ rasch nach Beginn erreicht wird und gegen Ende schnell wieder aufhört.

Die Summe der Einschläge und das Hagelspektrum pro Quadratmeter wurden von den Hageltestplatten aufgezeichnet²⁰⁸. Unter der Annahme, dass ein Hagelschauer ähnlich einer Normalverteilung (siehe Formel 13) ist, lässt sich ein Modell erstellen (siehe Diagramm 8). Das dabei entstehende Diagramm bildet auf der x-Achse die Zeitdauer [sec] ab. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass ein typischer Hagelschlag zwischen 180-300 Sekunden dauert. Der Mittelwert [μ] lässt sich im Diagramm genau in der Mitte ablesen und liegt bei Ende der 90. bis 150. Sekunde. Die Fläche unter der Kurve stellt die Gesamtenergie dar, welche von den Hageltestplatten pro Hagelschauer aufgezeichnet worden ist. Der rasche Anstieg der Hagelinten-

²⁰⁵ Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Seite 27.

²⁰⁶ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG;

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG.

²⁰⁷ Telefonat mit Herrn Dr. Otto Svabik, am 15.4.2010 um 10:30.

²⁰⁸ Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Anhang

Vgl. Otto Svabik; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Anhang.

sität korreliert mit einer Standardabweichung $[\delta]$ von etwa 25 % - 200 % vom Mittelwert $[\mu]$ (siehe Tabelle 27 und Tabelle 28). Zusätzlich wurde angenommen, dass bei der Zeit 0 noch kein Hagelkorn herabgefallen ist und nach zweimal dem Mittelwert $[\mu]$ kein Hagel mehr herabfällt. Daher wurde die Normalverteilungskurve in Richtung Y-Achse verschoben (siehe Formel 14 und Diagramm 9). Durch die Verschiebung der Normalverteilungskurve ist die Fläche nicht mehr 1 und muss daher nach dem Integrieren skaliert werden.

Die Prüflastfläche [PL], welche $\frac{1}{2}$ Sekunde vor und $\frac{1}{2}$ Sekunde nach dem Mittelwert $[\mu]$ berechnet wird, wird als Energiewert für die Prüfung herangezogen (siehe Formel 16). Die Energie, welche sich in dieser Fläche ergibt, wird prozentuell auf die einzelnen Hagelklassen aufgeteilt, welche aus dem Hagellastplattenversuch aufgezeichnet worden sind (siehe Kapitel 8.4). Im Anhang sind die 30 energiereichsten Prüflastberechnungen aus der Berechnung der ZAMG-Hagelraten dargestellt. Werte der Nachkommastellen werden aufgerundet (daraus ergeben sich Rundungsdifferenzen). Bei der Berechnung der Hagellast bildet die größte aufgezeichnete (und damit energiereichste) Hagelkugel die Basis. Es folgt eine Aufsummierung der unteren Klassen, bis die vorgegebene Prüflast erreicht ist. Daraus folgt, dass die Prüflast jener der berechneten Prüflast entspricht oder darüber liegt.

Formel 13: Allgemeine Normalverteilungsfunktion mit den Annahmen

$$f_{(x)} = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\left(-0,5 \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}$$

$$f_{(0)} = 0$$

$$f_{(2 \cdot \mu)} = 0$$

Formel 14: Hagelschauerverlaufsnormalverteilungsfunktion

$$h_{(x)} = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\left(-0,5 \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} - \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\left(-0,5 \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2\right)}$$

Formel 15: Integral der Hagelschauerverlaufsnormalverteilungsfunktion

$$H_{(x)} = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^{2 \cdot \mu} e^{\left(-0,5 \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} - e^{\left(-0,5 \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2\right)} d(x)$$

Skalierformel

$$S = \frac{E_A}{H}$$

S : Skalierfaktor

E_A : Aufprallenergie [Joule]

H : Fläche unter der Hagelschauerverlaufsnormalverteilungskurve

Formel 16: Integral der Prüfungslast

$$PL = H_{(x)} = S \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{\mu-0,5}^{\mu+0,5} e^{-0,5 \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} - e^{-0,5 \left(\frac{\mu}{\sigma} \right)^2} d(x)$$

Somit stehen alle Parameter für die Simulation mit der Prüfmaschine fest:

Hageldauer: 180-300 Sekunden; Hagelspektrum: Werte aus den Hageltestplatten (Vorsicht: an diesen Orten wurde Silberjodid eingesetzt); Hageleinschlagswinkel: vektorielle Berechnung der Hagelaufprallgeschwindigkeit mit der Windgeschwindigkeit; Hageleinschlagsenergie: Berechnung durch die Hagelschauerverlaufsnormalverteilungsfunktion (siehe Formel 12).

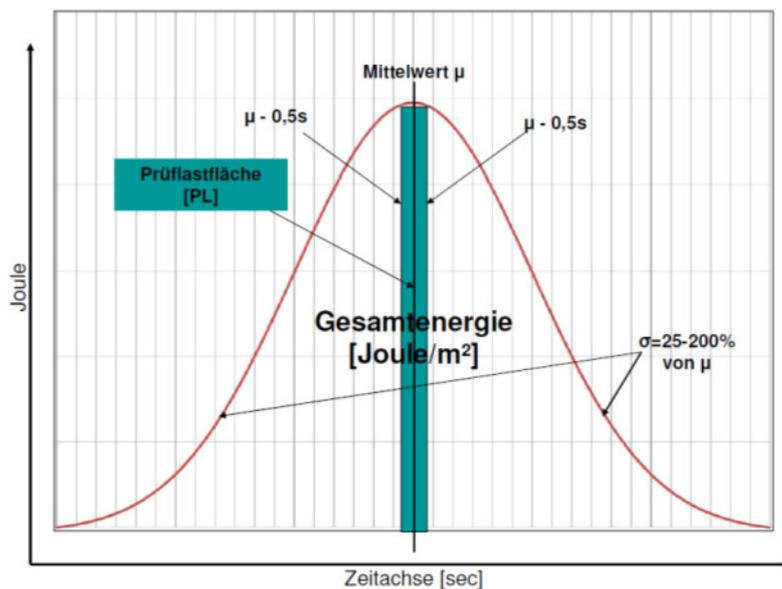


Diagramm 8: Berechnung der Hagellast

Tabelle 27: Hagellasteingabe für 3 min

Hagellastberechnung 3 min							
1. Modell		2. Modell		3. Modell		4. Modell	
Eingabedaten		Eingabedaten		Eingabedaten		Eingabedaten	
Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer	
3 min		3 min		3 min		3 min	
180 sec		180 sec		180 sec		180 sec	
Verhältnis		Verhältnis		Verhältnis		Verhältnis	
$\sigma/\mu=$	25%	$\sigma/\mu=$	50%	$\sigma/\mu=$	100%	$\sigma/\mu=$	200%
$\mu=$	90 sec	$\mu=$	90 sec	$\mu=$	90 sec	$\mu=$	90 sec
$\sigma=$	22,5 sec	$\sigma=$	45 sec	$\sigma=$	90 sec	$\sigma=$	180 sec
Gesamtfläche		Gesamtfläche		Gesamtfläche		Gesamtfläche	
A=	0,99887	A=	0,73854	A=	0,19875	A=	0,03086
Skalierfaktor		Skalierfaktor		Skalierfaktor		Skalierfaktor	
S=	1,00114	S=	1,35403	S=	5,03150	S=	32,40483
Prüflastfläche		Prüflastfläche		Prüflastfläche		Prüflastfläche	
PL=	0,01774	PL=	0,01038	PL=	0,00878	PL=	0,00844

Tabelle 28: Hagellasteingabe für 5 min

Hagellastberechnung 5 min							
5. Modell		6. Modell		7. Modell		8. Modell	
Eingabedaten		Eingabedaten		Eingabedaten		Eingabedaten	
Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer		Hagelschauerdauer	
5 min		5 min		5 min		5 min	
300 sec		300 sec		300 sec		300 sec	
Verhältnis		Verhältnis		Verhältnis		Verhältnis	
$\sigma/\mu=$	25%	$\sigma/\mu=$	50%	$\sigma/\mu=$	100%	$\sigma/\mu=$	200%
$\mu=$	150 sec	$\mu=$	150 sec	$\mu=$	150 sec	$\mu=$	150 sec
$\sigma=$	37,5 sec	$\sigma=$	75 sec	$\sigma=$	150 sec	$\sigma=$	300 sec
Gesamtfläche		Gesamtfläche		Gesamtfläche		Gesamtfläche	
A=	0,99887	A=	0,73854	A=	0,19875	A=	0,03086
Skalierfaktor		Skalierfaktor		Skalierfaktor		Skalierfaktor	
S=	1,00114	S=	1,35403	S=	5,03150	S=	32,40483
Prüflastfläche		Prüflastfläche		Prüflastfläche		Prüflastfläche	
PL=	0,01065	PL=	0,00623	PL=	0,00527	PL=	0,00506

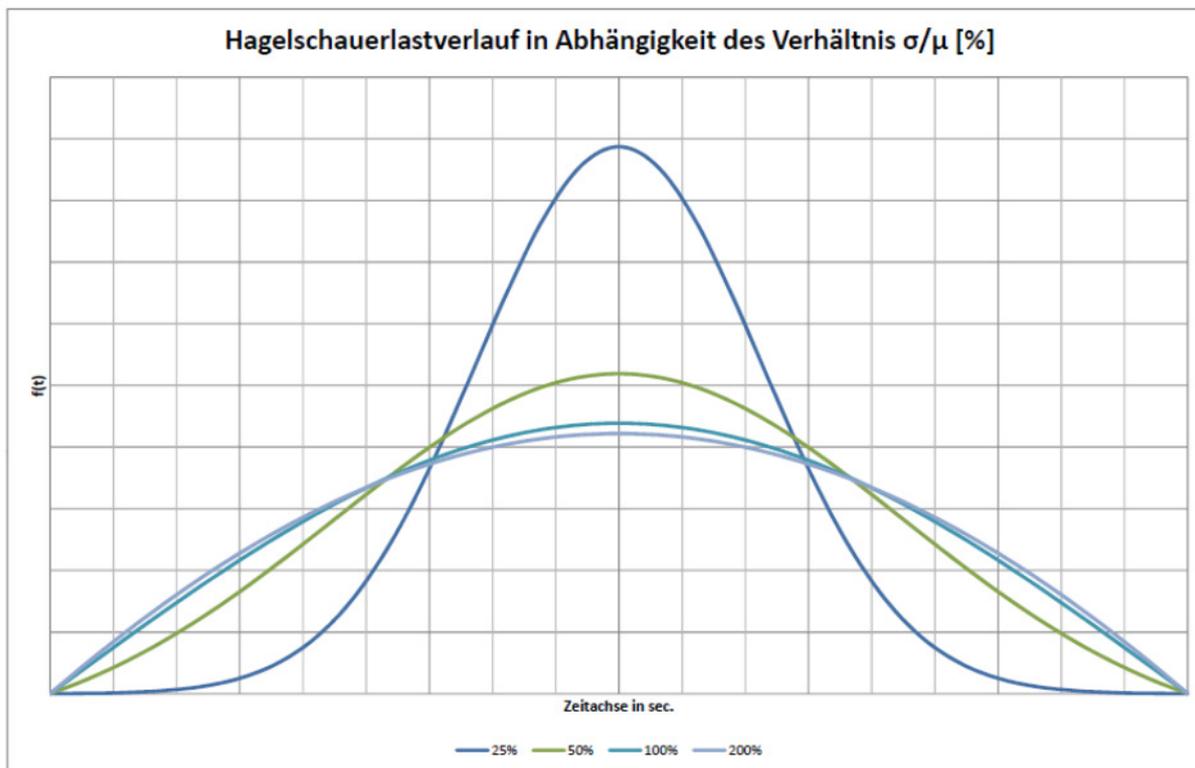


Diagramm 9: Hagelverlaufskurven

Beispielrechnung für die Hagelschauerlast.

Nachdem keine Winddaten für diesen Zeitpunkt vorhanden sind, wird bei dieser Rechnung angenommen, dass es windstill war.

Tabelle 29: Auszüge aus der Hagelaufzeichnung der ZAMG in der Steiermark

Datum	Abdrücke					Korndurchmesser, in mm (auf D)									
	D	N	S	O	W	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
870725	174	17	37	63	112	39	44	47	32	9	1	1	0	1	0
870725	405	383	63	61	440	159	161	69	15	1	0	0	0	0	0
870725	450	472	43	38	442	289	71	61	25	4	0	0	0	0	0

Tabelle 30: Prozentuelle Aufteilung der Einschläge pro Hagelkorndurchmesser

Datum	D	Anzahl und Prozent der Korndurchmesser, in mm (auf D)																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50										
870725	174	39	22%	44	25%	47	27%	32	18%	9	5%	1	1%	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%
870725	405	159	39%	161	40%	69	17%	15	4%	1	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
870725	450	289	64%	71	16%	61	14%	25	6%	4	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Tabelle 31: Energietabelle und Hageltestplattenabmessungen

Hagelkorndurchmesser	Energie
mm	kin [J]
5	0,0027
10	0,0432
15	0,2187
20	0,6912
25	1,6874
30	3,4990
35	6,4824
40	11,0587
45	17,7139
50	26,9987

Breite	0,310 m
Länge	0,320 m
Fläche	0,099 m ²
Skalierfaktor	10,081

Tabelle 32: Beispielsrechnung Gesamtenergie

Datum	Joule/Kugeldurchmesser + m ²																		Gesamt		
JJMMTT	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50									Joule/m ²		
870725	1,06	0%	19,16	2%	103,61	13%	222,96	29%	153,09	20%	35,27	5%	65,35	8%	0,00	0%	178,57	23%	0,00	0%	779,07
870725	4,33	1%	70,11	20%	152,11	44%	104,51	30%	17,01	5%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	348,07
870725	7,87	2%	30,92	7%	134,48	32%	174,19	42%	68,04	16%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	415,49

$$E_A = 10,081 \cdot \left(39 \cdot 0,0027 + 44 \cdot 0,0432 + 47 \cdot 0,2187 + 32 \cdot 0,6912 + 9 \cdot 1,6874 + 1 \cdot 3,499 + 1 \cdot 6,4824 + 1 \cdot 17,7139 \right) = 779,07 \frac{\text{Joule}}{\text{m}^2}$$

Berechnung Modell 1

$$H = \frac{1}{22,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} \cdot \int_0^{180} e^{\left(-0,5 \cdot \left(\frac{x-90}{22,5}\right)^2\right)} - e^{\left(-0,5 \cdot \left(\frac{90}{22,5}\right)^2\right)} dx = 0,99887$$

$$S = \frac{1}{H} = 1,00114$$

$$PL = S \cdot \frac{1}{22,5 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} \cdot \int_{90-0,5}^{90+0,5} e^{\left(-0,5 \cdot \left(\frac{x-90}{22,5}\right)^2\right)} - e^{\left(-0,5 \cdot \left(\frac{90}{22,5}\right)^2\right)} dx = 0,01774$$

$$PL_{(870725)} = 779,07 \cdot PL = 13,82 \frac{W}{m^2}$$

Modell 1													
<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
JJMMTT	W/m ²	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	W/m ²
870725	13,82	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3,89
870725	6,18	0	0	12	3	1	0	0	0	0	0	16	0,21
870725	7,37	0	0	11	5	1	0	0	0	0	0	17	0,18

Das Hagelspektrum für die Prüflast ergibt sich durch die Summe der Energie der einzelnen Hagelkornklassen beginnend mit der Höchsten. Ist die Prüflast erreicht, werden von den kleineren Hagelkornklassen dementsprechend weniger genommen.

4.1.4. Hagelschauerprüfablauf für Vorhangfassaden

Im ersten Schritt gilt es herauszufinden, wie luftdurchlässig die Vorhangfassade ohne jegliche äußerliche Beeinflussung ist. Hier wird die Vorhangfassade auf Luftdurchlässigkeit gemäß EN 12153 „Prüfverfahren Luftdurchlässigkeit von Vorhangfassaden inkl. Fenster“ überprüft. Im Anschluss wird die Prüfung auf Schlagregendichtheit entsprechend EN 12155 „Schlagregendichtheitsprüfung unter statischem Unterdruck“ durchgeführt.

Nach Bestimmung der Luftdurchlässigkeit und der Schlagregendichtheit wird die Vorhangfassade mit einem Einzelhagelbeschuss nach der VKF-Richtlinie „Fenster- und Türprofile, Fenster- und Türläden und Fassadenverglasung“ geprüft. Alle Ergebnisse werden nach der VKF-Richtlinie aufgezeichnet und ausgewertet. Danach wird die Luftdurchlässigkeitsprüfung nochmals ermittelt und der Differenzwert zwischen der ersten und zweiten Prüfung ermittelt. Analog dazu erfolgt die Messung gemäß Schlagregendichtheit.

Zum Abschluss erfolgt eine Hagelschauerprüfung inklusive Windlast. Während der Prüfung wird die Luftdurchlässigkeit laufend gemessen, um die Einwirkung des Hagelschauers zu ermitteln. Im Anschluss wird die Schlagregendichtheit bestimmt und mit den vorigen Messungen verglichen, somit kann der Einfluss der Hagelschauerlast ermittelt werden. Der genauere Prüfablauf ist aus dem Kapitel 8.7 ersichtlich.

4.2. Herstellung von Eiskugeln

Es stellt sich die Aufgabe, riss- und porenfreie Eiskugeln in größeren Mengen (mehr als 1.000 Stück) in einem möglichst geringen Zeit- und Materialaufwand herzustellen. Die hergestellten Kugeln müssen dabei eine äußerst hohe Genauigkeit sowie eine einfache Reproduzierbarkeit aufweisen.

4.2.1. Eisphysik

4.2.1.1. Dichteverlauf von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

Der Dichteverlauf von Wasser ist eine Anomalie. Wasser weist bei atmosphärischem Luftdruck und 3,98 °C die größte Dichte auf. Wird die Temperatur erhöht oder abgesenkt, kommt es zu einer Verringerung der Dichte. Gefriert das Wasser, so sinkt die Dichte in einer verhältnismäßig großen Differenz.

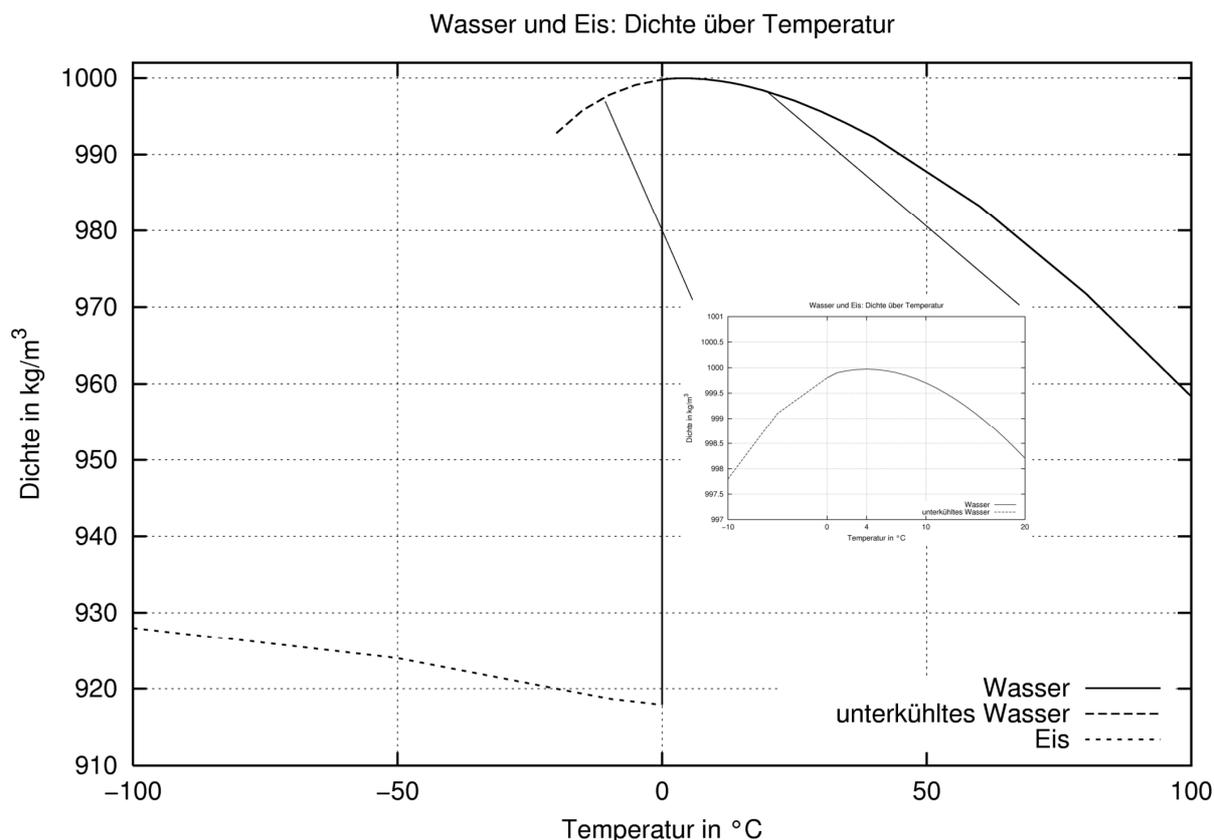


Abbildung 39: Dichteverlauf von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur²⁰⁹

²⁰⁹ <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wasseranomalie.png&filetimestamp=20060109193320> Datum des Zugriffs 8.9.2010 um 15:08 Uhr.

4.2.2. Unterschiedliche Herstellungsverfahren von Eiskugeln

4.2.2.1. Wasser in Metallhalbschalen einfrieren

Für die Anwendung des ersten Verfahrens werden zwei Halbschalen (siehe Abbildung 40), bestehend aus Vollrohrmetall durch Schrauben miteinander befestigt (siehe Abbildung 41). Beide Halbschalen besitzen eine Halbkugelform, die durch einen Fräsprozess entstanden ist. Ein spezieller Versatz garantiert, dass die Halbschalen exakt aufeinander passen und genau eine Kugel als Form übrig bleibt. Ein Einfüllloch, das auf einer der beiden Halbschalen angebracht ist, ermöglicht das Befüllen der Form mit Wasser unter der Verwendung einer Spritze. Halbschalen für Eiskugeln mit einem geringen Durchmesser eignen sich zum Vorfrieren. Dadurch läuft der Gefrierprozess schneller ab und beginnt eher zur gleichen Zeit. Dieser Effekt geht bei den Halbschalen für Eiskugeln mit einem größeren Durchmesser verloren.

Beim Frieren des Wassers in der Form entsteht folgendes Problem: Das Wasser friert zuerst am Rand und erst nach und nach beginnt es auch im Inneren zu gefrieren. Nachdem der Rand schneller gefriert als das Wasser in der Mitte, wird durch das Gefrieren in der Mitte die äußere Schale, die schon fest ist, gebrochen, weil Eis eine geringere Dichte besitzt als Wasser. Zusätzlich entstehen beim Gefrieren Spannungen, weil sich das Eis nicht ausbreiten kann. Besonders bei Eiskugeln mit einem größeren Durchmesser (>30 mm) ist die Ausfallsrate sehr hoch. 9 von 10 Eiskugeln weisen Sprünge auf. Ein weiteres Problem stellt das Lösen der Kugel von der Form dar. Dieser Vorgang ist nicht nur sehr zeitaufwändig, sondern auch mit einer hohen Ausfallsquote verbunden, denn die Eiskugeln brechen sehr leicht beim Auslösen aus der Form.



Abbildung 40: Eiskugelhalbschalen aus Niro; geöffnete Ansicht



Abbildung 41: Verschraubte Eiskugelhalbschalen aus Niro

4.2.2.2. Wasser in Silikonformen einfrieren

Eine Kugel mit einem vordefinierten Radius wird in Silikon eingelegt und anschließend ausgehärtet. In einem weiteren Schritt wird die Kugel in einem Zick-Zack-Muster bis zur Hälfte aus dem Silikon ausgeschnitten (siehe Abbildung 42). Dies hat den Vorteil, dass die Form genau zusammenliegt. Zusätzlich bietet Silikon den Vorteil, dass diese Formen mit wenig Druck mithilfe eines Gummibandes (siehe Abbildung 43), gut zusammenliegen und abgedichtet sind. Das Wasser wird mittels einer Spritze eingefüllt (siehe Abbildung 44) und anschließend wird die Form in den Kühlschrank gelegt.

Nachdem Silikon eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit als Metall besitzt, benötigt diese Art der Herstellung der Kugeln mehr Zeit für das Frieren. Obwohl Eis in Silikon besser expandiert, tritt dasselbe Problem auf wie beim Frieren in Metallschalen: Das Eis friert am Rand schneller als in der Mitte und somit entstehen auch in diesen Kugeln Sprünge. Das Herausnehmen der Eiskugeln ist aber viel einfacher als bei Metallschalen.

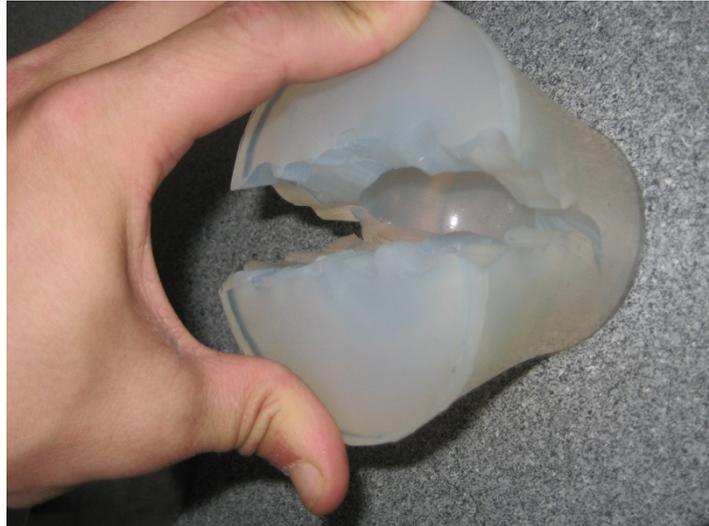


Abbildung 42: Silikonform geöffnet



Abbildung 43: Silikonform mit Gummiband



Abbildung 44: Silikonform beim Befüllen

4.2.2.3. Eis in erwärmten metallischen Halbschalen herausmelzen

Dieses Verfahren wurde von einem Japaner erfunden und patentiert²¹⁰. Der ursprüngliche Verwendungszweck war die Herstellung von Eiswürfeln für Getränke.

Dabei wird Wasser in einem Gefäß, welches größer sein muss als die Endform, eingefroren. Dieses Gefäß soll aus einem nachgiebigen Material bestehen, welches es ermöglicht, das Eis leicht zu entnehmen (siehe Abbildung 45). Zusätzlich soll das Gefäß nach oben hin offen sein, damit beim Gefrieren geringere Spannungen in das Eis kommen. Die Kugelformer bestehen aus Halbschalen mit einer ausgefrästen Halbkugel (siehe Abbildung 46). Die untere Halbschale hat in der Mitte ein kleines Loch mit ca. 5 mm Durchmesser. Am Rand besitzt es mehrere fix montierte Laufschienen, an welchen die zweite Halbschale entlanggeführt wird. Die obere Halbschale besitzt Löcher, um ein Durchführen der Laufschiene zu ermöglichen.

Die Halbschalen werden in einem Heißwasserbad erwärmt (siehe Abbildung 47), danach wird die untere Halbschale aufgestellt und das Eis in die Mitte eingelegt (siehe Abbildung 48). Auf das Eis wird anschließend die zweite Halbschale aufgebracht und durch das Eigengewicht die Eiskugelform herausgeschmolzen (siehe Abbildung 49). Das geschmolzene Wasser kann durch das Loch, welches am unteren Ende angebracht ist, abfließen. Je besser die Halbschalen die gespeicherte Wärme abgeben, desto besser und schneller geht der Schmelzvorgang vonstatten. Dabei stellte sich heraus, dass sich Aluminium am besten dafür eignet. Nichtrostender Stahl bzw. Bronze gibt die Wärme zu langsam ab (siehe Abbildung 51). Nach dem Abschmelzen darf die fertige Eiskugel nicht zu lange in der Form verbleiben (siehe Abbildung 50), weil sie sonst weiter abschmilzt und einerseits kleiner wird, andererseits ihre Form verändert, was zur Folge hat, dass sie beim Beschuss eine ungleichmäßige Beschleunigung hat.



Abbildung 45: Eisherstellung für den Schmelzprozess

²¹⁰ Vgl. Kondo Nobuaki; Kondo Shinichi; Japanisches Patent JP4192274 (B2) Veröffentlicht 10.12.2008



Abbildung 46: Ansicht der Halbschalen aus Aluminium mit Laufschiene



Abbildung 47: Halbschalen mit Laufschiene im Heißwasserbad



Abbildung 48: Halbschale mit Eis befüllt



Abbildung 49: Eisherausschmelzprozess mit Laufschiene



Abbildung 50: Herausgeschmolzene Eiskugel



Abbildung 51: Hagelformen aus Kupfer und Niro

4.2.2.4. Eis in einer metallischen Halbschale einfrieren und mit einer anderen metallischen Halbschale herauschmelzen

Um den Gefrierprozess zu optimieren, wurde das Eis in einer metallischen Halbschale eingefroren, welche eine Halbkugel am Boden aufweist (siehe Abbildung 52). Ist das Wasser gefroren, wird eine erwärmte Halbschale, welche die andere Hälfte der Eiskugel trägt, eingesetzt (siehe Abbildung 53). Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Speicherfähigkeit der oberen Halbschale: Das Einsetzstück besitzt eine dünne Wand und verliert die Wärme leichter. Dadurch geht der Schmelzvorgang sehr langsam vonstatten oder wird überhaupt gestoppt. Erst durch zwei- oder dreimaliges Erwärmen der Halbschalenform kommt es zur kompletten Formgebung (siehe Abbildung 54). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt im Optimieren des Gefrierprozesses und der wenigen Arbeitsschritte. Auch wenn die Wandstärke des Einsatzprofils erhöht wird, geht die Wärme schnell verloren, weil die eingefrorene Halbschale mehr Platz schaffen muss, wo aber dadurch auch das Eis dicker ist – somit verschwindet der Vorteil.



Abbildung 52: Eiskugelgefäß aus Aluminium



Abbildung 53: Eiskugelgefäß mit Einsatzprofil



Abbildung 54: Einsatzprofil mit Eiskugel

4.2.2.5. Herstellen von Eis mit unterkühltem Wasser (Supercooling)

Beim Supercoolingverfahren wird das Wasser auf unter 0 °C herabgekühlt, ohne dass es dabei gefriert. Dies funktioniert am besten mit destilliertem Wasser, wobei sich das Wasser im Stillstand befinden muss und keine Verunreinigungen aufweisen darf. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass das Wasser schnell und gleichmäßig gefriert und somit keine Spannungen und Risse im Eis entstehen. Allerdings ist es bis dato nicht möglich, das Eis so weit zu unterkühlen, dass das komplette Wasser auf einmal gefriert. Aus diesem Grunde ist dieses Verfahren für die Eiskugelproduktion nicht anwendbar.

4.2.2.6. Herstellen von Eis mit kaltem Wasser, welches unter Druck bzw. in Bewegung ist

Ein weiteres Verfahren Wasser im flüssigen Zustand zu unterkühlen ist, das Wasser unter Druck zu versetzen. Dieser Prozess benötigt sehr viel Druck und somit auch Energie, wodurch dieses Verfahren zur Herstellung von Eiskugeln unrentabel ist.

Formel 17: Gefrierpunkt in Abhängigkeit des Druckes

$$\frac{322 \text{ kJ / kg}}{4,187 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}} \approx 77 \text{ K}$$
$$\frac{77 \text{ K}}{0,0077 \text{ K}} \approx 10^9 \text{ Pa} = 10^4 \text{ bar}$$

Ebenso ist es möglich, Wasser unter Bewegung zu unterkühlen, ohne dass es gefriert. Auch dieses Verfahren ist nur unter großem Energieaufwand möglich und daher unwirtschaftlich.

4.2.2.7. Lufteinblasen in die Eisformen

Eine weitere Möglichkeit ist das Einblasen von Gasen im Gefrierprozess. Durch diesen Vorgang wird die Kristallbildung beim Gefrieren unterbrochen und es kommt zu keiner Spannung im Eis. Durch diesen Prozess werden alle Eiskristalle in eine Richtung ausgerichtet und kein Kristall stößt mit einem anderen zusammen. Das Resultat ist, dass das Eis durchsichtig und spannungsfrei produziert wird.²¹¹

Der Aufwand bei der Hagelproduktion nach dieser Methode ist zu groß bzw. zu problematisch. Die Eiskugelform ist sehr klein, daher ist es schwierig, eine perfekte Luftleitung zu integrieren. Wird zu viel Luft eingeblasen, hebt sich die Eiskugel aus der Form, bläst man die Luft zu langsam ein, geht der zuvor genannte Effekt verloren.

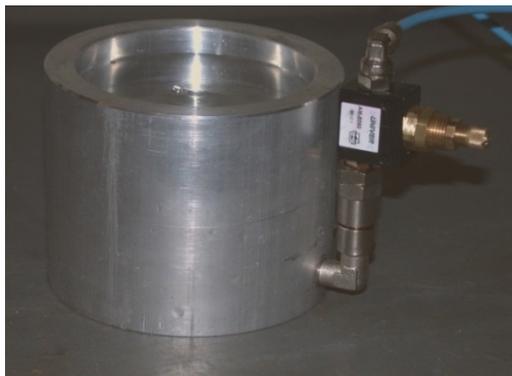


Abbildung 55: Eisform mit Lufteinblasvorrichtung

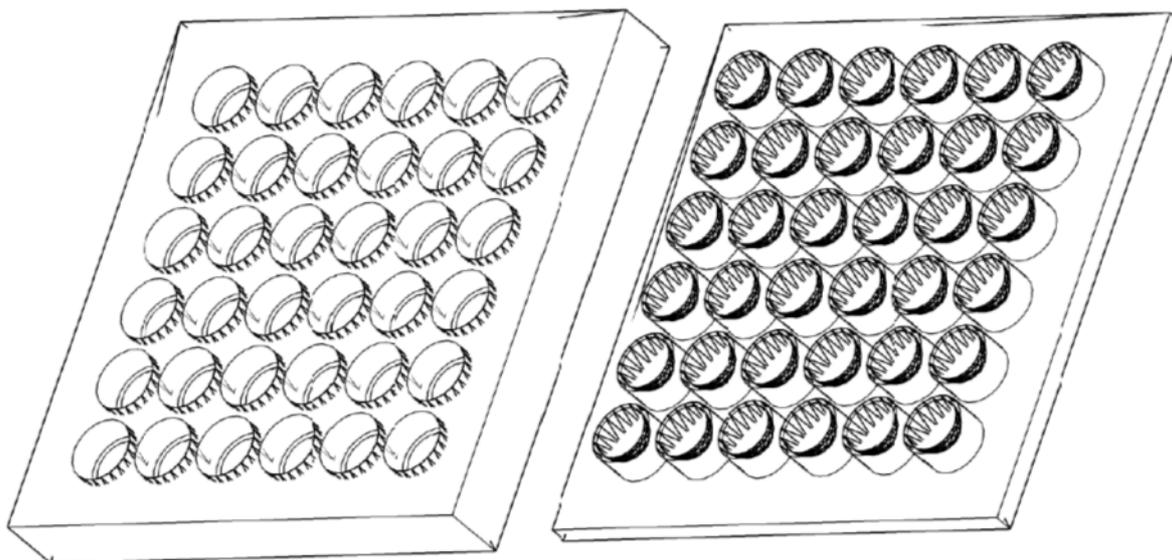


Abbildung 56: Eiskugel, die mit Lufteinblasfunktion erschaffen wurde

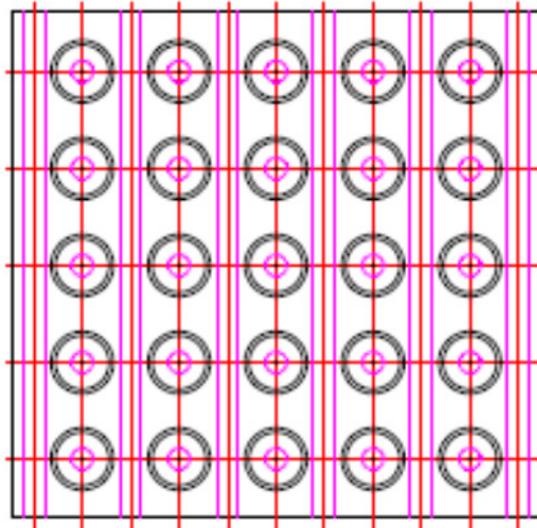
²¹¹ Laut E-Mail vom Herrn Dr., a. Univ. Prof. Thomas Lörting am 26.2.2010 um 12:06.

4.2.3. Zusammenfassung

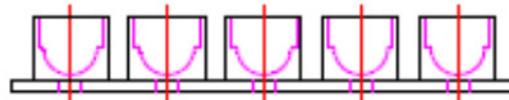
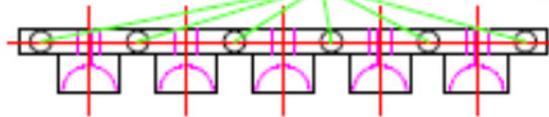
Das Problem bei jedem dieser Versuche war der große manuelle Aufwand beim Herstellen der Eiskugeln, daher sollte die Herstellung der Eiskugeln eine Maschine übernehmen. Nach der Durchführung mehrerer Versuche mit unterschiedlichen Verfahren zeigte sich, dass das vierte Verfahren am erfolgreichsten war. Somit sollte es möglich sein, mit einer vorgefertigten Matrix aus Eishalbschalen und Ausschmelzformen eine Massenproduktion zu starten. Die Formen, die erhitzt werden, könnten auf der Rückseite eine Heizspirale integrieren, um diese mit kontinuierlicher Hitze zu versorgen und somit eine durchgehende Abschmelzung zu gewährleisten. Nach dem Abschmelzvorgang könnte die Form umgedreht und die Eiskugeln in einen gedämmten Vorratsbehälter eingefüllt werden. Dieser würde dann in einer Tiefkühltruhe aufbewahrt werden.



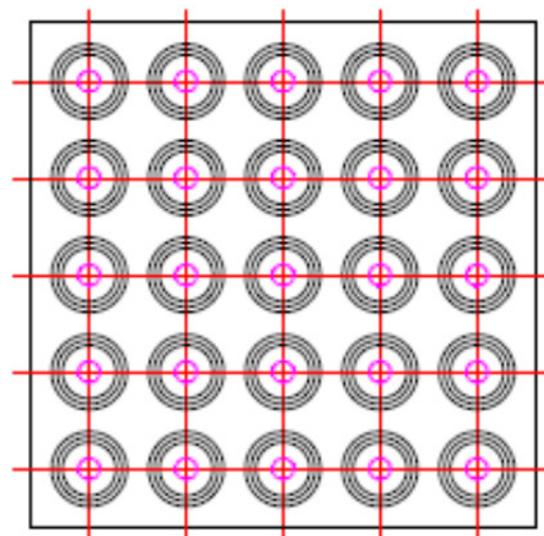
Plan 3: Einfrier- und Herausschmelzformen



Herausschmelzhalbschalen
Heizleitung



Einfrierhalbschalen



Plan 4: Eiskugelproduktionsmatrix

4.3. Hagelschauerprüfmaschine (HSPM)

4.3.1. Anforderungen

Die entwickelte Hagelmaschine sollte einen flächendeckenden Beschuss von Testobjekten ermöglichen. Diese Anforderung wird mittels der Anordnung von zehn Hagelkanonen auf einem Quadratmeter erfüllt.

Da die Hagelkörner nicht immer im gleichen Winkel auf das Testobjekt auftreffen, musste die Konstruktion so gewählt werden, dass das Verstellen der Kanonen leicht möglich ist. Dabei ist darauf achtzugeben, dass die Kanonen jeweils die gleiche Entfernung vom Testobjekt aufweisen. Dadurch wird sichergestellt, dass jedes Geschoss mit dem gleichen Durchmesser dieselbe Aufprallgeschwindigkeit besitzt. Nachdem nicht immer vertikale oder waagrechte Testobjekte vorhanden sind, musste eigens eine Vorrichtung geschaffen werden, welche ein pralles Abfahren des Testobjekts ermöglicht. Konkret wurde dies anhand eines schwenkbaren Beschussgerüsts realisiert. Die Prüfung verschiedener Hagelspektren mit unterschiedlichen Durchmessern erfordert ein schnelles Wechseln der Kanonen und stellt somit hohe Anforderungen an die Befestigung der Kanone dar.

Ein weiteres Kriterium stellt das Prüfen in großen Höhen dar. Dafür wurde eigens eine Vorrichtung zum Heben des Hagelgerüsts integriert. Ein Vorratsbehälter (Magazin) mit einem Portionierer gewährleistet einen kontinuierlichen Beschuss, es ist somit nur jeweils ein Geschoss in der Hagelkanone vorhanden.

Die technische Machbarkeit der Prüfung in großen Höhen erfordert eine Automatisierung des Beladens bzw. des Auslösens des Beschusses. Eine SPS-Steuerung automatisiert diese beiden Vorgänge.

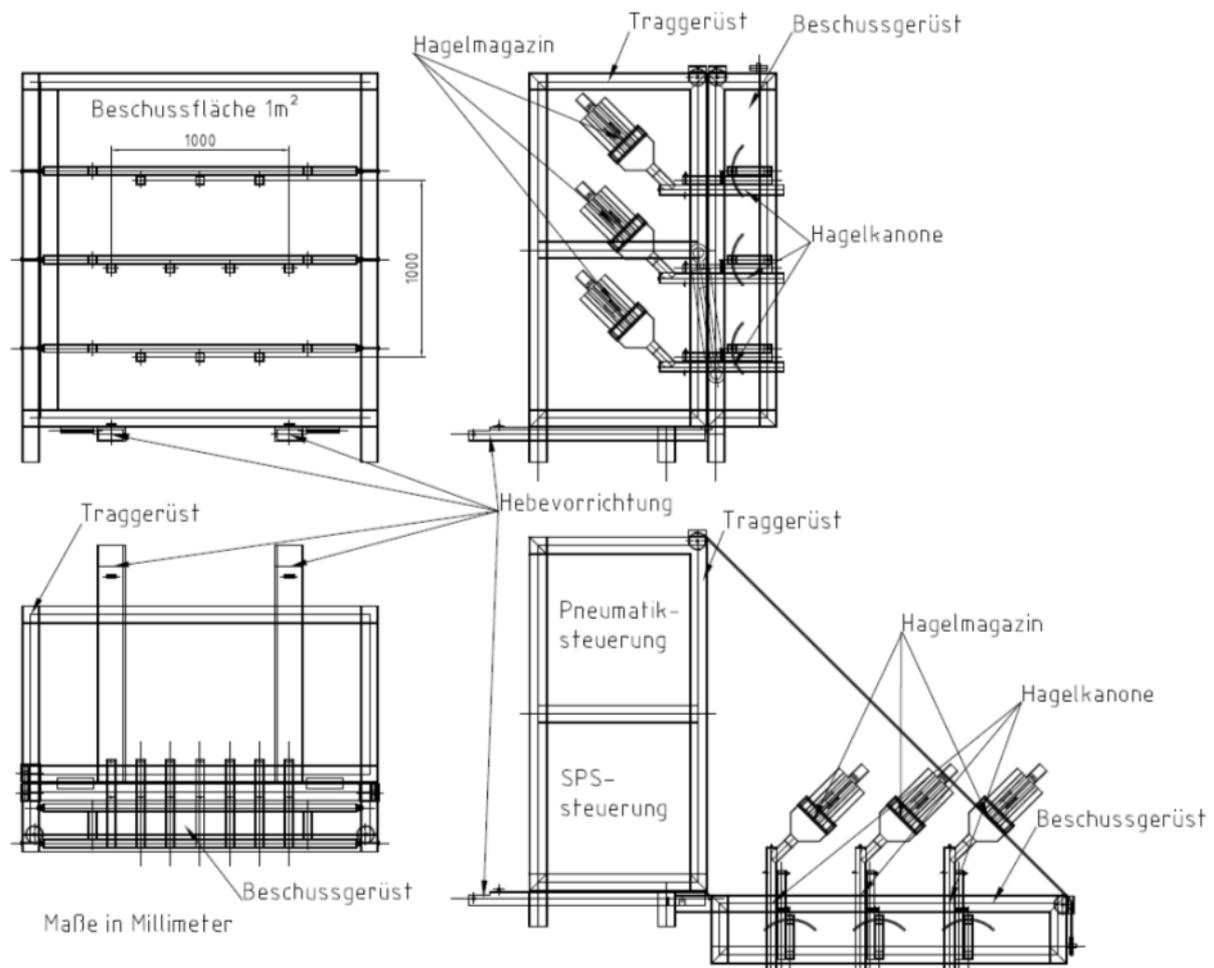


Abbildung 57: Hagelgerüst mit Hagelkanonen

4.3.2. Traggerüst

Die gestellte Anforderung an das Traggerüst ist hoch: Es soll die Aufnahme der gesamten Lasten (Hebeegerüst inklusive Kanonen) ohne jegliche Verformungen ermöglichen. Das um 90° schwenkbare Beschussgerüst erfordert eine spezielle Hebeeinrichtung, die in der Lage ist, die entstehenden Kräfte aufzunehmen. Zum Heben und Senken der Beschussvorrichtung wurde eine Seilwinde installiert, welche eine stufenlose elektronische Ansteuerung ermöglicht. Dadurch wird eine Ansteuerung in jedem beliebigen Winkel zwischen 0° und 90° ermöglicht (siehe Abbildung 57). Ein Winkelmessgerät ermöglicht es, den gewünschten Winkel über ein elektronisches Signal genau anzusteuern.

Ein auf der Unterseite angebrachter Einfahrshuh für Hubstapler ermöglicht ein flexibles Prüfen in unterschiedlichen Höhen und diversen Umgebungen unter allen sicherheitstechnischen und gesetzlichen Aspekten.

4.3.3. Beschussgerüst

Das Beschussgerüst lässt sich in drei Hagelkanonenebenen einteilen. Die Abstände zwischen den einzelnen Kanonen wurden so gewählt, dass zehn Kanonen pro Quadratmeter Platz haben (siehe Abbildung 57). Auf der dem Testobjekt zugewandten Seite befindet sich der fixe Drehpunkt. Zwischen den Stehern ist eine Platte mit einer um 90° drehbaren Führung eingeschweißt. Diese Platte ermöglicht durch ein Verklemmen der hinteren Hagelauflagerpunkte mit einer Flügelmutter das Befestigen und Justieren des Beschusswinkels. Auf der Hagelkanonenebene, auf welcher sich eine montierte Hagelkanone befindet, wird eine Geschwindigkeitsmesssonde eingehängt und einjustiert.



Abbildung 58: Hagelkanone-Traggerüst und Beschussgerüst

4.3.4. Hagelkanone

Die Hagelkanone besteht aus nicht rostendem Stahl (siehe Abbildung 60). Der Durchmesser des Laufes beträgt ungefähr 1 - 2 mm mehr als der Geschossdurchmesser. Auf der Oberseite des Laufes befindet sich ein Einfüllstutzen in einem Winkel von 45°. Dieser erzeugt ein Gefälle, welches für das Nachladen erforderlich ist. Die Montage des gesamten Systems der Hagelkanone erfolgt auf zwei Gewindestangen, montiert am Hagellauf und wird am Beschussgerüst angebracht. Auf der Unterseite befindet sich ein Schlitz im Lauf, in dem ein Kunststoffplättchen eingearbeitet worden ist. Dies ermöglicht bei einer allfälligen Neigung der Hagelkanone ein Abstoppen der Hagelgeschosse beim Nachladen.

4.3.5. Hagelmagazin

Das Magazin besteht aus den Vorratsbehältern, dem Einzelportionierer und dem Einfüllstutzen. Jedes Magazin besitzt sechs Vorratsbehälter, in welchen ca. 5 - 7 Kugeln Platz finden. Der Rohrdurchmesser eines jeden Vorratsbehälters ist um 4 mm größer als die Geschosse. Die Rohre sind wärmegeämmt, um das Abschmelzen der Hagelkörner zu verhindern.

Der Portionierer selbst besteht aus einem Zwischenkammerbereich, welcher durch einen unteren und oberen Abschlussdeckel verschlossen ist. Die Abschlussdeckel besitzen jeweils eine Öffnung, die den gleichen Durchmesser wie die Vorratsbehälter aufweisen. Die in einer Führung eingebauten Abschlussdeckel besitzen in der Mitte eine Drehachse. Die Öffnungen liegen diagonal der Drehachse. Diese Anordnung verbessert die Luftdichtheit. Der Zwischenkammerbereich besteht aus denselben Rohren wie die Vorratsbehälter. Die Länge der Rohre wurde so gewählt, dass nur ein Hagelgeschoss Platz hat.

Die Drehachse besteht aus einem Vollrohr mit einem Durchmesser von 50 mm. In der Drehachse ist eine Führung eingefräst, die eine kontrollierte Weiterführung der Abschlussdeckel ermöglicht. Der Antrieb der Drehachse erfolgt mittels eines nicht verdrehbaren Pneumatikstempels, der mit den Vorratsbehältern verbunden ist. Die Führung ist in einem Zick-Zack-Muster eingefräst, wodurch die Nachladung mit einer Bewegung vollzogen wird. Durch das Drehen der Abschlussdeckel werden die Geschosse einerseits in den Portionierer gefüllt und andererseits in den Einfüllstutzen eingebracht - so wird stets gewährleistet, dass sich nur ein Geschoss im Lauf befindet. Der Einfüllstutzen stellt einen Trichter in Form eines spitzen Winkels dar. Die gewählte Form versichert, dass das Geschoss – unabhängig vom Einstellwinkel – in den Lauf kommt (siehe Abbildung 59).

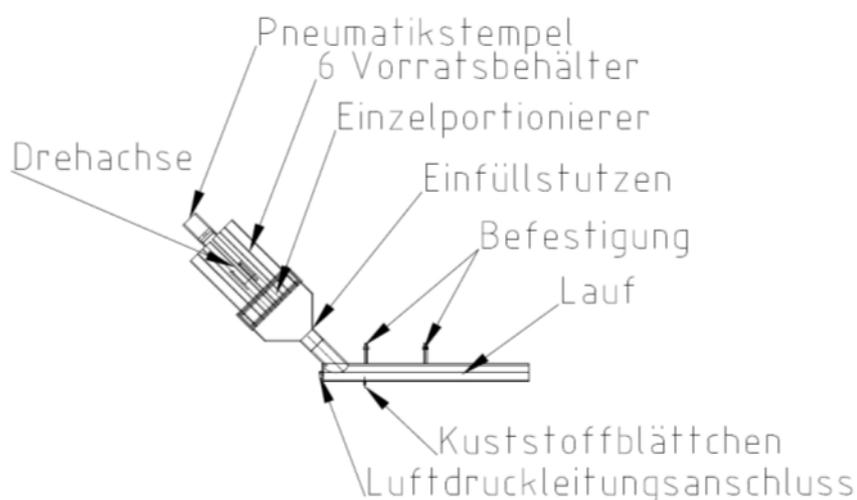


Abbildung 59: Hagelkanone mit Magazin

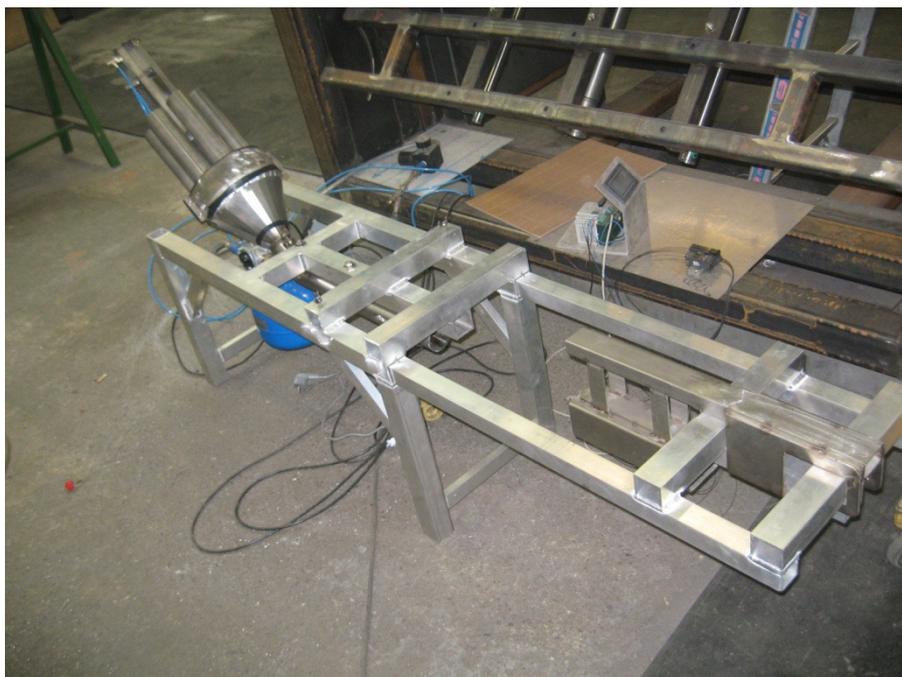


Abbildung 60: Hagelkanone mit Magazin und Geschwindigkeitsmesseinrichtung

4.3.6. Pneumatikantrieb der Hagelkörner

Die Drucklufthauptleitung wird am ersten Hauptverteiler angeschlossen. Die Versorgung wird mittels Leitungen zu den einzelnen Verteilern sichergestellt, welche weiters mit einem Druckregler und mit einer Anzeige ausgestattet sind. Von jedem Druckregler erfolgt dann die Versorgung zum Druckluftkessel mit einem Volumen von fünf Litern. Ist der vordefinierte Luftdruck erreicht, entleert ein Schnellentlüftungsventil den gesamten Luftkessel und gibt die ganze Energie auf die Kugel ab (siehe Abbildung 61).

4.3.7. Ansteuerung des Ladevorgangs des Magazins

Die Ladezylinder werden elektronisch mittels SPS angesteuert. Im abwechselnden Befüllen mit Luft des Zylinders bewegt sich dieser nach oben oder nach unten. Der Verteiler ist mit der Druckluftleitung verbunden und gibt diese dann frei, wenn die SPS das Signal gibt (siehe Abbildung 61).



Abbildung 61: Pneumatik und SPS-Steereinheit

4.3.8. Geschwindigkeitsmesstechnik

Das Geschwindigkeitsmessgerät wird am Ende des Laufes montiert. Dieses Formrohr hat eine Länge von 300 mm und besitzt vier Gewindebohrungen mit einem Abstand von 200 mm, die sich gegenüber befinden. In diesen Bohrungen werden die Lichtwellenleiter fixiert. Auf der einen Seite befinden sich die Empfänger, auf der gegenüberliegenden Seite die Empfänger (siehe Abbildung 60).

Die Funktionsweise entspricht der eines Laserschranken. Unterbricht die Eiskugel den ersten Lichtwellenleiter, beginnt die Zeitmessung. Das Ende der Zeitmessung erfolgt durch die Unterbrechung des zweiten Lichtwellenleiters durch die Eiskugel.

Die Überprüfung der Genauigkeit der Geschwindigkeitsmesstechnik wurde bei der Firma High Pressure Instrumentation (HPI) in Graz durchgeführt.

4.3.9. Technische Zusammenfassung der HSPM

- Bis zu zehn Schüsse pro Quadratmeter gleichzeitig,
- jede Hagelkanone kann einzeln gezielt abgefeuert werden,
- jede Hagelkorngeschwindigkeit ist individuell einstellbar,
- Hageldurchmesser von 5 - 100 mm sind möglich,
- Dauerbeschuss ist möglich bis ca. 400 Schuss,
- mobile Einrichtung (benötigt vor Ort 230 V und eine Druckluftleitung bis 7 bar),
- Computeransteuerung; Einspielen von Szenarien und gleichzeitige Auswertung beim Beschuss,
- schwenkbares Beschussgerüst,
- Einzelgeschwindigkeitsmessung (eine Ungenauigkeit von unter 2 %),
- jeder Auftreffwinkel ist möglich,
- gleichzeitige Simulation mit Wind und Regen ist möglich und
- Prüfungen in großen Höhen ist möglich.

5. Prüfung und Prüfergebnisse

Getestet wurden horizontal zweiseitig gelagerte Gläser. Dieser Versuch war der Prototypentest und zeigte die Funktionstauglichkeit der Hagelprüfmaschine. Überprüft wurde die Ansteuerung der Maschine, das automatische Nachladen bei jedem Winkel inklusive der Befüllung der Lufttanks, die Abhängigkeit zwischen Luftdruck und Geschwindigkeit, das Ansteuern der Geschwindigkeit und die Sicherheitsaspekte beim Beschuss.

Der Beschuss erfolgte mit unterschiedlichen Materialien (Kunststoff, Eis und Stahl) mit einem Auftreffwinkel von 90°. Weiters konnte gezeigt werden, bei welcher Hagelsummenlast die Testobjekte zerstört werden. Die Untersuchung ermöglichte eine Differenzierung in Abhängigkeit vom Geschossmaterial. Als Lasten wirkten nur das Eigengewicht und die Hagelsummenlast.

5.1. Prüfaufbau

Für die erfolgreiche Durchführung der Prüfung wurden die Testobjekte mit Klemmprofilen horizontal auf zwei gewöhnliche Alupfosten montiert. Diese Montage stellte eine zweiseitig komplette linienförmige Lagerung dar (siehe Abbildung 62, Abbildung 63 und Abbildung 64).

Die Montage der Pfosten auf einem gewöhnlichen Niedrigcontainer der Firma Saubermacher (Höhe knapp über 1 m) ermöglichte ein leichtes Anbringen der Testobjekte sowie eine einfache und sachgerechte Entsorgung der Testobjekte nach erfolgter Prüfung. Die Alupfosten wurden mithilfe von Schraubzwingen am Container befestigt, somit konnten die Testobjekte weder verrutschen, noch kam es zu einer Verschiebung durch den Beschuss. Die zweiseitige Lagerung der Testobjekte ermöglichte daher jederzeit eine rasche Anpassung der Abstände. Somit konnten Testobjekte unterschiedlicher Größen einfach und rasch montiert, befestigt und Testobjekte unterschiedlicher Größen der Prüfung unterzogen werden. Die Hagelkanone wurde in der Feldmitte horizontal über dem Testobjekt mithilfe eines Hubstaplers der Firma SFL -technologies GmbH mit einem Abstand von ca. einem Meter positioniert (siehe Plan 5). Es wurde nur mit einer Hagelkanone mit einem Hagelkorndurchmesser von 50 mm geschossen. Die Hagelkanone wurde mit einer Wasserwaage vertikal eingerichtet.

5.2. Prüfablauf

Jedes Testobjekt war mindestens in vierfacher Ausführung vorhanden. Im ersten Schritt sollte das Testobjekt mit Stahlkugeln bzw. Kunststoffkugeln beschossen werden. Eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Geschosse führte zu einem Anstieg der

eingesetzten Energie. Die Hagelsumme wurde jederzeit aufgezeichnet und protokolliert. Danach wurde ein gleiches Testobjekt mit einem anderen Geschossmaterial beschossen. Die Auswertung zeigt die unterschiedlichen Belastungen. Dieser Prüfungsvorgang kann für unterschiedliche Aufbauten herangezogen werden.

5.3. Ergebnisse

5.3.1. Anwendung des Hagelschauerprüfmaschine

5.3.1.1. Messen und Ansteuern

Über die SPS (Speicher-Programmierbare Steuerung) wurden alle zehn Hagelkanonen (Beladung, Auslösung des Schusses und das Messen der Geschwindigkeit) gemessen. Zusätzlich wurde das Kippen des Beschussgerüsts und das Messen des Abstandes zwischen Mündung und Testobjektes angesteuert. Dabei stellte sich heraus, dass ein Standardnetzgerät nicht ausreichend ist und ein leistungsfähigeres Netzgerät mit 10 Ampere benötigt wird.

5.3.1.2. Abhängigkeit der Aufprallgeschwindigkeit von Gewicht, Luftdruck und Durchmesser

Die Abhängigkeit zwischen dem Luftdruck, welcher im Luftbehälter vor dem Beschuss vorhanden war und der gemessenen Geschwindigkeit, die beim Beschuss gemessen wurde, ist linear. Die Stahlkugel mit einem Durchmesser von 50 mm und einem Gewicht von 0,513 kg konnte die Auffangvorrichtung (Kunststoffblättchen) erst bei 3 bar Lufttankdruck überwinden. Ab diesem Lufttankdruck konnte man beobachten, dass die Geschwindigkeit der Kugel linear zum Luftdruck anstieg.

Eine weitere Erkenntnis war, dass die Aufprallenergie bei unterschiedlichen Beschussmaterialien bei gleichem Luftdruck der pneumatischen Abschussvorrichtung fast gleich ist.

5.3.1.3. Das automatische Nachladen in unterschiedlichen Abschusswinkeln

Probleme beim Nachladen entstanden dadurch, dass eine zu steile Beladung zu einer zu hohen Geschwindigkeit und damit zu einem Zerbersten führte. Daher besitzt das Magazin einen Einfüllstutzen mit flachem Winkel, damit die Kugel bei jedem Beschusswinkel abgebremst wird und in den Lauf hineinrollt. Zusätzlich wurde die Innenseite des Trichters mit einem Kunststoff versetzt, damit die Kugel leicht und

weich abrollen kann. Außerdem wird der Trichter gedämmt, wodurch das Abschmelzen verzögert wird.

5.3.1.4. Die Sicherheitsaspekte beim Beschuss

Nachdem sich bei der Durchführung der Prüfung Teile lösen oder absplittern können, ist das Tragen einer Schutzbekleidung (Brille und Helm) notwendig. Zusätzlich sollte ein Sicherheitsabstand von mindestens 5 m eingehalten werden oder Schutz hinter einer durchsichtigen Wand gesucht werden (Glaswand oder Plexiglaswand). Zusätzlich wurden zwei Notausschalter installiert, wovon einer direkt am Prüfgerät montiert wurde und der zweite mit einem Verlängerungskabel beim Prüfer vorhanden war.

5.3.2. Erkenntnisse beim Beschuss der Testobjekte

5.3.2.1. Zerstörung bei mehreren Schüssen

Wie aus Kapitel 8.6 ersichtlich, sind die meisten Testobjekte erst bei mehrmaligem Beschuss zerstört worden, obwohl der letzte Beschuss nicht immer der energiereichste war. Aus diesem Versuch ist erkennbar, dass durch einen Beschuss eine Vorbelastung am Testobjekt vorhanden ist. Ebenso ist ersichtlich, dass bei Beschuss der gleichen Testobjekte eine jeweils unterschiedliche Gesamtenergie zum Bruch geführt hat.

5.3.2.2. Emailliertes Glas

Eine weitere interessante Beobachtung ergab sich beim Beschuss von emaillierten Gläsern. Emaillierte Gläser sind immer ESG-Scheiben und weisen dadurch eine höhere Festigkeit auf. Diese entsteht durch das schnelle Abkühlen nach dem Erhitzen, es entstehen am Rand Zugzonen und im Kern eine Druckzone. Bei der Emaillierung wird eine der Zugzonen durch das Einbrennen von Farbe geschwächt.²¹² Erfolgt der Einbau der Testobjekte horizontal und kommt die Belastung von oben, so wird die Unterseite die Zugzone. Ist auf der Unterseite aber bereits ein Druck vorhanden, kann die Zugzone diese leichter kompensieren und geht somit nicht zu Bruch.

Wird das Testobjekt mit der emaillierten Seite nach unten eingebaut (geschwächte Zugzone liegt unten) sollte das Testobjekt statisch leichter brechen, als wenn die ungeschwächte Zugzone oben wäre. Wie aus Kapitel 8.6 ersichtlich, war das Ergeb-

²¹² Telefongespräch am 12.3.2011 um 12:02 Uhr mit Herrn DI. Aichinger, Geschäftsführer der Firma ERTEX SOLAR.

nis allerdings genau umgekehrt. Beim Beschuss der emaillierten Seite (die unbehandelte Druckzone war unten) kam die Testobjekte leichter zu Bruch.

In seiner ersten Analyse kam DI. Dr. Neugebauer zum Schluss, dass durch die Behandlung auf dem Testobjekt eine Unebenheit entsteht und somit Mikrorisse bzw. kleine Spitzen sichtbar sind. Werden diese beschossen, entstehen bei den Bergen hohe Spannungsspitzen und somit kann das Testobjekt die Lasten nicht abtragen. Dasselbe gilt für den Beschuss der Täler: Hier treibt das Geschoss einen Keil in das Testobjekt, dass somit leichter zu Bruch geht.



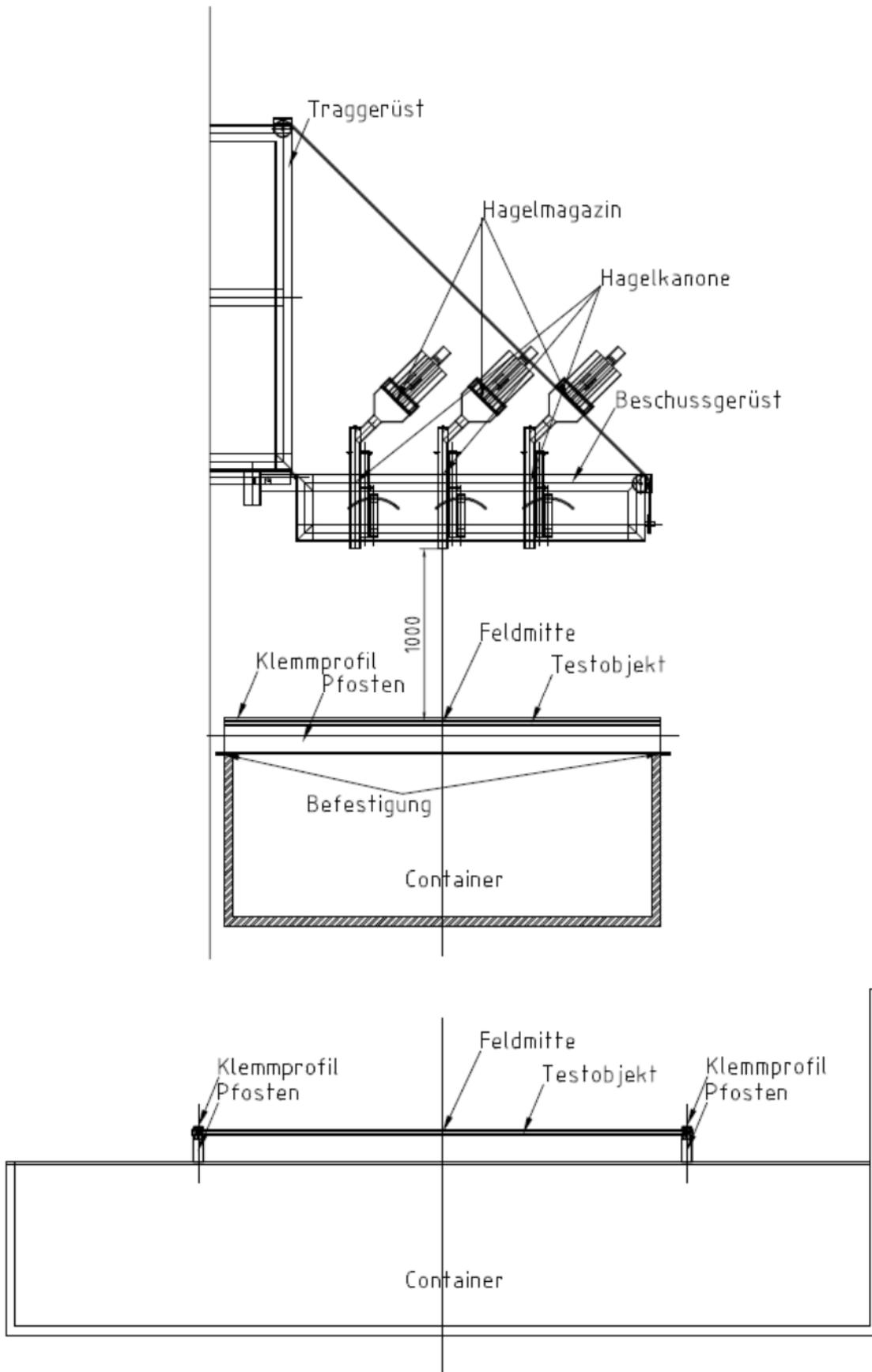
Abbildung 62: 1. Versuchsaufbau



Abbildung 63: 1. Versuch: Testobjekte nach dem Beschuss (Teil 1)



Abbildung 64: 1.Versuch: Testobjekte nach dem Beschuss (Teil 2)



Plan 5: Prüfungsaufbau 1. Versuch

6. Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

Nachdem Hagelschauer immer häufiger und intensiver werden, nehmen auch die Hagelschäden an Gebäudeteilen mit allen ihren Bestandteilen wie z.B. Glas, Blechpanelle oder Sonnenschutzlamellen zu. Unausweichlich müssen alle Außenbauteile gegen Hagelschauer geprüft bzw. statische Berechnungen durchgeführt werden.

6.1. Zusammenfassung

Lediglich in den Bereichen Photovoltaik, thermische Solaranlagen und bei Bitumenbahnen wurden bis jetzt Hagelprüfungen entsprechend europäischen Normen durchgeführt. Jene Hagelprüfungen entsprechen jedoch nicht realitätsnahen Bedingungen, das heißt Testobjekte werden mittels Einzelhagelschuss ohne Berücksichtigung simultan auftretender Einflüsse wie z.B. Wind oder Regen durchgeführt. Dies gilt auch für Prüfungen in der Schweiz, die verpflichtend für jegliche Außenbauteile durchgeführt werden müssen.

Ein weiterer Kritikpunkt bei aktuell durchgeführten Hagelprüfungen ist, dass die Hagelkorngeschwindigkeit bzw. Hagelkornaufprallenergie bis dato nicht in Relation zur Windgeschwindigkeit gesetzt wird. Wie aus Kapitel 8.2 ersichtlich, wirkt der Wind jedoch maßgeblich auf die Hagelgeschwindigkeit und somit auch auf die Hagelaufprallenergie ein. Das Auftreten von Wind führt damit zum einen zu einer Erhöhung der Hagelkorngeschwindigkeit und zum anderen zu einer zusätzlichen Last für die Außenbauteile. Unter Berücksichtigung der genannten Faktoren und Kritikpunkte erscheint damit nur eine statische Berechnung bzw. Prüfung als sinnvoll, welche eine Überlagerung verschiedener Lasten berücksichtigt.

Die VKF-Richtlinie der Schweiz unterscheidet nur, ob das Baumaterial in einer Fassade oder in einem Dach eingebaut wird. Befindet sich das zu prüfende Baumaterial im Dachbereich, erfolgt der Beschuss mit einer vordefinierten Geschwindigkeit, abhängig vom Hagelkorndurchmesser, im rechten Winkel. Fassadenbauteile hingegen werden in einem Winkel von 45° beschossen. Wie aus dem Anhang ersichtlich, ist die Hagelaufprallenergie abhängig vom Objektneigungswinkel, dem Hagelkorndurchmesser und der Windgeschwindigkeit. Des Weiteren kann festgehalten werden, dass die Testobjekte bei einer Prüfung mit nur 5 Schüssen beschossen werden, wobei hier sogar die Möglichkeit besteht, für jeden Beschuss ein eigenes Testobjekt zu verwenden. Entsprechend den Aufzeichnungen der ZAMG ist ersichtlich, dass in manchen Jahren an bestimmten Orten bis zu 20 Hagelschauer (siehe Kapitel 4.1.3.1) vorkommen. Damit kann nicht gewährleistet werden, dass die Prüfsituation örtlich auftretenden Verhältnissen entspricht.

Auf Basis der Hagelaufzeichnungen der ZAMG kann das Hagelspektrum einzelner Orte dargestellt werden, allerdings ist aus diesen Aufzeichnungen weder die Hagel-

schauerdauer noch der Hagelschauererlauf bekannt. Nach Rücksprache mit Experten war es möglich – in Kombination mit den vorhandenen Daten – einen Hagelschauererlauf zu berechnen. Auf Basis dieser Berechnungen konnten Prüflasten errechnet werden. Die Kenntnis der Prüflasten stellte eine wesentliche Voraussetzung dar, eine Prüfmaschine zu entwickeln, welche es ermöglicht, entsprechende Hagelschauerprüfungen durchführen. Die entwickelte Hagelschauerprüfmaschine wurde als europäisches Patent angemeldet (siehe Kapitel 8.3). Um reproduzierbare Hagelkörner sicherstellen zu können, wurde die Hagelkornproduktion automatisiert. Auf Basis der Forschungs- und Entwicklungsarbeit konnten in Verbindung mit den gewonnenen Erkenntnissen und der eigens entwickelten Hagelschauerprüfmaschine Hagelbeschussprüfungen durchgeführt werden.

6.2. Schlussfolgerung

Für eine genaue Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen die Hagelschauerlast muss der Prüfkörper im Maßstab 1:1 aufgebaut werden. Nur eine genaue Abbildung des Prüfkörpers zeigt beim Versuch wie der Prüfkörper bei der Einwirkung der Hagelast reagiert. Gerade bei der Vorhangfassade ist es wichtig, die Funktionsweise des statischen Grundprinzips zu berücksichtigen (z.B.: Kraftabtragung des Eigengewichts, Spannweiten der Aufhängungen).

Wie der durchgeführte Versuch zeigte, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Durchführung einer Prüfung mit 5 Einzelschüssen ausschlaggebend dafür ist, die Hagelbeständigkeit von Baumaterialien zu beurteilen. Durch die Vorbelastung eines Hagelschauers können Mikrorisse entstehen, welche das Material schwächen und bei einem nachfolgenden Hagelschauer zu einem Bruch führen können. Folgt man den Aufzeichnungen der ZAMG und berücksichtigt man, dass es in gewissen Regionen mehr als 20mal im Jahr hagelt, erscheint es als sinnvoll, Baumaterialien öfter zu beschießen – und zwar mindestens so oft, wie dieses Material im Einsatz sein soll.

Ein weiterer Punkt ist, dass eine Hagelschauerprüfung unbedingt mit allen tatsächlich auftretenden Randbedingungen wie z.B. Wind oder Regen durchgeführt werden sollte. Der Verfügbarkeit von Windkarten für Österreich bzw. für Europa sollte bei Aufbringung der Hagelschauerlast somit Rechnung getragen werden. Ebenso sollten Einfallswinkel und Hagelkorngeschwindigkeit (in Abhängigkeit vom Wind), berücksichtigt werden (siehe Kapitel 8.2). Nachdem der Wind die Einfallsgeschwindigkeit des Hagelkorns erhöht, muss dieser bei der Prüfung berücksichtigt werden. Nur eine entsprechende Kumulierung der Lasten kann sicherstellen, dass das Material richtig dimensioniert und ausgelegt wird.

Entsprechend der VKF-Richtlinien ist die höchste Klasse die HW 5 (Hagelkorndurchmesser von 50 mm). Nachdem in den letzten Jahren schon öfter Hagelkörner mit größeren Hagelkorndurchmesser (z.B. 70 - 90 mm) herabgefallen sind und diese

eine größere kinetische Energie besitzen, müssten in Prüfungen Hagelkörner mit einem entsprechend höheren Durchmesser berücksichtigt werden.

Damit man den Einfluss des Hagelschauers auf eine Vorhangfassade feststellen kann, wird diese in drei Schritten geprüft. Als erstes wird die Systemprüfung von Vorhangfassaden nach EN 13830 (Schlagregendichtheits-, Luftdurchlässigkeitsprüfung und Prüfung des Windwiderstandes) durchgeführt. Danach wird die Hagelschauerprüfung durchgeführt. Die erste Bauteilfunktionsprüfung wird nach der VKF-Richtlinie bewertet (Mechanik, Aussehen, Wasserdichtheit, Lichtdurchlässigkeit und Lichtabschirmung). Sind keine Veränderungen wahrgenommen worden, soll eine zweite Systemprüfung nach EN 13830 durchgeführt werden. Diese Werte sollen mit der ersten Prüfung verglichen werden, um etwaige Veränderung festzustellen. Nur so kann gewährleistet werden, dass die Vorhangfassade nach einem Hagelschauer dieselbe Qualität vorweist wie davor.

Ein weiterer Vorteil der mobilen Hagelschauerprüfung ist, dass jederzeit der Beschusswinkel bei Abfahren des Testobjekts verändert werden kann. Somit kann die Prüfung ohne Unterbrechung in beliebiger Höhe durchgeführt werden. Ebenso kann während der Prüfung die Hagelschauerlast erhöht oder gesenkt werden.

Ein multipler Beschuss auf ein Testobjekt kann dieses in Schwingung versetzen und somit zu Bruch gehen lassen. Nur durch einen Mehrfachbeschuss kann diese Eigenschaft auf einem Testobjekt geprüft werden.

Wesentliche Angaben für eine Hagelschauerprüfung sind:

1. Objektgröße; Objektneigung
2. Hagelkornverteilung (2x30 mm; 1x40 mm; 2x50 mm;...)
3. Hagelschauerlast (Joule/(m²xsec))
4. Anzahl der Sequenzen (1 Sequenz pro Sekunde)
5. Hagelschauergesamtlast (Joule/m²)
6. Hagelschauereinfallsenergie (Joule/m²xsec bezogen auf die Objektneigung)
7. Hagelschauergesamteinfallsenergie (Joule/m² bezogen auf die Objektneigung)
8. Statische Windbelastung (Pa)
9. Beurteilungsfunktionsprüfung nach der VKF
10. Beurteilung der Luftdurchlässigkeit und Schlagregendichtheit

6.3. Ausblick

Über den Inhalt der Dissertation hinaus gibt es noch etliche weitere offene Punkte, welche künftig näher betrachtet und erörtert werden müssten. Die Behandlung all jener Themen würde den Rahmen der vorliegenden Dissertation übersteigen.

6.3.1. Erstellen einer Hagelkarte für Österreich bzw. Europa

Um eine flächendeckende Prüfung österreichweit bzw. europaweit durchzuführen, wäre es notwendig, Hagelplattenuntersuchungen in ganz Österreich anzustellen. Eine solche Karte sollte das Hagelkornspektrum, den Hagelschauerverlauf, die Hagelschauerintensität und die Randbedingungen, welche beim Hagelschauer vorhanden sind (z.B. Wind, Regen, Temperatur), enthalten.

6.3.2. Erstellen von statischen Modellen

Um ein Rechenmodell für Statik und Dynamik zu erstellen, müssen in einem ersten Schritt Hagelbeschussversuche durchgeführt werden. Diese Versuche sollten so aufgebaut werden, dass der Hagelschuss auf eine Platte trifft. Auf der Unterseite der Platte befinden sich mindestens drei Piezokristalle, die die Kraft aufzeichnen. Auch die Verformung beim Auftreffen des Hagelkornes auf die Platte sollte dabei aufgezeichnet werden. Dabei sollten unterschiedliche Hagelkorndurchmesser berücksichtigt und mehrere Serien belegt werden. Aus diesen Erkenntnissen könnte ein Rechenmodell geschaffen werden.

6.3.3. Oberflächenuntersuchung

Durch das Auftreffen des Hagels können Mikrorisse entstehen, welche zu einer Schwächung des Materials führen. Dabei besteht das Risiko, dass das Material nach mehreren Hagelschauern zu Bruch geht. Um diesem Risiko entgegenzuwirken, müsste das Material nach der Durchführung des Beschusses auf eine mögliche Oberflächenveränderung untersucht werden.

6.3.4. Zukünftige Anforderungen an die Hagelschauerprüfmaschine

Wie auch bei der Schlagregenprüfung sollten die Testobjekte flächendeckend geprüft werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Prüfmaschine in der Lage ist, die gesamte Fläche zu prüfen. Die eingesetzte Prüfmaschine sollte dabei aber nicht nur einen flächendeckenden, sondern auch einen gezielten Beschuss an bestimmten Schwachstellen des Testobjektes vornehmen können.

6.3.5. Entwickeln der Hagelgeschosse

Bei der Entwicklung der Hagelgeschosse müssen die verschiedensten Faktoren berücksichtigt werden. Dazu zählen beispielsweise die Temperatur der Lagerung, der Sauerstoffeinschlussgehalt, die Geschwindigkeit des Gefrierprozesses und der

Kalkgehalt bzw. Mineralgehalt des Wassers. Diese Faktoren beeinflussen die Härte und Elastizität des Eises und somit auch jene Energie, die das Eis auf das Testobjekt überträgt. Daher empfiehlt es sich, die Hagelkörner bei bestimmten Herstellprozessen auf ihre Druckfestigkeit, Elastizität, Sprödigkeit und Lufteinschlüsse zu untersuchen.

7. Quellenverzeichnis

7.1. Normenverzeichnis

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 12975-2 Ausgabe 2006-06-01; „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren – Teil2: Prüfverfahren“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 13583 Ausgabe 2001-11-01; „Abdichtungsbahnen - Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen - Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 13830 Ausgabe 2003-11-01; „Vorhangfassade - Produktnorm“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 1991-1-4 Ausgabe 2011-05-15 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlast (konsolidierte Fassung)“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM B 1991-1-4 Ausgabe 2009-04-15 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 12179 Ausgabe 2000-10-01 „Vorhangfassaden- Widerstand gegen Windlast – Prüfverfahren“; Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 12155 Ausgabe 2000-10-01 „Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit - Laborprüfung unter Aufbringung von statischem Druck“, Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM EN 1991-1-1 Ausgabe 2011-03-01 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau (konsolidierte Fassung)“; Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM B 1991-1-1 Ausgabe 2006-01-01 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen“; Wien

Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), Österreichisches Normungsinstitut; ÖVE/ÖNORM EN 62108 Ausgabe 2008-09-01; „Konzentrator-Photovoltaik (CPV) –Module und –Anforderungen – Bauarteignung und Bauartzulassung“, Wien

Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), Österreichisches Normungsinstitut; ÖVE/ÖNORM EN 61215 Ausgabe 2006-04-01; „Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik (PV-)Module – Bauarteignung und Bauartzulassung“, Wien

Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), Österreichisches Normungsinstitut; ÖVE/ÖNORM EN 61646 Ausgabe 2009-05-01; „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)–Module – Bauarteignung und Bauartzulassung“ , Wien

Österreichisches Normungsinstitut; ÖNORM B 3716-1 Ausgabe 2009-11-15; „Glas im Bauwesen – Konstruktiver Glasbau Teil 1: Grundlagen“ , Wien

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband (SIA); SIA 261 Ausgabe 2003-01-01; Schweizer Norm; SN 505 261; „Einwirkungen auf Tragwerke“ , Bern

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband (SIA); SIA 261/1 Ausgabe 2003-01-01; Schweizer Norm; SN 505 261/1; „Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegung“ , Bern

7.2. Linkverzeichnis

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); „VKF Prüfbestimmung Nr. 00a Allgemeiner Teil A“ Version 1.01; Herausgeber: VKF; Bern 1.1.2010 http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/00_A_.pdf, Datum des Zugriffs 27.6.2011 um 11:05 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Bitumenplatte“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 22.10.2010 um 8:40 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Faserzement“; Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 20.10.2010 um 15:47 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Kunststoffplatte“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 18.09.2010 um 15:09 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Lichtkuppeln“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 20.10.2010 um 11:20 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Putz auf Außendämmung“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 20.10.2010 um 11:55 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Metall - Raffstoren“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 21.10.2010 um 10:08 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Rollladen“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 21.10.2010 um 9:57 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Flachverglasung“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 21.10.2010 um 8:50 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Ziegel“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 21.10.2010 um 11:14 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Dichtungsbahnen“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 21.10.2010 um 9:05 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Naturstein“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 22.10.2010 um 9:14 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schindeln“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 9.11.2010 um 9:01 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Schwimmbadabdeckungen“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 27.10.2010 um 9:14 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Steinfassade (ohne Naturstein)“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 22.10.2010 um 10:31 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türläden“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 1.3.2011 um 15:31 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); Version 1.01 vom 01.01.2010 „Prüfbestimmungen zur Ermittlung des Hagelwiderstandes - Fenster- und Türprofile“ Herausgeber: VKF; <http://www.praever.ch/de/es/vs/vkf/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 1.3.2011 um 15:33 Uhr.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF); vom 16.09.2009 „Prüfbestimmungen Schweizer Hagelschutzregister (HSR) Klassifikationsverfahren“; Herausgeber: VKF; Bern; <http://www.praever.ch/de/es/reg/Klassifikationsverfahren/Seiten/default.aspx>, Datum des Zugriffs am 2.12.2009 um 8:49 Uhr.

Marco Kaschuba; 2005 2006; Hagel Entstehung, Verbreitung, Schäden, Abwehr und Vorhersage; www.Marco-Kaschuba.com/hagel.pdf, Datum des Zugriffs 25.11.2009 um 12:10 Uhr.

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; „Hagelschadensereignisse Landwirtschaft“ Herausgeber: ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Lebensministerium und VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs; Wien 2007; http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hagelschadensereignisse_Landwirtschaft.pdf; Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:04 Uhr.

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; „Hagelschadensereignisse Industrie“ Herausgeber: ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Lebensministerium und VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs; Wien 2007; http://gis.lebensministerium.at/ehora/lfrz/services/eHORA/metadaten/Hagelschadensereignisse_Industrie.pdf; Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:04 Uhr.

Photo „Konzentrator – Fotovoltaik (CPV) - Module“ http://www.pv-tech.org/images/uploads/solfocus/SF-Modules-Close_Hi.jpg, Datum des Zugriffs 25.7.2010 um 16:05 Uhr.

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; „Hagelkarte Industrie inklusive Legende“ Herausgeber: ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Lebensministerium und VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs; Wien 2007; http://gis.lebensministerium.at/ehora/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHORA; Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:04 Uhr.

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik; „Hagelkarte Landwirtschaft inklusive Legende“ Herausgeber: ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Lebensministerium und VVO - Verband der Versicherungsunternehmen Österreichs; Wien 2007; http://gis.lebensministerium.at/ehora/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHORA; Datum des Zugriffs: 15.2.2011 um 9:04 Uhr.

Diagramm Abhängigkeit der Wasserdichte von der Temperatur <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Wasseranomalie.png&filetimestamp=2006109193320> Datum des Zugriffs 8.9.2010 um 15:08 Uhr.

7.3. Literaturverzeichnis

EGIL T.; Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren, Herausgeber Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen; Bern; 2007.

EGIL, T.; STUCKI, M.; Synthesebericht Elementarschutzregister Hagel; Untersuchungen zur Hagelgefahr und zum Widerstand der Gebäudehülle; Herausgeber: Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen; Bern; 2007.

SVABIK, O.; Hagelabwehr in Niederösterreich 1981-2000 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Wien; 2005.

SVABIK, O.; Hagelabwehr in der Steiermark 1982-2001 mit begleitender Untersuchung der ZAMG; Wien; 2004.

WASCHER, H.; Europäische Patentschrift „Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten“, EP 2431725 B1; Anmeldetag 21.9.2010; Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung 28.11.2012 Patentblatt 2012/48.

Kondo Nobuaki; Kondo Shinichi; Japanisches Patent „Device and Method of Making Molded Ice Block“ JP 4192274 B2 -2008-12-10

8. Anhang

8.1. Winddruck – Windgeschwindigkeitsberechnung

Tabelle 33 Winddruck - Windgeschwindigkeitsberechnung

Luftdruck-Windgeschwindigkeitstabelle						
Formel	$P_a = \rho \cdot v^2$	[N/m ²]	Luftdichte [ρ]	1,15 - 1,25	kg/m ³	
Windgeschwindigkeit			Staudruck			
km/h	m/s	[Pa]				
1	0,28	0,04 - 0,05				
10	2,78	4,44 - 4,82				
20	5,56	17,75 - 19,29				
30	8,33	39,93 - 43,40				
40	11,11	70,99 - 77,16				
50	13,89	110,92 - 120,56				
60	16,67	159,72 - 173,61				
70	19,44	217,40 - 236,30				
80	22,22	283,95 - 308,64				
90	25,00	359,38 - 390,63				
100	27,78	443,67 - 482,25				
110	30,56	536,84 - 583,53				
120	33,33	638,89 - 694,44				
130	36,11	749,81 - 815,01				
140	38,89	869,60 - 945,22				
150	41,67	998,26 - 1085,07				
160	44,44	1135,80 - 1234,57				
170	47,22	1282,21 - 1393,71				
180	50,00	1437,50 - 1562,50				
190	52,78	1601,66 - 1740,93				
200	55,56	1774,69 - 1929,01				
210	58,33	1956,60 - 2126,74				
220	61,11	2147,38 - 2334,10				
230	63,89	2347,03 - 2551,12				
240	66,67	2555,56 - 2777,78				
250	69,44	2772,96 - 3014,08				
260	72,22	2999,23 - 3260,03				
270	75,00	3234,38 - 3515,63				
280	77,78	3478,40 - 3780,86				
290	80,56	3731,29 - 4055,75				
300	83,33	3993,06 - 4340,28				
310	86,11	4263,70 - 4634,45				
320	88,89	4543,21 - 4938,27				
330	91,67	4831,60 - 5251,74				
340	94,44	5128,86 - 5574,85				
350	97,22	5434,99 - 5907,60				
360	100,00	5750,00 - 6250,00				
370	102,78	6073,88 - 6602,04				
380	105,56	6406,64 - 6963,73				
390	108,33	6748,26 - 7335,07				
400	111,11	7098,77 - 7716,05				
			Druckstufen			
			[Pa]	m/s	km/h	
50	9,33 - 8,94	33,57 - 32,20				
100	13,19 - 12,65	47,48 - 45,54				
150	16,15 - 15,49	58,15 - 55,77				
200	18,65 - 17,89	67,14 - 64,40				
250	20,85 - 20,00	75,07 - 72,00				
300	22,84 - 21,91	82,23 - 78,87				
450	27,98 - 26,83	100,71 - 96,60				
600	32,30 - 30,98	116,29 - 111,54				
750	36,12 - 34,64	130,02 - 124,71				
900	39,56 - 37,95	142,43 - 136,61				
1050	42,73 - 40,99	153,84 - 147,56				
1200	45,68 - 43,82	164,46 - 157,74				
1350	48,45 - 46,48	174,44 - 167,31				
1500	51,08 - 48,99	183,87 - 176,36				
1650	53,57 - 51,38	192,85 - 184,97				
1800	55,95 - 53,67	201,42 - 193,20				
1950	58,23 - 55,86	209,65 - 201,09				
2100	60,43 - 57,97	217,56 - 208,68				
2250	62,55 - 60,00	225,20 - 216,00				
2400	64,61 - 61,97	232,58 - 223,08				
2550	66,59 - 63,87	239,74 - 229,95				
2700	68,52 - 65,73	246,69 - 236,62				
2850	70,40 - 67,53	253,45 - 243,10				
3000	72,23 - 69,28	260,03 - 249,42				
3150	74,02 - 70,99	266,45 - 255,57				
3300	75,76 - 72,66	272,73 - 261,59				
3450	77,46 - 74,30	278,85 - 267,47				
3600	79,13 - 75,89	284,85 - 273,22				
3750	80,76 - 77,46	290,73 - 278,85				
3900	82,36 - 78,99	296,48 - 284,38				
4050	83,93 - 80,50	302,13 - 289,79				
4200	85,47 - 81,98	307,68 - 295,11				
4350	86,98 - 83,43	313,12 - 300,34				
4500	88,47 - 84,85	318,47 - 305,47				
4650	89,93 - 86,26	323,74 - 310,52				
4800	91,37 - 87,64	328,92 - 315,49				
4950	92,78 - 88,99	334,02 - 320,38				
5100	94,18 - 90,33	339,04 - 325,20				
5250	95,55 - 91,65	343,99 - 329,95				
5400	96,91 - 92,95	348,87 - 334,63				
5550	98,25 - 94,23	353,68 - 339,24				

In der linken Hälfte der Tabelle 33 kann die Druckeinwirkung auf die Fassade in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit entnommen werden. Aus der rechten Hälfte können die einzelnen Druckstufen für die Klassifizierung von Vorhangfassaden (Luftdurchlässigkeit bzw. Schlagregendichtheit) entnommen werden.

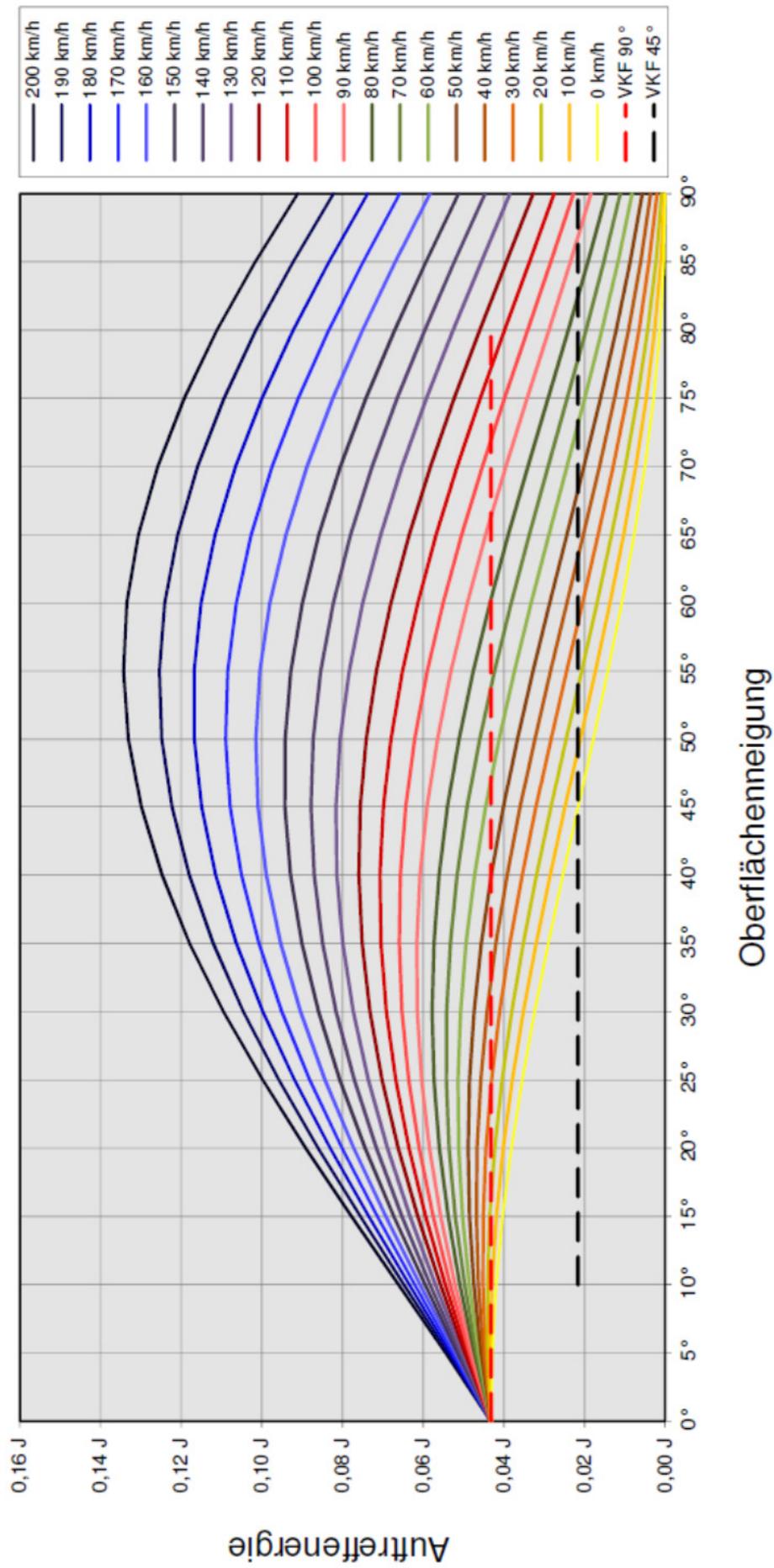
8.2. Hagelaufprallenergetischen Tabellen und Diagramme

Legende	
v_w	Windgeschwindigkeit
v_{HG}	Horizontalgeschwindigkeit
E_G	Energie
α	Gesamteinfallswinkel
G	Gewicht
d	Hagelkorndurchmesser
v_f	Fallgeschwindigkeit
v_G	Gesamtfallgeschwindigkeit
σ_E	Eisdichte
σ_L	Luftdichte
g	Erdbeschleunigung
c_w	Luftwiderstand
β	Objektneigung
W_B	Windbeiwert

V _w km/h		V _{HG}		HKD = 10 mm		Auftreffgeschwindigkeit Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffenergie [m/s]																			
		m/s	m/s	V _G m/s	E _G Joule	α	Objektneigung in Grad [β]																		
						0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
0	0,00	0,00	13,77	0,043	0,00	13,77	13,72	13,56	13,30	12,94	12,48	11,93	11,28	10,55	9,74	8,85	7,90	6,89	5,82	4,71	3,56	2,39	1,20	0,00	
10	2,78	1,00	13,81	0,043	4,15	13,77	13,81	13,74	13,56	13,28	12,90	12,43	11,85	11,19	10,45	9,62	8,72	7,75	6,73	5,65	4,53	3,38	2,20	1,00	
20	5,56	2,00	13,92	0,044	8,26	13,77	13,89	13,91	13,82	13,63	13,33	12,93	12,43	11,84	11,15	10,38	9,54	8,62	7,63	6,59	5,50	4,36	3,19	2,00	
30	8,33	3,00	14,09	0,045	12,29	13,77	13,98	14,08	14,08	14,08	13,97	13,75	13,43	13,00	12,48	11,86	11,15	10,36	9,48	8,54	7,53	6,46	5,35	4,19	3,00
40	11,11	4,00	14,34	0,047	16,20	13,77	14,07	14,26	14,34	14,31	14,17	13,93	13,58	13,12	12,57	11,92	11,18	10,35	9,45	8,47	7,43	6,33	5,19	4,00	
50	13,89	5,00	14,65	0,049	19,95	13,77	14,16	14,43	14,60	14,65	14,59	14,43	14,15	13,76	13,27	12,68	11,99	11,22	10,35	9,41	8,39	7,32	6,18	5,00	
60	16,67	6,00	15,02	0,051	23,54	13,77	14,24	14,60	14,86	14,99	15,02	14,93	14,72	14,41	13,98	13,45	12,81	12,08	11,26	10,35	9,36	8,30	7,18	6,00	
70	19,44	7,00	15,45	0,054	26,94	13,77	14,33	14,78	15,11	15,34	15,44	15,43	15,30	15,05	14,59	14,21	13,63	12,95	12,16	11,29	10,33	9,29	8,17	7,00	
80	22,22	8,00	15,93	0,058	30,15	13,77	14,42	14,95	15,37	15,68	15,86	15,93	15,87	15,69	15,39	14,98	14,45	13,81	13,07	12,23	11,29	10,27	9,17	8,00	
90	25,00	9,00	16,45	0,062	33,17	13,77	14,50	15,13	15,63	16,02	16,28	16,43	16,44	16,33	16,10	15,75	15,27	14,68	13,98	13,17	12,26	11,25	10,17	9,00	
100	27,78	10,00	17,02	0,066	35,98	13,77	14,59	15,30	15,89	16,36	16,71	16,93	17,02	16,98	16,81	16,51	16,09	15,55	14,88	14,11	13,22	12,24	11,16	10,00	
110	30,56	11,00	17,63	0,071	38,62	13,77	14,68	15,47	16,15	16,70	17,13	17,43	17,59	17,62	17,52	17,28	16,91	16,41	15,79	15,05	14,19	13,22	12,16	11,00	
120	33,33	12,00	18,27	0,076	41,07	13,77	14,77	15,65	16,41	17,05	17,55	17,93	18,16	18,26	18,22	18,04	17,73	17,28	16,70	15,99	15,16	14,21	13,15	12,00	
130	36,11	13,00	18,94	0,082	43,35	13,77	14,85	15,82	16,67	17,39	17,98	18,43	18,74	18,91	18,93	18,81	18,55	18,14	17,60	16,93	16,12	15,19	14,15	13,00	
140	38,89	14,00	19,64	0,088	45,47	13,77	14,94	15,99	16,98	17,73	18,40	18,93	19,31	19,55	19,64	19,58	19,37	19,01	18,51	17,87	17,09	16,18	15,15	14,00	
150	41,67	15,00	20,36	0,094	47,44	13,77	15,03	16,17	17,18	18,07	18,82	19,43	19,88	20,19	20,34	20,34	20,19	19,88	19,41	18,81	18,05	17,16	16,14	15,00	
160	44,44	16,00	21,11	0,102	49,28	13,77	15,11	16,34	17,44	18,41	19,24	19,93	20,46	20,83	21,05	21,11	21,01	20,74	20,32	19,75	19,02	18,15	17,14	16,00	
170	47,22	17,00	21,88	0,109	50,99	13,77	15,20	16,51	17,70	18,76	19,67	20,43	21,03	21,48	21,76	21,88	21,82	21,61	21,23	20,68	19,99	19,13	18,14	17,00	
180	50,00	18,00	22,66	0,117	52,58	13,77	15,29	16,69	17,96	19,10	20,09	20,93	21,61	22,12	22,47	22,64	22,64	22,47	22,13	21,62	20,96	20,12	19,13	18,00	
190	52,78	19,00	23,47	0,125	54,06	13,77	15,38	16,86	18,22	19,44	20,51	21,43	22,18	22,76	23,17	23,41	23,46	23,34	23,04	22,56	21,92	21,10	20,13	19,00	
200	55,56	20,00	24,28	0,134	55,45	13,77	15,46	17,04	18,48	19,78	20,93	21,93	22,75	23,41	23,88	24,17	24,28	24,21	23,95	23,50	22,88	22,09	21,12	20,00	

V _w km/h		V _{HG}		HKD = 10 mm		Auftreffenergie Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffenergie [Joule]																		
		m/s	m/s	V _G m/s	E _G Joule	α	Objektneigung in Grad [β]																	
						0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	0,00	0,00	13,77	0,043	0,00	0,043	0,043	0,042	0,040	0,038	0,035	0,032	0,029	0,025	0,022	0,018	0,014	0,011	0,008	0,005	0,003	0,001	0,000	0,000
10	2,78	1,00	13,81	0,043	4,15	0,043	0,043	0,043	0,042	0,040	0,038	0,035	0,032	0,029	0,025	0,021	0,017	0,014	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001	0,000
20	5,56	2,00	13,92	0,044	8,26	0,043	0,044	0,044	0,044	0,042	0,040	0,038	0,035	0,032	0,028	0,025	0,021	0,017	0,013	0,010	0,007	0,004	0,002	0,001
30	8,33	3,00	14,09	0,045	12,29	0,043	0,045	0,045	0,045	0,044	0,043	0,041	0,039	0,035	0,032	0,028	0,024	0,020	0,017	0,013	0,010	0,007	0,004	0,002
40	11,11	4,00	14,34	0,047	16,20	0,043	0,045	0,046	0,047	0,047	0,046	0,044	0,042	0,039	0,036	0,032	0,028	0,024	0,020	0,016	0,013	0,009	0,006	0,004
50	13,89	5,00	14,65	0,049	19,95	0,043	0,046	0,047	0,049	0,049	0,049	0,047	0,046	0,043	0,040	0,037	0,033	0,029	0,024	0,020	0,016	0,012	0,009	0,006
60	16,67	6,00	15,02	0,051	23,54	0,043	0,046	0,049	0,050	0,051	0,051	0,051	0,049	0,047	0,045	0,041	0,037	0,033	0,029	0,024	0,020	0,016	0,012	0,008
70	19,44	7,00	15,45	0,054	26,94	0,043	0,047	0,050	0,052	0,054	0,054	0,054	0,053	0,052	0,049	0,046	0,042	0,038	0,034	0,029	0,024	0,020	0,015	0,011
80	22,22	8,00	15,93	0,058	30,15	0,043	0,047	0,051	0,054	0,056	0,057	0,058	0,057	0,056	0,054	0,051	0,048	0,043	0,039	0,034	0,029	0,024	0,019	0,015
90	25,00	9,00	16,45	0,062	33,17	0,043	0,048	0,052	0,056	0,058	0,060	0,061	0,062	0,061	0,059	0,056	0,053	0,049	0,044	0,039	0,034	0,029	0,024	0,018
100	27,78	10,00	17,02	0,066	35,98	0,043	0,048	0,053	0,058	0,061	0,064	0,065	0,066	0,066	0,064	0,062	0,059	0,055	0,050	0,045	0,040	0,034	0,028	0,023
110	30,56	11,00	17,63	0,071	38,62	0,043	0,049	0,055	0,059	0,064	0,067	0,069	0,070	0,071	0,070	0,068	0,065	0,061	0,057	0,052	0,046	0,040	0,034	0,028
120	33,33	12,00	18,27	0,076	41,07	0,043	0,050	0,056	0,061	0,066	0,070	0,073	0,075	0,076	0,076	0,074	0,072	0,068	0,063	0,058	0,052	0,046	0,039	0,033
130	36,11	13,00	18,94	0,082	43,35	0,043	0,051	0,058	0,063	0,068	0,072	0,077	0,082	0,085	0,087	0,088	0,087	0,085	0,082	0,078	0,073	0,067	0,060	0,054
140	38,89	14,00	19,64	0,088	45,47	0,043	0,052	0,060	0,067	0,074	0,081	0,086	0,090	0,093	0,094	0,094	0,093	0,090	0,086	0,081	0,074	0,067	0,059	0,051
150	41,67	15,00	20,36	0,094	47,44	0,043	0,052	0,061	0,069	0,077	0,084	0,090	0,095	0,099	0,101	0,101	0,100	0,098	0,094	0,089	0,082	0,075	0,067	0,058
160	44,44	16,00	21,11	0,102	49,28	0,043	0,053	0,062	0,071	0,080	0,088	0,095	0,100	0,105	0,108	0,109	0,108	0,106	0,103	0,097	0,091	0,083	0,075	0,066
170	47,22	17,00	21,88	0,109	50,99	0,043	0,053	0,062	0,073	0,083	0,092	0,100	0,106	0,111	0,115	0,117	0,117	0,115	0,112	0,107	0,100	0,092	0,083	0,074
180	50,00	18,00	22,66	0,117	52,58	0,043	0,054	0,063	0,073	0,083	0,092	0,100	0,106	0,111	0,118	0,122	0,125	0,125	0,124	0,121	0,116	0,109	0,101	0,092
190	52,78	19,00	23,47	0,125	54,06	0,043	0,054	0,065	0,076	0,086	0,096	0,105	0,112	0,118	0,122	0,125	0,125	0,124	0,121	0,116	0,109	0,101	0,092	0,082
200	55,56	20,00	24,28	0,134	55,45	0,043	0,054	0,066	0,078	0,089	0,100	0,110	0,118	0,125	0,130	0,133	0,134	0,133	0,131	0,126	0,119	0,111	0,102	0,091

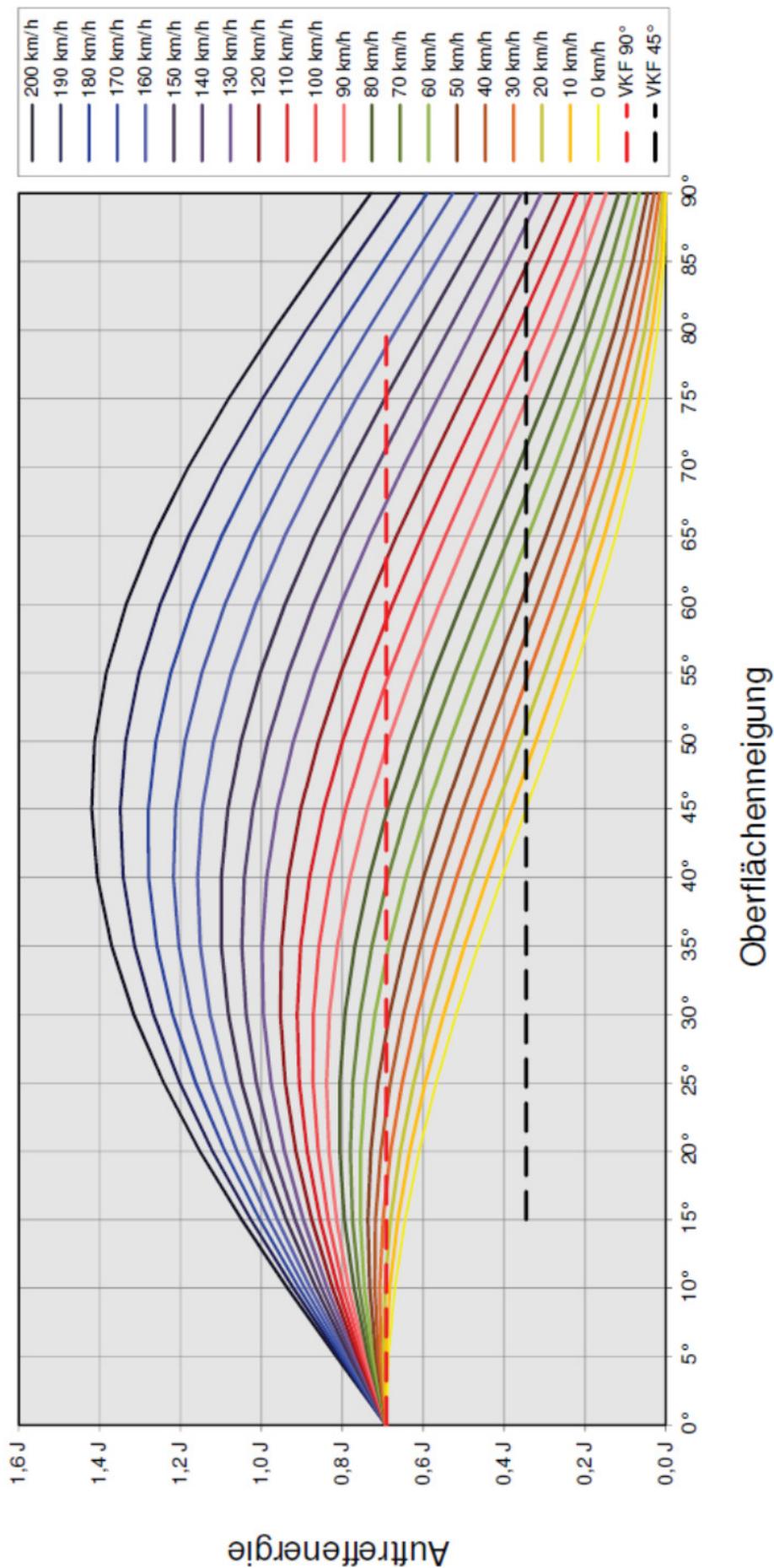
Auftreffenergie für 10 mm Hagelkorndurchmesser
in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit



v _w km/h		v _{rig} m/s		HKD = 20 mm		Auftreffgeschwindigkeit Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffeneigung [m/s]																			
		v _g m/s	E _g Joule	α	Objektneigung in Grad [β]																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90					
0	0,00	19,48	19,40	19,18	18,81	18,30	17,65	16,87	15,95	14,92	13,77	12,52	11,17	9,74	8,23	6,66	5,04	3,38	1,70	0,00					
10	2,78	19,50	19,49	19,35	19,07	18,64	18,07	17,37	16,53	15,56	14,48	13,29	11,99	10,60	9,14	7,60	6,01	4,37	2,69	1,00					
20	5,56	19,58	19,58	19,53	19,33	18,99	18,50	17,87	17,10	16,21	15,19	14,05	12,81	11,47	10,04	8,54	6,97	5,35	3,69	2,00					
30	8,33	19,71	19,66	19,70	19,59	19,33	18,92	18,37	17,67	16,85	15,99	14,83	13,63	12,34	10,96	9,48	7,94	6,34	4,69	3,00					
40	11,11	19,88	19,75	19,87	19,85	19,67	19,34	18,87	18,25	17,49	16,60	15,58	14,45	13,20	11,86	10,42	8,90	7,32	5,68	4,00					
50	13,89	20,11	19,84	20,05	20,11	20,01	19,76	19,37	18,82	18,13	17,31	16,35	15,27	14,07	12,76	11,36	9,87	8,31	6,68	5,00					
60	16,67	20,38	20,38	20,22	20,37	20,35	20,19	19,87	19,40	18,78	18,01	17,12	16,09	14,93	13,67	12,30	10,84	9,29	7,67	6,00					
70	19,44	20,70	20,70	20,40	20,62	20,70	20,61	20,37	19,97	19,42	18,72	17,88	16,91	15,80	14,58	13,24	11,80	10,28	8,67	7,00					
80	22,22	21,06	21,06	20,88	21,04	21,03	20,87	20,54	20,06	19,43	18,65	17,72	16,67	15,48	14,18	12,77	11,26	9,67	8,00	6,30					
90	25,00	21,46	21,46	21,38	21,45	21,45	21,37	21,12	20,70	20,14	19,41	18,54	17,53	16,39	15,12	13,73	12,25	10,66	9,00	7,30					
100	27,78	21,89	20,27	20,92	21,40	21,72	21,88	21,87	21,69	21,35	20,84	20,18	19,36	18,40	17,29	16,06	14,70	13,23	11,66	10,00					
110	30,56	22,37	21,09	21,66	22,06	22,30	22,37	22,84	22,84	22,63	22,26	21,71	21,00	20,13	19,11	17,94	16,63	15,20	13,65	12,00					
120	33,33	22,88	20,45	21,26	21,92	22,41	22,72	23,27	23,41	23,28	22,96	22,48	21,82	21,00	20,01	18,88	17,60	16,18	14,65	13,00					
130	36,11	23,42	20,54	21,44	22,18	22,75	23,15	23,37	23,41	23,28	22,96	22,48	21,82	21,00	20,01	18,88	17,60	16,18	14,65	13,00					
140	38,89	23,99	20,62	21,61	22,44	23,09	23,57	23,87	23,98	23,92	23,67	23,24	22,64	21,86	20,92	19,82	18,56	17,17	15,64	14,00					
150	41,67	24,58	20,71	21,78	22,69	23,43	23,99	24,37	24,56	24,56	24,38	24,01	23,46	22,73	21,83	20,76	19,53	18,15	16,64	15,00					
160	44,44	25,21	20,80	21,96	22,95	23,77	24,41	24,87	25,13	25,20	25,09	24,78	24,28	23,59	22,73	21,70	20,50	19,14	17,64	16,00					
170	47,22	25,85	20,88	22,13	23,21	24,12	24,84	25,37	25,70	25,85	25,79	25,54	25,10	24,46	23,64	22,64	21,46	20,12	18,63	17,00					
180	50,00	26,52	20,97	22,31	23,47	24,46	25,26	25,87	26,28	26,49	26,50	26,31	25,92	25,33	24,54	23,58	22,43	21,11	19,63	18,00					
190	52,78	27,21	21,06	22,48	23,73	24,80	25,68	26,37	26,85	27,13	27,21	27,07	26,73	26,19	25,45	24,52	23,39	22,09	20,63	19,00					
200	55,56	27,92	21,15	22,65	23,99	25,14	26,10	26,87	27,43	27,78	27,91	27,84	27,55	27,06	26,36	25,46	24,36	23,08	21,62	20,00					

v _w km/h		v _{rig} m/s		HKD = 20 mm		Auftreffenergie Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffeneigung [Joule]																			
		v _g m/s	E _g Joule	α	Objektneigung in Grad [β]																				
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90					
0	0,00	0,691	0,686	0,670	0,645	0,610	0,568	0,518	0,464	0,406	0,346	0,286	0,227	0,173	0,123	0,081	0,046	0,021	0,005	0,000					
10	2,78	0,691	0,692	0,683	0,663	0,633	0,595	0,550	0,498	0,441	0,382	0,322	0,262	0,205	0,152	0,105	0,066	0,035	0,013	0,002					
20	5,56	0,691	0,698	0,695	0,681	0,657	0,623	0,582	0,533	0,479	0,420	0,360	0,299	0,240	0,184	0,133	0,089	0,052	0,025	0,007					
30	8,33	0,691	0,705	0,707	0,699	0,681	0,662	0,615	0,569	0,517	0,460	0,400	0,338	0,277	0,218	0,164	0,115	0,073	0,040	0,016					
40	11,11	0,691	0,711	0,720	0,718	0,705	0,682	0,649	0,607	0,557	0,502	0,442	0,380	0,318	0,256	0,198	0,144	0,098	0,059	0,029					
50	13,89	0,691	0,717	0,732	0,737	0,730	0,712	0,683	0,646	0,599	0,546	0,487	0,425	0,361	0,297	0,235	0,178	0,126	0,081	0,046					
60	16,67	0,691	0,723	0,745	0,756	0,755	0,743	0,719	0,685	0,642	0,591	0,534	0,471	0,406	0,340	0,276	0,214	0,157	0,107	0,066					
70	19,44	0,691	0,730	0,758	0,775	0,780	0,774	0,756	0,727	0,687	0,639	0,583	0,521	0,455	0,387	0,319	0,254	0,192	0,137	0,089					
80	22,22	0,691	0,736	0,771	0,795	0,806	0,806	0,793	0,769	0,733	0,688	0,634	0,572	0,506	0,437	0,366	0,297	0,231	0,170	0,117					
90	25,00	0,691	0,743	0,784	0,814	0,833	0,839	0,832	0,812	0,781	0,739	0,687	0,627	0,560	0,489	0,416	0,344	0,273	0,207	0,148					
100	27,78	0,691	0,749	0,797	0,835	0,860	0,872	0,871	0,857	0,830	0,792	0,742	0,683	0,617	0,545	0,470	0,394	0,319	0,248	0,182					
110	30,56	0,691	0,755	0,810	0,855	0,887	0,906	0,912	0,903	0,881	0,846	0,799	0,742	0,676	0,604	0,526	0,447	0,368	0,292	0,220					
120	33,33	0,691	0,762	0,824	0,875	0,915	0,941	0,953	0,950	0,933	0,903	0,859	0,804	0,738	0,665	0,586	0,504	0,421	0,340	0,262					
130	36,11	0,691	0,768	0,837	0,896	0,943	0,976	0,995	0,999	0,987	0,961	0,921	0,868	0,803	0,730	0,649	0,564	0,477	0,391	0,308					
140	38,89	0,691	0,775	0,851	0,917	0,971	1,012	1,038	1,048	1,042	1,021	0,984	0,934	0,871	0,797	0,716	0,628	0,537	0,446	0,357					
150	41,67	0,691	0,781	0,865	0,938	1,000	1,049	1,082	1,099	1,099	1,083	1,050	1,003	0,941	0,868	0,785	0,695	0,601	0,505	0,410					
160	44,44	0,691	0,788	0,879	0,960	1,030	1,086	1,127	1,151	1,158	1,147	1,118	1,074	1,014	0,942	0,858	0,765	0,667	0,567	0,466					
170	47,22	0,691	0,795	0,893	0,982	1,060	1,124	1,172	1,204	1,217	1,212	1,189	1,148	1,090	1,018	0,934	0,839	0,738	0,633	0,527					
180	50,00	0,691	0,801	0,907	1,004	1,090	1,163	1,219	1,258	1,279	1,280	1,261	1,224	1,164	1,082	1,004	0,911	0,812	0,702	0,590					
190	52,78	0,691	0,808	0,921	1,026	1,121	1,202	1,267	1,314	1,341	1,349	1,336	1,302	1,250	1,180	1,095	0,997	0,889	0,775	0,658					
200	55,56	0,691	0,815	0,935	1,049	1,152	1,242	1,315	1,371	1,406	1,420	1,412	1,383	1,334	1,266	1,181	1,081	0,970	0,852	0,729					

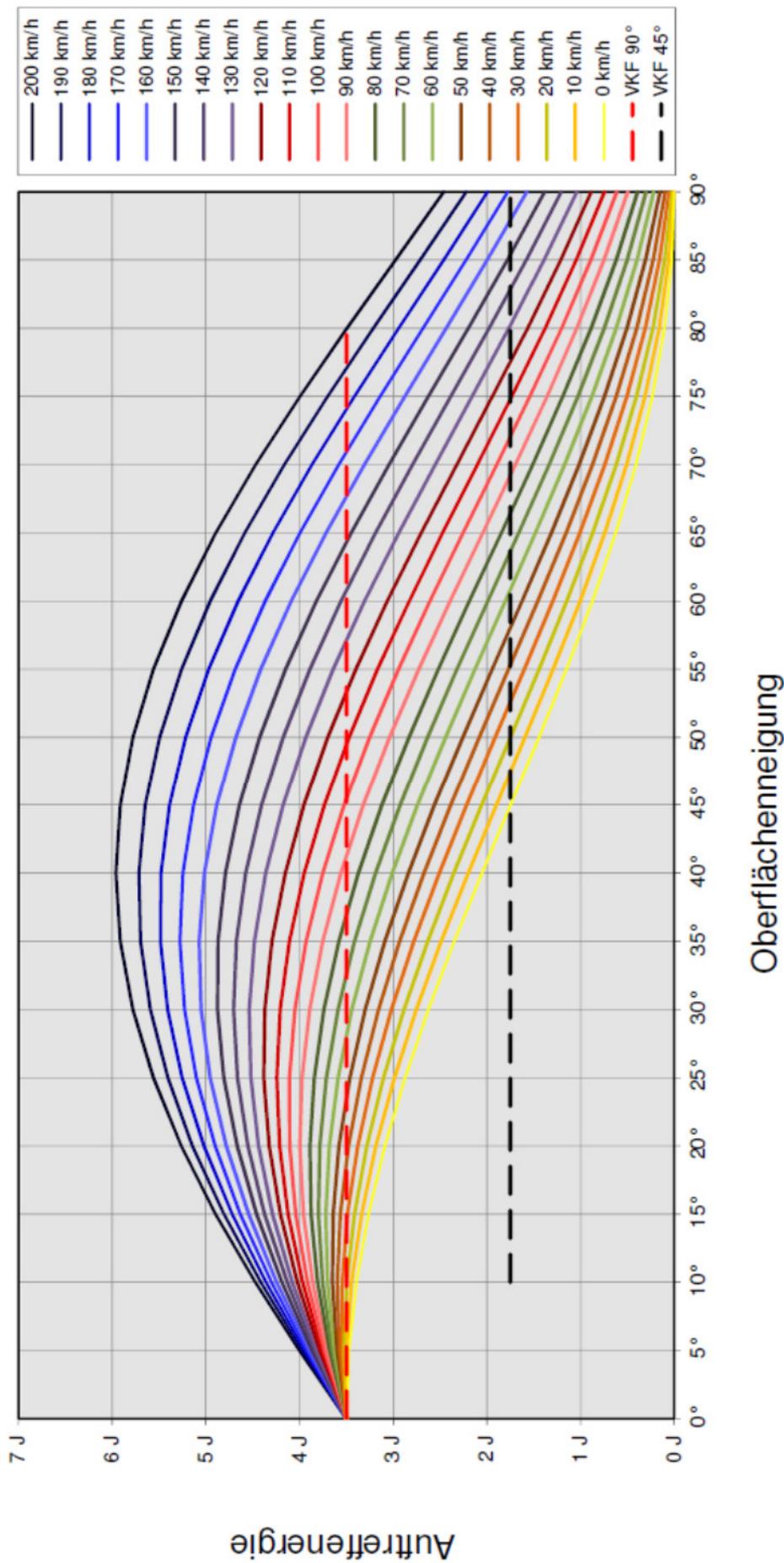
Auftreffenergie für 20 mm Hagelkorndurchmesser
in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit



v _w km/h	v _{HG} m/s	HKD = 30 mm		Auftreffgeschwindigkeit Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [m/s]																
		v _G m/s	α °	Objektneigung in Grad [β]																
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	0,00	23,85	23,76	23,49	23,04	22,41	21,62	20,66	19,54	18,27	16,87	15,33	13,68	11,93	10,08	8,16	6,17	4,14	2,08	0,00
10	2,78	23,85	23,85	23,66	23,30	22,76	22,04	21,16	20,11	18,92	17,57	16,10	14,50	12,79	10,99	9,10	7,14	5,13	3,08	1,00
20	5,56	23,85	23,94	23,84	23,56	23,10	22,46	21,66	20,69	19,56	18,28	16,86	15,32	13,66	11,89	10,04	8,11	6,11	4,07	2,00
30	8,33	23,85	24,02	24,01	23,82	23,44	22,89	22,16	21,26	20,20	18,99	17,63	16,14	14,52	12,80	10,98	9,07	7,10	5,07	3,00
40	11,11	23,85	24,11	24,19	24,08	23,78	23,31	22,66	21,83	20,84	19,70	18,40	16,96	15,39	13,71	11,92	10,04	8,08	6,06	4,00
50	13,89	23,85	24,20	24,36	24,33	24,12	23,73	23,16	22,41	21,49	20,40	19,16	17,78	16,26	14,61	12,86	11,00	9,07	7,06	5,00
60	16,67	23,85	24,29	24,53	24,59	24,47	24,15	23,66	22,98	22,13	21,11	19,93	18,60	17,12	15,52	13,80	11,97	10,05	8,06	6,00
70	19,44	23,85	24,37	24,71	24,85	24,81	24,58	24,16	23,55	22,77	21,82	20,69	19,42	17,99	16,42	14,74	12,94	11,04	9,05	7,00
80	22,22	23,85	24,46	24,88	25,11	25,15	25,00	24,66	24,13	23,41	22,52	21,46	20,23	18,85	17,33	15,68	13,90	12,02	10,05	8,00
90	25,00	23,85	24,55	25,05	25,37	25,49	25,42	25,16	24,70	24,06	23,23	22,23	21,05	19,72	18,24	16,62	14,87	13,01	11,04	9,00
100	27,78	23,85	24,63	25,23	25,63	25,83	25,84	25,66	25,28	24,70	23,94	22,99	21,87	20,59	19,14	17,56	15,83	13,99	12,04	10,00
110	30,56	23,85	24,72	25,40	26,09	26,18	26,27	26,16	25,85	25,34	24,65	23,76	22,69	21,45	20,05	18,49	16,80	14,97	13,04	11,00
120	33,33	23,85	24,81	25,57	26,15	26,52	26,69	26,66	26,42	25,99	25,35	24,53	23,51	22,32	20,96	19,43	17,76	15,96	14,03	12,00
130	36,11	23,85	24,90	25,75	26,41	26,86	27,11	27,16	27,00	26,63	26,06	25,29	24,33	23,18	21,86	20,37	18,73	16,94	15,03	13,00
140	38,89	23,85	24,98	25,92	26,66	27,20	27,54	27,66	27,57	27,27	26,77	26,06	25,25	24,05	22,77	21,31	19,70	17,93	16,03	14,00
150	41,67	23,85	25,07	26,10	26,92	27,55	27,96	28,16	28,14	27,91	27,47	26,82	26,07	24,92	23,68	22,25	20,66	18,91	17,02	15,00
160	44,44	23,85	25,16	26,27	27,18	27,89	28,38	28,66	28,72	28,56	28,18	27,59	26,79	25,78	24,58	23,19	21,63	19,90	18,02	16,00
170	47,22	23,85	25,24	26,44	27,44	28,23	28,80	29,16	29,29	29,20	28,89	28,36	27,61	26,65	25,49	24,13	22,59	20,88	19,01	17,00
180	50,00	23,85	25,33	26,62	27,70	28,57	29,23	29,66	29,86	29,84	29,59	29,12	28,43	27,52	26,39	25,07	23,56	21,87	20,01	18,00
190	52,78	23,85	25,42	26,79	27,96	28,91	29,65	30,16	30,44	30,49	30,30	29,89	29,25	28,38	27,30	26,01	24,53	22,85	21,01	19,00
200	55,56	23,85	25,51	26,96	28,22	29,26	30,07	30,66	31,01	31,13	31,01	30,65	30,06	29,25	28,21	26,95	25,49	23,84	22,00	20,00

v _w km/h	v _{HG} m/s	HKD = 30 mm		Auftreffenergie Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [Joule]																
		v _G m/s	α °	Objektneigung in Grad [β]																
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	0,00	3,499	3,472	3,394	3,265	3,090	2,874	2,624	2,348	2,053	1,750	1,446	1,151	0,875	0,625	0,409	0,234	0,106	0,027	0,000
10	2,78	3,499	3,498	3,444	3,338	3,185	2,988	2,753	2,488	2,200	1,899	1,594	1,293	1,006	0,742	0,509	0,313	0,162	0,058	0,006
20	5,56	3,499	3,524	3,495	3,413	3,281	3,103	2,885	2,632	2,352	2,055	1,749	1,443	1,147	0,870	0,620	0,404	0,230	0,102	0,025
30	8,33	3,499	3,549	3,546	3,488	3,379	3,221	3,019	2,780	2,510	2,217	1,912	1,602	1,297	1,008	0,741	0,506	0,310	0,158	0,055
40	11,11	3,499	3,575	3,597	3,565	3,478	3,341	3,157	2,932	2,672	2,385	2,081	1,769	1,457	1,155	0,873	0,620	0,402	0,226	0,098
50	13,89	3,499	3,601	3,649	3,642	3,579	3,463	3,298	3,088	2,839	2,560	2,258	1,944	1,625	1,313	1,017	0,745	0,505	0,307	0,154
60	16,67	3,499	3,627	3,701	3,720	3,681	3,588	3,442	3,248	3,012	2,740	2,442	2,127	1,803	1,481	1,171	0,881	0,621	0,399	0,221
70	19,44	3,499	3,653	3,754	3,796	3,785	3,715	3,589	3,412	3,189	2,927	2,634	2,318	1,990	1,659	1,335	1,029	0,749	0,504	0,301
80	22,22	3,499	3,679	3,807	3,878	3,890	3,843	3,739	3,580	3,372	3,120	2,832	2,518	2,186	1,847	1,511	1,188	0,889	0,621	0,394
90	25,00	3,499	3,705	3,860	3,968	3,997	3,974	3,892	3,752	3,559	3,319	3,038	2,726	2,392	2,045	1,698	1,352	1,040	0,750	0,498
100	27,78	3,499	3,732	3,914	4,039	4,105	4,108	4,048	3,929	3,752	3,524	3,251	2,942	2,606	2,254	1,895	1,542	1,204	0,892	0,615
110	30,56	3,499	3,758	3,968	4,121	4,214	4,243	4,208	4,109	3,950	3,785	3,471	3,167	2,830	2,472	2,104	1,735	1,379	1,045	0,744
120	33,33	3,499	3,785	4,022	4,204	4,325	4,381	4,370	4,293	4,153	3,993	3,699	3,399	3,063	2,701	2,323	1,941	1,566	1,211	0,886
130	36,11	3,499	3,811	4,077	4,288	4,437	4,521	4,536	4,482	4,361	4,176	3,984	3,640	3,306	2,953	2,583	2,198	1,766	1,389	1,089
140	38,89	3,499	3,838	4,132	4,372	4,551	4,651	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674	4,674
150	41,67	3,499	3,865	4,188	4,458	4,666	4,807	4,876	4,871	4,792	4,642	4,425	4,147	3,818	3,447	3,045	2,626	2,200	1,782	1,384
160	44,44	3,499	3,892	4,244	4,544	4,783	4,953	5,050	5,071	5,015	4,884	4,681	4,413	4,088	3,716	3,308	2,877	2,435	1,996	1,574
170	47,22	3,499	3,919	4,300	4,631	4,921	5,102	5,228	5,276	5,243	5,132	4,944	4,687	4,367	3,995	3,582	3,139	2,682	2,223	1,777
180	50,00	3,499	3,946	4,357	4,718	5,020	5,253	5,408	5,485	5,477	5,386	5,215	4,969	4,656	4,284	3,866	3,414	2,941	2,462	1,992
190	52,78	3,499	3,973	4,414	4,807	5,141	5,406	5,593	5,697	5,715	5,647	5,493	5,260	4,953	4,584	4,161	3,699	3,212	2,714	2,220
200	55,56	3,499	4,001	4,471	4,896	5,263	5,561	5,780	5,914	5,959	5,913	5,778	5,559	5,260	4,893	4,467	3,996	3,495	2,977	2,460

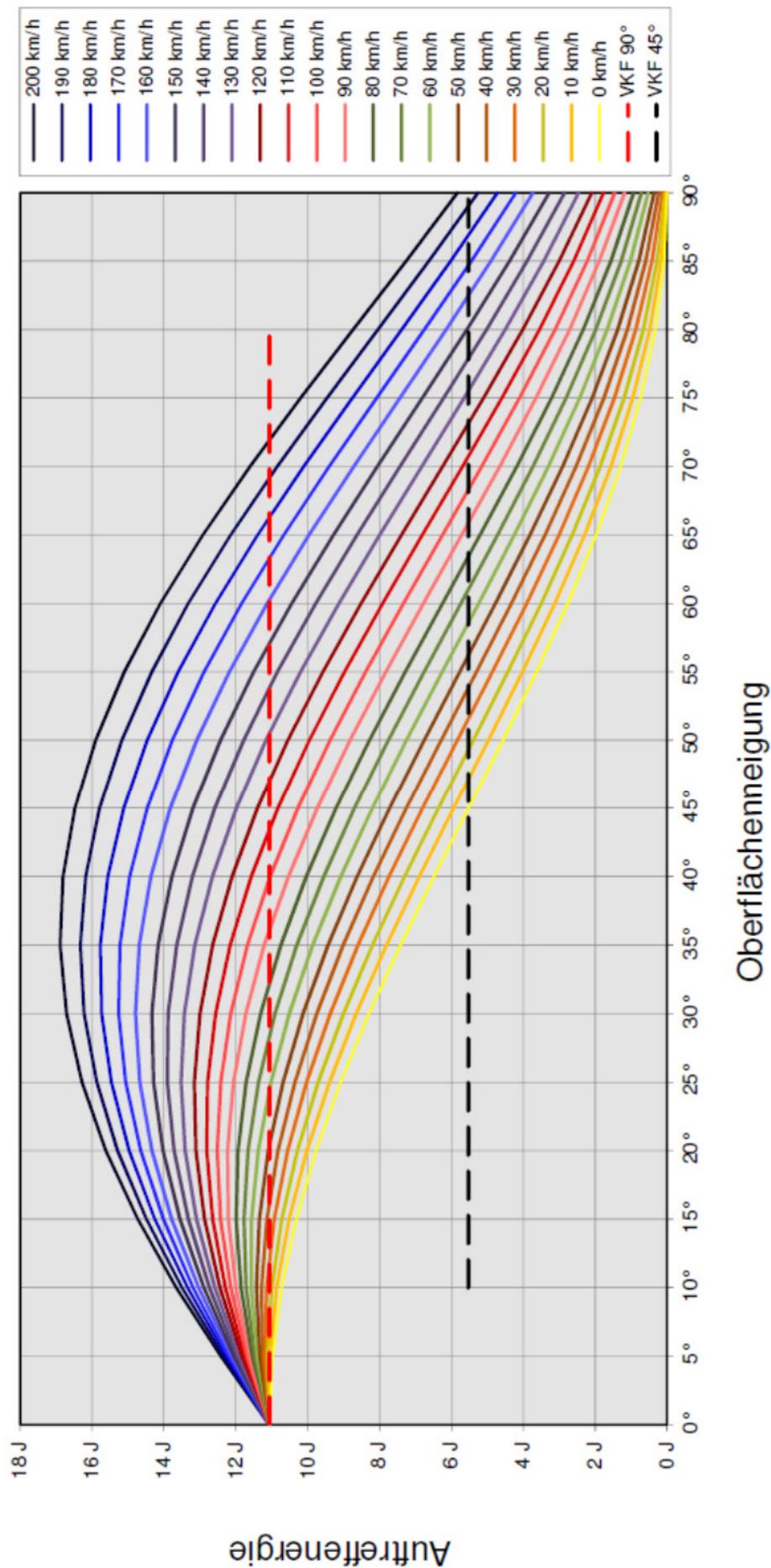
Auftreffenergie für 30 mm Hagelkorndurchmesser
in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit



v ₀ km/h		v _{rig} m/s		HKD = 40 mm		Auftreffgeschwindigkeit Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [m/s]																	
				v ₀ m/s	E ₀ Joule	Objektneigung in Grad [β]																	
				0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
0	0,00	0,00	0,00	27,54	27,44	27,12	26,60	25,88	24,96	23,85	22,56	21,10	19,48	17,70	15,80	13,77	11,64	9,42	7,13	4,78	2,40	0,00	
10	2,78	1,00	27,56	11,073	2,08	27,54	27,53	27,30	26,86	26,22	25,39	24,35	23,14	21,74	20,18	18,47	16,62	14,64	12,55	10,36	8,09	5,77	3,40
20	5,56	2,00	27,62	11,117	4,15	27,54	27,61	27,47	27,12	26,57	25,81	24,85	23,71	22,39	20,89	19,24	17,44	15,50	13,45	11,30	9,06	6,75	4,39
30	8,33	3,00	27,71	11,190	6,22	27,54	27,70	27,65	27,38	26,91	26,25	25,35	24,28	23,03	21,60	20,00	18,26	16,37	14,36	12,24	10,03	7,74	5,39
40	11,11	4,00	27,83	11,292	8,26	27,54	27,79	27,82	27,64	27,25	26,65	25,85	24,86	23,67	22,30	20,77	19,07	17,24	15,27	13,18	10,99	8,72	6,39
50	13,89	5,00	27,99	11,423	10,29	27,54	27,87	27,99	27,90	27,59	27,08	26,35	25,43	24,31	23,01	21,53	19,88	18,10	16,17	14,12	11,96	9,71	7,38
60	16,67	6,00	28,19	11,583	12,29	27,54	27,96	28,17	28,16	27,93	27,50	26,85	26,00	24,96	23,72	22,30	20,71	18,97	17,08	15,06	12,92	10,69	8,38
70	19,44	7,00	28,42	11,773	14,26	27,54	28,05	28,34	28,42	28,28	27,92	27,35	26,58	25,60	24,43	23,07	21,53	19,83	17,98	16,00	13,89	11,66	9,37
80	22,22	8,00	28,68	11,992	16,20	27,54	28,24	28,61	28,68	28,62	28,34	27,85	27,15	26,24	25,13	23,83	22,35	20,70	18,89	16,94	14,86	12,67	10,37
90	25,00	9,00	28,98	12,239	18,10	27,54	28,22	28,69	28,93	28,96	28,77	28,35	27,72	26,88	25,84	24,80	23,17	21,57	19,80	17,88	15,82	13,65	11,37
100	27,78	10,00	29,30	12,516	19,95	27,54	28,31	28,86	29,19	29,30	29,19	28,85	28,30	27,53	26,55	25,37	23,99	22,43	20,70	18,82	16,79	14,63	12,36
110	30,56	11,00	29,66	12,823	21,77	27,54	28,40	29,04	29,45	29,64	29,61	29,35	28,87	28,17	27,25	26,13	24,81	23,30	21,61	19,76	17,75	15,62	13,36
120	33,33	12,00	30,04	13,158	23,54	27,54	28,48	29,21	29,71	29,99	30,03	29,85	29,45	28,81	27,96	26,90	25,63	24,16	22,52	20,70	18,72	16,60	14,35
130	36,11	13,00	30,46	13,522	25,27	27,54	28,57	29,38	29,97	30,33	30,46	30,35	30,02	29,46	28,67	27,66	26,45	25,03	23,42	21,64	19,69	17,59	15,35
140	38,89	14,00	30,90	13,916	26,94	27,54	28,66	29,56	30,23	30,67	30,88	30,85	30,59	30,10	29,38	28,43	27,27	25,90	24,33	22,58	20,65	18,57	16,35
150	41,67	15,00	31,36	14,339	28,57	27,54	28,75	29,73	30,49	31,01	31,30	31,35	31,17	30,74	30,08	29,20	28,09	26,76	25,23	23,52	21,62	19,55	17,34
160	44,44	16,00	31,85	14,790	30,15	27,54	28,83	29,90	30,75	31,35	31,72	31,85	31,74	31,38	30,79	29,96	28,90	27,63	26,14	24,46	22,58	20,54	18,34
170	47,22	17,00	32,37	15,271	31,68	27,54	28,92	30,08	31,00	31,70	32,15	32,35	32,31	32,03	31,50	30,73	29,72	28,49	27,05	25,40	23,55	21,52	19,34
180	50,00	18,00	32,90	15,782	33,17	27,54	29,01	30,25	31,26	32,04	32,57	32,85	32,89	32,67	32,20	31,49	30,54	29,36	27,95	26,33	24,52	22,51	20,33
190	52,78	19,00	33,46	16,321	34,60	27,54	29,09	30,42	31,52	32,38	33,35	33,46	33,46	33,31	32,91	32,26	31,36	30,23	28,86	27,27	25,48	23,49	
200	55,56	20,00	34,04	16,889	35,98	27,54	29,18	30,60	31,78	32,72	33,42	33,96	34,03	33,96	33,62	33,03	32,18	31,09	29,77	28,21	26,45	24,48	

v ₀ km/h		v _{rig} m/s		HKD = 40 mm		Auftreffenergie Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [Joule]																	
				v ₀ m/s	E ₀ Joule	Objektneigung in Grad [β]																	
				0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
0	0,00	0,00	27,54	11,059	0,00	11,059	10,975	10,725	10,318	9,765	9,064	8,294	7,420	6,490	5,529	4,569	3,638	2,765	1,975	1,294	0,741	0,333	0,000
10	2,78	1,00	27,56	11,073	2,08	11,059	11,045	10,863	10,520	10,025	9,394	8,645	7,803	6,891	5,938	4,973	4,025	3,123	2,295	1,565	0,955	0,485	0,168
20	5,56	2,00	27,62	11,117	4,15	11,059	11,115	11,002	10,723	10,288	9,709	9,004	8,194	7,304	6,361	5,394	4,432	3,504	2,638	1,861	1,197	0,665	0,281
30	8,33	3,00	27,71	11,190	6,22	11,059	11,185	11,141	10,929	10,555	10,030	9,370	8,596	7,730	6,799	5,822	4,898	3,906	3,006	2,184	1,465	0,873	0,423
40	11,11	4,00	27,83	11,292	8,26	11,059	11,255	11,282	11,137	10,825	10,355	9,743	9,006	8,167	7,252	6,288	5,304	4,330	3,397	2,532	1,761	1,109	0,594
50	13,89	5,00	27,99	11,423	10,29	11,059	11,326	11,423	11,346	11,098	10,686	10,124	9,427	8,617	7,719	6,760	5,769	4,777	3,812	2,906	2,085	1,374	0,794
60	16,67	6,00	28,19	11,583	12,29	11,059	11,397	11,565	11,558	11,375	11,023	10,511	9,857	9,079	8,201	7,250	6,254	5,245	4,252	3,305	2,435	1,666	1,023
70	19,44	7,00	28,42	11,773	14,26	11,059	11,468	11,708	11,771	11,655	11,364	10,907	10,296	9,552	8,697	7,756	6,758	5,734	4,715	3,731	2,812	1,987	1,281
80	22,22	8,00	28,68	11,992	16,20	11,059	11,540	11,852	11,986	11,839	11,711	11,309	10,746	10,038	9,208	8,280	7,282	6,246	5,202	4,182	3,217	2,337	1,568
90	25,00	9,00	28,98	12,239	18,10	11,059	11,611	11,997	12,204	12,226	12,063	11,719	11,206	10,536	9,733	8,821	7,826	6,780	5,713	4,659	3,649	2,714	1,883
100	27,78	10,00	29,30	12,516	19,95	11,059	11,683	12,142	12,423	12,516	12,420	12,136	11,673	11,046	10,273	9,379	8,389	7,335	6,248	5,162	4,108	3,120	2,228
110	30,56	11,00	29,66	12,823	21,77	11,059	11,755	12,289	12,644	12,810	12,782	12,560	12,151	11,568	10,828	9,954	8,972	7,912	6,807	5,690	4,595	3,555	2,601
120	33,33	12,00	30,04	13,158	23,54	11,059	11,827	12,436	12,868	13,108	13,149	12,991	12,639	12,102	11,397	10,546	9,574	8,511	7,390	6,244	5,108	4,017	3,004
130	36,11	13,00	30,46	13,522	25,27	11,059	11,900	12,585	13,093	13,408	13,522	13,430	13,136	12,648	11,981	11,155	10,196	9,133	7,997	6,824	5,649	4,508	3,435
140	38,89	14,00	30,90	13,916	26,94	11,059	11,972	12,734	13,320	13,712	13,900	13,876	13,642	13,206	12,579	11,781	10,837	9,775	8,628	7,430	6,217	5,027	
150	41,67	15,00	31,36	14,339	28,57	11,059	12,045	12,884	13,549	14,020	14,283	14,330	14,159	13,776	13,192	12,425	11,498	10,440	9,283	8,061	6,812	5,574	
160	44,44	16,00	31,85	14,790	30,15	11,059	12,119	13,035	13,780	14,331	14,671	14,790	14,685	14,358	13,819	13,085	12,179	11,127	9,969	8,718	7,435	6,150	
170	47,22	17,00	32,37	15,271	31,68	11,059	12,192	13,187	14,013	14,645	15,065	15,258	15,220	14,952	14,461	13,763	12,879	11,835	10,664	9,401	8,084	6,754	
180	50,00	18,00	32,90	15,782	33,17	11,059	12,266	13,339	14,248	14,963	15,463	15,734	15,765	15,558	15,118	14,458	13,599	12,566	11,391	10,110	8,761	7,386	
190	52,78	19,00	33,46	16,321	34,60	11,059	12,339	13,493	14,485	15,284	15,867	16,216	16,320	16,176	15,789	15,170	14,338	13,318	12,141	10,844	9,465	8,046	
200	55,56	20,00	34,04	16,889	35,98	11,059	12,413	13,647	14,723	15,609	16,276	16,706	16,824	16,907	16,475	15,899	14,992	14,092	12,916	11,604	10,196	8,735	

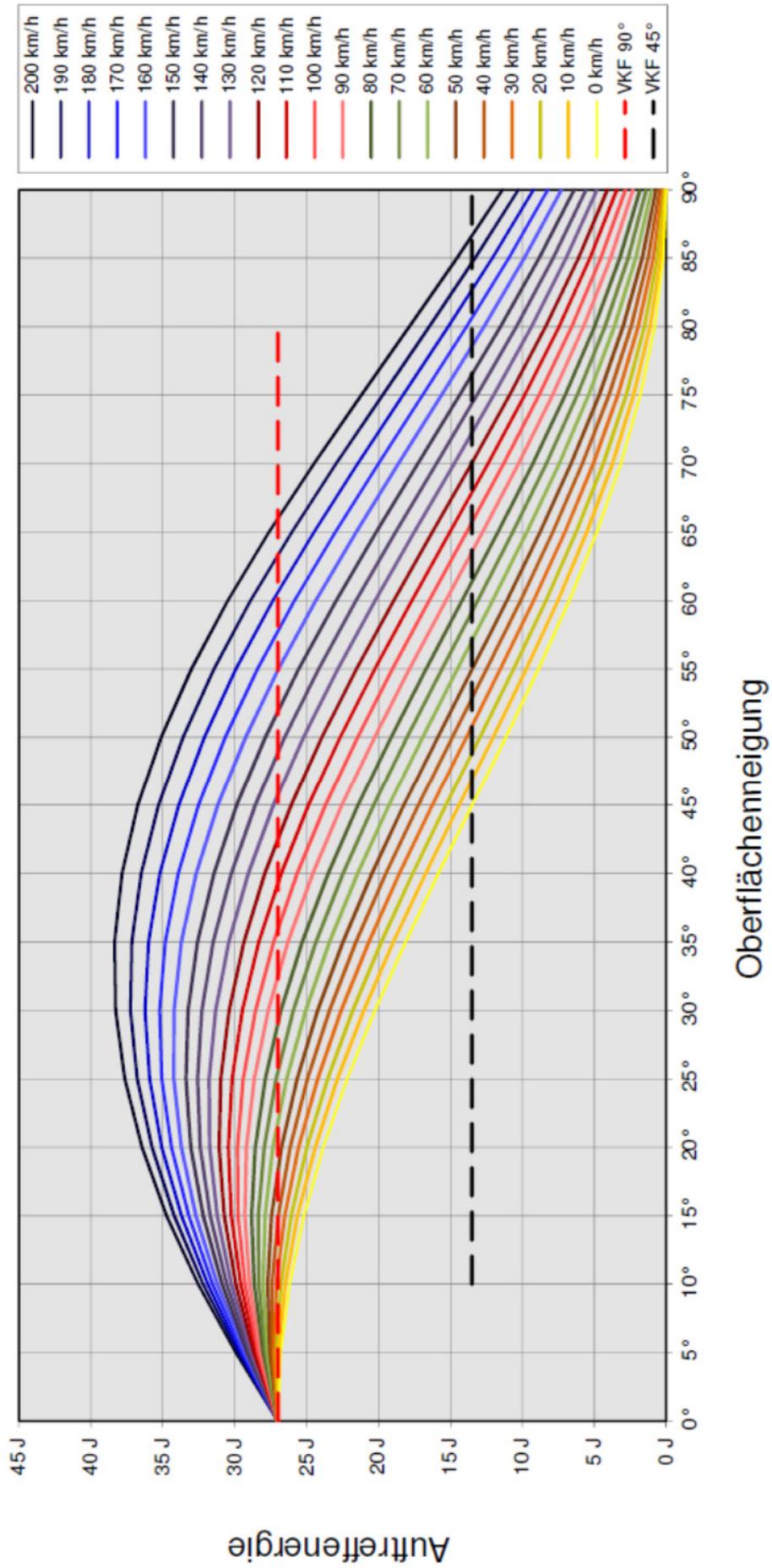
Auftreffenergie für 40 mm Hagelkorndurchmesser
in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit



v _w km/h	v _{rig} m/s	HKD = 50 mm		Auftreffgeschwindigkeit Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [m/s]																				
		v _g m/s	E _g Joule	Objektneigung in Grad [β]																				
			α	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90		
0	0,00	30,79	26,999	0,00	30,79	30,68	30,33	29,75	28,94	27,91	26,67	25,23	23,59	21,77	19,79	17,66	15,40	13,01	10,53	7,97	5,35	2,68	0,00	
10	2,78	1,00	30,81	27,027	1,86	30,79	30,50	30,00	29,28	28,33	27,17	25,80	24,23	22,48	20,56	18,48	16,26	13,92	11,47	8,94	6,33	3,68	1,00	
20	5,56	2,00	30,86	27,113	3,72	30,79	30,85	30,67	30,26	29,62	28,75	27,67	26,37	24,88	23,19	21,33	19,30	17,13	14,83	12,41	9,90	7,32	4,68	2,00
30	8,33	3,00	30,94	27,255	5,56	30,79	30,94	30,85	30,52	29,96	29,18	28,17	26,95	25,52	23,90	22,09	20,12	18,00	15,73	13,35	10,87	8,30	5,67	3,00
40	11,11	4,00	31,05	27,454	7,40	30,79	31,03	31,02	30,78	30,31	29,60	28,67	27,52	26,16	24,60	22,86	20,94	18,86	16,64	14,29	11,83	9,29	6,67	4,00
50	13,89	5,00	31,20	27,711	9,22	30,79	31,11	31,19	31,04	30,65	30,02	29,17	28,09	26,80	25,31	23,62	21,76	19,73	17,55	15,23	12,80	10,27	7,66	5,00
60	16,67	6,00	31,37	28,024	11,03	30,79	31,20	31,37	31,30	30,99	30,44	29,67	28,67	27,45	26,02	24,39	22,58	20,59	18,45	16,17	13,77	11,26	8,66	6,00
70	19,44	7,00	31,58	28,394	12,81	30,79	31,29	31,54	31,56	31,33	30,87	30,17	29,24	28,09	26,72	25,16	23,40	21,46	19,36	17,11	14,73	12,24	9,66	7,00
80	22,22	8,00	31,82	28,821	14,56	30,79	31,37	31,72	31,82	31,67	31,29	30,67	29,81	28,73	27,43	25,92	24,22	22,33	20,26	18,05	15,70	13,23	10,65	8,00
90	25,00	9,00	32,08	29,305	16,29	30,79	31,46	31,89	32,07	32,02	31,71	31,17	30,39	29,38	28,14	26,69	25,04	23,19	21,17	18,99	16,66	14,21	11,65	9,00
100	27,78	10,00	32,38	29,846	17,99	30,79	31,55	32,06	32,33	32,36	32,14	31,67	30,96	30,02	28,85	27,45	25,85	24,06	22,08	19,93	17,63	15,20	12,65	10,00
110	30,56	11,00	32,70	30,444	19,66	30,79	31,64	32,24	32,56	32,70	32,56	32,17	31,53	30,66	29,55	28,22	26,67	24,92	22,98	20,87	18,60	16,18	13,64	11,00
120	33,33	12,00	33,05	31,099	21,29	30,79	31,72	32,41	32,85	33,04	32,98	32,67	32,11	31,30	30,26	28,99	27,49	25,79	23,89	21,81	19,56	17,17	14,64	12,00
130	36,11	13,00	33,43	31,810	22,89	30,79	31,81	32,58	33,11	33,38	33,40	33,17	32,68	31,95	30,97	29,75	28,31	26,66	24,80	22,75	20,53	18,15	15,63	13,00
140	38,89	14,00	33,83	32,579	24,45	30,79	31,90	32,76	33,37	33,83	33,67	33,26	32,59	31,67	30,52	29,13	27,52	25,70	23,69	21,49	19,13	16,63	14,00	
150	41,67	15,00	34,25	33,405	25,97	30,79	31,98	32,93	33,63	34,07	34,25	34,17	33,83	33,23	32,38	31,28	29,95	28,39	26,61	24,63	22,46	20,12	17,63	15,00
160	44,44	16,00	34,70	34,287	27,46	30,79	32,07	33,11	33,89	34,41	34,67	34,40	34,17	33,40	32,53	31,39	30,12	28,42	26,51	24,39	22,09	19,62	17,00	
170	47,22	17,00	35,18	35,227	28,90	30,79	32,16	33,28	34,15	34,75	35,09	35,17	34,98	34,52	33,80	32,82	31,59	30,12	28,42	26,51	24,39	22,09	19,62	17,00
180	50,00	18,00	35,67	36,223	30,31	30,79	32,25	33,45	34,40	35,09	35,52	35,67	35,55	35,16	34,50	33,58	32,41	30,99	29,33	27,45	25,36	23,07	20,62	18,00
190	52,78	19,00	36,18	37,277	31,67	30,79	32,33	33,63	34,66	35,44	35,94	36,17	36,12	35,80	35,21	34,35	33,23	31,85	30,23	28,39	26,32	24,06	21,61	19,00
200	55,56	20,00	36,72	38,387	33,00	30,79	32,42	33,80	34,92	35,78	36,36	36,67	36,70	36,45	35,92	35,12	34,05	32,72	31,14	29,33	27,29	25,04	22,61	20,00

v _w km/h	v _{rig} m/s	HKD = 50 mm		Auftreffenergie Abhängigkeit zwischen Windgeschwindigkeit und Auftreffneigung [Joule]																				
		v _g m/s	E _g Joule	Objektneigung in Grad [β]																				
			α	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90		
0	0,00	30,79	26,999	0,00	26,999	26,794	26,185	25,190	23,840	22,177	20,249	18,116	15,844	13,499	11,155	8,822	6,750	4,822	3,158	1,809	0,814	0,205	0,000	
10	2,78	1,00	30,81	27,027	1,86	26,999	26,946	26,485	25,630	24,407	22,853	21,015	18,950	16,719	14,390	12,035	9,725	7,530	5,517	3,747	2,274	1,142	0,386	0,028
20	5,56	2,00	30,86	27,113	3,72	26,999	27,099	26,788	26,075	24,981	23,540	21,796	19,802	17,617	15,310	12,949	10,606	8,354	6,259	4,386	2,792	1,524	0,623	0,114
30	8,33	3,00	30,94	27,255	5,56	26,999	27,252	27,092	26,522	25,561	24,237	22,591	20,672	18,540	16,288	13,896	11,526	9,220	7,047	5,075	3,363	1,962	0,916	0,256
40	11,11	4,00	31,05	27,454	7,40	26,999	27,406	27,398	26,974	26,148	24,944	23,400	21,562	19,485	17,234	14,876	12,483	10,128	7,883	5,815	3,987	2,455	1,266	0,456
50	13,89	5,00	31,20	27,711	9,22	26,999	27,560	27,705	27,430	26,742	25,662	24,223	22,470	20,455	18,239	15,890	13,479	11,080	8,765	6,605	4,665	3,004	1,673	0,712
60	16,67	6,00	31,37	28,024	11,03	26,999	27,715	28,015	27,889	27,342	26,389	25,061	23,397	21,448	19,272	16,937	14,513	12,074	9,694	7,445	5,395	3,607	2,136	1,025
70	19,44	7,00	31,58	28,394	12,81	26,999	27,870	28,326	28,352	27,949	27,127	25,913	24,342	22,464	20,394	18,018	15,585	13,111	10,669	8,335	6,179	4,266	2,655	1,395
80	22,22	8,00	31,82	28,821	14,56	26,999	28,025	28,638	28,819	28,562	27,875	26,779	25,307	23,504	21,424	19,132	16,696	14,191	11,692	9,276	7,016	4,980	3,231	1,822
90	25,00	9,00	32,08	29,305	16,29	26,999	28,181	28,953	29,290	29,182	28,633	27,659	26,290	24,567	22,543	20,279	17,845	15,313	12,761	10,267	7,906	5,749	3,864	2,306
100	27,78	10,00	32,38	29,846	17,99	26,999	28,338	29,269	29,765	29,809	29,401	28,554	27,292	25,654	23,690	21,460	19,031	16,478	13,877	11,308	8,849	6,574	4,553	2,847
110	30,56	11,00	32,70	30,444	19,66	26,999	28,495	29,587	30,243	30,443	30,180	29,482	28,312	26,765	24,866	22,674	20,256	17,685	15,040	12,399	9,845	7,454	5,299	3,445
120	33,33	12,00	33,05	31,099	21,29	26,999	28,652	29,907	30,725	31,083	30,968	30,385	29,352	27,898	26,070	23,922	21,520	18,936	16,249	13,541	10,894	8,389	6,101	4,100
130	36,11	13,00	33,43	31,810	22,89	26,999	28,809	30,228	31,211	31,730	31,767	31,323	30,410	29,056	27,300	25,203	22,821	20,229	17,505	14,738	11,997	9,379	6,959	4,812
140	38,89	14,00	33,83	32,579	24,45	26,999	28,967	30,551	31,701	32,383	32,576	32,274	31,486	30,237	28,584	26,518	24,161	21,565	18,808	15,976	13,152	10,424	7,874	5,580
150	41,67	15,00	34,25	33,405	25,97	26,999	29,126	30,876	32,195	33,043	33,395	33,240	32,582	31,442	29,853	27,866	25,539	22,943	20,158	17,268	14,361	11,525	8,846	6,406
160	44,44	16,00	34,70	34,287	27,46	26,999	29,285	31,202	32,692	33,710	34,224	34,220	33,696	32,670	31,171	29,247	26,955	24,365	21,523	18,611	15,623	12,681	9,874	7,288
170	47,22	17,00	35,18	35,227	28,90	26,999	29,444	31,590	33,194	34,383	35,064	35,214	34,829	33,921	32,518	30,662	28,409	25,828	22,998	20,004	16,938	13,892	10,959	8,228
180	50,00	18,00	35,67	36,223	30,31	26,999	29,604	31,860	33,699	35,064	35,913	36,222	35,981	35,196	33,893	32,110	29,902	27,335	24,488	21,448	18,306	15,158	12,100	9,225
190	52,78	19,00	36,18	37,277	31,67	26,999	29,764	32,192	34,208	35,750	36,773	37,245	37,151	36,495	35,296	33,592	31,432	28,884	26,025	22,941	19,727	16,480	13,298	10,278
200	55,56	20,00	36,72	38,387	33,00	26,999	29,925	32,525	34,720	36,444	37,643	38,282	38,140	37,817	36,728	35,507	33,001	30,476	27,609	24,486	21,201	17,856	14,552	11,388

Auftreffenergie für 50 mm Hagelkorndurchmesser
in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit



8.3. Patentschrift „Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten“

Die Hagelprüfmaschine wurde am 21.9.2010 am europäischen Patentamt angemeldet. Mithilfe der Firma Schwarz & Partner (Patentanwaltskanzlei) wurde dieses Patent geschrieben und angemeldet. Seit 28.11.2012 ist die Patenterteilung im Patentblatt 2012/48 veröffentlicht worden. Die Patentschrift umfasst 13 Seiten.



(11) EP 2 431 725 B1

(12) EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung: 28.11.2012 Patentblatt 2012/48 (51) Int Cl: G01M 7/08^(2006.01) G01N 3/307^(2006.01) G01N 3/32^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: 10177957.7

(22) Anmeldetag: 21.09.2010

(54) **Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten**

Testing device for simulating the effect of hail falling on a test object

Dispositif de contrôle destiné à la simulation d'une averse de grêle réelle à partir d'objets tests

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
21.03.2012 Patentblatt 2012/12

(73) Patentinhaber: **Hans Höllwart**
Forschungszentrum für
Integrales Bauwesen AG
8152 Stallhofen (AT)

(72) Erfinder: **Wascher, Heinz**
A-8052 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Margotti, Herwig Franz**
Schwarz & Partner
Patentanwälte
Wipplingerstrasse 30
1010 Wien (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A1- 2004 112 353 US-A1- 2010 153 078

EP 2 431 725 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten, insbesondere von Bauteilen eines Gebäudes, mittels Geschossen.

[0002] Hagelstürme verursachen jedes Jahr weltweit enorme Schäden in der Landwirtschaft, an Gebäuden sowie an Fortbewegungsmitteln wie beispielsweise an Fahrzeugen oder Flugzeugen. Im Alpenraum, in der Schweiz, in Österreich sowie in Deutschland hat die Häufigkeit des Auftretens von Hagelunwettern in den vergangenen Jahren zugenommen. Der Anstieg an Hagelschäden an Gebäuden lässt sich dabei auf mehrere Faktoren zurückführen, zu nennen sind die Zersiedelung in hagelgefährdeten Regionen, die Verwendung von Baumaterialien, welche sehr hagelempfindlich sind, sowie das Auftreten häufiger und lang andauernder Hagelschauer, welche intensiver als in der Vergangenheit auftreten. Versicherer werden durch Hagelschäden daher vor immer größer werdende Herausforderungen gestellt.

[0003] Weltweit gibt es bereits zahlreiche Prüfverfahren zur Klassifizierung der Widerstandsfähigkeit bestimmter Materialien gegen Hagelschlag. Für eine erste Abschätzung des Hagelwiderstands von Gebäudebauteilen wird meist der durchschnittliche Durchmesser der Hagelkörner herangezogen.

[0004] Neben der Größe des Hagelkorns beeinflussen jedoch die folgenden weiteren Faktoren maßgeblich die Schwere eines Hagelschadens: Hageldauer, Dichte des Hagelkorns, Form des Hagelkorns, Intensität des Hagelschlags, vertikale Fallgeschwindigkeit der Hagelkörner und somit deren Aufprallenergie, Aufprallwinkel, horizontale und vertikale Windgeschwindigkeit sowie die Materialeigenschaften der potentiellen Schadensgüter wie beispielsweise der Fassadenbauteile von Gebäuden.

[0005] Durch eine geeignete Auswahl der verwendeten Materialien können beispielsweise für eine Gebäudehülle, für Photovoltaik-Installationen, thermische Solaranlagen sowie bei Dachabdichtungen Schäden durch Hagelanprall reduziert bzw. verhindert werden.

[0006] Hagel wird beispielsweise in der Schweizer Norm SIA 261/1 ("Einwirkung auf Tragwerke") in ihrer Fassung aus dem Jahr 2003 als außergewöhnliche Last angenommen und somit als Einzellast angesehen. Mittels Hagelprüfung werden Baustoffe in die entsprechenden Hagelwiderstandsklassen eingeteilt und sind danach im schweizerischen Elementarschutzregister als zugelassene Baustoffe erfasst.

[0007] In der Schweiz erfolgt die Hagelprüfung der Materialien derzeit ausschließlich durch Einzelbeschuss. Der Beschusswinkel ist dabei abhängig vom Einsatzort der Materialien, welcher im Falle eines Dachmaterials bei 90° und bei Fassadenmaterialien bei 45° liegt. Die Projektile - es werden dazu kugelförmige Eisbälle aus demineralisiertem Wasser mit bekannter Masse und einer Temperatur von 20°C verwendet - können bei der Prüfung vertikal, horizontal oder schräg auf das Prüfma-

terial geschossen werden.

[0008] Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Ausführungen an Hageltestvorrichtungen bekannt:

5 Im Dokument CN 101 451 798 A wird beispielsweise eine Prüfvorrichtung zur Simulation von Hagelbeschuss bei Flugzeugen gezeigt. Dazu wird eine Gasdruckkanone mit einem Hagelkorn befüllt und ein zu testendes Material mit dem Hagelkorn beschossen. Neben Eiskugeln werden auch Kunststoffkugeln aus PTFE und Nylon als zum Abschuss mit der Hagelkanone geeignet genannt.

15 **[0009]** Aus JP 2005 055215 A ist ebenfalls eine einfache Hagelkanone als Prüfvorrichtung bekannt, die einen Abschusszylinder zum Abfeuern eines Eisballs mittels Gasdruck umfasst. Die Hagelkanone weist dazu ein Öffnungs- und Schließventil sowie einen Gaseinlasszylinder auf. Der Gaseinlasszylinder ist mit dem Abschusszylinder verbunden, wobei der Gaseinlasszylinder einen kleineren Innendurchmesser als der Abschusszylinder aufweist.

20 **[0010]** Aus CA 2 436 559 C ist ebenfalls eine Abschussvorrichtung für einen Eisball bekannt, wobei hier auch mehrere Eisbälle, welche in derselben Größe vorbereitet wurden, nacheinander mit jeweils derselben einstellbaren Geschwindigkeit bzw. kinetischen Energie auf ein zu prüfendes Probenmaterial geschossen werden können. Mittels zweier voneinander beabstandeter Lichtsensoren, beispielsweise Lasersensoren, die entlang der Flugbahn des Eisballes angeordnet sind, wird dabei die exakte Geschwindigkeit der Bälle erfasst.

25 **[0011]** US 5,319,946 A zeigt eine Vorrichtung zum Lagern und Transportieren von Eisbällen, um diese hintereinander auf ein Ziel, beispielsweise ein zu prüfendes Material zu schießen. Eisbälle werden dabei in einem mit einer Archimedes-Schraube versehenen Behälter gelagert und mittels Pressluft durch eine Schlauchleitung in eine Hagelkanone gefördert, von wo sie hintereinander abgefeuert werden.

30 **[0012]** Bei diesen aus dem Stand der Technik bekannten Hagelprüfungen werden entweder Bälle aus Eis, Gummi, Kompositmaterialien (wie beispielsweise Baumwolle mit gefrorenem Wasser), Blei oder Stahl verwendet, um den Hagelbeschuss von Fahrzeug- oder Flugzeugteilen zu simulieren. Ein wesentlicher Nachteil dieser Hagelprüfvorrichtungen besteht darin, dass von den Hagelkanonen jeweils nur ein einzelner Ball abgefeuert wird.

35 **[0013]** Die weiteren Faktoren, welche maßgeblich die Schwere eines Hagelschadens bestimmen, wie Hageldauer, Form und Korngrößenverteilung des Kollektivs der Hagelkörner sowie die (kumulierte) Intensität des Hagelschlags bleiben gänzlich unberücksichtigt.

40 **[0014]** Eine Simulation der realen Rahmenbedingungen, welche tatsächlich während eines Hagelschauers auftreten, wie beispielsweise auch die Überlagerung der Aufprallkräfte eines Kollektivs von mehreren Hagelkör-

nen mit den im Realfall auftretenden Windkräften, ist mit solchen Hagelkanonen daher keinesfalls möglich. All diese Prüfverfahren liefern somit für die zu untersuchenden Prüfmateriale höchstens eine grobe Abschätzung der Auswirkungen des realen Hagelbeschusses.

[0015] Um die Nachteile derjenigen Prüfverfahren, bei denen jeweils nur mit einem einzelnen Ball auf ein Prüfobjekt geschossen wird, zu überwinden, wird im Dokument US 2009/0326835 A1 vorgeschlagen, zur Datenerfassung der dynamischen Kräfte während eines Hagelbeschusses ein dynamisches Testsystem mit Sensorflächen zu verwenden. Die Sensorflächen dieses Testsystems sind beispielsweise an der Karosserie eines Fahrzeugs befestigbar. Im Feldtest werden während einer Fahrt mittels der am Fahrzeug befestigten Sensorflächen die dynamischen Kräfte des Hagelbeschusses erfasst und vom Testsystem aufgezeichnet. Prüfobjekte, beispielsweise Testmaterialien von Gebäudefassaden, werden ebenfalls am Fahrzeug befestigt und somit dem Hagelbeschuss ausgesetzt.

[0016] Von der Sensorschicht der Sensorflächen wird dabei ein elektrisches Signal in Abhängigkeit von der Stärke des Hageleinschlags generiert. Hier wird also - umgekehrt zu den zuvor genannten Prüfmethoden, bei denen mit stationären Hagelkanonen auf Testmaterialien geschossen wird - die Sensorschicht als Teil des Testsystems bzw. ein Prüfobjekt selbst bewegt und mit realen Hagelkörnern beschossen.

[0017] Nachteilig an dieser Ausführung ist, dass auf einem Fahrzeug nur vergleichsweise kleine und leichte Prüfobjekte überhaupt befestigbar und somit überhaupt testbar sind. Eine Vermessung der maßstabgetreuen Belastung von größeren Prüfmateriale, beispielsweise von kompletten Fassadenpaneelen oder Vorhangfassaden ist mit diesem dynamischen Testsystem nicht möglich.

[0018] Weiters ist der Einsatz eines solchen dynamischen Testverfahrens äußerst kostenintensiv und besonders zeitaufwendig. Um während der meist kurzen Dauer eines Hagelunwetters von einigen Minuten überhaupt eine entsprechende Testfahrt durchführen und ein Prüfobjekt vermessen zu können, ist dazu eine sehr große Anzahl an identen Testfahrzeugen erforderlich, die während der Hagelsaison in Gebieten mit der höchsten Hagelschauer-Wahrscheinlichkeit jeweils mit einem zu untersuchenden Prüfobjekt bereit stehen.

[0019] Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Prüfvorrichtung zur Simulation von Hagelbeschlag zu schaffen, welche die zuvor genannten Nachteile des Stands der Technik überwindet und mit der die Hagelbelastung eines oder mehrerer Testobjekte unter realen Bedingungen kostengünstig sowie reproduzierbar gemessen werden kann. Mit der Prüfvorrichtung soll weiters ein flächendeckender Beschuss von maßstabgetreuen Testobjekten auch während einer längeren Zeitspanne möglich sein.

[0020] Diese Aufgaben werden bei einer Prüfvorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 mit den

Merkmale des kennzeichnenden Teiles des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche betreffen besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0021] Besonders vorteilhaft sind bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten, insbesondere von Bauteilen eines Gebäudes, mittels Geschossen, mehrere Abschussvorrichtungen zum simultanen Abschießen der Geschosse vorgesehen, wobei für die Abschussvorrichtungen eine Summenhagellast als Energieeintrag der Summe aller Geschosse sämtlicher Abschussvorrichtungen je Beschussfläche eines Testobjekts und je Zeiteinheit einstellbar ist.

[0022] Die gesamte Summenhagellast aller Geschosse der Prüfvorrichtung je Beschussfläche des Testobjekts und je Zeiteinheit weist die Einheit [Joule] je [m²] Beschussfläche und je [s] als Zeiteinheit auf. Die Einheit der Summenhagellast beträgt somit [kg / s²].

[0023] Vorteilhaft gegenüber dem bekannten Stand der Technik ist weiters, dass durch ein simultanes Auftreffen mehrerer Geschosse auf der Beschussfläche das Testobjekt in Schwingungen versetzt werden kann, wie sie auch den während eines Hagelunwetters auftretenden realen Schwingungen von Bauteilen entsprechen.

Die dabei auf das Testobjekt einwirkende resultierende Kraft ergibt sich aus der Überlagerung der Summenhagellast der von der Prüfvorrichtung abgefeuerten Geschosse sowie der Schwingungslast. Diese überlagerte resultierende Kraft kann verglichen mit einem Einzelbeschuss entscheidend höher sein und entspricht somit im Wesentlichen den realen Belastungen, die während eines Hagelunwetters tatsächlich auf Bauteile, beispielsweise auf Fassadenbauteile einwirken.

[0024] Im Rahmen der Erfindung können als Geschosse beispielsweise Eiskörner als Überbegriff für Eiskugeln, Eisbälle und dergleichen, sowie sämtliche aus dem Stand der Technik bekannte für eine Hagelprüfung standardisierte Testgeschosse aus Kunststoff, Holz, Metall oder Elastomer mit gleichem oder unterschiedlichem Geschossdurchmesser eingesetzt werden.

[0025] Zweckmäßig ist bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung für jede einzelne Abschussvorrichtung jeweils eine individuelle Einzelhagellast als Energieeintrag der Summe aller Geschosse der jeweiligen Abschussvorrichtung je Beschussfläche des Testobjekts und je Zeiteinheit einstellbar.

[0026] In dieser Ausführungsvariante ist für jede einzelne Abschussvorrichtung eine individuelle Einzelhagellast mit der Einheit [kg / s²] einstellbar bzw. angebar.

[0027] In einer Weiterbildung der Erfindung sind bei einer Prüfvorrichtung mehrere Abschussvorrichtungen voneinander beabstandet an einem schwenkbaren Rahmen, welcher parallel zur Beschussfläche des Testobjekts ausrichtbar ist, befestigt.

[0028] Vorteilhaft wird somit gewährleistet, dass jedes Geschoss jeweils die gleiche Entfernung bis zur Beschussfläche des Testobjekts hat.

[0029] Zweckmäßig sind bei einer Prüfvorrichtung ge-

mäß der Erfindung mindestens zehn Abschussvorrichtungen je Quadratmeter Rahmenfläche gleichmäßig an dem schwenkbaren Rahmen angeordnet.

[0030] Durch die gleichmäßige dichte Anordnung der Abschussvorrichtungen am Rahmen wird ein flächendeckender Beschuss der Beschussfläche ermöglicht, wie er auch während eines Hagelunwetters auftritt.

[0031] Besonders vorteilhaft sind bei einer Prüfvorrichtung mit den Abschussvorrichtungen Geschosse mit unterschiedlichem Äquivalent-Durchmesser, vorzugsweise mit Äquivalent-Durchmesser von 5 mm bis 200 mm, abschießbar.

[0032] Der Äquivalent-Durchmesser ist ein Maß für die Größe eines unregelmäßig geformten Geschosses wie beispielsweise eines Hagelkorns. Er berechnet sich aus dem Vergleich einer Eigenschaft des unregelmäßigen Teilchens, welches von der Kugelform abweicht, mit einer Eigenschaft eines regelmäßig geformten bzw. kugelförmigen Teilchens. Hier wird im Weiteren Bezug genommen auf den sogenannten geometrischen Äquivalent-Durchmesser, den man durch Bestimmung des Durchmessers einer Kugel mit gleicher geometrischer Eigenschaft bzw. mit gleichem Volumen wie das unregelmäßig geformte Partikel erhält.

[0033] In einer erfindungsgemäßen Ausführungsvariante der Prüfvorrichtung ist zumindest eine Abschussvorrichtung in ihrem Abschusswinkel in horizontaler und/oder in vertikaler Richtung verstellbar.

[0034] In einer vorzugsweisen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ist vorgesehen, dass alle Abschussvorrichtungen in horizontaler und/oder vertikaler Richtung verstellbar sind.

[0035] Besonders zweckmäßig sind bei einer Prüfvorrichtung die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse jeder Abschussvorrichtung einstellbar.

[0036] Zweckmäßig sind bei einer Prüfvorrichtung gemäß der Erfindung die Abschussvorrichtungen jeweils mit einem Antrieb, vorzugsweise mit einem Pneumatik-Antrieb, zum Erzeugen einer Abschusskraft verbunden.

[0037] Eine Prüfvorrichtung kann unterschiedliche Antriebskonzepte aufweisen. Beispielsweise kann der Antrieb der Geschosse mechanisch mittels Federkraft erfolgen. Besonders bewährt hat sich ein Pneumatik-antrieb, wobei beispielsweise ein zentraler Kompressor zur Erzeugung der Druckluft vorgesehen ist und mittels Pneumatik-Leitungen mit jeder Abschussvorrichtung verbunden ist. Ein Pneumatik-Antrieb umfasst dazu beispielsweise einen Luftdruckbehälter und ein Schnellentlüfterventil. Im Falle eines Pneumatik-Antriebs entspricht die Abschusskraft der einzelnen Abschussvorrichtungen jeweils einem Abschussdruck.

[0038] Vorteilhaft sind bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse mittels eines Abschusskraftreglers je Abschussvorrichtung individuell einstellbar.

[0039] Im Falle eines Pneumatik-Antriebs entspricht der Abschusskraftregler einem Abschussdruckregler. Mit den Abschusskraftreglern lassen sich die Abschuss-

geschwindigkeiten der Geschosse besonders komfortabel individuell regeln.

[0040] In einer Weiterbildung der Erfindung sind bei einer Prüfvorrichtung, welche eine Prozessoreinheit umfasst, vom Abschusskraftregler Steuersignale zur Steuerung der Abschusskraft je Abschussvorrichtung an die Prozessoreinheit sendbar.

[0041] Im Falle eines Pneumatik-Antriebs entspricht das Steuersignal einem Drucksignal und die Abschusskraft einem Abschussdruck.

[0042] Es ist bevorzugt, eine Prüfvorrichtung gemäß der Erfindung mit zumindest einem Geschwindigkeitsmessgerät zur Geschwindigkeitserfassung der Geschosse auszustatten.

[0043] Im Rahmen der Erfindung kann auch für jede einzelne Abschussvorrichtung jeweils ein eigenes Geschwindigkeitsmessgerät vorgesehen sein. Es können dazu sämtliche aus dem Stand der Technik bekannte Geschwindigkeitsmessgeräte, beispielsweise Lichtschranken, Laser- oder Radarmessgeräte eingesetzt werden.

[0044] Besonders vorteilhaft sind bei einer Prüfvorrichtung gemäß der Erfindung vom zumindest einen Geschwindigkeitsmessgerät die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale an die Prozessoreinheit sendbar.

[0045] In einer weiteren Fortbildung der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ist vorgesehen, dass die Prozessoreinheit die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale auswertet und anhand der Auswertung die Abschussgeschwindigkeiten der Abschussvorrichtungen steuert.

[0046] Dies kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Beispielsweise umfasst die Auswertung der erfassten Geschwindigkeitsmesssignale zur Steuerung der Abschussgeschwindigkeiten einen Vergleich mit vorgespeicherten Geschwindigkeitsmesssignalen von Testprüfungen. Die vorgespeicherten Geschwindigkeitsmesssignalen von Testprüfungen sind dazu beispielsweise in Datenbanken, auf die von der Prozessoreinheit zugegriffen wird, archiviert.

[0047] In einer Weiterbildung der Erfindung ist bei einer Prüfvorrichtung zumindest ein Vorratsbehälter mit Geschossen vorgesehen, welcher mit jeder Abschussvorrichtung mit Geschosszuführleitungen verbunden ist.

[0048] Abhängig von den verwendeten Geschossen kann es beispielsweise bei Eiskörnern erforderlich sein, dass der zumindest eine Vorratsbehälter entsprechend gekühlt wird bzw. thermostatisierbar ausgerüstet ist. Vorteilhaft ist mit einem Vorratsbehälter, der als Speicher für die Geschosse dient und mit jeder Abschussvorrichtung mit Geschosszuführleitungen verbunden ist, ein automatisierter Dauerbeschuss eines Testobjekts möglich. Somit kann das Testobjekt unter realen Testbedingungen, wie sie auch während eines länger andauernden Hagelunwetters auftreten, geprüft werden.

[0049] Zweckmäßig ist bei einer Prüfvorrichtung gemäß der Erfindung jede Abschussvorrichtung automatisch mit jeweils einem Geschoss seriell beladbar.

[0050] In dieser Ausführung einer Prüfvorrichtung wird

wirkungsvoll verhindert, dass nachteilhaft gleichzeitig mehrere Geschosse in eine Abschussvorrichtung gelangen und gemeinsam innerhalb derselben Abschussvorrichtung mit einer nicht definierbaren Einzelhagellast abgefeuert werden. Den Ausführungsmöglichkeiten, die ein ausschließlich serielles Befüllen jeder einzelnen Abschussvorrichtung gewährleisten, sind keine Grenzen gesetzt. Beispielsweise kann die serielle Beladung der Abschussvorrichtungen mittels optischer oder mechanischer Kontrollvorrichtungen überwacht werden. Die Beladung der Abschussvorrichtungen mit den Geschossen erfolgt beispielsweise pneumatisch.

[0051] In einer besonders kompakten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ist vorgesehen, dass zum parallelen Abfahren der Beschussfläche eines Testobjekts die Prüfvorrichtung an einer Hebevorrichtung befestigbar ist.

[0052] Als externe Hebevorrichtungen können beispielsweise ein Hubstapler oder ein Kran dienen. Somit ist es möglich, die Prüfvorrichtung entlang eines großflächigen Testobjekts, beispielsweise einer Fassade oder eines Dachs eines Gebäudes, gleichmäßig flächendeckend zu bewegen. Die Beschussfläche des Testobjekts wird solcherart von der Prüfvorrichtung gleichmäßig mit einer Hagellast beaufschlagt. Vorteilhaft ist die Prüfung von Testmaterialien eines Testobjekts daher in jeder Höhenlage bzw. in jedem Winkel möglich. Schräge Dachflächen oder Fassadenflächen von Großobjekten können mit einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ebenso auf ihre Hagelwiderstandsfähigkeit getestet werden wie kleine Testobjekte.

[0053] In einer weiteren besonders zweckmäßigen Ausführungsform der Erfindung sind bei einer Prüfvorrichtung zumindest eine dynamische Windlasterzeugungs-Vorrichtung und/oder eine statische Windlasterzeugungs-Vorrichtung und/oder eine Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung und/oder eine Thermostatisierungs-Vorrichtung zur Überlagerung mit der Hagellast vorgesehen.

[0054] Eine Prüfvorrichtung in dieser vorteilhaften Ausführung ist besonders zur Simulation der Witterungsbedingungen während eines realen Hagelschauers geeignet. Eine Überlagerung der Hagellast mit den mechanischen Belastungen von Wind, Schlagregen, Klimaeinflüssen wie beispielsweise Temperaturschwankungen und/oder Luftfeuchte ist somit möglich.

[0055] Eine Windlast ergibt sich aus der Druckverteilung um ein Testobjekt, beispielsweise ein Bauwerk, welches einer Windströmung ausgesetzt ist. Als Windlasterzeugungs-Vorrichtung können beispielsweise ein Gebläse oder eine Turbine dienen. Diese können direkt an der Prüfvorrichtung angeordnet sein oder bei Bedarf modular mit der Prüfvorrichtung kombiniert werden. Weiters können im Rahmen der Erfindung auch mehrere Windlasterzeugungs-Vorrichtungen bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung vorgesehen sein. So können Windlasterzeugungs-Vorrichtungen als Module einer Prüfvorrichtung beispielsweise zur Erzeugung einer dy-

namischen Windlast und/oder einer statischen Windlast dienen.

[0056] Unter einer dynamischen Windlast werden jene dynamischen Wechselwirkungskräfte verstanden, die durch die Anströmung bzw. Umströmung eines Testobjekts in der Windströmung entstehen und in Form von Schwingungen auf das Testobjekt einwirken.

[0057] Als statische Windlast wird jene Flächenlast bezeichnet, welche im Allgemeinen senkrecht zur Windangriffsfläche auftritt und sich vor allem aus Druck- und Sogwirkungen zusammensetzt. So entsteht bei einem Bauwerk an den frontal angeströmten Flächen durch die Strömungsverlangsamung ein Überdruck. Im Bereich der Dach- und Seitenflächen löst sich die Luftströmung an den Gebäudekanten ab und bewirkt dort einen Unterdruck bzw. Sog. Durch den Nachlaufwirbel wird an der Gebäuderückseite ebenfalls ein Unterdruck erzeugt.

[0058] Zur Simulation einer statischen Windlast, die als Überdruck oder Unterdruck auf das Testobjekt einwirkt, werden meist aus dem Stand bekannte Druckprüfkammern verwendet, in denen sich das zu untersuchende Testobjekt befindet. Zur Simulation der statischen Windlast, die auf große Gebäudeteile einwirkt, werden Fassadenprüfstände verwendet, die mit Überdruck bzw. Unterdruck beaufschlagt werden.

[0059] Wenn die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung mit einer statischen Windlasterzeugungs-Vorrichtung versehen ist, so kann in einer externen Druckprüfkammer oder einem externen Fassadenprüfstand während des Hagelbeschusses auch eine Überlagerung mit Druck- und Sogwirkungen auf die Testobjekte simuliert werden.

[0060] Jedenfalls ist die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung in entsprechenden Druckprüfkammern oder bei Fassadenprüfständen einsetzbar.

[0061] Als Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung zur Simulation von Schlagregen können beispielhaft Hochdruckwasserspritzen vorgesehen sein.

[0062] Unter einer Thermostatisierungsvorrichtung wird beispielsweise ein Heizregister oder eine entsprechende Kühlanlage verstanden, die jeweils zur Überlagerung von Temperaturschwankungen mit der Hagellast vorgesehen sind.

[0063] Somit ist es möglich, mit der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung sämtliche klimatische Rahmenbedingungen zu simulieren, welche vor und nach einem Hagelereignis auftreten.

[0064] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Erläuterung von in den Zeichnungen schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 in einer vereinfachten Darstellung von der Seite eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung;
- Fig. 2 in einem Blockfließbild im Detail die in Fig. 1 dargestellte erfindungsgemäße Prüfvorrichtung mit den für einen automatisierten Betrieb erforderlichen

Steuereinrichtungen.

[0065] Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung 1 mit einem Traggerüst 2 sowie einem am Traggerüst 2 mit einem Rahmenscharnier 3 schwenkbar beweglich befestigten Rahmen 4. Der Rahmen 4 kann dabei gegenüber dem Traggerüst 2 um einen Schwenkwinkel 5 verschwenkt werden. Am Rahmen 4 sind mehrere Abschussvorrichtungen 6 zum Abschießen von Geschossen 7 verstellbar befestigt. Von den mehreren Abschussvorrichtungen 6, die gleichmäßig am Rahmen 4 angeordnet sind, können die Geschosse 7 simultan abgeschossen werden. Die hier in dieser Ausführung jeweils baugleichen Abschussvorrichtungen 6 sind zum Abfeuern von Geschossen 7 mit unterschiedlichem Äquivalent-Durchmesser 8, beispielsweise mit einem Äquivalent-Durchmesser 8 von 5 mm bis 200 mm geeignet. Die in Fig. 1 schematisch gezeigten Geschosse 7.1, 7.2, 7.3, welche hier beispielsweise aus Eis hergestellt und von korfförmiger Gestalt sind, weisen jeweils unterschiedliche Äquivalent-Durchmesser 8 auf. Die Abschussvorrichtungen 6 können in ihrem Abschusswinkel 9 jeweils sowohl in horizontaler, als auch in vertikaler Richtung verstellt werden. Somit wird gewährleistet, dass sämtliche Geschosse 7.1, 7.2, 7.3 in ihrer Abschussrichtung 10, welche in Fig. 1 als Pfeile 10.1, 10.2 sowie 10.3 gekennzeichnet sind, individuell eingestellt werden können. Da weiters der schwenkbare Rahmen 4 parallel zur Beschussfläche 10 des Testobjektes 11 ausrichtbar ist, kann die Prüfvorrichtung 1 daher so betrieben werden, dass sämtliche Geschosse 7.1, 7.2, 7.3 jeweils dieselbe Distanz zurücklegen müssen, um auf einer Beschussfläche 11 eines Testobjektes 12 aufzutreffen.

[0066] Jede Abschussvorrichtung 6 ist hier mit einem eigenen Antrieb 13 versehen. In der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform erfolgt der Antrieb der Abschussvorrichtungen 6 jeweils mittels eines Pneumatik-Antriebs 13. Ein zentraler Kompressor zur Erzeugung der Druckluft sowie die entsprechenden Pneumatikleitungen, die Druckluft vom Kompressor zu den einzelnen Pneumatik-Antrieben 13, welche beispielsweise jeweils einen Luftdruckbehälter und ein Schnelllüfterventil umfassen, leiten, sind der besseren Übersicht wegen in Fig. 1 nicht dargestellt. Die Abschusskraft jeder Abschussvorrichtung 6 ist mittels eines Abschusskraftreglers 14 jeweils individuell einstellbar. Als Abschusskraftregler 14 werden hier beispielsweise Druckregler 14 verwendet.

[0067] Weiters ist jede Abschussvorrichtung 6 mit einem Geschwindigkeitsmessgerät 15 versehen, welches zur Geschwindigkeitserfassung der einzelnen Geschosse 7 dient. Die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale jedes Geschwindigkeitsmessgeräts 15 werden mittels Signalleitungen an eine Prozessoreinheit 16 gesendet, welche die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale auswertet und anhand der Auswertung die jeweiligen Abschusskraftregler 14 der Abschussvorrichtungen 6 und somit die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse 7

steuert. Ebenso werden von den Abschusskraftregler 14 Steuersignale mittels Signalleitungen an die Prozessoreinheit 16 gesendet. Die Signalleitungen, welche mit der Prozessoreinheit 16 verbunden sind, sind der Übersicht halber in Fig. 1 nicht dargestellt.

[0068] Die Prüfvorrichtung 1 ist vorteilhaft mobil einsetzbar und kann zum parallelen Abfahren der Beschussfläche 11 eines Testobjektes 12, beispielsweise einer Fassade eines Gebäudes, an einer externen Hebevorrichtung 30, beispielsweise einem Hubstapler 30 oder einem Kran befestigt werden. Das Traggerüst 2 ist dazu mit entsprechenden Führungsholmen 18 zum Anheben mittels eines Hubstaplers 30 sowie mit Befestigungshaken 19 zum Anschlagen an einem Kran versehen.

[0069] Weiters ist die Prüfvorrichtung 1 mit einer Windlasterzeugungs-Vorrichtung 20, einer Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung 21 sowie einer Thermostatisierungs-Vorrichtung 22 versehen. Mittels der Windlasterzeugungs-Vorrichtung 20, beispielsweise eines Gebläses, wird die Hagellast je Beschussfläche 11 des Testobjektes 12 sowohl mit einer simulierten dynamischen, als auch einer statischen Windlast überlagert. Die Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung 21, beispielsweise eine Hochdruck-Wasserspritze, dient zur Überlagerung der Hagellast mit einer simulierten Wasser- bzw. Schlagregenlast. Die Thermostatisierungs-Vorrichtung 22 ist beispielsweise als Heizstrahler ausgebildet und dient zur Überlagerung der Hagellast, die auf die Beschussfläche 11 einwirkt, mit einer simulierten Temperaturänderung, die ebenfalls belastend auf das zu untersuchende Material des Testobjektes 12 wirkt.

[0070] Ebenso ist es denkbar, eine erfindungsgemäße Prüfvorrichtung neben einer Windlasterzeugungs-Vorrichtung zur Simulation einer dynamischen Windlast zusätzlich mit einer weiteren Windlasterzeugungs-Vorrichtung zur Simulation einer statischen Windlast, also eines Überdrucks oder Unterdrucks, der auf das Testobjekt 12 einwirkt, auszustatten. Diese Ausführung wird hier nicht explizit gezeigt.

[0071] Um einen länger andauernden, flächendeckenden Hagelbeschuss der Beschussfläche 11 des Testobjektes 12 zu gewährleisten, ist die Prüfvorrichtung 1 weiters mit einem Vorratsbehälter 23 zur Lagerung der Geschosse 7 ausgestattet. Wenn als Geschosse 7 Eiskörner verwendet werden, so ist zweckmäßig der Vorratsbehälter 23 entsprechend mit einer Isolierung bzw. Kühlung zu versehen. Der Vorratsbehälter 23 ist mit Geschosszuführleitungen 24 mit jeder einzelnen Abschussvorrichtung 6 verbunden.

[0072] Fig. 2 zeigt die erfindungsgemäße Prüfvorrichtung 1 mit den für einen automatisierten Betrieb erforderlichen Steuereinrichtungen in Blockdarstellung.

[0073] Jede Abschussvorrichtung 6 ist mit einem Geschwindigkeitsmessgerät 15 versehen, welches zur Geschwindigkeitserfassung der einzelnen Geschosse 7 dient. Die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale jedes Geschwindigkeitsmessgeräts 15 werden mittels Signalleitungen 17 an die Prozessoreinheit 16 gesendet, von

welcher die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale ausgewertet und anhand der Auswertung die jeweiligen Abschusskraftregler 14 der Abschussvorrichtungen 6 und somit die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse 7 gesteuert werden. Ebenso werden von den Abschusskraftreglern 14 Steuersignale mittels Signalleitungen 17 an die Prozessoreinheit 16 gesendet. Von der Prozessoreinheit 16 werden weiters die Windlasterzeugungs-Vorrichtung 20, die Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung 21 sowie die Thermostatisierungs-Vorrichtung 22 gesteuert. Weiters wird der Füllstand des Vorratsbehälters 23 von der Prozessoreinheit 16 überwacht. Die Befüllung der Geschosse 7 aus dem Vorratsbehälter 23 mittels der Geschosszuführleitungen 24 in die jeweiligen Abschussvorrichtungen 6 erfolgt hier pneumatisch. Dabei wird von der Prozessoreinheit 16 weiters überwacht, dass nur jeweils ein einziges Geschoss 7 in der Abschussvorrichtung 6 vorhanden ist. Ein Kompressor als Pneumatik-Antrieb 25 ist mittels Pneumatik-Leitungen 26 mit dem Vorratsbehälter 23 sowie mit den Antrieben 13 der Abschussvorrichtungen 6 verbunden.

Liste der Positionszeichen:

[0074]

- 1 Prüfvorrichtung
- 2 Traggerüst
- 3 Rahmenscharnier
- 4 Rahmen (schwenkbar)
- 5 Schwenkwinkel
- 6 Abschussvorrichtung
- 7 Geschoss (bzw. 7.1; 7.2; 7.3)
- 8 Äquivalent-Durchmesser
- 9 Abschusswinkel
- 10 Abschussrichtung (Pfeil; bzw. 10.1; 10.2; 10.3)
- 11 Beschussfläche
- 12 Testobjekt
- 13 Antrieb für Abschussvorrichtung
- 14 Abschusskraftregler
- 15 Geschwindigkeitsmessgerät
- 16 Prozessoreinheit

- 17 Signalleitung
- 18 Führungsholm für Hubstapler
- 5 19 Befestigungshaken für Kran
- 20 Windlasterzeugungs-Vorrichtung
- 21 Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung
- 10 22 Thermostatisierungs-Vorrichtung
- 23 Vorratsbehälter
- 15 24 Geschosszuführleitung
- 25 Pneumatik-Antrieb (Kompressor)
- 26 Pneumatik-Leitung
- 20 30 Hebevorrichtung (extern)

Patentansprüche

- 25 1. Prüfvorrichtung (1) zur Simulation eines realen Hagelbeschusses von Testobjekten (11), insbesondere von Bauteilen eines Gebäudes, mittels Geschossen (7), **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Abschussvorrichtungen (6) zum simultanen Abschießen der Geschosse (7) vorgesehen sind, wobei für die Abschussvorrichtungen (6) eine Summenhagellast als Energieeintrag der Summe aller Geschosse sämtlicher Abschussvorrichtungen (6) je Beschussfläche (11) des Testobjekts (12) und je Zeiteinheit einstellbar ist.
- 30 2. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** für jede einzelne Abschussvorrichtung (6) jeweils eine individuelle Einzelhagellast als Energieeintrag der Summe aller Geschosse der jeweiligen Abschussvorrichtung (6) je Beschussfläche (11) des Testobjekts (12) und je Zeiteinheit einstellbar ist.
- 35 3. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere Abschussvorrichtungen (6) voneinander beabstandet an einem schwenkbaren Rahmen (4), welcher parallel zur Beschussfläche (11) des Testobjektes (12) ausrichtbar ist, befestigt sind.
- 40 4. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zehn Abschussvorrichtungen (6) je Quadratmeter Rahmenfläche gleichmäßig an dem schwenkbaren Rahmen (4) angeordnet sind.
- 45
- 50
- 55

5. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit den Abschussvorrichtungen (6) Geschosse (7) mit unterschiedlichem Äquivalent-Durchmesser (8), vorzugsweise mit einem Äquivalent-Durchmesser (8) von 5 mm bis 200 mm, abschießbar sind.
6. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Abschussvorrichtung (6) in ihrem Abschusswinkel (9) in horizontaler und/oder in vertikaler Richtung verstellbar ist.
7. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse (7) jeder Abschussvorrichtung (6) einstellbar sind.
8. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschussvorrichtungen (6) jeweils mit einem Antrieb (13), vorzugsweise mit einem Pneumatikantrieb, zum Erzeugen einer Abschusskraft verbunden sind.
9. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abschussgeschwindigkeiten der Geschosse (7) mittels eines Abschusskraftreglers (14) je Abschussvorrichtung (6) individuell einstellbar sind.
10. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 9 umfassend eine Prozessoreinheit (16), **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Abschusskraftregler (14) Steuersignale zur Steuerung der Abschusskraft je Abschussvorrichtung (6) an die Prozessoreinheit (16) sendbar sind.
11. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Geschwindigkeitserfassung der Geschosse (7) zumindest ein Geschwindigkeitsmessgerät (15) vorgesehen ist.
12. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom zumindest einen Geschwindigkeitsmessgerät (15) die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale an die Prozessoreinheit (16) sendbar sind.
13. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prozessoreinheit (16) die erfassten Geschwindigkeitsmesssignale auswertet und anhand der Auswertung die Abschussgeschwindigkeiten der Abschussvorrichtungen (6) steuert.
14. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Vorratsbehälter (23) mit Geschossen (7) vorgesehen ist, welcher mit jeder Abschussvorrichtung (6) mit Geschossezuführleitungen (24) verbunden ist.
15. Prüfvorrichtung (1) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Abschussvorrichtung (6) automatisch mit jeweils einem Geschoss (7) seriell beladbar ist.
16. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum parallelen Abfahren der Beschussfläche (11) eines Testobjekts (12) die Prüfvorrichtung (1) an einer Hebevorrichtung (30) befestigbar ist.
17. Prüfvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **gekennzeichnet durch** zumindest eine weitere Vorrichtung zur Überlagerung mit der Hagellast, ausgewählt aus der Gruppe:
- statische Windlasterzeugungs-Vorrichtung (20),
 - dynamische Windlasterzeugungs-Vorrichtung (20),
 - Wasserstrahlerzeugungs-Vorrichtung (21),
 - Thermostatisierungs-Vorrichtung (22).
- Claims**
1. A test device (1) for the simulation of a real hail bombardment of test objects (11), in particular of parts of a building, by means of projectiles (7), **characterized in that** several firing devices (6) are provided for simultaneously firing the projectiles (7), wherein for the firing devices (6) the total hail load may be adjusted as energy yield of the sum of all projectiles of all firing devices (6) per bombardment area (11) of the test object (12) and per time unit.
2. A test device (1) according to claim 1, **characterized in that** for each individual firing device (6) there may be adjusted respectively an individual single hail load as energy yield of the sum of all projectiles of the respective firing device (6) per bombardment area (11) of the test object (12) and per time unit.
3. A test device (1) according to claim 1 or 2, **characterized in that** several firing devices (6) are fixed, spaced apart from each other, at a pivotable frame (4), which may be aligned in parallel to the bombardment area (11) of the test object (12).
4. A test device (1) according to claim 3, **characterized in that** at least ten firing devices (6) are arranged per square metre frame area uniformly at the pivotable frame (4).
5. A test device (1) according to any of claims 1 to 4,

- characterized in that** there may be fired projectiles (7) having different equivalent diameters (8), preferably having an equivalent diameter (8) from 5 mm to 200 mm, by the firing devices (6).
6. A test device (1) according to any of claims 1 to 5, **characterized in that** at least one firing device (6) is adjustable in the firing angle (9) thereof in the horizontal and/or vertical direction.
7. A test device (1) according to any of claims 1 to 6, **characterized in that** the firing velocities of the projectiles (7) of each firing device (6) may be adjusted.
8. A test device (1) according to any of claims 1 to 7, **characterized in that** the firing devices (6) each are connected with a drive (13), preferably with a pneumatic drive, in order to generate a firing force.
9. A test device (1) according to claim 8, **characterized in that** the firing velocities of the projectiles (7) are individually adjustable by means of a firing force regulator (14) for each firing device (6).
10. A test device (1) according to claim 9, comprising a processor unit (16), **characterized in that** control signals for controlling the firing force may be sent by the firing force regulator (14) for each firing device (6) to the processor unit (16).
11. A test device (1) according to any of claims 1 to 10, **characterized in that** there is provided at least one velocity measuring tool (15) for determination of the velocity of the projectiles (7).
12. A test device (1) according to claim 11, **characterized in that** the determined velocity measuring signals may be sent to the processor unit (16) by the at least one velocity measuring tool (15).
13. A test device (1) according to claim 12, **characterized in that** the processor unit (16) evaluates the velocity measuring signals determined and controls the firing velocities of the firing devices (6) on the basis of the evaluation.
14. A test device (1) according to any of claims 1 to 13, **characterized in that** there is provided at least one storage container (23) with projectiles (7), which is connected with each firing device (6) by way of projectile feed lines (24).
15. A test device (1) according to claim 14, **characterized in that** each firing device (6) may be automatically loaded in series with respectively one projectile (7).
16. A test device (1) according to any of claims 1 to 15, **characterized in that** the test device (1) may be attached to a lifting device (30) for scanning in parallel the bombardment area (11) of a test object (12).
17. A test device (1) according to any of claims 1 to 16, **characterized by** at least one further device for overlapping with the hail load, selected from the group consisting of:
- static wind load generating device (20),
 - dynamic wind load generating device (20),
 - water beam generating device (21),
 - thermostatic control device (22).
- Revendications**
1. Dispositif de contrôle (1) pour la simulation d'une averse réelle de grêle sur des objets tests (11), en particulier sur des éléments structurels d'un bâtiment, au moyen de projectiles (7), **caractérisé en ce qu'il** est prévu plusieurs dispositifs de lancement (6) pour le lancement simultané de projectiles (7), et pour les dispositifs de lancement (6) la charge totale de grêle, sous forme d'apport d'énergie de la somme de tous les projectiles de tous les dispositifs de lancement (6), est réglable selon la surface concernée (11) de l'objet test (12) et par unité de temps.
2. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour chaque dispositif de lancement individuel (6), une charge individuelle de grêle, sous forme d'apport d'énergie de la somme de tous les projectiles du dispositif de lancement respectif (6), est réglable selon la surface concernée (11) de l'objet test (12) et par unité de temps.
3. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** plusieurs dispositifs de lancement (6) sont fixés à distance les uns des autres sur un cadre pivotant (4) qui peut être orienté parallèlement à la surface concernée (11) de l'objet test (12).
4. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'**au moins dix dispositifs de lancement (6) sont agencés pour chaque mètre carré de surface du cadre, de façon régulière sur le cadre pivotant (4).
5. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**au moyen des dispositifs de lancement (6) il est possible de lancer des projectiles (7) avec un diamètre équivalent différent (8), de préférence avec un diamètre équivalent (8) de 5 mm à 200 mm.
6. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendica-

- tions 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**au moins un dispositif de lancement (6) est réglable en direction horizontale et/ou en direction verticale pour ce qui concerne son angle de lancement (9).
7. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les vitesses de lancement des projectiles (7) de chaque dispositif de lancement (6) sont réglables.
8. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les dispositifs de lancement (6) sont respectivement reliés à un entraînement (13), de préférence à un entraînement pneumatique, pour engendrer une force de lancement.
9. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les vitesses de lancement des projectiles (7) sont réglables au moyen d'un régulateur de force de lancement (14) de manière individuelle pour chaque dispositif de lancement (6).
10. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 9, comprenant une unité à processeur (16), **caractérisé en ce que** des signaux de commande peuvent être émis depuis le régulateur de force de lancement (14) vers l'unité à processeur (16) pour commander la force de lancement de chaque dispositif de lancement (6).
11. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce qu'**il est prévu au moins un appareil de mesure de vitesse (15) pour la détection de vitesse des projectiles (7).
12. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** les signaux de mesure de vitesse saisis par au moins un appareil de mesure de vitesse (15) peuvent être émis vers l'unité à processeur (16).
13. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'unité à processeur (16) évalue les signaux de mesure de vitesse saisis et commande, en fonction de l'évaluation, les vitesses de lancement des dispositifs de lancement (6).
14. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce qu'**il est prévu au moins un récipient de réserve (23) avec des projectiles (7), ce récipient étant relié par des conduites d'amenée de projectiles avec chaque dispositif de lancement (6).
15. Dispositif de contrôle (1) selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** chaque dispositif de lancement (6) est susceptible d'être automatiquement chargé en série avec un projectile respectif (7).
16. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** pour le balayage parallèle de la surface concernée (11) d'un objet test (12), le dispositif de contrôle (1) est susceptible d'être fixé sur un dispositif de levage (30).
17. Dispositif de contrôle (1) selon l'une des revendications 1 à 16, **caractérisé par** au moins un autre dispositif destiné à la superposition sur la charge de grêle, choisi parmi le groupe :
- dispositif statique de génération d'une charge aéraulique (20),
 - dispositif dynamique de génération d'une charge aéraulique (20),
 - dispositif de génération de jet d'eau (21),
 - dispositif de conditionnement thermostatique (22).

EP 2 431 725 B1

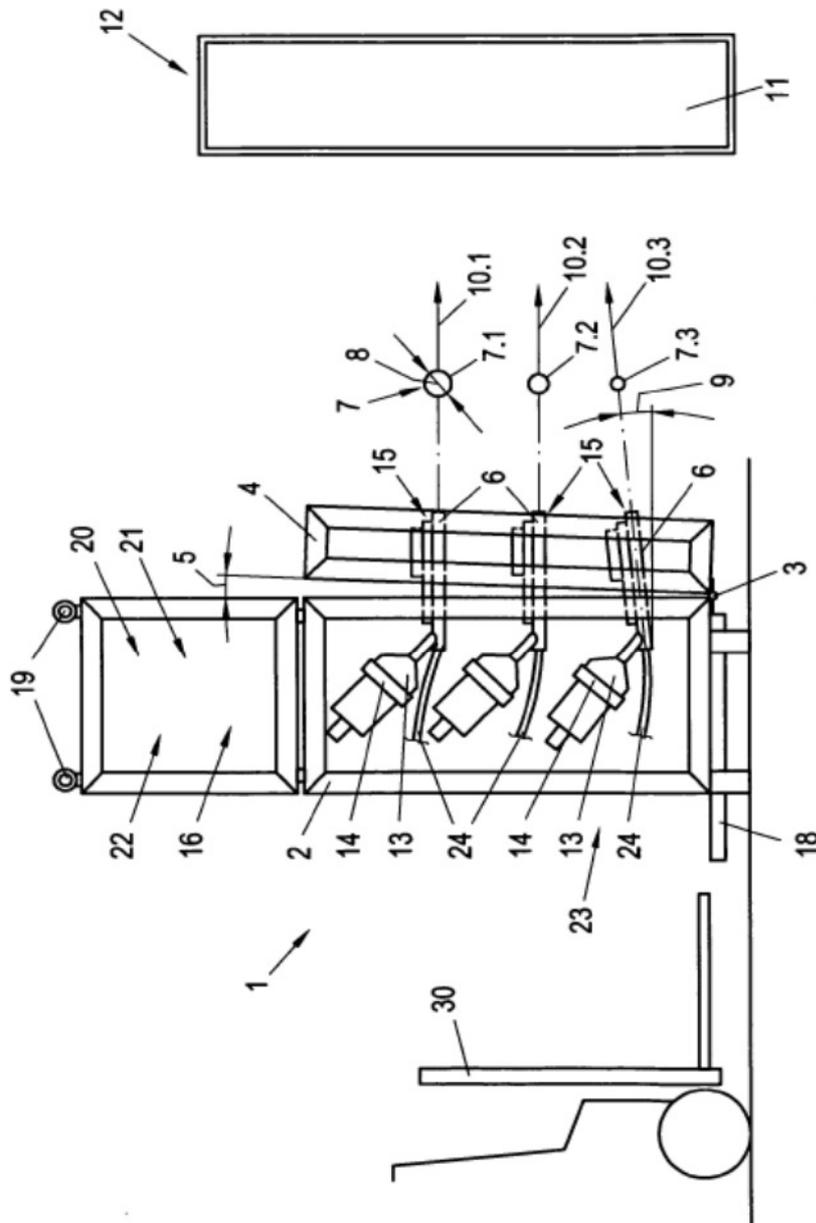


Fig. 1

EP 2 431 725 B1

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- CN 101451798 A [0008]
- JP 2005055215 A [0009]
- CA 2436559 C [0010]
- US 5319946 A [0011]
- US 20090326835 A1 [0015]

8.4. Auszüge von der Hagelauflastberechnung (ZAMG – Daten „Hagellastplattenaufzeichnung“)

Datum	Auflast kg/m ²													
	5		10		15		20		25		30		35	
820518	0,16	33%	0,32	64%	0,02	3%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
820814	0,02	1%	0,15	5%	0,33	11%	0,59	19%	0,07	2%	0,74	24%	1,18	38%
840801	0,03	1%	0,66	19%	1,67	49%	0,88	26%	0,07	2%	0,12	4%	0,00	0%
840801	0,00	0%	0,44	6%	1,67	23%	1,91	26%	2,01	28%	0,99	14%	0,20	3%
840801	0,01	0%	0,31	10%	1,30	42%	0,66	21%	0,36	11%	0,50	16%	0,00	0%
840801	0,00	0%	0,11	3%	0,93	23%	1,21	30%	1,29	32%	0,50	12%	0,00	0%
840801	0,00	0%	0,15	3%	0,03	1%	0,29	6%	2,01	44%	1,74	38%	0,39	9%
840801	0,00	0%	0,04	1%	0,23	6%	0,99	26%	1,51	40%	0,99	26%	0,00	0%
840801	0,00	0%	0,11	3%	0,93	21%	1,10	25%	1,08	25%	0,74	17%	0,39	9%
840801	0,00	0%	0,07	2%	0,99	27%	1,03	28%	0,43	12%	0,87	24%	0,00	0%
840801	0,00	0%	0,43	12%	2,23	60%	1,07	29%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
840801	0,01	0%	0,74	18%	1,32	32%	0,84	21%	0,36	9%	0,25	6%	0,00	0%
840801	0,01	0%	1,63	32%	2,54	50%	0,88	17%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
860724	0,05	1%	0,84	23%	2,08	55%	0,77	21%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
870725	0,02	1%	0,20	6%	0,73	21%	1,18	33%	0,65	18%	0,12	4%	0,20	6%
880620	0,19	6%	1,58	48%	1,43	43%	0,04	1%	0,07	2%	0,00	0%	0,00	0%
890823	0,27	7%	1,68	44%	1,67	44%	0,11	3%	0,07	2%	0,00	0%	0,00	0%
910717	0,08	3%	0,45	14%	1,18	37%	1,18	37%	0,29	9%	0,00	0%	0,00	0%
910717	0,03	1%	0,39	9%	2,31	51%	0,99	22%	0,79	17%	0,00	0%	0,00	0%
910717	0,06	1%	0,53	10%	1,58	30%	2,09	40%	1,00	19%	0,00	0%	0,00	0%
930507	0,03	1%	0,63	18%	1,19	34%	0,62	18%	0,65	18%	0,37	11%	0,00	0%
930620	0,07	2%	0,39	11%	1,19	32%	0,84	23%	0,57	16%	0,62	17%	0,00	0%
930620	0,07	2%	0,71	23%	1,05	35%	0,73	24%	0,36	12%	0,12	4%	0,00	0%
950702	0,08	1%	0,45	7%	1,80	28%	2,53	39%	1,51	23%	0,12	2%	0,00	0%
970808	0,91	23%	2,84	71%	0,25	6%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
990820	0,47	13%	3,19	87%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
000606	0,32	8%	1,54	37%	1,18	28%	1,18	28%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
000606	0,08	3%	0,45	14%	0,65	21%	1,18	37%	0,79	25%	0,00	0%	0,00	0%
010608	0,19	5%	1,31	35%	1,97	53%	0,26	7%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
010608	0,28	7%	1,29	34%	2,25	59%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
010810	0,21	7%	0,52	17%	1,69	54%	0,70	22%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%

Hagelschauerprüfungen an Gebäudehüllen

Datum JJMMTT	Auflast kg/m ²						Gesamt kg/m ²
	40		45		50		
820518	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,50
820814	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,08
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,45
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	7,22
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,13
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,04
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,62
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,76
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,36
840801	0,29	8%	0,00	0%	0,00	0%	3,69
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,73
840801	0,59	14%	0,00	0%	0,00	0%	4,10
840801	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	5,07
860724	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,74
870725	0,00	0%	0,42	12%	0,00	0%	3,51
880620	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,31
890823	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,80
910717	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,17
910717	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,52
910717	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	5,27
930507	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,50
930620	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,70
930620	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,05
950702	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	6,50
970808	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,00
990820	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,67
000606	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	4,22
000606	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,14
010608	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,72
010608	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,82
010810	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	3,12

8.5. Auszüge von der Hagelauffreblastberechnung (ZAMG – Daten „Hagellastplattenaufzeichnung“)

Modell 1													
<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	14,08	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3	2,38
820814	9,27	0	0	0	6	1	1	0	0	0	0	8	0,07
840801	9,26	0	0	3	5	1	1	0	0	0	0	10	0,04
840801	26,01	0	0	0	4	6	2	1	0	0	0	13	0,36
840801	10,05	0	0	10	4	1	1	0	0	0	0	16	0,09
840801	14,56	0	0	1	6	4	1	0	0	0	0	12	0,06
840801	20,85	0	0	0	0	3	3	1	0	0	0	7	1,19
840801	15,34	0	0	0	3	4	2	0	0	0	0	9	0,48
840801	16,84	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	5	0,01
840801	14,26	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0,30
840801	9,94	0	3	26	6	0	0	0	0	0	0	35	0,02
840801	14,14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0,42
840801	12,14	0	50	30	5	0	0	0	0	0	0	85	0,03
860724	9,30	0	30	24	4	0	0	0	0	0	0	58	0,01
860724	8,55	0	0	10	7	1	0	0	0	0	0	18	0,17
860818	9,23	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	4	0,15
860818	8,50	0	0	6	3	1	1	0	0	0	0	11	0,07
870725	13,82	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3,89
910717	8,95	0	2	14	6	1	0	0	0	0	0	23	0,03
910717	13,18	0	11	27	5	2	0	0	0	0	0	45	0,03
910717	16,20	0	0	17	11	3	0	0	0	0	0	31	0,18
930507	10,80	0	0	6	4	2	1	0	0	0	0	13	0,16
930620	12,12	0	0	9	5	2	1	0	0	0	0	17	0,17
930620	8,52	0	0	3	4	1	1	0	0	0	0	9	0,09
940823	10,77	0	0	1	3	1	2	0	0	0	0	7	0,21
950702	20,86	0	0	8	13	4	1	0	0	0	0	26	0,12
000606	9,80	0	60	14	6	0	0	0	0	0	0	80	0,01
000606	9,74	0	11	8	6	2	0	0	0	0	0	27	0,01
010608	8,19	0	42	23	2	0	0	0	0	0	0	67	0,03
010608	8,07	69	51	26	0	0	0	0	0	0	0	146	0,00

Tabelle 34 Modell 2 Berechnung der ZAMG - Daten

Modell 2

<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	8,24	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1,74
820814	5,42	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,46
840801	5,42	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,46
840801	15,22	0	0	0	1	3	1	1	0	0	0	6	0,52
840801	5,88	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,00
840801	8,51	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	6	0,43
840801	12,20	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3	1,28
840801	8,97	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	5	0,28
840801	9,85	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0,13
840801	8,34	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2,72
840801	5,82	0	0	14	4	0	0	0	0	0	0	18	0,01
840801	8,27	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2,79
840801	7,10	0	26	18	3	0	0	0	0	0	0	47	0,03
860724	5,44	0	3	15	3	0	0	0	0	0	0	21	0,04
860724	5,00	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	8	0,11
860818	5,40	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,48
860818	4,97	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,21
870725	8,09	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9,63
910717	5,24	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	9	0,09
910717	7,71	0	0	11	3	2	0	0	0	0	0	16	0,15
910717	9,48	0	0	9	6	2	0	0	0	0	0	17	0,01
930507	6,31	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	4	0,25
930620	7,09	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	5	0,17
930620	4,98	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,20
940823	6,30	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,70
950702	12,20	0	0	0	6	3	1	0	0	0	0	10	0,50
000606	5,73	0	29	8	4	0	0	0	0	0	0	41	0,04
000606	5,70	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	6	0,44
010608	4,79	0	25	14	1	0	0	0	0	0	0	40	0,04
010608	4,72	0	29	16	0	0	0	0	0	0	0	45	0,03

Modell 3

<i>Datum</i>	<i>PL</i>	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	6,96	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	3,02
820814	4,58	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,60
840801	4,58	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,61
840801	12,86	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	4	0,49
840801	4,97	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,22
840801	7,20	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	0,37
840801	10,31	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3	3,17
840801	7,59	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	5	0,67
840801	8,33	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1,65
840801	7,05	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,01
840801	4,92	0	1	13	3	0	0	0	0	0	0	17	0,04
840801	6,99	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,07
840801	6,01	0	16	15	3	0	0	0	0	0	0	34	0,04
860724	4,60	0	14	12	2	0	0	0	0	0	0	28	0,01
860724	4,23	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	5	0,23
860818	4,56	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,62
860818	4,20	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,98
870725	6,84	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	10,88
910717	4,43	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	8	0,21
910717	6,52	0	0	13	3	1	0	0	0	0	0	17	0,09
910717	8,01	0	0	3	6	2	0	0	0	0	0	11	0,16
930507	5,34	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,54
930620	6,00	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	4	0,57
930620	4,21	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,97
940823	5,33	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,55
950702	10,32	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	8	0,01
000606	4,84	0	29	7	3	0	0	0	0	0	0	39	0,01
000606	4,82	0	5	4	3	1	0	0	0	0	0	13	0,04
010608	4,05	0	18	12	1	0	0	0	0	0	0	31	0,04
010608	3,99	26	25	13	0	0	0	0	0	0	0	64	0,00

Modell 4

<i>Datum</i>	<i>PL</i>	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	6,70	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	3,28
820814	4,41	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,78
840801	4,40	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,78
840801	12,37	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	4	0,98
840801	4,78	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,41
840801	6,92	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	0,64
840801	9,92	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0,06
840801	7,30	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	0,27
840801	8,01	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1,97
840801	6,78	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,28
840801	4,73	0	0	13	3	0	0	0	0	0	0	16	0,19
840801	6,72	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,34
840801	5,78	0	15	14	3	0	0	0	0	0	0	32	0,01
860724	4,42	0	10	12	2	0	0	0	0	0	0	24	0,01
860724	4,06	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	6	0,13
860818	4,39	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,80
860818	4,04	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,14
870725	6,57	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	11,14
910717	4,26	0	0	3	3	1	0	0	0	0	0	7	0,16
910717	6,27	0	0	12	3	1	0	0	0	0	0	16	0,12
910717	7,71	0	0	5	5	2	0	0	0	0	0	12	0,22
930507	5,13	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,05
930620	5,77	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,11
930620	4,05	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,13
940823	5,12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,06
950702	9,92	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	8	0,41
000606	4,66	0	25	7	3	0	0	0	0	0	0	35	0,03
000606	4,63	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	8	0,00
010608	3,90	0	19	11	1	0	0	0	0	0	0	31	0,02
010608	3,84	0	24	13	0	0	0	0	0	0	0	37	0,04

Modell 5

<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	8,45	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	1,53
820814	5,56	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,32
840801	5,56	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,32
840801	15,61	0	0	0	0	4	1	1	0	0	0	6	1,12
840801	6,03	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	4	0,54
840801	8,73	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	6	0,21
840801	12,51	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3	0,97
840801	9,20	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	5	0,05
840801	10,11	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3	1,56
840801	8,56	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2,50
840801	5,97	0	0	15	4	0	0	0	0	0	0	19	0,08
840801	8,48	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2,58
840801	7,29	0	30	18	3	0	0	0	0	0	0	51	0,02
860724	5,58	0	6	15	3	0	0	0	0	0	0	24	0,03
860724	5,13	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	9	0,20
860818	5,54	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3	0,34
860818	5,10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,09
870725	8,29	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9,42
910717	5,37	0	0	5	4	1	0	0	0	0	0	10	0,17
910717	7,91	0	0	12	3	2	0	0	0	0	0	17	0,17
910717	9,72	0	0	7	7	2	0	0	0	0	0	16	0,02
930507	6,48	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	4	0,09
930620	7,27	0	0	1	3	1	1	0	0	0	0	6	0,20
930620	5,11	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,07
940823	6,46	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,54
950702	12,52	0	0	0	6	3	1	0	0	0	0	10	0,19
000606	5,88	0	27	9	4	0	0	0	0	0	0	40	0,02
000606	5,84	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	6	0,30
010608	4,92	0	27	14	1	0	0	0	0	0	0	42	0,00
010608	4,84	3	31	16	0	0	0	0	0	0	0	50	0,00

Modell 6

<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	4,94	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1,54
820814	3,25	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,25
840801	3,25	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,25
840801	9,13	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0,85
840801	3,53	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,66
840801	5,11	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,08
840801	7,32	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2,66
840801	5,38	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	1,49
840801	5,91	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,57
840801	5,00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6,05
840801	3,49	0	0	10	2	0	0	0	0	0	0	12	0,08
840801	4,96	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6,10
840801	4,26	0	11	11	2	0	0	0	0	0	0	24	0,00
860724	3,27	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0	11	0,09
860724	3,00	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,07
860818	3,24	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,26
860818	2,98	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,52
870725	4,85	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	12,86
910717	3,14	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4	0,62
910717	4,63	0	0	8	2	1	0	0	0	0	0	11	0,19
910717	5,69	0	0	6	4	1	0	0	0	0	0	11	0,08
930507	3,79	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,40
930620	4,26	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,93
930620	2,99	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,51
940823	3,78	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,41
950702	7,32	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	4	0,24
000606	3,44	0	7	5	3	0	0	0	0	0	0	15	0,03
000606	3,42	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	4	0,34
010608	2,88	0	11	8	1	0	0	0	0	0	0	20	0,04
010608	2,83	0	15	10	0	0	0	0	0	0	0	25	0,00

Modell 7

<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	4,18	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2,30
820814	2,75	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,75
840801	2,75	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,75
840801	7,72	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2,26
840801	2,98	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,52
840801	4,32	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,87
840801	6,19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,29
840801	4,55	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,63
840801	5,00	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1,48
840801	4,23	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6,83
840801	2,95	0	0	8	2	0	0	0	0	0	0	10	0,18
840801	4,19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6,86
840801	3,60	0	6	9	2	0	0	0	0	0	0	17	0,01
860724	2,76	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	9	0,15
860724	2,54	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,53
860818	2,74	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,76
860818	2,52	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,98
870725	4,10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	13,61
910717	2,66	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,41
910717	3,91	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	7	0,03
910717	4,81	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0	7	0,08
930507	3,20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,30
930620	3,60	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,59
930620	2,53	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,97
940823	3,20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,30
950702	6,19	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0,68
000606	2,91	0	10	5	2	0	0	0	0	0	0	17	0,00
000606	2,89	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,18
010608	2,43	0	5	7	1	0	0	0	0	0	0	13	0,01
010608	2,40	0	15	8	0	0	0	0	0	0	0	23	0,00

Modell 8

<i>Datum</i>	PL	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	Summe	diff.
820814	4,02	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2,46
820814	2,64	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,85
840801	2,64	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,86
840801	7,42	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	2,56
840801	2,87	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,63
840801	4,15	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1,03
840801	5,95	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,53
840801	4,38	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0,81
840801	4,81	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1,68
840801	4,07	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6,99
840801	2,84	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	9	0,08
840801	4,03	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	7,02
840801	3,47	0	3	9	2	0	0	0	0	0	0	14	0,01
860724	2,65	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	8	0,04
860724	2,44	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,63
860818	2,63	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,87
860818	2,43	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1,07
870725	3,94	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	13,77
910717	2,56	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,51
910717	3,76	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	7	0,18
910717	4,62	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	8	0,01
930507	3,08	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,42
930620	3,46	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,04
930620	2,43	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1,07
940823	3,07	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,43
950702	5,95	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0,92
000606	2,80	0	13	4	2	0	0	0	0	0	0	19	0,02
000606	2,78	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,29
010608	2,34	0	3	7	1	0	0	0	0	0	0	11	0,01
010608	2,30	0	13	8	0	0	0	0	0	0	0	21	0,01

8.6. Datenauswertung aus dem Versuchen

Index	
AL	Auflagerlänge
AP	Auftreffpunkt
BM	Beschussmaterial
BR	Beschussreihe
BW	Beschusswinkel
D	Durchmesser
E	Eis
EAE	Einzelaufprallenergie
EE	Einzelenergie
EG	Einscheibenverglasung
ESG	Einscheibensicherheitsglas
F	Float
GA	Glasart
GAE	Gesamtaufprallenergie
GAF	Glasaufbau
GE	Gesamtenergie
GG	Geschossgeschwindigkeit
IG	Isolierverglasung
K	Kunststoff
S	Sonstiges
St	Stahl
SW	Spannweite
SZR	Scheibenzwischenraum
TVG	Teilvorgespantesglas
V	Versuch
VG	Verbundglas
VSG	Verbundsicherheitsglas
ZE	Zerstörungsenergie

Wichten	
Wichte von Glas	
2500	kg/m ³
Wichte Folie	
1070	kg/m ³
Wichte Stahl	
7850	kg/m ³
Wichte Eis	
870	kg/m ³
Wichte Kunststoff	
900	kg/m ³

Beschussdaten											
Personen		Wascher: Pranjikovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	28.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
1	1	K	50	22,40	63	90	4	15,81	1	15,81	
2	1	ST	50	6,93	513	90	4	12,32	1	12,32	
3	1	ST	50	6,69	513	90	4	11,48	1		
	2	K	50	21,63	63	90	4	14,74	1		
	3	ST	50	6,73	513	90	4	11,62	1	37,84	
4	1	ST	50	6,87	513	90	4	12,11	1	12,11	
5	1	K	50	22,90	63	90	4	16,52	1	16,52	
6	1	K	50	21,93	63	90	4	15,15	1	15,15	
7	1	E	50	3,45	52,5	90	4	0,31	1		
	2	E	50	1,25	52,5	90	4	0,04	1		
	3	E	50	3,37	52,5	90	4	0,30	1		
	4	E	50	3,37	52,5	90	4	0,30	1	0,95	Abbruch
8	1	ST	50	3,48	513	90	2,5	3,11	1		
	2	ST	50	3,47	513	90	2,5	3,09	1		
	3	K	50	9,30	63	90	2,5	2,72	1		
	4	K	50	13,27	63	90	2,5	5,55	1		
	5	ST	50	5,36	513	90	3	7,37	1		
	6	K	50	16,84	63	90	3	8,93	1		
	7	K	50	16,67	63	90	3	8,75	1		
	8	ST	50	3,49	513	90	3	3,12	1	42,65	
9	1	K	50	17,55	63	90	3	9,70	1	9,70	
10	1	ST	50	5,44	513	90	3	7,59	1		
	2	ST	50	5,54	513	90	3	7,87	1		
	3	ST	50	5,65	513	90	3	8,19	1		
	4	K	50	18,36	63	90	3	10,62	1		
	5	K	50	17,68	63	90	3	9,85	1	53,82	
11	1	K	50	17,97	63	90	3,3	10,17	1		
	2	K	50	17,44	63	90	3,3	9,58	1		
	3	ST	50	5,43	513	90	3,3	7,56	1		
	4	ST	50	5,63	513	90	3,3	8,13	1		
	5	ST	50	5,59	513	90	3,3	8,02	1		
	6	K	50	17,04	63	90	3,3	9,15	1	52,61	
12	1	ST	50	6,10	513	90	3,5	9,54	1		
	2	K	50	20,59	63	90	3,5	13,35	1		
	3	K	50	20,26	63	90	3,5	12,93	1		
	4	ST	50	6,00	513	90	3,5	9,23	1		
	5	ST	50	6,00	513	90	3,5	9,23	1		
	6	ST	50	6,15	513	90	3,5	9,70	1	64,00	
13	1	K	50	20,72	63	90	3,8	13,52	1	13,52	
14	1	ST	50	6,93	513	90	4	12,32	1		
	2	K	50	22,12	63	90	4	15,41	1		
	3	ST	50	6,79	513	90	4	11,83	1		
	4	ST	50	7,00	513	90	4	12,57	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	28.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	5	ST	50	6,25	513	90	4	10,02	1		
	6	K	50	22,05	63	90	4	15,32	1		
	7	ST	50	6,89	513	90	4	12,18	1		
	8	ST	50	7,00	513	90	4	12,57	1		
	9	ST	50	6,97	513	90	4	12,46	1		
	10	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1	126,91	
15	1	K	50	24,77	63	90	4,5	19,33	1	19,33	
16	1	ST	50	7,08	513	90	4,3	12,86	1	12,86	
17	1	ST	50	7,18	513	90	4,1	13,22	1	13,22	
18	1	ST	50	7,08	513	90	4,1	12,86	1	12,86	
19	1	K	50	22,87	63	90	4,1	16,48	1		
	2	ST	50	7,10	513	90	4,1	12,93	1	29,41	
20	1	ST	50	6,37	513	90	3,8	10,41	1		
	2	K	50	20,60	63	90	3,8	13,37	1		
	3	ST	50	6,43	513	90	3,8	10,60	1		
	4	K	50	20,97	63	90	3,8	13,85	1		
	5	ST	50	6,40	513	90	3,8	10,51	1		
	6	ST	50	6,42	513	90	3,8	10,57	1		
	7	K	50	21,26	63	90	3,8	14,24	1		
	8	ST	50	6,39	513	90	3,8	10,47	1		
	9	ST	50	6,08	513	90	3,8	9,48	1		
	10	K	50	22,50	63	90	4	15,95	1		
	11	K	50	22,96	63	90	4	16,61	1		
	12	ST	50	7,00	513	90	4	12,57	1		
	13	ST	50	7,10	513	90	4	12,93	1		
	14	ST	50	7,02	513	90	4	12,64	1		
	15	ST	50	7,01	513	90	4	12,60	1		
	16	ST	50	7,08	513	90	4	12,86	1		
	17	ST	50	7,92	513	90	4,5	16,09	1		
	18	ST	50	8,15	513	90	4,5	17,04	1		
	19	K	50	26,22	63	90	4,5	21,66	1		
	20	K	50	24,94	63	90	4,5	19,59	1		
	21	ST	50	8,05	513	90	4,5	16,62	1		
	22	ST	50	8,14	513	90	4,5	17,00	1		
	23	ST	50	8,16	513	90	4,5	17,08	1		
	24	K	50	25,47	63	90	4,5	20,43	1		
	25	ST	50	7,91	513	90	4,5	16,05	1		
	26	K	50	27,57	63	90	5	23,94	1		
	27	ST	50	9,10	513	90	5	21,24	1		
	28	ST	50	9,12	513	90	5	21,33	1		
	29	ST	50	9,06	513	90	5	21,05	1		
	30	ST	50	9,15	513	90	5	21,47	1		
	31	ST	50	9,09	513	90	5	21,19	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranikovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	28.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	32	K	50	28,31	63	90	5	25,25	1		
	33	K	50	28,04	63	90	5	24,77	1		
	34	ST	50	10,86	513	90	6	30,25	1		
	35	K	50	31,76	63	90	6	31,77	1	603,49	
21	1	K	50	31,59	63	90	6	31,43	1		
	2	ST	50	10,73	513	90	6	29,53	1		
	3	ST	50	10,69	513	90	6	29,31	1		
	4	ST	50	10,58	513	90	6	28,71	1	118,99	
22	1	ST	50	12,10	513	90	7	37,55	1		
	2	ST	50	12,24	513	90	7	38,43	1		
	3	ST	50	11,70	513	90	7	35,11	1		
	4	ST	50	11,74	513	90	7	35,35	1		
	5	ST	50	12,03	513	90	7	37,12	1		
	6	ST	50	12,18	513	90	7	38,05	1		
	7	K	50	35,95	63	90	7	40,71	1		
	8	ST	50	12,27	513	90	7	38,62	1		
	9	K	50	36,63	63	90	7	42,27	1		
	10	K	50	36,98	63	90	7	43,08	1		
	11	ST	50	12,24	513	90	7	38,43	1		
	12	ST	50	12,49	513	90	7	40,01	1		
	13	K	50	35,70	63	90	7	40,15	1	504,88	kein Bruch
23	1	ST	50	5,16	513	90	3	6,83	1	6,83	
24	1	ST	50	4,89	513	90	2,5	6,13	1	6,13	
25	1	ST	50	4,45	513	90	2,5	5,08	1		
	2	ST	50	4,63	513	90	2,5	5,50	1		
	3	ST	50	4,68	513	90	2,5	5,62	1		
	4	ST	50	4,16	513	90	2,5	4,44	1		
	5	K	50	14,68	63	90	2,8	6,79	1		
	6	K	50	13,74	63	90	2,8	5,95	1		
	7	ST	50	4,82	513	90	2,8	5,96	1		
	8	ST	50	4,80	513	90	2,8	5,91	1		
	9	K	50	19,27	63	90	3,5	11,70	1		
	10	K	50	19,09	63	90	3,5	11,48	1		
	11	ST	50	6,31	513	90	3,5	10,21	1		
	12	ST	50	6,01	513	90	3,5	9,26	1		
	13	ST	50	6,11	513	90	3,5	9,58	1		
	14	ST	50	6,06	513	90	3,5	9,42	1		
	15	ST	50	6,26	513	90	3,5	10,05	1		
	16	K	50	19,78	63	90	3,5	12,32	1		
	17	ST	50	6,12	513	90	3,5	9,61	1		
	18	K	50	22,83	63	90	4	16,42	1		
	19	K	50	22,79	63	90	4	16,36	1		
	20	ST	50	7,14	513	90	4	13,08	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	28.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	21	K	50	22,70	63	90	4	16,23	1		
	22	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1		
	23	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1		
	24	ST	50	7,17	513	90	4	13,19	1		
	25	ST	50	6,81	513	90	4	11,90	1		
	26	ST	50	7,05	513	90	4	12,75	1		
	27	ST	50	8,83	513	90	5	20,00	1		
	28	K	50	27,24	63	90	5	23,37	1		
	29	ST	50	9,16	513	90	5	21,52	1		
	30	ST	50	9,05	513	90	5	21,01	1		
	31	ST	50	8,92	513	90	5	20,41	1		
	32	ST	50	9,01	513	90	5	20,82	1		
	33	K	50	27,38	63	90	5	23,61	1		
	34	ST	50	13,07	513	90	7	43,82	1		
	35	ST	50	12,76	513	90	7	41,76	1		
	36	ST	50	12,66	513	90	7	41,11	1		
	37	ST	50	12,83	513	90	7	42,22	1		
	38	ST	50	13,08	513	90	7	43,88	1		
	39	ST	50	13,05	513	90	7	43,68	1		
	40	K	50	36,64	63	90	7	42,29	1		Wenden
	41	K	50	36,65	63	90	7	42,31	1	755,11	kein Bruch
26	1	ST	50	12,17	513	90	7	37,99	1		
	2	K	50	35,85	63	90	7	40,48	1		
	3	ST	50	12,36	513	90	7	39,19	1		
	4	ST	50	12,33	513	90	7	39,00	1		
	5	ST	50	12,20	513	90	7	38,18	1	194,83	Messfehler
27	1	ST	50	13,16	513	90	7	44,42	1	44,42	
28	1	ST	50	12,59	513	90	7	40,66	1	40,66	
29	1	ST	50	10,41	513	90	6	27,80	1		
	2	ST	50	10,45	513	90	6	28,01	1	55,81	
30	1	ST	50	8,76	513	90	5	19,68	1		
	2	ST	50	8,74	513	90	5	19,59	1		
	3	K	50	27,34	63	90	5	23,55	1		
	4	ST	50	9,02	513	90	5	20,87	1		
	5	K	50	31,87	63	90	6	31,99	1		
	6	ST	50	10,50	513	90	6	28,28	1		
	7	K	50	31,51	63	90	6	31,28	1		
	8	K	50	37,22	63	90	7	43,64	1	218,88	

Testobjekt								
Personen	Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang; Jajalo						Datum	28.09.2010
V	GAF	GA [oben nach unten]	Stärke	AL	SW	Fläche	Gewicht	Bemerkung
[###]	E, VG, IG, S	F, TVG, ESG, VSG, S	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kg]	
1	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
2	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
3	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
4	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
5	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
6	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
7	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
8	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
9	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
10	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
11	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
12	IG	F	8	229	1867	0,43		
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
13	IG	F	8	229	1867	0,43		

Testobjekt								
Personen	Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang; Jajalo						Datum	28.09.2010
V	GAF	GA [oben nach unten]	Stärke	AL	SW	Fläche	Gewicht	Bemerkung
[###]	E, VG, IG, S	F, TVG, ESG, VSG, S	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kg]	
		SZR	16					
		ESG	6					
			30	229	1867	0,43	14,964	
14	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
15	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
16	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
17	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
18	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
19	IG	VSG F/F	10					
		SZR	17					
		ESG	6					
			33	229	1867	0,43	17,102	
20	IG	ESG	6					
		SZR	17					
		VSG F/F	10					
			33	348	1836	0,64	25,557	
21	IG	ESG	6					
		SZR	17					
		VSG F/F	10					
			33	348	1836	0,64	25,557	
22	IG	ESG	6					
		SZR	17					
		VSG F/F	10					
			33	348	1836	0,64	25,557	
23	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1561	676	1,06	21,100	
24	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1524	676	1,03	20,600	
25	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1450	676	0,98	19,600	Emaiseite
26	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1358	676	0,92	18,360	Emaiseite
27	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1485	676	1,00	20,080	Emaiseite
28	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1546	681	1,05	21,060	Emaiseite
29	E	schwarz ESG (emeliert)	8	1324	676	0,90	17,900	Emaiseite
30	E	schwarz ESG (gefärbt)	8	1324	675	0,89	17,880	Emaiseite

Beschussdaten											
Personen										Datum	
Wascher; PranjkoVIC; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;										29.09.2010	
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E,ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
1	1	ST	50	5,23	513	90	3	7,02	1		
	2	ST	50	5,22	513	90	3	6,99	1		
	3	ST	50	4,90	513	90	3	6,16	1		
	4	ST	50	5,13	513	90	3	6,75	1		
	5	ST	50	5,16	513	90	3	6,83	1		
	6	ST	50	5,26	513	90	3	7,10	1		
	7	ST	50	6,88	513	90	4	12,14	1		
	8	ST	50	6,90	513	90	4	12,21	1	65,19	
2	1	ST	50	7,10	513	90	4	12,93	1		
	2	ST	50	7,00	513	90	4	12,57	1		
	3	ST	50	6,74	513	90	4	11,65	1		
	4	ST	50	6,56	513	90	4	11,04	1		
	5	ST	50	6,62	513	90	4	11,24	1		
	6	ST	50	6,96	513	90	4	12,43	1		
	7	ST	50	6,97	513	90	4	12,46	1		
	8	ST	50	6,89	513	90	4	12,18	1		
	9	ST	50	6,92	513	90	4	12,28	1		
	10	ST	50	6,81	513	90	4	11,90	1		
	11	ST	50	8,90	513	90	5	20,32	1		
	12	ST	50	8,59	513	90	5	18,93	1		
	13	ST	50	8,08	513	90	5	16,75	1		
	14	ST	50	8,91	513	90	5	20,36	1		
	15	ST	50	8,48	513	90	5	18,45	1		
	16	ST	50	8,90	513	90	5	20,32	1	235,79	
3	1	ST	50	8,93	513	90	5	20,45	1		
	2	ST	50	8,86	513	90	5	20,14	1		
	3	ST	50	8,99	513	90	5	20,73	1		
	4	ST	50	8,89	513	90	5	20,27	1		
	5	ST	50	8,89	513	90	5	20,27	1		
	6	ST	50	8,68	513	90	5	19,33	1		
	7	ST	50	8,61	513	90	5	19,01	1		
	8	ST	50	8,95	513	90	5	20,55	1		
	9	ST	50	8,76	513	90	5	19,68	1	180,43	
4	1	ST	50	10,43	513	90	6	27,90	1		
	2	ST	50	10,43	513	90	6	27,90	1	55,81	
5	1	ST	50	4,52	513	90	3	5,24	1	5,24	
6	1	ST	50	4,52	513	90	3	5,24	1		
	2	ST	50	4,01	513	90	3	4,12	1		
	4	ST	50	4,33	513	90	3	4,81	1		
	5	ST	50	4,33	513	90	3	4,81	1		
	6	ST	50	6,58	513	90	4	11,11	1	30,09	
7	1	ST	50	5,35	513	90	3	7,34	1	7,34	
8	1	ST	50	5,13	513	90	3	6,75	1		

Beschussdaten											Datum	29.09.2010
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;										
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung	
[###]	[###]	[K, E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]		
	2	ST	50	5,04	513	90	3	6,52	1	13,27		
9	1	ST	50	4,83	513	90	3	5,98	1	5,98		
10	1	ST	50	5,18	513	90	3	6,88	1	6,88		
	2	ST	50	5,30	513	90	3	7,21	1			
	3	ST	50	5,08	513	90	3	6,62	1			
	4	ST	50	4,97	513	90	3	6,34	1			
	5	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1			
	6	ST	50	6,97	513	90	4	12,46	1			
	7	ST	50	7,08	513	90	4	12,86	1			
	8	ST	50	6,78	513	90	4	11,79	1			
	9	ST	50	6,64	513	90	4	11,31	1			
	10	ST	50	6,80	513	90	4	11,86	1			
	11	ST	50	8,78	513	90	5	19,77	1			
	12	ST	50	8,54	513	90	5	18,71	1			
	13	ST	50	8,65	513	90	5	19,19	1			
	14	ST	50	8,97	513	90	5	20,64	1			
	15	ST	50	8,88	513	90	5	20,23	1			
	16	ST	50	9,01	513	90	5	20,82	1			
	17	ST	50	10,46	513	90	6	28,06	1			
	18	ST	50	10,59	513	90	6	28,77	1	275,76		
11	1	ST	50	10,39	513	90	6	27,69	1			
	2	ST	50	10,29	513	90	6	27,16	1			
	3	ST	50	10,65	513	90	6	29,09	1	83,94		

Testobjekt								Datum	29.09.2010
Personen	Wascher; Pranjakovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang; Jajalo						Datum	29.09.2010	
V	GAF	GA [oben nach unten]	Stärke	AL	SW	Fläche	Gewicht	Bemerkung	
[###]	E, VG, IG, S	F, TVG, ESG, VSG, S	[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kg]		
1	IG	F	6				12,007		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				20,012		
			32	432	1853	0,8005	32,020		
2	IG	F	6				12,007		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				20,012		
			32	432	1853	0,8005	32,020		
3	IG	F	6				12,007		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				20,012		
			32	432	1853	0,8005	32,020		
4	IG	F	6				12,007		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				20,012		
			32	432	1853	0,8005	32,020		
5	E	ESG Emailiert	8	1588	1858	2,9505	59,010		
6	E	ESG Emailiert	8	1588	1858	2,9505	59,010	Emailseite	
7	E	ESG Emailiert	8	1588	1858	2,9505	59,010		
8	IG	VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				32,745		
		SZR	16						
		F	6				19,647		
			32	1136	1153	1,3098	52,392		
9	IG	VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				32,745		
		SZR	16						
		F	6				19,647		
			32	1136	1153	1,3098	52,392		
10	IG	F	6				19,647		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				32,745		
			32	1136	1153	1,3098	52,392		
11	IG	F	6				19,647		
		SZR	16						
		VSG 4mm F/0,76/6mm F	10				32,745		
			32	1136	1153	1,3098	52,392		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	30.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
1	1	ST	50	5,07	513	90	3	6,59	1		
	2	ST	50	5,20	513	90	3	6,94	1		
	3	ST	50	4,95	513	90	3	6,28	1		
	4	ST	50	5,22	513	90	3	6,99	1		
	5	ST	50	5,03	513	90	3	6,49	1		
	6	ST	50	5,07	513	90	3	6,59	1	39,89	
2	1	ST	50	5,02	513	90	3	6,46	1		
	2	ST	50	5,20	513	90	3	6,94	1		
	3	ST	50	4,88	513	90	3	6,11	1		
	4	ST	50	5,26	513	90	3	7,10	1		
	5	ST	50	5,25	513	90	3	7,07	1		
	6	ST	50	4,84	513	90	3	6,01	1		
	7	ST	50	5,18	513	90	3	6,88	1		
	8	ST	50	5,04	513	90	3	6,52	1		
	9	ST	50	5,03	513	90	3	6,49	1		
	10	ST	50	5,10	513	90	3	6,67	1		
	11	ST	50	5,20	513	90	3	6,94	1		
	12	ST	50	4,83	513	90	3	5,98	1		
	13	ST	50	5,24	513	90	3	7,04	1		
	14	ST	50	5,33	513	90	3	7,29	1		
	15	ST	50	5,04	513	90	3	6,52	1		
	16	ST	50	5,25	513	90	3	7,07	1		
	17	ST	50	5,08	513	90	3	6,62	1		
	18	ST	50	5,14	513	90	3	6,78	1		
	19	ST	50	4,78	513	90	3	5,86	1		
	20	ST	50	5,20	513	90	3	6,94	1		
	21	ST	50	5,27	513	90	3	7,12	1		
	22	ST	50	5,26	513	90	3	7,10	1		
	23	ST	50	5,83	513	90	3	8,72	1		
	24	ST	50	5,15	513	90	3	6,80	1		
	25	ST	50	6,14	513	90	3,5	9,67	1		
	26	ST	50	6,10	513	90	3,5	9,54	1		
	27	ST	50	5,98	513	90	3,5	9,17	1		
	28	ST	50	5,91	513	90	3,5	8,96	1		
	29	ST	50	6,88	513	90	3,5	12,14	1		
	30	ST	50	6,72	513	90	4	11,58	1		
	31	ST	50	7,02	513	90	4	12,64	1		
	32	ST	50	6,94	513	90	4	12,35	1		
	33	ST	50	6,73	513	90	4	11,62	1		
	34	ST	50	6,76	513	90	4	11,72	1		
	35	ST	50	6,79	513	90	4	11,83	1		
	36	ST	50	6,77	513	90	4	11,76	1		
	37	ST	50	6,77	513	90	4	11,76	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjikovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	30.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	38	ST	50	6,68	513	90	4	11,45	1		
	39	ST	50	6,69	513	90	4	11,48	1		
	40	ST	50	6,69	513	90	4	11,48	1		
	41	ST	50	7,01	513	90	4	12,60	1		
	42	ST	50	6,88	513	90	4	12,14	1		
	43	ST	50	7,89	513	90	4,5	15,97	1		
	44	ST	50	7,79	513	90	4,5	15,57	1		
	45	ST	50	7,43	513	90	4,5	14,16	1		
	46	ST	50	7,73	513	90	4,5	15,33	1		
	47	ST	50	7,81	513	90	4,5	15,65	1		
	48	ST	50	7,77	513	90	4,5	15,49	1		
	49	ST	50	9,02	513	90	5	20,87	1		
	50	ST	50	8,88	513	90	5	20,23	1		
	51	ST	50	9,23	513	90	5	21,85	1		
	52	ST	50	9,10	513	90	5	21,24	1		
	53	ST	50	8,85	513	90	5	20,09	1		
	54	ST	50	8,90	513	90	5	20,32	1		
	55	ST	50	8,99	513	90	5	20,73	1		
	56	ST	50	9,00	513	90	5	20,78	1		
	57	ST	50	8,66	513	90	5	19,24	1		
	58	ST	50	8,72	513	90	5	19,50	1		
	59	ST	50	8,91	513	90	5	20,36	1		
	60	ST	50	8,78	513	90	5	19,77	1		
	61	ST	50	9,81	513	90	5,5	24,68	1		
	62	ST	50	9,81	513	90	5,5	24,68	1		
	63	ST	50	9,99	513	90	5,5	25,60	1		
	64	ST	50	9,90	513	90	5,5	25,14	1		
	65	ST	50	9,44	513	90	5,5	22,86	1		
	66	ST	50	9,67	513	90	5,5	23,99	1		
	67	ST	50	10,45	513	90	6	28,01	1		
	68	ST	50	10,54	513	90	6	28,49	1		
	69	ST	50	10,65	513	90	6	29,09	1		
	70	ST	50	10,86	513	90	6	30,25	1	966,83	
3	1	ST	50	10,75	513	90	6	29,64	1	29,64	
4	1	ST	50	9,27	513	90	5,5	22,04	1	22,04	
5	1	ST	50	8,89	513	90	5	20,27	1	20,27	
6	1	ST	50	7,17	513	90	4,5	13,19	1		
	2	ST	50	6,90	513	90	4,5	12,21	1		
	3	ST	50	7,41	513	90	4,5	14,08	1	39,48	
7	1	ST	50	6,99	513	90	4	12,53	1		
	2	ST	50	7,16	513	90	4	13,15	1		
	3	ST	50	7,05	513	90	4	12,75	1		
	4	ST	50	7,13	513	90	4	13,04	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjakovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	30.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	5	ST	50	7,07	513	90	4	12,82	1		
	6	ST	50	7,17	513	90	4	13,19	1		
	7	ST	50	7,00	513	90	4	12,57	1		
	8	ST	50	7,14	513	90	4	13,08	1		
	9	ST	50	7,21	513	90	4	13,33	1		
	10	ST	50	7,27	513	90	4	13,56	1		
	11	ST	50	7,09	513	90	4	12,89	1		
	12	ST	50	8,02	513	90	4,5	16,50	1		
	13	ST	50	8,02	513	90	4,5	16,50	1		
	14	ST	50	7,89	513	90	4,5	15,97	1		
	15	ST	50	7,79	513	90	4,5	15,57	1		
	16	ST	50	7,80	513	90	4,5	15,61	1		
	17	ST	50	7,98	513	90	4,5	16,33	1		
	18	ST	50	8,85	513	90	5	20,09	1		
	19	ST	50	9,06	513	90	5	21,05	1		
	20	ST	50	9,07	513	90	5	21,10	1		
	21	ST	50	9,24	513	90	5	21,90	1		
	22	ST	50	9,22	513	90	5	21,80	1		
	23	ST	50	8,86	513	90	5	20,14	1		
	24	ST	50	9,07	513	90	5	21,10	1		
	25	ST	50	8,92	513	90	5	20,41	1		
	26	ST	50	9,75	513	90	5,5	24,38	1		
	27	ST	50	9,77	513	90	5,5	24,48	1		
	28	ST	50	9,37	513	90	5,5	22,52	1		
	29	ST	50	9,37	513	90	5,5	22,52	1		
	30	ST	50	10,76	513	90	6	29,70	1		
	31	ST	50	10,45	513	90	6	28,01	1		
	32	ST	50	10,36	513	90	6	27,53	1		
	33	ST	50	10,78	513	90	6	29,81	1		
	34	ST	50	10,75	513	90	6	29,64	1		
	35	ST	50	10,41	513	90	6	27,80	1		
	36	ST	50	10,54	513	90	6,5	28,49	1		
	37	ST	50	10,64	513	90	6,5	29,04	1		
	38	ST	50	11,49	513	90	6,5	33,86	1		
	39	ST	50	11,11	513	90	6,5	31,66	1		
	40	ST	50	11,12	513	90	6,5	31,72	1		
	41	ST	50	11,42	513	90	7	33,45	1		
	42	ST	50	12,02	513	90	7	37,06	1		
	43	ST	50	12,21	513	90	7	38,24	1		
	44	ST	50	12,54	513	90	7	40,34	1		
	45	ST	50	12,39	513	90	7	39,38	1	1016,60	Glas umgedreht
8	1	ST	50	12,43	513	90	7	39,63	1	39,63	
9	1	ST	50	10,08	513	90	6,5	26,06	1	26,06	

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	30.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
10	1	ST	50	8,63	513	90	6	19,10	1		
	2	ST	50	8,38	513	90	6	18,01	1		
	3	ST	50	8,34	513	90	6	17,84	1	54,96	
11	1	ST	50	6,16	513	90	4	9,73	1		
	2	ST	50	6,18	513	90	4	9,80	1		
	3	ST	50	6,20	513	90	4	9,86	1		
	4	ST	50	6,14	513	90	4	9,67	1		
	5	ST	50	6,01	513	90	4	9,26	1		
	6	ST	50	6,16	513	90	4	9,73	1		
	7	ST	50	6,19	513	90	4	9,83	1	67,89	
12	1	ST	50	6,05	513	90	3,5	9,39	1		
	2	ST	50	6,21	513	90	3,5	9,89	1		
	3	ST	50	6,05	513	90	3,5	9,39	1		
	4	ST	50	6,23	513	90	3,5	9,96	1		
	5	ST	50	6,89	513	90	4	12,18	1		
	6	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1		
	7	ST	50	7,13	513	90	4	13,04	1		
	8	ST	50	6,99	513	90	4	12,53	1		
	9	ST	50	6,81	513	90	4	11,90	1		
	10	ST	50	7,18	513	90	4	13,22	1		
	11	ST	50	6,85	513	90	4	12,04	1		
	12	ST	50	7,12	513	90	4	13,00	1		
	13	ST	50	7,12	513	90	4	13,00	1		
	14	ST	50	6,98	513	90	4	12,50	1		
	15	ST	50	6,91	513	90	4	12,25	1		
	16	ST	50	6,92	513	90	4	12,28	1		
	17	ST	50	7,17	513	90	4	13,19	1		
	18	ST	50	7,32	513	90	4	13,74	1		
	19	ST	50	7,07	513	90	4	12,82	1		
	20	ST	50	8,12	513	90	4	16,91	1		
	21	ST	50	7,76	513	90	4,5	15,45	1	260,92	
13	1	ST	50	7,42	513	90	4,5	14,12	1		
	2	ST	50	7,75	513	90	4,5	15,41	1		
	3	ST	50	8,05	513	90	4,5	16,62	1		
	4	ST	50	7,84	513	90	4,5	15,77	1		
	5	ST	50	7,81	513	90	4,5	15,65	1		
	6	ST	50	7,90	513	90	4,5	16,01	1		
	7	ST	50	8,04	513	90	4,5	16,58	1		
	8	ST	50	7,65	513	90	4,5	15,01	1		
	9	ST	50	7,57	513	90	4,5	14,70	1		
	10	ST	50	7,68	513	90	4,5	15,13	1		
	11	ST	50	7,92	513	90	4,5	16,09	1		
	12	ST	50	7,98	513	90	4,5	16,33	1		

Beschussdaten											
Personen		Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang;								Datum	30.09.2010
V	BR	BM	D	GG	Gewicht	BW	LD	EE	GA	GAE	Bemerkung
[###]	[###]	[K,E, ST]	[mm]	[m/s]	[g]	[°]	[bar]	[Joule]	[###]	[Joule]	
	13	ST	50	7,99	513	90	4,5	16,37	1		
	14	ST	50	9,06	513	90	5	21,05	1		
	15	ST	50	8,63	513	90	5	19,10	1		
	16	ST	50	8,84	513	90	5	20,04	1		
	17	ST	50	8,95	513	90	5	20,55	1	263,99	
14	1	ST	50	8,80	513	90	5	19,86	1		
	2	ST	50	8,73	513	90	5	19,55	1		
	3	ST	50	8,72	513	90	5	19,50	1		
	4	ST	50	8,92	513	90	5	20,41	1	79,32	
15	1	ST	50	8,80	513	90	5	19,86	1		
	2	ST	50	8,89	513	90	5	20,27	1		
	3	ST	50	8,63	513	90	5	19,10	1		
	4	ST	50	8,83	513	90	5	20,00	1		
	5	ST	50	8,63	513	90	5	19,10	1		
	6	ST	50	8,75	513	90	5	19,64	1		
	7	ST	50	8,97	513	90	5,5	20,64	1		
	8	ST	50	9,78	513	90	5	24,53	1	163,15	
16	1	ST	50	8,68	513	90	4	19,33	1	19,33	
17	1	ST	50	7,10	513	90	4	12,93	1		
	2	ST	50	7,02	513	90	4	12,64	1	25,57	

Testobjekt								Datum	30.09.2010
Personen	Wascher; Pranjkovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang; Jajalo	GAF		Stärke	AL	SW	Fläche	Gewicht	Bemerkung
V	E, VG, IG, S	GA [oben nach unten]		[mm]	[mm]	[mm]	[m ²]	[kg]	
[###]	F, TVG, ESG, VSG, S								
1	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
2	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
3	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
4	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
5	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
6	VG	TVG		4					
		TVG		4					
				8	2368	370	0,88	17,523	
7	IG	ESG		6					
		SZR		16					
		VSG F/F		10					
				32	2098	444	0,93	37,260	
8	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
		ESG		32	2098	444	0,93	37,260	
9	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
				32	2185	515	1,13	45,011	
9	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
				32	2185	515	1,13	45,011	
10	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
				32	2671	556	1,49	59,403	
11	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
				32	3122	598	1,87	74,678	
12	IG	VSG F/F		10					
		SZR		16					
		ESG		6					
				32	3122	598	1,87	74,678	

Testobjekt								
Personen	Wascher; Pranjakovic; Gröblbauer; Slavec; Sackl; Knabl; Lang; Jajalo						Datum	30.09.2010
V	GAF	GA [oben nach unten]	Stärke	AL	SW	Fläche	Gewicht	Bemerkung
###	E, VG, IG, S	F, TVG, ESG, VSG, S	[mm]	[mm]	[mm]	[m²]	[kg]	
13	IG	VSG F/F	10					
		SZR	16					
		ESG	6					
			32	3122	598	1,87	74,678	
14	IG	VSG F/F	10					
		SZR	16					
		ESG	6					
			32	3122	598	1,87	74,678	

Wetterdaten vom 1. Versuch vom 28-30.9.2010			
Datum [TT.MM.JJJJ hh.mm]	Luftdruck [hPa]	Luftfeuchtigkeit [%]	Temperatur [°C]
28.09.2010 09:00	1.010,72	94,89	10,19
28.09.2010 10:00	1.010,96	92,22	10,98
28.09.2010 11:00	1.011,06	70,69	15,18
28.09.2010 12:00	1.011,24	58,00	16,94
28.09.2010 13:00	1.011,35	56,73	17,58
28.09.2010 14:00	1.011,48	56,01	17,36
28.09.2010 15:00	1.011,34	41,94	18,96
28.09.2010 16:00	1.011,38	44,41	18,24
Mittelwert	1.011,19	64,36	15,68
29.09.2010 09:00	1.015,02	92,13	7,68
29.09.2010 10:00	1.015,19	85,77	10,38
29.09.2010 11:00	1.015,11	60,96	15,66
29.09.2010 12:00	1.015,09	49,69	17,54
29.09.2010 13:00	1.014,81	47,55	17,50
29.09.2010 14:00	1.014,38	41,54	19,25
29.09.2010 15:00	1.014,11	39,80	18,83
29.09.2010 16:00	1.013,88	42,07	18,66
Mittelwert	1.014,70	57,44	15,69
30.09.2010 09:00	1.016,87	93,49	8,80
30.09.2010 10:00	1.016,96	83,52	11,46
30.09.2010 11:00	1.016,88	78,18	12,65
30.09.2010 12:00	1.016,85	78,55	12,44
30.09.2010 13:00	1.016,71	77,05	12,85
30.09.2010 14:00	1.016,40	74,36	13,20
30.09.2010 15:00	1.016,08	68,34	14,41
30.09.2010 16:00	1.015,86	66,56	14,64
Mittelwert	1.016,58	77,51	12,56
Gesamtmittelwert	1.014,16	66,44	14,64

8.7. Prüfungsablauf für die Hagelschauerprüfung an Vorhangfassaden

1. Einsetzen der Vorhangfassade (gereinigt und zum Prüfstand abgedichtet)
2. Öffnen aller offenbaren Elemente (Fenster)
3. Abkleben der offenbaren Fugen mittels Schüco – Klebeband
4. Vollflächige Prüfkörperabdichtung mittels Plastikfolie
5. Aufbringen von Überdruckstößen
6. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit des Prüfstandes Q_c -Wert (+)
7. Aufbringen von Unterdruckstößen
8. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit des Prüfstandes Q_c -Wert (-)
9. Entfernen der Plastikfolie
10. Aufbringen von Überdruckstößen
11. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenbaren Fugen Q_{fc} -Wert (+)
12. Aufbringen von Unterdruckstößen
13. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenbaren Fugen Q_{fc} -Wert (-)
14. Entfernen der Abdichtungsklebebänder von den Fugen
15. Aufbringen von Überdruckstößen
16. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (+)
17. Aufbringen von Unterdruckstößen
18. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (-)
19. Berechnen der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade der fixen Fugen (Q_f) und offenbaren Fugen (Q_j)
20. Öffnen aller offenbaren Elemente (Fenster)
21. Aufbringen von Unterdruckstößen
22. Ermitteln der Schlagregendichtheit
23. Beschuss der Vorhangfassade mittels Einzelhagelkorn im 45° (Punkte laut VKF-Richtlinien)
24. Abkleben der offenbaren Fugen
25. Aufbringen von Überdruckstößen

26. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenen Fugen Q_{fc} -Wert (+)
27. Aufbringen von Unterdruckstößen
28. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenen Fugen Q_{fc} -Wert (-)
29. Entfernen der Abdichtungsklebebänder von den Fugen
30. Aufbringen von Überdruckstößen
31. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (+)
32. Aufbringen von Unterdruckstößen
33. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (-)
34. Berechnen der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade der fixen Fugen (Q_f) und offenen Fugen (Q_j)
35. Berechnung der Differenz zwischen erster Messung und zweiter Messung
36. Öffnen aller offenen Elemente (Fenster)
37. Aufbringen von Unterdruckstößen
38. Ermitteln der Schlagregendichtheit
39. Berechnung der Differenz zwischen erster Messung und zweiter Messung
40. Aufbringen der Hagelschauerlast mittels HSPM und gleichzeitiges Aufbringen des statischen Unterdrucks. Paralleles Abfahren des Prüfobjektes mit Vordefinierter Hagelschauerlast und gleichzeitiger Luftverlustmessung.
41. Abkleben der offenen Fugen
42. Aufbringen von Überdruckstößen
43. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenen Fugen Q_{fc} -Wert (+)
44. Aufbringen von Unterdruckstößen
45. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade mit angeklebten offenen Fugen Q_{fc} -Wert (-)
46. Entfernen der Abdichtungsklebebänder von den Fugen
47. Aufbringen von Überdruckstößen
48. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (+)
49. Aufbringen von Unterdruckstößen
50. Ermitteln der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade Q_{tc} -Wert (-)

51. Berechnen der Luftdurchlässigkeit der Vorhangfassade der fixen Fugen (Q_f) und offenen Fugen (Q_j)
52. Berechnung der Differenz zwischen zweiter Messung und dritter Messung
53. Öffnen aller offenen Elemente (Fenster)
54. Aufbringen von Unterdruckstößen
55. Ermitteln der Schlagregendichtheit
56. Berechnung der Differenz zwischen zweiter Messung und dritter Messung
57. Auswerten des Einflusses der Hagelschauerlast und der Messunterschiede zwischen der VKF - Prüfung und Hagelschauerprüfung

8.8. Inflation und Wechselkurs des Schweizer Frankens

Tabelle 35 Inflation und Wechselkurs des Schweizer Franken²¹³

Schweizer Inflation bzw. Wechselkurs				
Jahr	Landesindex der Konsumenten		Wechselkurs	
	Total, Index, Scheizer Franken		ATS-CHF	CHF-EURO
	2010 M12=100	yoy %	mean	mean
1950	20,81			
1951	21,81	4,8		
1952	22,36	2,5		
1953	22,20	-0,7		
1954	22,36	0,7		
1955	22,57	0,9		
1956	22,91	1,5		
1957	23,36	2,0		
1958	23,79	1,8		
1959	23,64	-0,6		
1960	23,98	1,4	6,010	
1961	24,42	1,8	6,004	
1962	25,47	4,3	5,970	
1963	26,35	3,4	5,976	
1964	27,16	3,1	5,980	
1965	28,09	3,4	5,968	
1966	29,43	4,8	5,973	
1967	30,61	4,0	5,970	
1968	31,34	2,4	5,989	
1969	32,12	2,5	5,997	
1970	33,28	3,6	5,998	
1971	35,47	6,6	6,072	
1972	37,83	6,7	6,055	
1973	41,15	8,8	6,178	
1974	45,16	9,8	6,282	
1975	48,19	6,7	6,745	
1976	49,02	1,7	7,182	
1977	49,65	1,3	6,894	
1978	50,16	1,0	8,155	2,231
1979	51,99	3,6	8,040	2,278
1980	54,08	4,0	7,719	2,328
1981	57,59	6,5	8,118	2,187
1982	60,85	5,7	8,419	1,986
1983	62,64	3,0	8,557	1,868
1984	64,48	2,9	8,522	1,848
1985	66,70	3,4	8,433	1,856
1986	67,20	0,8	8,499	1,761
1987	68,16	1,4	8,484	1,718
1988	69,44	1,9	8,445	1,728
1989	71,63	3,2	8,102	1,800
1990	75,50	5,4	8,196	1,762
1991	79,93	5,9	8,143	1,772
1992	83,15	4,0	7,822	1,818
1993	85,89	3,3	7,874	1,730
1994	86,62	0,9	8,352	1,621
1995	88,18	1,8	8,530	1,546
1996	88,90	0,8	8,568	1,568
1997	89,36	0,5	8,407	1,644
1998	89,38	0,0	8,537	1,622
1999	90,10	0,8		1,600
2000	91,50	1,6		1,558
2001	92,41	1,0		1,511
2002	93,00	0,6		1,467
2003	93,59	0,6		1,521
2004	94,35	0,8		1,544
2005	95,45	1,2		1,548
2006	96,46	1,1		1,573
2007	97,17	0,7		1,643
2008	99,53	2,4		1,587
2009	99,05	-0,5		1,510
2010	99,73	0,7		1,380

²¹³ Daten von ECOWIN; von Herrn Staritzbichler, Firma BAWAG am 17.8.2011 um 11:54 Uhr.