Vorwort des Herausgebers

Die Kantonalen Gebäudeversicherungen gewährleisten von Gesetzes wegen volle Neuwertdeckung für Gebäudeschäden, die sich aus Einwirkungen versicherter Naturgefahren ergeben. Sie haben überdies den gesetzlichen Auftrag, Massnahmen zur Schadenverhütung und Schadenminderung zu fördern. Solche zu ergreifen, liegt in der Eigenverantwortung, und damit verbunden im Eigeninteresse, der Gebäudeeigentümer. Im Fokus beider – des privaten Eigentums und der öffentlich-rechtlichen Versicherung – ist das Gebäude, das Objekt, mithin der Objektschutz.

Jedes Gebäude in der Schweiz ist den meteorologischen Naturgefahren Wind, Hagel, Regen und Schnee ausgesetzt. Aus jeder Gefahr sind alltägliche spezifische Schadenbilder bekannt:

– Stürme verursachen Schäden an Gebäudedächern, Fassadenelementen, Rafflammellen- und Sonnenstoren, eben an sensiblen Teilen der Gebäudehüllen

– Hagel bewirkt Schäden an schlagempfindlichen Materialien wie Foliendächern, Verputzen über Aussendämmungen, Blechen, Rollläden usw.

– Starkregen führt schnell einmal zu unkontrollierten Abflüssen von Oberflächenwasser, das als Überschwemmung wasserempfindliche Boden- und Wandmaterialien in und an Gebäuden beeinträchtigt

– Schneefall, der auf Dächern liegen bleibt, kann durch nachfolgende Wind-, Gefrier- oder Taueinflüsse zu Schneedruckschäden führen.

Gegen all diese Schadeneinwirkungen sind Vorbeuge- und Schutzmassnahmen möglich. Geeignet sind topographisch richtige Gebäudesituierung, adäquat bemessene Tragkonstruktion des Gebäudes, Wahl hagelresistenter Materialien, mechanisch einwandfreie Befestigung von Gebäudeteilen, korrekte Dach-, Balkon- und Platzentwässerung, geeignete Gebäudeabschirmung auf dem Grundstück usw. Die vorliegende Wegleitung zeigt Planern, Architekten und Ingenieuren, Behörden und Bauherrschaften auf, welche Gefährdungsbilder bestehen und welche Massnahmen zum Objektschutz ergriffen werden können. Neueste Erkenntnisse aus der Klimaveränderung der letzen Jahrzehnte sind in den Bemessungswerten berücksichtigt. Aktuelle Erkenntnisse aus den Messstationen von Meteo Schweiz wurden dafür ausgewertet.

Behördliche Verbindlichkeit kann die Wegleitung für sich nicht beanspruchen. Massgabe ist der darin eingebundene aktuelle Stand der Technik gemäss einschlägiger SIA-Vorschriften. Ziel der Wegleitung ist es dementsprechend, Mittel zum Zweck zu sein. Für wirkungsvollen, konkreten Objektschutz!

© 2007 VKF/AEAI

Kantonale Gebäudeversicherungen

AG
Aargauische Gebäudeversicherung
Bleichemattstrasse 12/14
Postfach, 5001 Aarau
Telefon 0848 836 800
Telefax 062 836 36 26
E-Mail info@agv-ag.ch
www.agv-ag.ch

AR
Assekuranz AR, Gebäudeversicherung
Poststrasse 10, 9102 Herisau
Telefon 071 353 00 53
Telefax 071 353 00 59
E-Mail info@assekuranz.ch
www.assekuranz.ch

BE
Gebäudeversicherung Bern
Papiermühlestrasse 130
3063 Ittigen-Bern
Telefon 031 925 11 11
Telefax 031 925 12 22
E-Mail info@gvb.ch, www.gvb.ch

BL
Basellandschaftliche Gebäude-
versicherung, Rheinstrasse 33A
4410 Liestal
Telefon 061 927 11 11
Telefax 061 927 12 12
E-Mail bgv@bgv.bl.ch, www.bgv.bl.ch

BS
Gebäudeversicherung des Kantons
Basel-Stadt, Aeschenvorstadt 55
4051 Basel
Telefon 061 205 30 00
Telefax 061 205 30 10
E-Mail gvbs@gvbs.ch, www.gvbs.ch

FR
Etablissement cantonal d'assurance des
bâtiments, Maison-de-Montenach 1
Case postale 486
1701 Fribourg/Granges-Paccot
Téléphone 026 305 92 92
Téléfax 026 305 92 91
E-Mail ecab@fr.ch, www.ecab.ch

GL
glarnerSach
Zwinglistrasse 6, 8750 Glarus
Telefon 055 645 61 61
Telefax 055 645 61 95
E-Mail info@glarnersach.ch
www.glarnersach.ch

GR
Gebäudeversicherung Graubünden GVG
Ottostrasse 22, 7001 Chur
Telefon 081 257 39 08
Telefax 081 257 39 59
E-Mail info@gvg.gr.ch, www.gvg.gr.ch

JU
Etablissement cantonal d'assurance
immobilière et de prévention
Rue de la Gare 14
2350 Saignelégier
Téléphone 032 952 18 40
Téléfax 032 951 23 73
E-Mail info@eca-jura.ch, www.eca-jura.ch

LU
Gebäudeversicherung des Kantons
Luzern, Hirschengraben 19
6002 Luzern
Telefon 041 227 22 22
Telefax 041 227 22 23
E-Mail mail@gvl.ch, www.gvl.ch

NE
Etablissement cantonal d'assurance
et de prévention, Place de la Gare 4
2002 Neuchâtel
Téléphone 032 889 62 22
Téléfax 032 889 62 33
E-Mail ecap@ne.ch, www.ecap-ne.ch

NW
Nidwaldner Sachversicherung
Stansstaderstrasse 54
6370 Stans
Telefon 041 618 50 50
Telefax 041 618 50 60
E-Mail nsv@nsv.ch, www.nsv.ch

SG
Gebäudeversicherungsanstalt des
Kantons St.Gallen, Davidstrasse 37
9001 St.Gallen
Telefon 071 226 70 30
Telefax 071 226 70 29
E-Mail info@gvasg.ch, www.gvasg.ch

SH
Gebäudeversicherung des Kantons
Schaffhausen, Herrenacker 9
8200 Schaffhausen
Telefon 0848 11 00 11
Telefax 052 624 15 14
E-Mail info.gv@ktsh.ch, www.gv.sh.ch

© 2007 VKF/AEAI

Kantonale Gebäudeversicherungen

SO
Solothurnische Gebäudeversicherung
Baselstrasse 40
Postfach 448
4500 Solothurn
Telefon 032 627 97 00
Telefax 032 627 97 10
E-Mail info@sgvso.ch, www.sgvso.ch

TG
Gebäudeversicherung Thurgau
Spannerstrasse 8
8510 Frauenfeld
Telefon 052 724 24 87
Telefax 052 724 25 82
E-Mail info@gvtg.ch, www.gvtg.ch

VD
Etablissement Cantonal d'Assurance
Avenue du Général-Guisan 56
1009 Pully
Téléphone 021 721 21 21
Téléfax 021 721 21 22
E-Mail mail@eca-vaud.ch
www.eca-vaud.ch

ZG
Gebäudeversicherung Zug
Poststrasse 10
Postfach, 6301 Zug
Telefon 041 726 90 90
Telefax 041 726 90 99
E-Mail info@gvzg.zg.ch, www.gvzg.ch

ZH
Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Thurgauerstrasse 56
8050 Zürich
Telefon 044 308 21 11
Telefax 044 303 11 20
E-Mail info@gvz.ch, www.gvz.ch

© 2007 VKF/AEAI

Impressum

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

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

Egli Engineering

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

Projektgruppe Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren:
Dörte Aller, Gebäudeversicherung Kanton Zürich, Zürich
Alfred Baumgartner, Aargauische Gebäudeversicherung, Aarau (bis 2006)
Georges Brandenberg, Aargauische Gebäudeversicherung, Aarau (ab 2007)
Thierry Berset, Kantonale Gebäudeversicherung, Freiburg
Renzo Bianchi, Bianchi Beratungen GmbH, Burgdorf
Dr. Olivier Lateltin, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern (ab 2007)
Jean-Marc Lance, Etablissement cantonal d'assurance, Pully
Dr. Gian Reto Bezzola, Bundesamt für Umwelt, Bern

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

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

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

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

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

© 2007 VKF/AEAI

Haftungsausschluss

Die vorliegende Publikation wurde mit aller Sorgfalt erarbeitet und entspricht dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik. Es wird jedoch ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, dass trotz Beachtung der vorgeschlagenen Massnahmen Schäden entstehen können. Die vorgeschlagenen Massnahmen können Schäden in aller Regel nur bis zu einem bestimmten Grad verhindern oder vermindern, also keinesfalls das völlige Ausbleiben von Schäden garantieren. Ausserdem wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die vorliegende Publikation eine Anleitung ist, um grundsätzlich vorhersehbare und durch die beschriebenen Naturgefahren gewöhnlich bewirkte Sachschäden zu vermindern oder zu verhindern. Plötzliche oder extreme Ereignisse können trotz Beachtung der vorgeschlagenen Massnahmen erhebliche Schäden verursachen. In jedem Fall ist die Anwendung einer Massnahme dem Einzelfall entsprechend zu überprüfen und anzupassen.

Jede Haftung der VKF für Sach- oder Personenschäden, die trotz, infolge oder im Zusammenhang mit der Beachtung oder Anwendung der vorliegenden Publikation entstanden sind, ist ausgeschlossen. Wer die vorliegende Publikation beachtet oder anwendet, erklärt sich ausdrücklich mit diesem Haftungsausschluss einverstanden.

© 2007 VKF/AEAI

© 2007 VKF/AEAI

Wegleitung

Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren

KANTONALE GEBÄUDEVERSICHERUNGEN

VKF AEAI

Inhalt

Einführung 1

Wind 2

Hagel 3

Regen 4

Schnee 5

Unterhalt 6

Anhang 7

© 2007 VKF/AEAI

© 2007 VKF/AEAI

Naturgefahren?

Diese Wegleitung beschäftigt sich mit folgenden meteorologischen Naturgefahren:
· Wind
· Hagel
· Regen
· Schnee

Jedes Gebäude in der Schweiz ist solchen Gefahrenarten ausgesetzt. Sie verursachen teils erhebliche Schäden an Gebäuden. Schäden an der Fahrhabe werden in dieser Wegleitung nicht behandelt.

Objektschutz?

Der Objektschutz stellt eine effiziente Lösung dar, um Personen- und Sachwertrisiken zu reduzieren. Das Gebäude wird resistent ausgebildet, so dass einwirkende Gefahren der Baute keinen oder zumindest nur geringen Schaden zufügen können. Bei Neubauten lassen sich so ohne grössere Nutzungseinschränkung und Mehrkosten Schäden verhüten. Der Unterhalt stellt den Objektschutz von bestehenden Gebäuden sicher. Verallgemeinert kommen folgende Objektschutz-Strategien in Frage:

Gefährdungsart	Baute	Objektschutz Strategien
Wind	bestehend	· Überprüfung der Gebäudehülle hinsichtlich defekter Bauteile und ungenügender Befestigungen. · Ersatz derselben.
	Neubau	· Bemessung von Tragwerk und Gebäudehülle gemäss der Einwirkung aus Wind nach Norm SIA 261.
Hagel	bestehend	· Überprüfung der Gebäudehülle hinsichtlich gealterter Bauteile und Ersatz derselben mit hagelwiderstandsfähigen Materialien.
	Neubau	· Verwendung von hagelwiderstandsfähigen Baumaterialien gemäss dem Elementarschutzregister Hagel der VKF.
Regen	bestehend	· Überprüfung der Dach-, Balkon- und Platzentwässerungen hinsichtlich Dichtigkeit, Abflussleistung und Verstopfungen. · Erstellung eines Unterhaltsplans und Ersatz der ungenügenden Entwässerungen.
	Neubau	· Bemessung der Dach-, Balkon-, Platz- und Hangentwässerungen nach Norm SN 592'000, oder höherem Schutzziel.
Schnee	bestehend	· Überprüfung von Tragwerk und Dach hinsichtlich defekter Bauteile und Ersatz derselben.
	Neubau	· Bemessung von Tragwerk und Dach gemäss der Einwirkung aus Schnee nach Norm SIA 261.

© 2007 VKF/AEAI

1

Wer ist wann angesprochen?

Diese Wegleitung wendet sich prioritär an Ingenieure, Architekten, Hersteller, Handwerker, Baubehörden und Versicherungen. Die Darstellungen und Hinweise ermöglichen massgeschneiderte Lösungen für Neubauten, Umbauten oder bestehende Bauten. Der Bauherr und Eigentümer wird sensibilisiert hinsichtlich der Gefahren und möglicher Schutzmassnahmen.

2

Kapitel	Bauherr/ Eigentümer	Architekt	Ingenieur	Hersteller	Handwerker	Baubehörde	Versicherung
Einführung	●●●	●	●		●	●●	●●
Wind	●	●	●●●	●●	●●●	●	●●
Hagel	●●●	●●●	●	●●	●	●	●●
Regen	●●●	●●●	●●●	●●	●●●	●	●●
Schnee	●●	●	●●●	●	●	●	●●
Unterhalt	●●●	●	●	●	●●		●●
Anhang			●●	●●	●●	●●	●●

3

●●●: primäres Zielpublikum ●●: wichtige Informationen ●: ergänzende Hinweise

4

5

6

7

© 2007 VKF/AEAI

Naturgefahren Schweiz

Die bedeutendsten in der Schweiz auftretenden Naturgefahren können folgendermassen klassiert werden:

Klasse	Gefahrenarten
Gravitative Gefahren	Lawinen, Hochwasser, Rutschungen, Murgänge, Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz, Eisschlag
Meteorologische Gefahren	Wind, Hagel, Regen, Schnee, Blitz*
Klimatische Gefahren	Trockenheit, Hitzewelle, Kältewelle
Seismische Gefahren	Erdbeben

* Die Wirkung des Blitzes auf Gebäude wird in diesem Dokument nicht behandelt, da der Feuerschutz in den VKF Brandschutzvorschriften geregelt ist.

Die Klasse der **gravitativen Gefahren** weist eine ausgeprägte Standortgebundenheit auf. Das heisst, diese Gefahren treten nicht überall auf. Sie sind raumgebunden. Bereiche hoher Gefährdung und Bereiche ohne Gefährdung liegen oft sehr nahe nebeneinander. Diese Gefahrenarten besitzen daher eine entsprechend hohe raumplanerische Bedeutung. Ihr Hauptantrieb ist die Gravitationskraft, und das Wirkungsgebiet wird in den meisten Fällen durch die Topographie begrenzt. Aus dieser Charakterisierung geht hervor, dass den gravitativen Gefahren im Raum ausgewichen werden kann. Die VKF «Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren» (Egli 2005) gibt Auskunft über mögliche Schutzmassnahmen an Gebäuden.

Die meteorologischen, klimatischen und seismischen Gefahren treten überall in der Schweiz auf. Daher ist jedes Gebäude von der Einwirkung dieser Gefahren betroffen. Gegenstand der vorliegenden Wegleitung sind die **meteorologischen Naturgefahren**. Es handelt sich hierbei um die direkten Gefahren aus kurzzeitigen Wetterphänomenen. Den Gefahren kann im Raum nicht ausgewichen werden. Das Wirkungsgebiet der Gefahren lässt sich grossräumig diffus abgrenzen. Die Gefahren lassen sich nicht beeinflussen. Diese Gefahren haben einen engen Bezug zu den Jahreszeiten, sie treten nicht jederzeit auf. Beim Regen werden in erster Priorität die Auswirkungen des Oberflächenwasserabflusses behandelt. Diese Gefahr verursacht einen grossen Teil der wasserbedingten Elementarschäden in der Schweiz. Auf die Auswirkungen des Grundwassers wird in dieser Wegleitung nicht näher eingetreten. Dem Grundwasser widmet sich unter anderem die Norm SIA 272 Grundwasserabdichtungen.

Im Gegensatz zu den meteorologischen Naturgefahren sind die **klimatischen Gefahren** eine Folge von mittel- bis langfristigen Wetterphänomenen. Den Gefahren kann im Raum nicht ausgewichen werden. Das Wirkungsgebiet der Gefahren betrifft ganze Landesteile. Die Gefahren lassen sich nicht beeinflussen. Diese Gefahren haben einen direkten Bezug zu den Jahreszeiten, sie treten nicht jederzeit auf.

Die **seismischen Gefahren** rühren von den Verschiebungen innerhalb der Erdkruste her. Erdbeben treten in der ganzen Schweiz auf. Das Wirkungsgebiet lässt sich mittelräumig diffus abgrenzen. Eine Beeinflussung ist nicht möglich und Ereignisse können jederzeit eintreten.

© 2007 VKF/AEAI

Wind

Sturm ist eine atmosphärisch bedingte Luftbewegung von ausserordentlicher Heftigkeit. Schäden an Gebäuden werden durch die kurzzeitigen (wenige Sekunden dauernden) Böenspitzen verursacht. Die Einwirkung ist umso stärker, je grösser die Geschwindigkeit dieser Böenspitzen ausfällt und je besser die Eigenfrequenz des Gebäudes mit dem energiereichen Frequenzinhalt des Windes übereinstimmt. Es sind vor allem die Sogkräfte, welche die Ursache von Schäden



an Gebäuden darstellen. Der Anprall von fliegenden Trümmerteilen und umstürzende Bäume stellen weitere Einwirkungsarten bei Sturm dar.

Hagel

Hagel ist der Niederschlag von Eispartikeln mit mindestens 5 mm Durchmesser. Die Einwirkung durch den Hagelschlag ist umso heftiger, je grösser der Durchmesser und je kantiger die Form der Hagelkörner sind. Ist der Hagel von Sturm begleitet, so sind neben dem Dach auch die Fassaden von der Einwirkung betroffen. Ist der Hagel durch Starkregen begleitet, so kommt es



zu Überschwemmungen infolge der Verstopfung der Entwässerungseinrichtungen.

Regen

Starkregen ist ein Niederschlag von ausserordentlicher Heftigkeit. Auf Flachdächern und Balkonen kann es zum kurzzeitigen Einstau mit stehendem Wasser kommen. Plätze werden kurzzeitig eingestaut von oberflächlich zufliessendem Wasser der angrenzenden Terrainflächen und durch überschiessendes Wasser von Steildächern. Ist der Starkregen von Sturm begleitet, so füh-



ren abgebrochene Äste und Blätter zu einer Verstopfung der Einlassbauwerke der Entwässerung.

Schnee

Schnee ist der Niederschlag in fester Form. Die Akkumulation des Schnees auf Dächern stellt eine massgebende Belastungssituation dar. Hierbei ist neben der Schnee- und allenfalls Eislast auch deren mögliche ungleichförmige Verteilung infolge Wind und unterschiedlichem Schmelzen auf dem Dach zu berücksichtigen. Massgebliche Einwirkungen ergeben sich durch



abrutschende Schneemassen und den Rückstau von Schmelzwasser.

© 2007 VKF/AEAI

Wind

Beispiel eines typischen Schadenbildes infolge Sturms. An der Gebäudekante treten die höchsten Sogkräfte auf und haben hier das Fassadenblech weggerissen. Sturmschäden sind zur Hauptsache Schäden am Dach und an der Fassade durch losgerissene Elemente.



Hagel

Beispiel eines typischen Schadenbildes infolge Hagel. Der Rolladen ist verbeult. Hagelschäden sind zur Hauptsache Schäden an schlagempfindlichen Materialien der Gebäudehülle wie lichtdurchlässige Kunststoffe (Lichtkuppeln, Lichtbänder), Storen und Rollläden, Bleche, Verputze über Aussendämmungen, ungeschützte Flachdachfolien.



Regen

Beispiel eines typischen Schadenbildes infolge Starkregens. Der Parkettboden wurde durch Oberflächenwasser überschwemmt, welches in das Gebäude eindrang. Schäden durch Starkregen betreffen zur Hauptsache wasserempfindliche Boden- und Wandmaterialien sowie alle wasserempfindlichen Einrichtungen von Gebäuden.



Schnee

Beispiel eines typischen Schadenbildes infolge Schneedrucks auf eine Dachkonstruktion. Schäden durch Schneedruck treten in der Schweiz hauptsächlich bei Fehlern der Bemessung und der konstruktiven Durchbildung des Tragwerkes auf. Bei der Einwirkung sind neben dem Schnee auch der Wind und der Temperaturverlauf als massgebende Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Der Windeinfluss bewirkt eine ungleichförmige Belastung des Daches. Einsetzende Taueperioden können die Schneedecke mit Wasser sättigen und zu einer



Verstopfung der Abflüsse führen, was wiederum erhöhte Dachlasten verursachen kann.

© 2007 VKF/AEAI

1 Allgemeines

Bauschäden zeigen vielfach ähnliche oder gleiche Schadenbilder, wie sie bei Elementarschadenereignissen entstehen. Bauschäden werden meist durch menschliches Fehlverhalten verursacht, wie Fehler bei der Planung oder Ausführung von Bauwerken, unsachgemässe Nutzung oder mangelhafter Unterhalt. Im Gegensatz dazu entstehen Elementarschäden durch die aussergewöhnliche Heftigkeit plötzlich hereinbrechender, unberechenbarer Naturgewalten.

2 Baumangel

Baumängel sind ungünstige Erscheinungen an einem Bauwerk. Der Mangel besteht darin, dass dem Bauwerk eine zugesicherte oder vereinbarte Eigenschaft fehlt, die der Bauherr ohne besondere Vereinbarung in guten Treuen und den Regeln der Baukunde entsprechend erwarten durfte. Häufig handelt es sich um tolerierbare Unregelmässigkeiten, kleine Beschädigungen, Unschönheiten und Unrichtigkeiten. Baumängel können, müssen nicht zwingend zu Bauschäden führen.

3 Bauschaden

Bauschäden sind ungünstige Erscheinungen oder nachteilige Veränderungen von normativ vorausgesetzten oder vertraglich vereinbarten technischen Eigenschaften. Im Allgemeinen werden anerkannte Regeln der Baukunde massiv verletzt. Häufig handelt es sich um ungünstige Folgeerscheinungen aus Baumängeln. Bauschäden entstehen vorwiegend durch Planungs-, Ausführungs- und Überwachungsfehler. Sie können auch durch Material-, Nutzungs- und Unterhaltsfehler verursacht werden.

4 Elementarschaden

Elementarschäden sind auf Naturgewalten zurückzuführen, welche mit aussergewöhnlicher Heftigkeit plötzlich hereinbrechen. Typische Elementarereignisse sind: Sturm, Hagel, Überschwemmung, Murgang, Lawinen, Schneegleiten, Schneedruck, Erdrutsch, Steinschlag oder Felssturz.

5 Bezug zu den Baunormen

Im Bauwesen gibt es in Bezug auf Naturgefahren eine grosse Zahl an Normen und Regelwerken an verschiedenen Stellen. Zur Förderung der Prävention werden mit dieser Publikation die einschlägigen Werke praxisnah zusammengefasst und ergänzt. Daher befindet sich im Anhang dieser Wegleitung eine ausführliche Liste der relevanten Bauproduktnormen hinsichtlich der Bemessung gegen Wind, Schnee, Hagel und Regen. Diese Normen stellen den aktuellen Stand der Technik und die Regeln der Baukunde dar. Sie dienen überdies der Verständigung. **Wind, Schnee und Hagel gelten als Einwirkungen der Tragwerksnormen des SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) und sind bei einer Bemessung von Bauten und Anlagen sowie Teilen davon (z.B. Rollladen / Storen) zu berücksichtigen.**

Die vorliegende Wegleitung ergänzt die Normen des SIA und der SNV (Schweizerische Normen-Vereinigung) sowie die Richtlinien der Fachverbände (siehe Anhang) in Bezug auf die Einwirkung und den Schutz vor meteorologischen Gefahren auf Gebäude. Es handelt sich um eine Zusammenstellung der heute geltenden Regeln der Baukunde aus verschiedenen Quellen. Insbesondere die gefahrenbezogene Zusammenstellung ist das Ziel der Wegleitung im Sinne einer Sensibilisierung und einer Hilfestellung für den Gesamtplaner.

© 2007 VKF/AEAI

Die folgende Tabelle zeigt den Beitrag der Fachplaner bei der Elementarschadenprävention Wind, Hagel, Regen und Schnee:

Akteure **Funktion bei Neubau**	**Architekt** **Projektverfasser** **Gebäudeform** **Materialwahl** **Schutzkonzept** **Bauleiter**	**Ingenieur** **Bemessung**	**Handwerker** **Ausführung**	**Hersteller** **Nachweis** **Produkteigenschaft**
Wind	Projektverfasser: Berücksichtigt den Wind bei der Wahl von Gebäudeform und -ausrichtung Bauleiter: Kontrolliert die Bauausführung	Berücksichtigt den Wind als äussere Einwirkung	Bemisst die Befestigungen (Dach, Fassade) entsprechend den Vorgaben des Ingenieurs / Herstellers	Weist die korrekte Befestigungsart und die Materialbeständigkeit für die geforderte Windbelastung nach
Hagel	Projektverfasser: Berücksichtigt den Hagel bei der Wahl von Dach- und Fassadenmaterialien Bauleiter: Kontrolliert die Bauausführung	Berücksichtigt den Hagel als äussere Einwirkung	Setzt die entsprechenden Vorgaben um	Weist die Resistenz seines Produktes für die geforderte Hagelbelastung nach
Regen	Projektverfasser: Berücksichtigt den Regen bei der Gestaltung des Gebäudes und der Umgebung Bauleiter: Kontrolliert die Bauausführung	Bemisst die Dach-, Balkon- und Platzentwässerung. Bei grossem Schadenpotenzial wird das Schutzziel entsprechend hoch angesetzt	Setzt die entsprechenden Vorgaben um	Weist die Hydraulik seines Produktes für die geforderte Regenbelastung nach
Schnee	Projektverfasser: Berücksichtigt den Schnee bei der Gestaltung und Materialwahl der Gebäudehülle Bauleiter: Kontrolliert die Bauausführung	Berücksichtigt den Schnee als äussere Einwirkung	Setzt die entsprechenden Vorgaben um	Weist die Festigkeit seines Produktes für die zu erwartende Beanspruchung durch Schnee und Eis nach sowie die Tauglichkeit der Schmelzwasserabführung

Grundsätzlich ist zu vermerken, dass die Zusammenarbeit von Architekt, Ingenieur, Handwerker und Hersteller vom Entwurf bis zur Ausführung gefordert ist. Der Projektleiter muss die Verantwortung für die Bemessung an die Akteure übertragen und die entsprechenden Nachweise einfordern. Viele Schadenfälle sind auf Nachlässigkeiten bei diesen Nachweisen oder auf Lücken im Bereich der Schnittstellen zurückzuführen.

© 2007 VKF/AEAI

Es bestehen kantonale Unterschiede in Bezug auf die Behandlung der Baugesuche und in Bezug auf die Kantonalen Gebäudeversicherungen.

Arbeitsschritt	Bauherr/ Eigentümer	Projektverfasser/ Bauleiter/Ingenieur Handwerker	Baubehörde	Gebäudeversicherung
Projektierung	definiert seine Projektvorstellungen, macht sich Gedanken zu Schutzzielen und dem zu erreichenden Schutzgrad	Projektverfasser: ermittelt die örtlichen Verhältnisse in Bezug auf Wind- und Schneebelastung, Hagelgefährdung und Regenintensität	formuliert im Baugesuchsformular den geforderten Nachweis gegen Wind, Schnee, Hagel und Regen	
	prüft die Nutzungsvereinbarung auf Vollständigkeit	Projektverfasser: erstellt zusammen mit dem Bauherrn die Nutzungsvereinbarung		
		Projektverfasser: wählt das Tragwerkskonzept und umschreibt die Projektbasis		
		Ingenieur: führt die Bemessung auf Tragsicherheit durch und weist die Gebrauchstauglichkeit nach, erkundigt sich bei Herstellern über Hagel- und Sturmbeständigkeit der verwendeten Materialien		berät den Projektverfasser / Bauleiter in der Elementarschadenverhütung
Baubewilligung		Projektverfasser: deklariert gegenüber der Baubehörde und der Gebäudeversicherung den erreichten Schutzgrad gegen Sturm, Hagel, Schnee und Regen	nimmt von der Selbstdeklaration des Projektverfassers Kenntnis oder überprüft die eingeforderten Nachweise	kann auf Versicherungsausschlüsse hinweisen oder technische Anforderungen festlegen (kantonale Unterschiede)
Bauausführung	verfolgt den Baufortschrit	Handwerker: erstellt das Bauwerk gemäss den Planungsgrundlagen Bauleiter: kontrolliert die Ausführung, prüft die eingesetzten Materialien und ihre Befestigung	führt Baukontrollen durch	kann bei sensiblen Objekten Baukontrollen durchführen (kantonale Unterschiede)
Bauabnahme	übernimmt das Bauwerk	Projektverfasser: übergibt das Bauwerk inkl. Projektbasis, protokolliert festgestellte Mängel und ordnet deren Behebung an Handwerker: behebt die festgestellten Mängel	nimmt die Schlusskontrolle vor	versichert das Bauwerk, evtl. mit Vorbehalten

© 2007 VKF/AEAI

Instandhaltung, Erneuerung und Schadenfall
Zeitlicher Ablauf und Beteiligte

Arbeitsschritt	Eigentümer	Projektverfasser/ Bauleiter	Handwerker	Gebäudeversicherung
Instandhaltung	kontrolliert periodisch Entwässerungssysteme, Dach und Fassade auf äusserlich sichtbare Mängel oder delegiert diese Kontrolle an einen Fachspezialisten, erteilt Aufträge zur Mängelbehebung		nimmt die Detailprüfung vor, macht Eigentümer auf Mängel aufmerksam, führt den Auftrag zur Mängelbehebung aus	
Erneuerung	erteilt Fachspezialisten den Auftrag zur Bauwerkserneuerung	Projektverfasser: plant die Erneuerungsarbeiten Bauleiter: kontrolliert die Ausführung	führt die Erneuerungsarbeiten aus	
Schadenereignis	führt während dem Ereignis schadenmindernde Massnahmen durch			führt nach dem Ereignis die Schadenaufnahme durch
Schadenbehebung	veranlasst in Absprache mit der Gebäudeversicherung und der Baubehörde die Wiederherstellungsarbeiten und die notwendigen Objektschutzmassnahmen	Projektverfasser: überprüft die Projektbasis hinsichtlich des gewählten Schutzkonzeptes, passt dieses eventuell an und plant die Wiederherstellungs- und Objektschutzmassnahmen Bauleiter: kontrolliert die Wiederherstellungsarbeiten	führt die Wiederherstellungs- und Objektschutzarbeiten aus	berät den Planer in der Elementarschadenverhütung / entschädigt soweit versichert

© 2007 VKF/AEAI

© 2007 VKF/AEAI

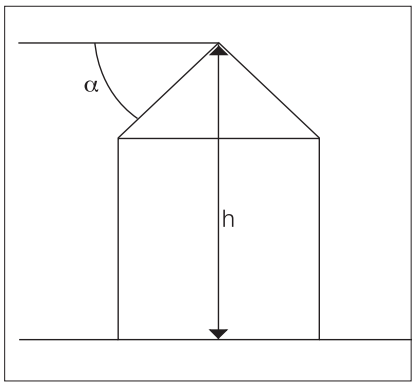


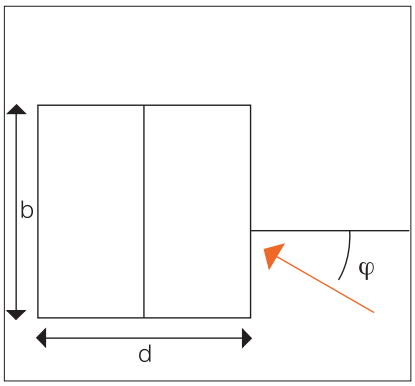
© 2007 VKF/AEAI

Bezeichnungen

q_p [kN/m²]: Staudruck
q_{ek} [kN/m²]: Charakteristischer Wert des Winddrucks auf eine äussere Oberfläche (nach SIA 261)
q_{ik} [kN/m²]: Charakteristischer Wert des Winddrucks auf eine innere Oberfläche (nach SIA 261)
q_{p0} [kN/m²]: Referenzwert des Staudrucks (nach SIA 261)
v_w [m/s]: Windgeschwindigkeit
v_t [m/s]: Trümmergeschwindigkeit
ρ_l [t/m³]: Dichte von Luft

b [m]: Gebäudebreite (nach SIA 261)
d [m]: Gebäudelänge (nach SIA 261)
h [m]: Gebäudehöhe (nach SIA 261)
α [°]: Dachneigung
φ [°]: Windrichtung horizontal
m [t]: Masse eines anprallenden Gegenstandes
h_b [m]: Fallhöhe Baum
E_{kin} [J]: Kinetische Energie des Trümmeranpralls
g [m/s²]: Erdbeschleunigung (10 m/s²)





Charakterisierung

Winterstürme
Winterstürme entstehen im Übergangsbereich zwischen den subtropischen und polaren Klimazonen, also in etwa 35 – 70 Grad geographischer Breite. Hier treffen polare Kaltluftausbrüche auf subtropische Warmluftmassen und bilden grossräumige Tiefdruckwirbel. Die Intensität der Sturmfelder ist dem Temperaturunterschied zwischen den beiden Luftmassen proportional und deshalb im Spätherbst und Winter am grössten, wenn die Meere noch warm, die polaren Luftmassen aber schon sehr kalt sind. Es werden Böenspitzen von 39 – 56 m/s (140 – 200 km/h) erreicht. In Extremfällen kann in den Alpen ein Spitzenwert von 70 m/s (250 km/h) überschritten werden. Da das Sturmfeld (Tiefdruckgebiet) einen Durchmesser von 1000 – 1500 km annehmen kann, ist dies der Sturmtyp, der die höchsten Schadensummen pro Ereignis in der Schweiz verursacht.

Gewitterstürme
Die häufigsten Sturmereignisse in der Schweiz sind regionale Starkwinde infolge von Gewitterstürmen. Eine notwendige Bedingung für das Auftreten von Gewitterstürmen ist die Bildung von grossen konvektiven Wolken produziert durch die Aufwärtsbewegung von warmer, feuchter Luft. Dies wird bedingt durch thermische Instabilität, durch das Vorhandensein von Bergen oder durch das Auftreten einer Front.
Es können Einzelzellen-, Multizellen- und Superzellengewitter unterschieden werden. Dabei nimmt von der Einzel- zur Superzelle die Langlebigkeit und Heftigkeit des Gewitters zu. Entscheidend für Typ, Stärke und Langlebigkeit eines Gewitters sind vor allem zwei Grössen und ihr Ver-

© 2007 VKF/AEAI

hältnis zueinander: 1. Die thermische Schichtung der Atmosphäre (labil / stabil). Sie bestimmt die Auftriebsenergie der Wolkenluft. 2. Die vertikale Zunahme und Drehung des Windes (Scherung). Sie bestimmt die kinetische Energie der Wolkenluft. Das Verhältnis beider Energien legt den Gewittertyp fest.
Ist die Auftriebsenergie gross (labile Schichtung) und die Scherung klein, so entstehen Einzelzellengewitter. Sie bilden die typischen Wärmegewitter im Sommer mit einer Dauer von 0.5 bis 1 Stunde.
Ist die Auftriebsenergie gross und die Scherung sehr gross, so entstehen Multizellengewitter. Sie dauern 1 bis 3 Stunden und sind häufig von Sturmböen und Hagel begleitet.
Superzellengewitter entstehen bei grosser Auftriebsenergie und mittlerer Scherung. Es sind langanhaltende Gewitter von 1 bis 6 Stunden Dauer mit einer in sich rotierenden Zelle. Hagel, Sturmböen, vertikale Fallwinde (Downbursts) sowie gelegentlich Tornados sind begleitende Phänomene. Dieser Gewittertyp schreitet fort.

Föhnstürme
Der Föhn ist ein warmer, trockener, meist heftiger Fallwind, der auf der Alpennordseite auftritt. Er kommt auch an der Alpensüdseite als so genannter «Nordföhn» vor, wenn von Norden oder Nordwesten her Kaltluftmassen die Alpen überqueren. Die hohe Temperatur und die Trockenheit des Föhns entstehen dadurch, dass warme feuchte Luft an der Alpensüdseite zum feuchtadiabatischen (Temperaturabnahme um 0,6°C/100m) Aufsteigen gezwungen wird und dabei ein Teil des Wassers ausregnet (Stauniederschläge), so dass beim anschliessenden trockenadiabatischen Absteigen (Temperaturzunahme um 1°C/100m) die Luft in gleicher Höhe wärmer und trockener ankommt. Föhnlagen treten häufig im Winterhalbjahr auf. Bezeichnend dabei ist die aussergewöhnliche Fernsicht in der extrem trockenen Luft. Die Staubewölkung an der Luvseite greift als mächtige Wolkenwand etwas über den Gebirgskamm und kann als «Föhnmauer» von der Leeseite aus beobachtet werden. Der wolkenfreie Raum im Lee ist im Satellitenbild deutlich als «Föhnfenster» erkennbar. Der Föhnwind kann die Stärke eines Orkans erreichen (z.B. Ereignis vom 16.11.2002 mit Spitzengeschwindigkeit von 60 m/s (215 km/h) in den Ostalpen).

Tornados
Tornados gibt es nicht nur im Mittleren Westen der USA, sondern weltweit in den gemässigten Breiten und daher auch in der Schweiz. Sie entwickeln sich häufig entlang von Unwetterfronten in Gewitterzellen und können zusammen mit Hagelschlägen auftreten. Der mittlere Durchmesser des «Tornadorüssels» liegt bei etwa 100 m, die mittlere Zuglänge bei einigen Kilometern.
Die maximalen Geschwindigkeiten am Rande des Rüssels werden bei extremen Tornados auf über 139 m/s (500 km/h) geschätzt. Das Gros aller Tornados weist allerdings nur Böen von etwas über 27.8 m/s (100 km/h) auf.
In der Schweiz ist durchschnittlich mit 1 – 5 Tornados pro Jahr zu rechnen. Diese treten vor allem im Jura und in der Nordschweiz auf, nicht jedoch im Alpenraum. Auch wenn die meisten Tornadoereignisse in der Schweiz wegen ihrer geringen räumlichen Ausdehnung keine oder nur geringe Schäden anrichten, sind potenzielle Grossschäden nicht auszuschliessen (z.B. in Stadtgebieten).



Tornado im Jura

© 2007 VKF/AEAI

Schäden durch einen Tornado an einem Gebäude im Kanton Freiburg. Das räumliche Schadengebiet ist bei Tornados eng begrenzt. Pro betroffenes Objekt sind hohe Schäden möglich.



Beaufort-Skala

Die Windstärke wird am häufigsten nach der Skala von Admiral Beaufort (Beaufort 1806) eingestuft. Die für die Einteilung massgebenden Geschwindigkeiten entsprechen mittleren Windgeschwindigkeiten (10 Minutenmittel) und nicht Böenspitzen! Die Skala ist unterteilt nach 13 Stufen gemäss der folgenden Tabelle. Windgeschwindigkeiten über 32.7 m/s (118 km/h) werden der höchsten Skalenstufe zugeordnet. Als Sturm gilt eine wetterbedingte Luftbewegung von mindestens Windstärke 9 nach Beaufort (≥ 20.8 m/s (75 km/h) Windgeschwindigkeit).
Böen erreichen im Mittelland resp. Alpenvorland Werte über 42 m/s (150 km/h) und in Kammlagen des Alpenraums Werte über 70 m/s (250 km/h). Aus diesem Grund ist im Anhang zusätzlich die Torro Sturmwind Skala für Mitteleuropa wiedergegeben, welche die möglichen Schadenwirkungen in einem Bereich von 21 bis 139 m/s (75 bis 500 km/h) beschreibt.

km/h	m/s	Skala	Bezeichnung	Merkmale
0 -1	0 – 0.2	0	Windstille	Keine Luftbewegung
1 - 5	0.3 – 1.5	1	Leiser Zug	Windrichtung nur an ziehendem Rauch erkennbar
6 – 11	1.6 – 3.3	2	Leichte Brise	Wind im Gesicht fühlbar
12 - 19	3.4 – 5.4	3	Schwacher Wind	Blätter werden bewegt, leichte Wimpel gestreckt
20 – 28	5.5 – 7.9	4	Mässiger Wind	Kleine Zweige werden bewegt, schwere Wimpel gestreckt
29 – 38	8.0 – 10.7	5	Frischer Wind	Grössere Zweige werden bewegt, Wind im Gesicht schon unangenehm
39 – 49	10.8 – 13.8	6	Starker Wind	Grosse Zweige werden bewegt, Wind singt in der Takelage
50 – 61	13.9 – 17.1	7	Steifer Wind	Schwächere Bäume werden bewegt, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind
62 – 74	17.2 – 20.7	8	Stürmischer Wind	Grosse Bäume werden bewegt, Zweige abgebrochen, beim Gehen erhebliche Behinderung
75 – 88	20.8 – 24.4	9	Sturm	Leichtere Gegenstände werden aus ihrer Lage gebracht, Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern
89 – 102	24.5 – 28.4	10	Schwerer Sturm	Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen, Windbruch an Bäumen
103 – 117	28.5 – 32.6	11	Orkanartiger Sturm	Leichte Schäden an Dachziegeln und Verblechungen, geringe Schäden an Leichtbauten
≥ 118	> 32.7	12	Orkan	Schwere Verwüstungen

© 2007 VKF/AEAI

Windstärkeklassen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Windstärkeklassen, wie diese bei Warnungen durch Meteo Schweiz verwendet werden.

Windstärke	Windart	km/h	m/s	Beaufortskala
schwach	Mittlerer Wind Böenspitzen	≤ 14 ≤ 26	≤ 3.9 ≤ 7.2	ca. 1 – 2
mässig	Mittlerer Wind Böenspitzen	14 – 28 26 – 49	3.9 – 8.1 7.2 – 13.6	ca. 3 – 4
stark	Mittlerer Wind Böenspitzen	29 – 55 50 – 89	8.1 – 15.3 13.9 – 24.7	ca. 5 – 7
stürmisch	Mittlerer Wind Böenspitzen	56 – 96 90 – 149	15.6 – 26.7 25.0 – 41.4	ca. 8 – 10
orkanartig	Mittlerer Wind Böenspitzen	> 96 > 149	> 26.7 > 41.7	ca. 11 – 12

Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ist vom örtlichen Windklima, dem topographischen Gebäudestandort (Kammlage, Seeufer), den lokalen Bebauungsverhältnissen (freies Feld, Stadtgebiet) und von der Bezugshöhe (Höhe über Grund) abhängig.

Referenzstaudruck

Die Grundlage der Wind-Bemessung von Gebäuden bildet der Referenzstaudruck q_{p0}. Dieser kann der SIA Norm 261, Anhang E: Karte Referenzwert des Staudrucks, entnommen werden.

Hauptwindrichtung

Winterstürme sind aus Richtung West (Nordwest bis Südwest) zu erwarten. Die Hauptwindrichtung ist bei Föhnwinden Nord-Süd ausgerichtet. Bise wirkt aus Richtung Nord–Nordost–Ost ein.

Böigkeit

Windböen von wenigen Sekunden Dauer stellen eine besondere Belastung für Bauwerke dar. Die kurzzeitige Windgeschwindigkeitsspitze kann Schwingungen und zyklische Beanspruchung verursachen.

Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung bedarf es Angaben zum **Referenzstaudruck**, zur **Hauptwindrichtung** und zu den **lokalen Windverhältnissen**. Der Referenzstaudruck ist der Norm SIA 261 zu entnehmen. Die Hauptwindrichtung und die lokalen Windverhältnisse sind gegebenenfalls durch einen Fachmann zu ergänzen.

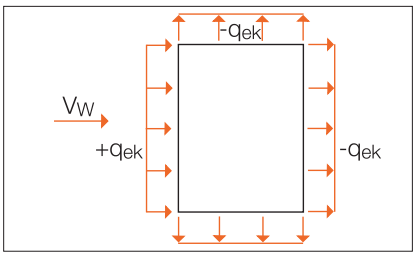
© 2007 VKF/AEAI

Gefährdungsbild 1: Gebäude dicht (kein Innendruck)

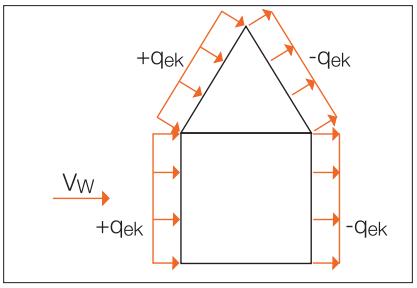
Die folgenden Gefährdungsbilder zeigen die verallgemeinerte Wirkung des Windes auf dichte Gebäude und Dächer. Je nach Windrichtung,

Gebäude- und Dachform, Gebäudehöhe, Gebäude- und Dachbereich sind gemäss SIA 261 die wirkenden Druck- und Sogkräfte zu bestimmen.

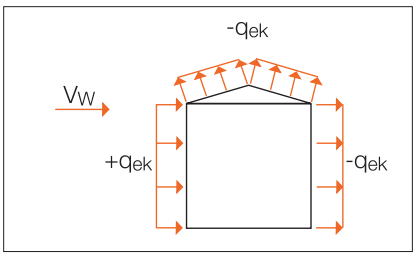
Wirkung des Windes auf Wände
Auf die windzugewandte Wand eines Gebäudes wirkt Winddruck. Auf Wände parallel zur Windrichtung und auf die windabgewandten Wände wirkt Windsog.



Wirkung des Windes auf Dächer mit $\alpha > 40°$
Über 40° Dachneigung wirkt windzugewandt Druck und windabgewandt Sog.



Wirkung des Windes auf Dächer mit $\alpha < 25°$
Bei Dachneigungen von 0° bis 25° wirkt windzugewandt und windabgewandt Sog.



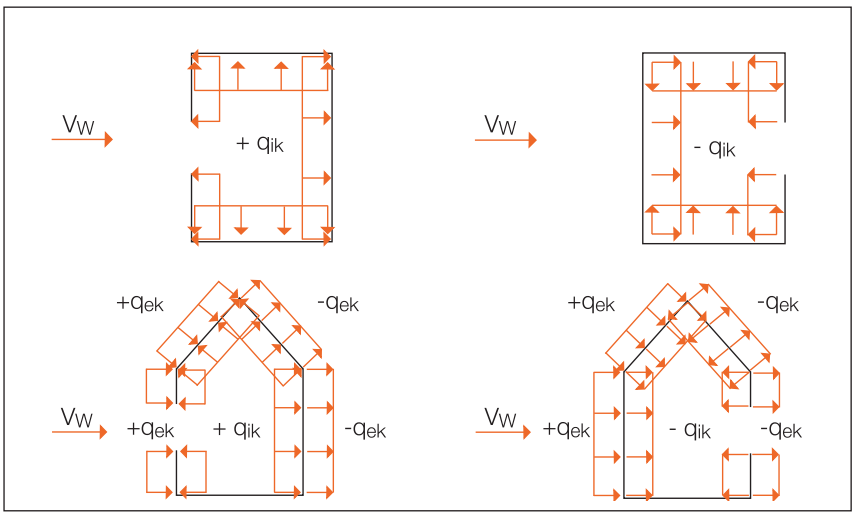
Bei Dachneigungen von 25° - 40° wirkt windzugewandt entweder Druck oder Sog und windabgewandt Sog.

Gefährdungsbild 2: Gebäude undicht (Innendruck)

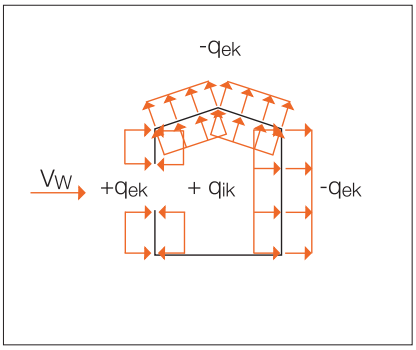
Ein Gebäude gilt als offen, wenn der Anteil der Öffnungen in einer Ansicht mehr als 5% beträgt. Als Öffnungen gelten hier Belüftungsöffnungen, Lüftungsschlitze, Tore, Fenster, Lichtbänder u.ä., welche im Falle eines Sturmes nicht immer geschlossen sind.

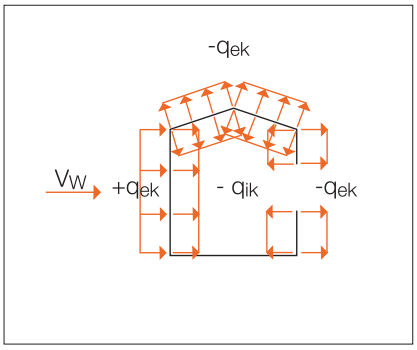
Ein geöffnetes Fenster oder eine nicht geschlossene Türe verursachen Innendruck oder Innensog, je nachdem ob sich die Öffnung der Wind zugewandten (Luv) oder der Wind abgewandten (Lee) Seite des Gebäudes befindet.

© 2007 VKF/AEAI



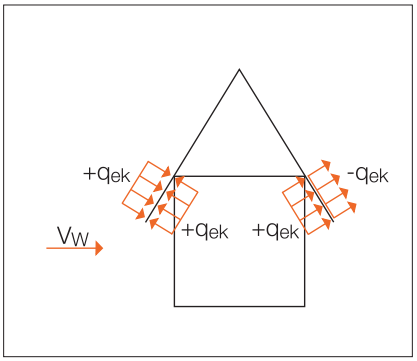
Eine ungünstige Überlagerung der Kräfte von innerer und äusserer Beanspruchung ergibt sich für das Dach und die dem Wind abgewandte Seite bei Innendruck und für die dem Wind zugewandten Gebäudeteile bei Innensog.

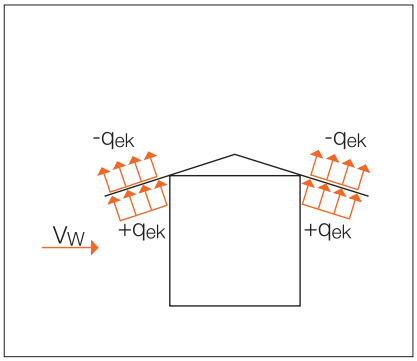




Gefährdungsbild 3: Dachüberstände

Bei Dachüberständen kommt es bei Steildächern auf der windabgewandten Seite und bei Flachdächern beidseitig zur ungünstigen Überlagerung von Druckkräften von unten mit den Sogkräften von oben.



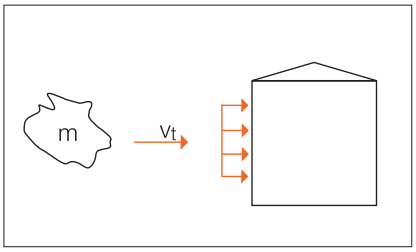


© 2007 VKF/AEAI

Gefährdungsbild 4: Anprall von Trümmern

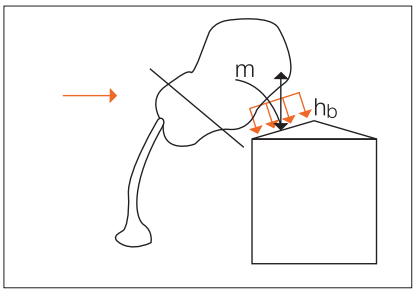
Der Anprall von Trümmern gefährdet v.a. die Fassade und dort insbesondere ungeschützte Fensterflächen. Ein dichtes Gebäude wird somit undicht (Gefährdungsbild 2 anstelle von Gefährdungsbild 1). Es besteht eine erhöhte Personengefährdung. Die kinetische Energie des Trümmeranpralls ist abhängig von der Trümmermasse m und der Trümmergeschwindigkeit v_t, welche kleiner ist als die Windgeschwindigkeit.

Mögliche Trümmer sind: losgerissene Dach- und Fassadenelemente, Kies von Flachdächern, Cheminéehut, Gartenmöbel, Kleinholz, Garten- und Spielgeräte etc.



Gefährdungsbild 5: Anprall eines Baumes

Der Sturz eines Baumes auf ein Gebäude gefährdet v.a. das Dach und die Balkone. Die kinetische Energie des Anpralls ist insbesondere abhängig von der Fallhöhe h_b und von der relevanten Baummasse m.



© 2007 VKF/AEAI

Bemessung der Windlast

Die Bemessung der Windlast wird gemäss der Norm SIA 261 berechnet. Folgende Faktoren werden bei der Bemessung nach dieser Norm berücksichtigt:

Höhenlage, Geländekategorie, Gebäudehöhe, Anströmrichtung, Gebäudeform, Lage der Undichtheiten und Öffnungen, dynamische Resonanzüberhöhung.

Staudruck

Gemäss Norm SIA 261 ist der Staudruck q_p abhängig vom Windklima, der Bodenrauigkeit, der Form der Erdoberfläche und der Bezugshöhe.

Das Verhältnis von Staudruck q_p zu Windgeschwindigkeit v_w beträgt:

$$q_p = \frac{\rho_l}{2} \cdot v_w^2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

Staudruck

wobei $\rho_l = 0.00125$ $[\text{t/m}^3]$
Dichte Luft

Sogspitzen

In Rand- und Eckbereichen von Flächen, auf die Windsog wirkt, treten durch verstärkte Umlenkung und hohe Strömungsgeschwindigkeiten Sogspitzen auf, die den mittleren Sog des Normalbereichs

um ein Vielfaches überschreiten können. Für diese Bereiche eines Gebäudes ist eine gesonderte Bemessung durchzuführen und die Windsogsicherung muss den erhöhten Anforderungen genügen.

Offene / geschlossene Deckunterlage

Eine Deckunterlage eines Daches gilt dann als offen, wenn ihre Luftdurchlässigkeit grösser als die der Deckung oder Abdichtung ist (z.B. Stahltrapezblech ohne dichtende Massnahmen an Stössen und Anschlüssen). Geschlossen ist eine Deckunterlage dann, wenn ihre Luftdurchlässigkeit kleiner oder höchstens gleich der Luftdurchlässigkeit der Deckung oder Abdichtung ist.





Die offene Deckunterlage führte zu einer Überlagerung von Innendruck und äusserem Windsog. Das Dach hielt dem nicht stand.

© 2007 VKF/AEAI

Stossdruck infolge Trümmeranpralls

Bei Stürmen ist neben der Windbelastung auch der Stossdruck infolge Trümmeranpralls eine massgebliche Einwirkung (Gefährdungsbild 4). Als besonders empfindlich gegenüber dieser Einwirkung erweisen sich hohe Gebäude mit Glasfassaden.
Neuere Untersuchungen zeigen, wie diese Belastung in der Bemessung berücksichtigt werden kann. Die folgenden Tabellen leiten sich aus den Arbeiten von Wills et al. 2002 ab. Sie zeigen die Trümmergeschwindigkeit und die entsprechende kinetische Energie im Verhältnis zur herrschenden Windgeschwindigkeit. Die flächenförmigen Trümmer erreichen die höchste Zerstörungsenergie gefolgt von stabförmigen und von kugelförmigen Trümmern. Ergänzend ist auf die hohe Gefährdung für Personen im Freien durch diese Trümmer hinzuweisen.



Beispiel eines Trümmeranpralls einer losgerissenen Faserzementwellplatte.

Geschwindigkeit und kinetische Energie von flächenförmigen Trümmern:

Windgeschwindigkeit [m/s]	Windgeschwindigkeit [km/h]	Trümmergeschwindigkeit [m/s]	Trümmergeschwindigkeit [km/h]	Material	Dicke [mm]	Kinetische Energie [J/m²]
10	36	6.4	23	Holz	3.5	39
10	36	6.4	23	Stahl	0.25	39
20	72	12.8	46.1	Holz	15	614
20	72	12.8	46.1	Stahl	1	614
40	144	25.6	92.2	Holz	60	9830
40	144	25.6	92.2	Stahl	3.8	9830

Geschwindigkeit und kinetische Energie von stabförmigen Trümmern:

Windgeschwindigkeit [m/s]	Windgeschwindigkeit [km/h]	Trümmergeschwindigkeit [m/s]	Trümmergeschwindigkeit [km/h]	Material	Stablänge x Ø [m x mm]	Kinetische Energie [J]
13	46.8	6.5	23.4	Bambus	3.0 x 30	12.5
22	79.2	11	39.6	Bambus	3.0 x 75	250
32	115.2	16	57.6	Holz	2.4 x 80	950

Geschwindigkeit und kinetische Energie von kugelförmigen Trümmern:

Windgeschwindigkeit [m/s]	Windgeschwindigkeit [km/h]	Trümmergeschwindigkeit [m/s]	Trümmergeschwindigkeit [km/h]	Material	Partikelgrösse [mm]	Kinetische Energie [J]
10	36	3.6	13	Holz	12	0.0065
10	36	3.6	13	Stein	2	0.0002
20	72	7.2	26	Holz	50	1.55
20	72	7.2	26	Stein	9	0.05
40	144	14.4	51.8	Holz	200	415
40	144	14.4	51.8	Stein	37	14

© 2007 VKF/AEAI

Die Schadenwirkung der Trümmer auf Gebäudefassaden kann anhand der Angaben im Kapitel Hagel für Energien bis ca. 50 J abgeschätzt werden. Für Energien über 50 J können heute noch keine konkreteren Werte angegeben werden, deshalb müssen die Angaben für Hagel mit entsprechender Vorsicht extrapoliert werden. Dieses Gefährdungsbild ist insbesondere bei sensiblen Fassadenkonstruktionen von Bedeutung.

Anprallkraft eines umstürzenden Baumes

Zur Anprallkraft eines stürzenden Baumes liegen keine Berechnungsgrundlagen vor. Eine Abschätzung kann über die Fallhöhe h_b der relevanten Baummasse nach der Impulsformel erfolgen. Die Geschwindigkeit wird über den freien Fall ohne Luftwiderstand angenommen. Wird angenommen, dass der Anprall 0.2 Sekunden dauert, so ergeben sich folgende Anprallkräfte für die beispielhaft angenommenen Baummassen und Fallhöhen:

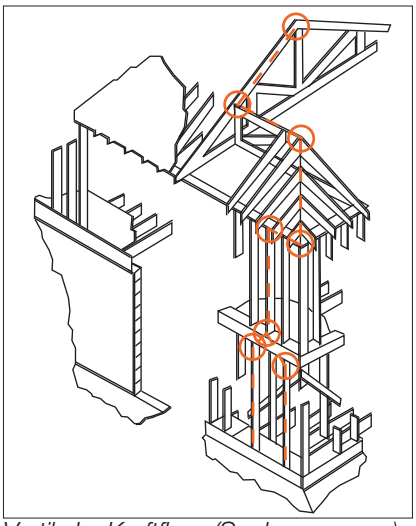
Fallhöhe	Baummasse	Anprallzeit	Anprallfläche	Kraft	Druck
12 m	500 kg	0.2 s	0.5 m²	38 kN	76 kN/m²
5 m	200 kg	0.2 s	0.3 m²	10 kN	33 kN/m²



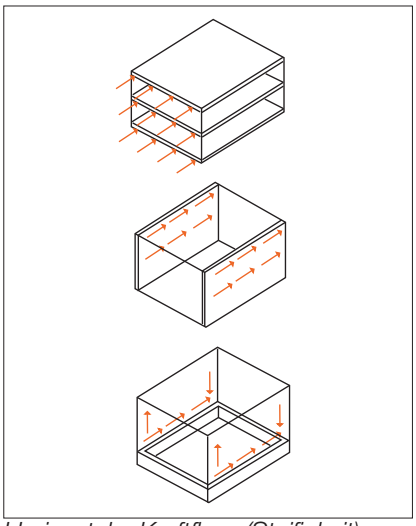
Beispiel eines Schadens durch den Sturz eines Baumes.

Kraftfluss von Dach bis Fundament (vertikal und horizontal)

Die ermittelten Kräfte aussen und innen des Gebäudes sind über die gesamte Konstruktion und deren Komponenten von Dach bis Fundament abzuleiten. Schadenfälle treten auf, wenn dieser Kraftfluss eine Lücke aufweist. Zum Beispiel zwischen Dachbedeckung und Gebäudedecke oder zwischen Pfosten und Fundament.



Vertikaler Kraftfluss (Sogbemessung)



Horizontaler Kraftfluss (Steifigkeit)

© 2007 VKF/AEAI

Die Teilbereiche der Bemessung sind in der folgenden Tabelle im Sinne einer Checkliste dargestellt:

Bemessung	Teilbereiche des Gebäudes
Berechnung der massgebenden Druck- und Sogkräfte	– Wahl des statischen Systems zur Beherrschung der Windkräfte – Ermittlung der Beanspruchung für die Elemente der Gebäudehülle
Nachweis des horizontalen Kraftflusses	– Für das Dach und die Deckenscheibe – Für den Lastabtrag von Deckenscheibe zu Wandscheibe – Für den Lastabtrag von Wandscheibe zu Bodenscheibe (1. Stockwerk) – Für den Lastabtrag von Bodenscheibe zu Wandscheibe (Parterre) – Für den Lastabtrag von Wandscheibe zu Fundation – Für die Reibung entlang der Seitenwände
Nachweis des vertikalen Kraftflusses	– Für den Lastabtrag von der Dachbedeckung zur Lattung – Für den Lastabtrag von der Lattung zur Dachkonstruktion – Für den Lastabtrag von der Dachkonstruktion zur Gebäudedecke – Für den Lastabtrag von der Gebäudedecke zu den Pfosten – Für den Lastabtrag von den Pfosten ins Fundament – Für den Lastabtrag vom Fundament in den Untergrund
Nachweis der Komponenten	– Für den Lastabtrag im Bereich von Fenster und Türen – Für die Bemessung von Fenster und Türen (evtl. gegen Anprall)

Akteure der Bemessung und ihre Verantwortung

Für die Bemessung auf Wind sind verschiedene Akteure verantwortlich, z.B.:

Dachdecker: Beanspruchung Dachbedeckung und Lastabtragung über Lattung und Unterdach

Zimmermann: Bemessung der Dachkonstruktion (Träger, Pfetten, Sparren, evtl. Lattung)

Bauingenieur: Gesamtstabilität des Gebäudes (Fundation, Tragwerk, Decken- und Wandscheiben)

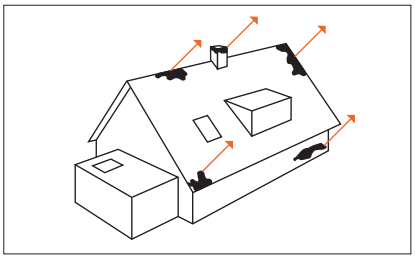
Geotechniker: Ermittlung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Der Projektleiter muss die Verantwortung für diese Bemessung an die Akteure übertragen und die entsprechenden Nachweise einfordern. Viele Schadenfälle sind auf Nachlässigkeiten bei diesen Nachweisen oder auf Lücken im Bereich der Schnittstellen zurückzuführen.

© 2007 VKF/AEAI

Versagen der Gebäudehülle

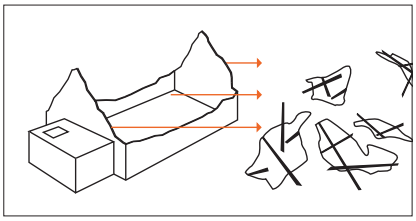
Elemente des Daches und der Fassade halten den wirkenden Sogkräften nicht stand. Diese Schadenart stellt die Hauptlast dar bei grossflächigen Ereignissen. Viele Gebäude erleiden kleine Schäden durch das Versagen einzelner, meist exponierter Elemente der Gebäudehülle.





Versagen der Dachkonstruktion

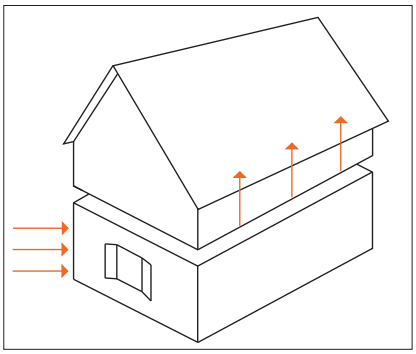
Das Versagen von ganzen Dachkonstruktionen ist oftmals auf spezielle Windverhältnisse zurückzuführen (im Bild: grosse Ebene). Bei Neubauten ist das Versagen der gesamten Dachkonstruktion sehr oft mit konstruktiven Mängeln verbunden.





Abheben des Gebäudes

Das Abheben des gesamten Gebäudes oder von Teilen davon tritt als Schadenart vor allem bei Leichtbauten auf. Das Holzchalet im Bild wurde oberhalb des Fensters bei einem Sturmereignis angehoben.

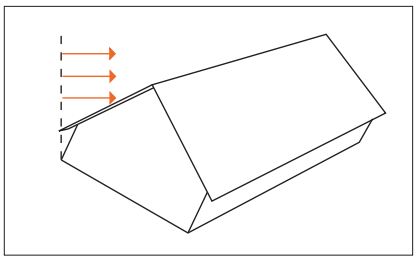




© 2007 VKF/AEAI

Versagen des gesamten Tragwerkes

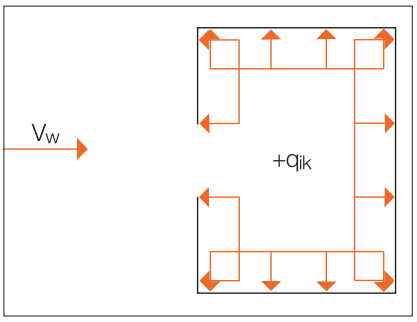
Das Versagen des gesamten Tragwerkes stellt in der Schweiz eine Ausnahme dar. Die im Bild dargestellte offene Holzbaukonstruktion hielt der Belastung durch den Orkan Lothar nicht stand. Die Überlagerung von Innendruck und Sogkräften führten zum Versagen der Tragkonstruktion.





Innendruck

Schäden durch Innendruck in Gebäuden sind in der Schweiz selten. Das Foto zeigt einen Schadenfall aus dem Kanton Freiburg. Ein Fenster hielt der Belastung durch den Winddruck des Tornados nicht stand. Als Folge davon kam es zu einem grossen Innendruck, welcher die Türe dieses Innenraumes aus der Verankerung riss.





© 2007 VKF/AEAI

Ungenügende Befestigungen

Der häufigste Grund für die beobachteten Schäden an Bedachungssystemen ist ein fehlender Nachweis der Windlastabtragung in die tragende Unterkonstruktion bei Neubauten oder Umbauten.

– Nicht ausreichende und falsche mechanische Befestigung der Bedachung auf der Unterkonstruktion speziell im Eck- und Randbereich, aber auch im Mittelbereich der Dachfläche
– Falsche Klebung zwischen Bedachung und Wärmedämmung bzw. zwischen Wärmedämmung und Unterkonstruktion
– Nicht ausreichende oder falsche Dachanschlüsse bzw. Dachrandeinfassungen
– Vernachlässigung des Gebäudeinnendrucks





Die Verwendung von Nägeln mit glatter Oberfläche anstelle von Schrauben oder zumindest Rillen- oder Schraubennägeln führte bei diesem Blechfalzdach zum Totalschaden. Die Verbindungen zwischen Dachhaut und Schalung, zwischen Schalung und Konterlatten, sowie zwischen Konterlatten und Sparrenpfetten werden oftmals nicht rechnerisch überprüft. Der Bauherr bzw. sein Vertreter ist aufgefordert, diesen Nachweis explizit vom Projektleiter resp. vom hiermit betrauten Fachmann zu verlangen.



Dieses Dach eines Neubaus wurde infolge einer unzureichenden Befestigung zwischen Konterlatten und Sparrenpfetten abgehoben und auf den Vorplatz geworfen (Personengefährdung!).



Vordächer ohne Deckunterlage sind der Sogbeanspruchung schon bei geringeren Windgeschwindigkeiten nicht gewachsen.

© 2007 VKF/AEAI

Vernachlässigter Unterhalt

Ein vernachlässigter Unterhalt von Dach, Fassade, Türen, Klappläden, Storen und Fenstern stellt Schwachstellen dar, welche grössere Folgeschäden auslösen können. Fehlende oder defekte Ziegel, fehlende Sturmklammern, Undichtigkeiten am Dach, faulende Ort- und Traufbretter, defekte Kaminhüte sowie defekte Fassaden sind die häufigsten Mängel.





Unsachgemässer Umbau

Durch Veränderungen an tragenden Wänden oder Stützen wird oft das statische Gleichgewicht gestört. Werden wichtige Teile der Gebäudeaussteifung entfernt und nicht mehr ersetzt oder geschwächt, so entstehen zusätzliche Belastungen auf bestehende Bauteile, die bei der Bemessung nicht berücksichtigt wurden.



Umbau mit ungenügend bemessenen Verbindungsmitteln.



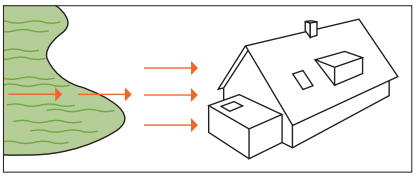
Schwächung des Tragwerks durch entfernten Balken.

© 2007 VKF/AEAI

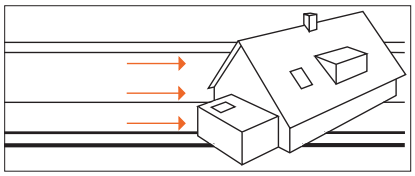
Topographischer Gebäudestandort

Die Wahl des Gebäudestandortes beeinflusst die Windbeanspruchung. Topographische Standorte mit erhöhter Windbeanspruchung sind (vgl. SIA 261 und Zimmerli / Hertig 2006):

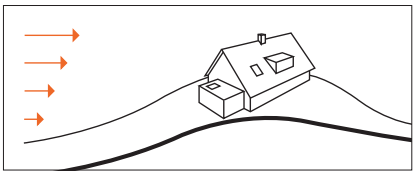
Seeufer



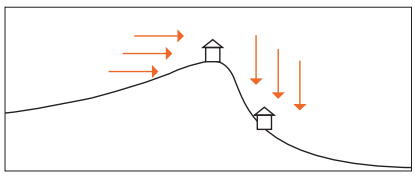
grosse Ebene



Kuppe

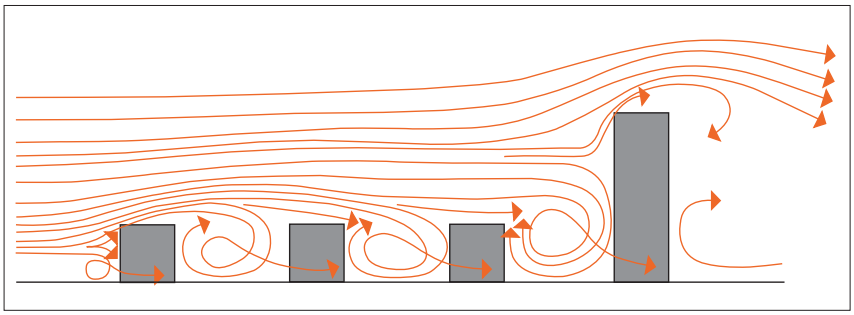


Bergkamm/Steilabhang



Gebäudehöhe und umgebende Bebauung / Bepflanzung

Die Wahl der Gebäudehöhe beeinflusst direkt das Mass der Windbeanspruchung. Neben der absoluten Höhe ist die relative Höhe gegenüber der umgebenden Bebauung von Bedeutung. Ordnet sich das Gebäude in vergleichbarer Höhe wie die Nachbarsbauten ein, so herrscht eine abgeminderte Windbeanspruchung.
In der Nähe von Hochhäusern treten Wirbel auf, welche bei der Bemessung zu berücksichtigen sind.



© 2007 VKF/AEAI

Empfehlungen zur Vermeidung hoher Windgeschwindigkeiten in Bodennähe

Die folgenden Empfehlungen geben Anhaltspunkte, wie unerwünschte hohe Windgeschwindigkeiten in Bodennähe verhindert werden.

1. Vermeidung von Gebäudehöhen, welche grösser als das Doppelte der Höhen von umliegenden Bauten sind.
2. Je mehr sich der Grundriss eines Gebäudes der Kreisform nähert, desto günstiger werden die Verhältnisse am Boden, weil dadurch die Abwärtsströmung auf der Frontfläche wesentlich reduziert wird. Wird das lange Rechteck als Grundriss gewählt, so sollte die Hauptwindrichtung mit der Längsseite des Gebäudes zusammenfallen.
3. Falls ein Scheibenhochhaus normal zur Hauptwindrichtung errichtet wird, kann die Bodenzone durch Vorbauten oder Dächer mit genügenden Abmessungen abgeschirmt werden.
4. Zwischenräume zwischen Gebäuden und auch Durchgänge sollten nicht in der vorherrschenden Windrichtung orientiert sein.
5. In Durchgängen kann durch die geeignete Anordnung von Windschutzschirmen und durch Bäume eine Reduktion der Geschwindigkeit erzielt werden.

Gebäudeausrichtung

Die Gebäudeausrichtung ist bei windexponierten Lagen zu überprüfen. Insbesondere bei Pultdächern reduziert sich die Windbelastung massgeblich durch eine günstige Anordnung in Bezug auf die Hauptwindrichtung.



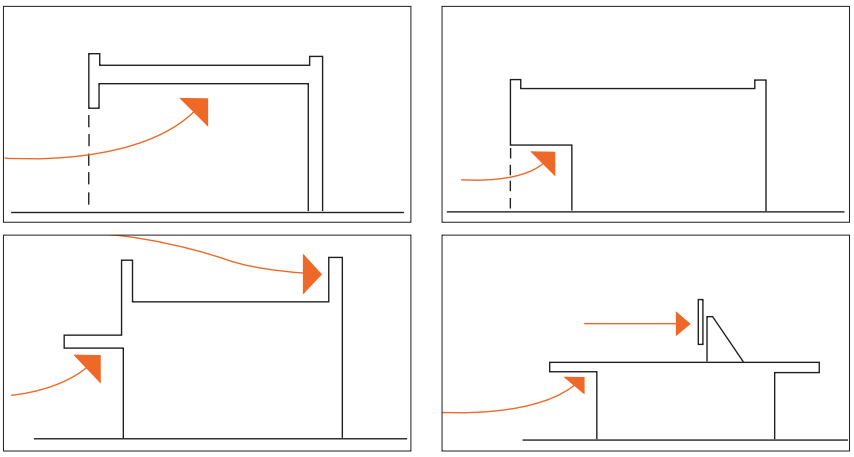


Beispiel eines zur Hauptwindrichtung (Giebel) parallel ausgerichteten Gebäudes. Die windzugewandte Front (linkes Bild) weist einen kurzen Dachvorsprung und Fenstervorbauten auf während die windabgewandte Seite (rechtes Bild) einen längeren Dachvorsprung und seitliche Wandverlängerungen aufweist.

© 2007 VKF/AEAI

Gebäudeform

Je mehr sich die Gebäudeform einer Kugel nähert, desto geringer werden die angreifenden Windkräfte. Die folgenden Darstellungen zeigen ungünstige Gebäudeformen, welche einer gesonderten Bemessung bedürfen.



Dachform

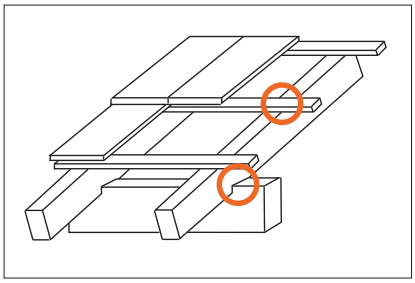
Die Wahl der Dachform beeinflusst in grossem Masse die resultierenden Winddruck- und Windsogkräfte. Mit Hilfe der Norm SIA 261 können für verschiedene Dachformen die lokalen und globalen Kräfte ermittelt werden.

© 2007 VKF/AEAI

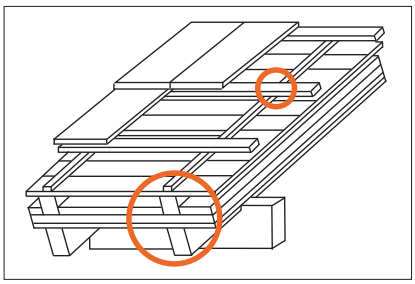
Steildach

Lastabtragung von der Dachdeckung zum Haupttragwerk
(nach Schunck et al. 2002)
Die an der Dachfläche angreifenden Lasten müssen über die einzelnen Konstruktionselemente in das Haupttragwerk und bis in den Baugrund abgeleitet werden. Dabei ist zwischen tragenden und nicht tragenden Elementen zu unterscheiden. Flächig verteilte Lasten werden in Linienlasten oder Einzellasten überführt. Die Spannrichtungen können von Element zu Element wechseln. Es kommen einachsige und zweiachsige Lastabtragungen vor. Die Durchlässigkeit der Dachhaut bestimmt die Hinterlüftung und somit den Ort und das Mass der Krafteinwirkungen.

Dachdeckung über einem offenen Dach
Die einzelnen Schuppen nehmen die flächig verteilten Lasten auf und geben sie als Linienlast an die Dachlatten ab. Diese laufen über mehrere Sparren hinweg und haben das statische System eines Durchlaufträgers. Die Sparren erhalten aus den Dachlatten Einzelkräfte, die sie über eine bestimmte Spannweite auf die Pfetten abtragen. Jedes Element hat tragende Funktion! Die Verbindungsmittel müssen sicherstellen, dass die Kräfte bis zum Haupttragwerk weitergeleitet werden.

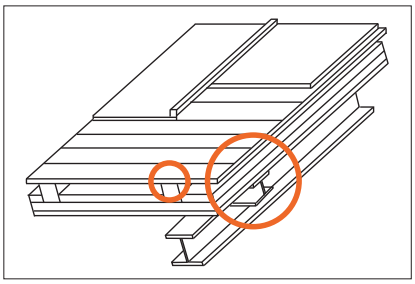


Dachaufbau mit Schuppen und überlüfteter Wärmedämmung über dem Tragwerk
Die einzelnen Schuppen nehmen die flächig verteilten Lasten auf und geben sie als Linienlast an die Dachlatten ab. Die Dachlatten geben ihre Lasten über die Lüfterlatte und die Schalung auf die Lüftersparren ab. Die Lüfterlatte und die Schalung liegen direkt und kontinuierlich auf dem Lüftersparren auf. Sie sind untereinander so zu verbinden, dass alle Kräfte übertragen werden können. Der Lüftersparren ist in kurzen Abständen auf den Abstandspfetten gelagert und hat eine entsprechende Spannweite zu überbrücken. Die Abstandspfette überträgt die Last durch die untere Schalung auf die tragenden Sparren. Die Abstandspfette hat keine Spannweite zu überbrücken. Die obere und untere Schalung werden in diesem Fall als nicht tragend bezeichnet.



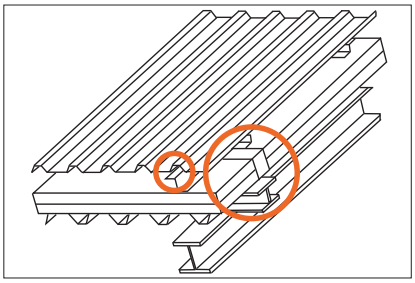
© 2007 VKF/AEAI

Metallbänder auf Vordeckung und Schalung mit belüfteter Wärmedämmung
Die Metalldeckung liegt flächig



auf der Schalung, welche in diesem Fall tragend ist. Sie trägt die äusseren Lasten und spannt als Durchlaufsystem von Lüftersparren zu Lüftersparren. Letztere liegen auf den Schwellen auf, die wiederum kontinuierlich auf den Pfetten aufliegen. Die Lüftersparren sind somit die tragenden Elemente, welche die Spannweite zwischen den Pfetten überwinden. Die untere Holzwerkstoffplatte ist nicht tragend.

Metallplatten mit unterlüfteter Deckung und Unterdeckung auf Wärmedämmung



Das deckende Trapezblech nimmt die äusseren Lasten auf. Es spannt in Richtung der Dachneigung und liegt auf horizontalen, in kurzen Abständen angeordneten Tragblechen. Diese wiederum liegen auf den Abstandsprofilen, die von Lagerholz zu Lagerholz spannen. Die Lagerhölzer verteilen die Lasten auf das untere, tragende Trapezblech. Dieses ist somit das tragende Bauteil, welches die Spannweite von Pfette zu Pfette überbrückt.

Bedachungen

Verstärkungen der Bedachung sind in den Rand-, Giebel- und Eckbereichen notwendig. Hersteller und Berufsverbände weisen teilweise auf die notwendigen Befestigungen hin (vgl. Anhang).





Sturmklammern, Verschraubungen, Vermörtelungen, Ortgangziegel und Randverschalungen schützen die gefährdeten Bereiche gegen Sogkräfte. Diese Aufzählung ist nicht abschliessend. Neue innovative Lösungen zur Handhabung der Sogkräfte sind denkbar.

© 2007 VKF/AEAI

Sogsicherung bei Holzkonstruktionen (Blockbauweise)
Mittels Stahlseilen werden die Sogkräfte, welche am Dachvorsprung angreifen, in das Fundament abgeleitet.

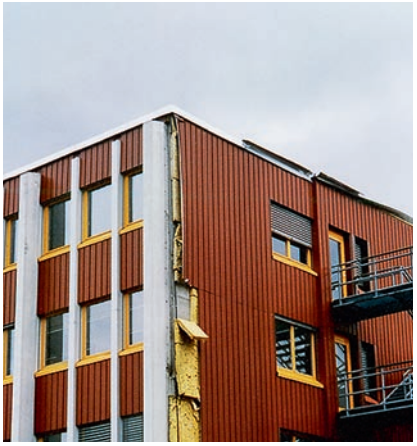






Fassaden

Verankerung von Aussenwandbekleidungen
Fassaden sind im Bereich der Gebäudekanten durch hohe Sogkräfte gefährdet. Die Norm SIA 261 ermöglicht eine konkrete Bemessung speziell für diesen Gebäudeteil.







Sturmwindschäden an Gebäudekante infolge hoher Sogkräfte.

© 2007 VKF/AEAI

Fenster und Glasflächen allgemein

Fenster und Türen sind auf die wirkenden Druck- oder Sogkräfte zu bemessen. Türen sind von aussen anzuschlagen. Bei Fenstern muss die auftretende Last über die Scheibe auf den Rahmen und von diesem auf die angrenzende Konstruktion abgetragen werden können. Mittels teilvorgespanntem Glas sind schlanke Konstruktionen selbst bei hohen Winddrücken möglich. Ist mit dem Anprall von Trümmern zu rechnen, so ist Verbundsicherheitsglas als Personenschutz zu verwenden. Einen effektiveren Schutz vor Trümmeranprall bieten schliessbare Läden und sturmsichere Lamellenstoren.

Kamine, Schornsteine, Antennen

Hohe Maste und Schornsteine sind wegen ihrer schlanken Form in der Regel schwingungsanfällig und müssen deshalb sicher verankert werden, zum Beispiel durch Abspannung. Diese Aufbauten sind überdies verantwortlich für erhöhten Sog im näheren Umfeld.
Den Abspannungen kommt hinsichtlich der Standsicherheit eine besondere Bedeutung zu. Erforderlich ist deshalb die:
– Sicherstellung eines dauernd wirksamen Korrosionsschutzes.
– Regelmässige Überprüfung der Abspannung samt ihrer Verankerung.



Abgerissener Kaminhut



Abgerissene Satellitenantenne

Vordächer / Unterstände

Unterstände und Vordächer erleiden oft einen Totalschaden infolge einer Überlagerung der Sogkraft von oben und der Druckkraft von unten. In der Norm SIA 261 sind für unterschiedliche Verhältnisse von Vordachhöhe zu Vordachauskragung die Druckbeiwerte aufgelistet.







© 2007 VKF/AEAI

Garagen

Garagen und deren Tore sind wie ein Gebäude auf die Windbeanspruchung zu bemessen. Leichtbauweisen sind insbesondere gegen Abheben bei geöffnetem Tor zu sichern.

Solarzellen

Die Belastung von Solarzellen ist entsprechend ihrer Anordnung auf dem Dach oder an der Fassade gesondert zu überprüfen.

Spezialuntersuchungen für besondere Gebäudeformen

Für sehr hohe Gebäude, offene Bauten, flexible Bauweisen und unübliche aerodynamische Formen sind Spezialuntersuchungen und eventuell Tests im Windkanal empfehlenswert.



Dachverschalungen

Extreme Windbelastungen bei exponierten Standorten (Kuppen, Berggipfel) können abgemindert werden, indem Dachvorsprünge wie hier im Bild verschalt werden.









Schutz von Öffnungen

Gefährdungsbild Wind:
Lichtkuppeln können neben den äusseren Sogkräften zusätzlich durch Innendruck belastet sein.

Die Befestigungen sind entsprechend dieser Kraftüberlagerung sowohl im geschlossenen als auch im geöffneten Zustand zu bemessen.

Gefährdungsbild Wind und Regen:
Bei exponierten Fenstern sollte ein konstruktiver Wetterschutz vorgesehen werden.



© 2007 VKF/AEAI

Traglufthallen

Bei Traglufthallen kommt es immer wieder zu schweren Sturmschäden, wenn der Innendruck nicht rechtzeitig erhöht wird. Aus diesem Grunde gelten für Traglufthallen folgende Regeln für die Schadenverhütung:

– Es sind mindestens 2 Gebläse zu installieren, damit der Innendruck bei Sturm rasch erhöht und bei Ausfall eines Gerätes aufrechterhalten wird.
– Die Gebläsesteuerung sollte zweckmässigerweise mit einem Windmessgerät gekoppelt werden, so dass bei Erreichen kritischer Windgeschwindigkeiten eine automatische Druckerhöhung ausgelöst wird.
– Es sind Notstromgeneratoren für die Gebläse vorzusehen, da bei grösseren Sturmereignissen häufig die Stromversorgung unterbricht.

Zelte

Die Zeltbespannung und ihre zugfeste Verankerung im Untergrund sind regelmässig zu überprüfen und bei Feststellung von Mängeln umgehend instand zu setzen. Andernfalls kann die Zeltbespannung unter starkem Winddruck reissen und zur Zerstörung des gesamten Zeltes führen.



Gerüste / Notdächer

Um Schäden zu vermeiden, sind folgende Vorsichtsmassnahmen zu treffen:

– Zug- und druckfeste Verankerung an den tragenden Bauteilen der Bauwerke.
– Erhöhte Sicherungsmassnahmen bei Verwendung von Schutzfolien.

Weitere Angaben finden sich in der «Checkliste Fassadengerüste» der SUVA (vgl. Verzeichnis von Technischen Richtlinien im Anhang).



Krane

Um die Sturmsicherheit von Kränen zu gewährleisten, sind folgende Massnahmen zu treffen:

– Die Tragfähigkeit des Untergrunds, vor allem auch im Hinblick auf die stark einseitige Sturmbelastung des Krans, prüfen; notfalls Sicherung durch Seilabspannungen.
– Drehgestelle sind bei Nichtbenutzung in den Leerlauf zu schalten, damit der Ausleger bei Windangriff keinen Widerstand bietet.
– Regelmässige Kontrolle der mechanischen Teile auf Korrosion, Abnützung oder andere Mängel.
– Periodische Instandhaltung und Mängelbehebung

Weitere Angaben finden sich in der «Checkliste Krane auf Baustellen» der SUVA (vgl. Verzeichnis von Technischen Richtlinien im Anhang).

© 2007 VKF/AEAI

1
2
3
4
5
6
7

Leichtkonstruktionen

Leichtkonstruktionen sind nach Möglichkeit vor angekündigten Sturmereignissen zusätzlich zu sichern und alle Öffnungen sind zu schliessen.



Spezielle Vorkehrungen während den Bauarbeiten

Auf Baustellen sind freistehende Wände abzustützen. Leichte zwischengelagerte Baumaterialien sind mittels Gurten zu sichern, damit diese bei Sturmereignissen nicht zu Trümmeranprall führen. Sturmvorhersagen sind über verschiedene Warndienste abonnierbar.
Umgekipptes freistehendes Mauerwerk nach Sturmereignis.



Sonnenstoren / Markisen

Sonnenstoren sind nicht sturmresistent und müssen vor aufkommendem Wind eingezogen werden. Dies erfolgt kontrolliert mit Hilfe eines Windwächters (Windmessung: auf Bild an der Wandecke über den Storen) kombiniert mit einem Sonnenwächter oder mittels Warnung.



© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombinationen

Im Folgenden werden für jedes Gefährdungsbild mögliche Massnahmenkombinationen für bestehende Bauten und für Neubauten vorgestellt. Nur durch die Kombination der vorgestellten Massnahmen der Konzeption, Verstärkung und Abschirmung ergibt sich eine wirkungsvolle Risikoverminderung. Beschrieben werden ausschliesslich Massnahmen am Objekt. Daneben sind auch Massnahmen in der Umgebung zur Reduktion der Gefährdung denkbar (Sicherung und/oder Wegräumen potenzieller Trümmer und Bäume).

		Massnahmen											
		Konzeption					Verstärkung				Abschirmung		
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Gebäudestandort	Gebäudehöhe	Gebäudeausrichtung	Gebäudeform	Dachform	Dach / Vordach	Tragwerk	Fassade	Öffnungen	Verschalung	Öffnungen
		Bestehendes Gebäude										
A	1						●	●	●			
B	1										●	
C	2						●	●		●		
D	3						●					
E	4								●			●
F	5						●	●				
		Neubau										
G	1	●	●	●	●	●	●	●				
H	2	●	●	●	●	●	●	●		●		
I	3			●			●					
J	4								●			●
K	5						●	●				

© 2007 VKF/AEAI

1	Massnahmenkombination A «Verstärkung»	Die Gebäudehülle und gegebenenfalls das Tragwerk werden im Rahmen eines Umbaus verstärkt.	
2	Massnahmenkombination B «Verschalung»	Exponierte Dachvorsprünge werden verschalt, damit keine Überlagerung der Druckkräfte von unten und der Sogkräfte von oben entsteht.	
3	Massnahmenkombination C «Verstärkung bei Innendruck»	Die Gebäudehülle und gegebenenfalls das Tragwerk und die Öffnungen werden im Rahmen eines Umbaus verstärkt. Hierbei bildet der mögliche Innendruck	ein zusätzliches Gefährdungsbild, welches bei der Bemessung zu berücksichtigen ist.
4	Massnahmenkombinationen D und I «Verstärkung bei Dachüberständen»	Die Dachüberstände werden verstärkt ausgebildet, da diese im ungünstigen Fall von den Druckkräften von unten und von den Sogkräften von oben belastet sind.	Beim Neubau wird diesem Gefährdungsbild zusätzlich durch eine günstige Gebäudeausrichtung begegnet.
5	Massnahmenkombinationen E und J «Verstärkung und Abschirmung bei Trümmeranprall»	Die Gebäudehülle wird verstärkt und die Öffnungen werden abgeschirmt, so dass diese geschützt sind vor einem Trümmeranprall.	
6	Massnahmenkombinationen F und K «Verstärkung bei Baumsturz»	Das Tragwerk und die Dachkonstruktion werden verstärkt ausgebildet, so dass diese einem allfälligen Baumsturz einen grösseren Widerstand bieten.	
7	Massnahmenkombinationen G und H «Neubau»	Beim Neubauentwurf werden die konzeptionellen Kriterien (Standort, Gebäudehöhe, Ausrichtung, Gebäude- und Dachform) in die Planung miteinbezogen. Gebäudehülle und Tragwerk werden gemäss den Anforderungen ohne oder mit Innendruck bemessen.	

© 2007 VKF/AEAI

Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse

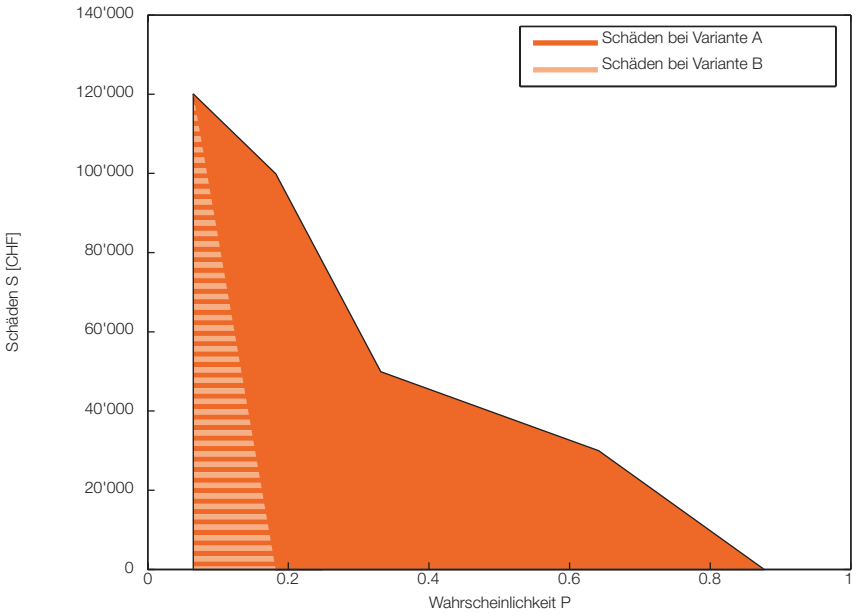
Kosten

Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Windsoges bei Dächern mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen. Die Methodik ist im Anhang E der vorliegenden Wegleitung detailliert beschrieben.

Ein Industriebetrieb in der Region Mittelland erstellt eine Montagehalle mit Blechdach. Als Verbindungsmittel zwischen Konterlattung und Sparrenpfetten werden ohne Objektschutzmassnahme glattschaftige Nägel verwendet (Variante A). Werden anstelle dieser glattschaftigen Nägel ordnungsgemäss Schrauben verwendet (Variante B), so entstehen durch diese Objektschutzmassnahme Mehrkosten an Arbeitszeit und Material von CHF 3'000.-.
Berechnung:
Mehrkosten k = CHF 3'000.-,
Zinssatz z = 3%, Lebensdauer n = 20 Jahre
Verzinste Mehrkosten K = 3000 x (1.03^{20}) = CHF 5'418.-

Nutzen

Als Nutzen werden der verhinderte direkte Schaden (weggerissenes Blechdach) und die indirekten Schäden infolge der Beschädigungen in der Nachbarschaft und der Betriebsunterbruch eingerechnet. Es wird angenommen, dass der Schadensbeginn ohne Objektschutzmassnahmen (Variante A) bei einem 10-jährlichen Windereignis und mit Objektschutzmassnahmen (Variante B) bei einem 100-jährlichen Windereignis liegt. Der Nutzen wird für einen Betrachtungshorizont von 20 Jahren berechnet.
Gemäss Anhang E resultiert ein Nutzen von CHF 33'066.-.



Kosten-Nutzen-Vergleich

Als Kosten-Nutzen-Vergleich werden nun die Kosteneinsparungen dem Nutzen gegenübergestellt.
Kosten / Nutzen = CHF 5'418.-/ CHF 33'066.- = 0.164
Dies bedeutet, dass die Mehrkosten aufgrund der Objektschutzmassnahmen aus ökonomischer Sicht sehr wirtschaftlich sind.
Da ohne Objektschutzmassnahmen bereits bei einem Windereignis der Wiederkehrperiode von 20 Jahren mit ersten Schäden zu rechnen ist, fällt der Schadenerwartungswert im Betrag von CHF 40'115.- sehr hoch aus.
Bei einer normkonformen Bemessung nach SIA 261 ist anzunehmen, dass selbst ein Windereignis der Wiederkehrperiode von 100 Jahren ohne Schadenfolge für das Gebäude ist (Variante B). Die Mehraufwendungen von CHF 5’418.- stehen somit in sehr günstigem Verhältnis zur verhinderten Schadenerwartung von CHF 33’066.-.

© 2007 VKF/AEAI

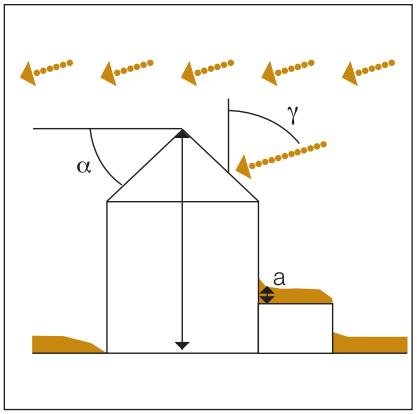
© 2007 VKF/AEAI

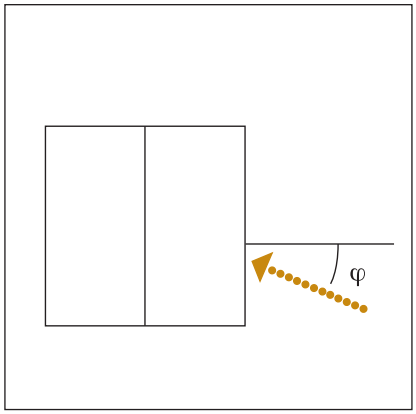


© 2007 VKF/AEAI

Bezeichnungen

k [mm]: Durchmesser Hagelkorn
γ [°]: Einfallwinkel vertikal
φ [°]: Einfallrichtung horizontal
α [°]: Dachneigung
ρ_h [kg/m^3]: Dichte von Hageleis
ρ_l [kg/m^3]: Dichte von Luft
c_d [-]: Luftwiderstandsbeiwert
v_f [m/s]: Vertikale Fallgeschwindigkeit Hagelkorn (ohne Windeinfluss)
v_h [m/s]: Horizontale Geschwindigkeit Hagelkorn infolge Windeinfluss
v_w [m/s]: Windgeschwindigkeit (Böen)
v_{fw} [m/s]: Fallgeschwindigkeit Hagelkorn mit Windeinfluss
v_{AS} [m/s]: angenäherte kleinste Schädigungsgeschwindigkeit (Labor)
T [h]: Hageldauer
a [m]: Akkumulationshöhe
q_a [N/m^2]: Auflast der Hagelablagerung
m [kg]: Masse einer Einzellast
E_k [J]: Kinetische Energie eines Hagelkorns
E_T [J/m^2]: Totale kinetische Hagelenergie pro Teilfläche und Ereignis
W_{AS} [J]: Angenäherte kleinste Schädigungsarbeit (Labor)
g [m/s^2]: Erdbeschleunigung (10 m/s^2)





Charakterisierung

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

Hagelgewitter
Ohne Gewitter kein Hagel. Umgekehrt gibt es viele Gewitter ohne Hagel, wenn entweder die atmosphärischen Bedingungen für eine Hagelbildung nicht ausreichen oder die Hagel- bzw. Graupelkörner klein sind oder schmelzen und den Erdboden nur mehr als Platzregen erreichen. Als grobe Faustformel gilt, dass die Hagelhäufigkeit etwa ein Zehntel der Gewitterhäufigkeit beträgt. Am grössten ist die Hagelgefahr in Gebieten, in denen trockenkalte und feuchtwarme Luftmassen aufeinanderstossen, und in Gebirgsregionen, wo die Konvektion durch Bergmassive zusätzlich verstärkt wird.
Die plötzlichen und intensiven vertikalen Umlagerungen in der Atmosphäre, aus denen sich die Gewitter entwickeln, entstehen entweder bei starker Sonneneinstrahlung über heissen Landflächen oder beim Aufeinandertreffen unterschiedlicher Luftmassen, vor allem bei der Beendigung sommerlicher Hitzeperioden durch eine grossräumig vordringende Kaltfront. Voraussetzung ist dabei eine labile Schichtung der Atmosphäre.
Zur Entstehung grosser Hagelkörner sind entsprechend hohe Aufwinde in der Gewitterwolke notwendig. Werden die Körner in der Schwebe gehalten, so können sie der umströmenden Wolkenluft

© 2007 VKF/AEAI

die enthaltenen Wassertröpfchen und Eiskristalle entziehen und weiterwachsen. Die Aufwinde sind meist in engen Schloten innerhalb des Gewitters konzentriert. Wenn der Auftrieb in einem Aufwindschlot plötzlich nachlässt, dann fällt die vorher in Schwebe gehaltene Tropfen- und Hagelmasse schlagartig aus. Dasselbe Gewitter kann mehrere, räumlich voneinander abgesetzte Hagelschläge auslösen. Ein Hagelzug oder Hagelstrich, wie das zusammenhängende Hagelgebiet genannt wird, erstreckt sich im Normalfall über eine Länge von wenigen Kilometern und einer Breite von weniger als einem Kilometer.

Hagelschaden-Skala

In Anlehnung an die Torroskalen (vgl. Risk Frontiers Australia) mit Anpassungen für die Schweiz veranschaulicht die folgende Tabelle die Schadenwirkung von Hagel bei unterschiedlichen Korngrössen.

Intensitätsklasse	Durchmesser k Hagelkorn	Schadenbeschreibung
H0	[5 mm]	Hagelschlag, Grösse der Körner wie Erbsen, kein Schaden
H1	[5-15 mm]	Blätter mit Löchern, abgeschlagene Blütenblätter
H2	[10 - 20 mm]	Blätter von Bäumen und Pflanzen abgeschlagen, Gemüse, Früchte und Getreide mit Druckstellen und Verletzungen, Gemüseblätter zerfetzt.
H3	[20 – 30 mm]	Einige wenige Glasscheiben in Treibhäusern, Glasglocken und/oder Oberlichter zerbrochen; Kerben bei Holzzäunen; Farbe auf Fenstersimsen abgekratzt; Dellen an Wohnwagen; Löcher in Plexiglasdächern; Segeltuch (z.B. Zelte) zerrissen; Getreidehalme gebrochen und Samen zermalmt, Früchte aufgeplatzt/zerschlagen.
H4	[25 – 40 mm]	Einige Fensterscheiben bei Häusern und/oder Windschutzscheiben bei Fahrzeugen geborsten und/oder grosse Rissbildung. Treibhäuser weitgehend beschädigt, einige Dachpappendächer mit Löchern; Farbschäden an Wänden und Fahrzeugen; weiche Karosserien mit sichtbaren Einschlägen (Beulen); kleine Äste an Bäumen abgeschlagen; ungeschützte Vögel und Geflügel getötet; deutliche Einschläge auf festem Boden.
H5	[30 – 50 mm]	Einige Schiefer und Tonziegel zerbrochen; viele Fenster eingeschlagen; Glasziegeldächer und verstärkte Fensterscheiben zerbrochen; sichtbare Dellen an Fahrzeugen im Freien; Aussenhülle von Kleinflugzeugen mit Dellen; Risiko von ernsthaften oder tödlichen Verletzungen für Kleintiere; Baumrinde in Streifen aufgerissen; Holzteile mit Dellen und Splitter; grosse Äste von Bäumen abgerissen.
H6	[40 – 60 mm]	Viele Schieferplatten und Tonziegel (ausgenommen Betonziegel) zerbrochen; Schindel- und Strohdächer aufgerissen. Wellblechdächer und einige Metalldächer 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.

© 2007 VKF/AEAI

Hageldauer

Die Dauer des Hagelschlages beeinflusst die Grösse der totalen kinetischen Hagelenergie und die Akkumulationshöhe der Hagelablagerungen. Mit zunehmender Hageldauer kann eine plötzliche Abkühlung der betroffenen Gebäudeoberfläche eintreten. Das Materialverhalten ist diesbezüglich zu untersuchen (Festigkeitsverlust, spröder Bruch).

Einfallrichtung und Einfallwinkel

Die Einfallrichtung bestimmt die betroffenen Fassaden eines Gebäudes. Der Einfallwinkel bestimmt die Intensität der Einwirkung. Bei senkrechtem Anprall zur Oberfläche ist die Belastung für das Bauteil am grössten. Während eines Hagelereignisses können sich die Einfallrichtung und der Einfallwinkel ändern. Im Extremfall ist eine allseitige Einwirkung auf Fassade und Dach möglich.

Hagelkornformen

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

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



Hagelkorn des Sturmes vom 24.06.2002 über Zürich mit scharfkantigen Auswölbungen.

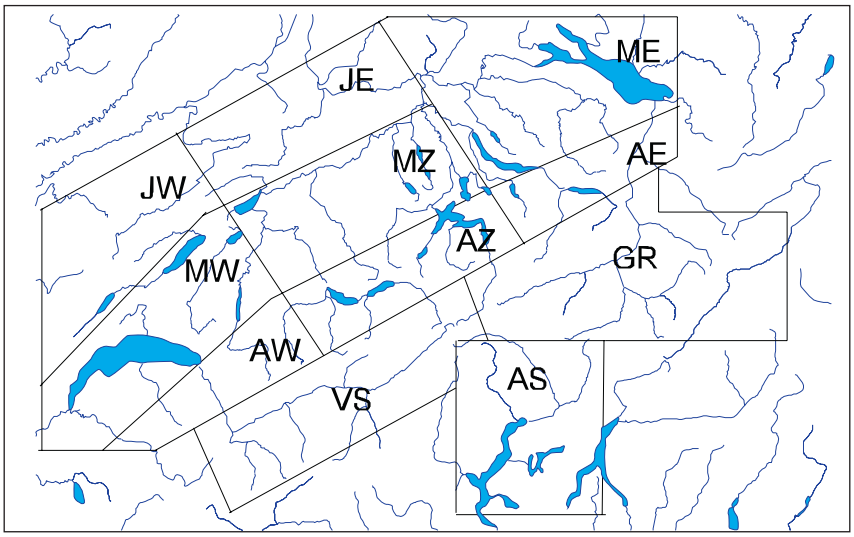
Hagelkorngrössen und deren Wiederkehrperiode

Die folgende Tabelle stellt die Mindesthagelkorngrössen in [mm] unterschiedlicher Wiederkehrperioden (WP) für verschiedene Klimazonen der Schweiz dar (Schiesser 2006). Es zeigt sich, dass bei einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren mit Hagelkorngrössen von mindestens 30 bis 40 mm gerechnet werden muss. Lediglich im Wallis und im Kanton Graubünden ist mit Hagelkörnern der Grösse von 10 bis 20 mm zu rechnen. Die entsprechenden Intensitätskarten finden sich im Anhang.

WP	Jura		Mittelland			Alpen			Tessin	VS[1]	GR[1]
[Jahre]	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

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

© 2007 VKF/AEAI



Die Klimazonen zur Hagelintensitätstabelle: JW (Jura West), JE (Jura Ost), MW (Mittelland West), MZ (Mittelland Zentral), ME (Mittelland Ost), AW (Alpen West), AZ (Alpen Zentral), AE (Alpen Ost), AS (Alpen Süd, Tessin).

Akkumulationshöhe

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



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

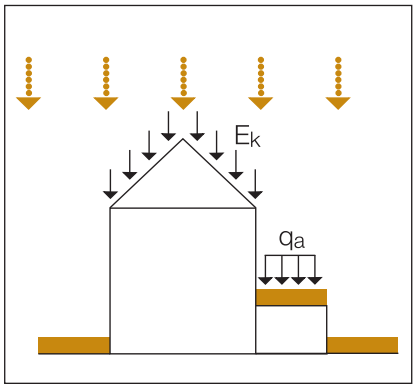
Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung bedarf es Angaben zur **Hagelkorngrösse**. Die Hagelkorngrösse kann aus der Hagelintensitätskarte entnommen werden (vgl. Hagelintensitätskarte im Anhang).

© 2007 VKF/AEAI

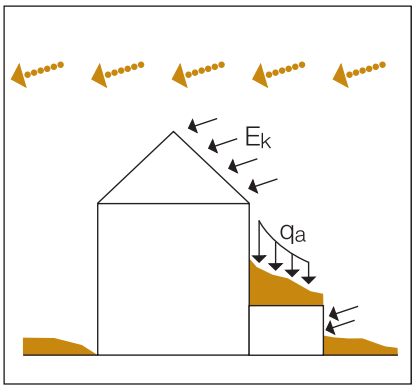
Gefährdungsbild 1: Hagel ohne Wind

Der vertikale Einfallwinkel γ ist im Bereich 0° – 20° anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Hagelkörner entspricht der freien Fallgeschwindigkeit und ist abhängig vom Durchmesser k des Hagelkorns, vom Luftwiderstandsbeiwert c_d und der Dichte von Hageleis ρ_h. Hauptsächlich auf die Dachflächen wirken der direkte Hagelanprall E_k und die gleichförmig verteilte Akkumulation der Hagelkörner q_a ein.



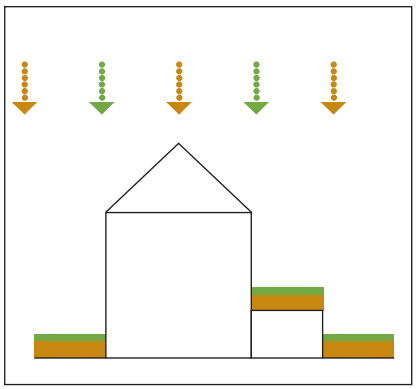
Gefährdungsbild 2: Hagel mit Wind

Der vertikale Einfallwinkel γ ist im Bereich 30° – 50° anzunehmen. Die Geschwindigkeit der Hagelkörner entspricht der Kombination von freier Fallgeschwindigkeit und windbeeinflusster horizontaler Hagelkorngeschwindigkeit. Auf die Dachflächen und die Fassaden wirken der direkte Hagelanprall E_k und die ungleichförmig verteilte Akkumulation der Hagelkörner q_a ein.



Gefährdungsbild 3: Hagel mit Starkregen

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



© 2007 VKF/AEAI

Kinetische Energie eines Hagelkorns

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

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

Vertikale Fallgeschwindigkeit eines Hagelkorns ohne Windeinfluss

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

$$v_f = \left[\frac{4 \cdot \rho_h \cdot k \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot c_d}\right]^{\frac{1}{2}}$$

, wobei k in [m] in nebenstehender Formel einzusetzen ist.

Die Endgeschwindigkeit und die kinetische Energie der Hagelkörner können der folgenden Tabelle entnommen werden.

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

Die Tabelle zeigt die zu erwartenden Endgeschwindigkeiten, Massen und Energien für verschiedene Korndurchmesser und Annahmen bzgl. Dichte und Luftwiderstandskoeffizient. (Strömungswiderstand Luft: $c_d = 0.50$, Dichte der Luft $\rho_l = 1.2$ kg/m^3, Dichte des Hagelkorns $\rho_h = 870$ kg/m^3)

Horizontale Geschwindigkeit eines Hagelkorns infolge Windeinflusses

Aufgrund von realen Fallgeschwindigkeitsanalysen ist bekannt, dass die horizontale Geschwindigkeit der Hagelkörner im Mittel rund einen Drittel der vertikalen Fallgeschwindigkeit beträgt. Je nach Grösse der Sturmböen sind höhere horizontale Geschwindigkeiten möglich. Gemäss den Ausführungen im Kapitel Sturm ist ersichtlich, dass kugelförmige Trümmer eine horizontale Geschwindigkeit von einem Drittel der Windgeschwindigkeit (Böen) annehmen können.

Auflast der Hagelablagerung

Die Auflast der Hagelablagerung auf Bauten ist:

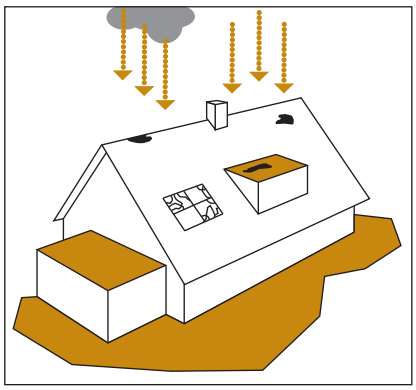
$q_a = a \cdot \rho_h \cdot g$ [N/m^2]

Totale Hagelenergie

Die totale Hagelenergie pro m^2 sämtlicher Hagelkörner während eines Ereignisses in [J/m^2] ist ein weiterer sehr oft verwendeter Parameter zur Beschreibung der Hagelintensität. Diese totale Hagelenergie kann anhand von Radardaten abgeschätzt werden.

© 2007 VKF/AEAI

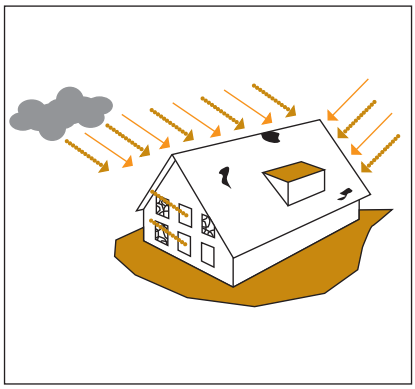
Hagel ohne Wind



Bei Hagelereignissen ohne Wind tritt die Hauptschadenlast an Dächern auf und es werden nur wenige Schäden an der Fassade verzeichnet.



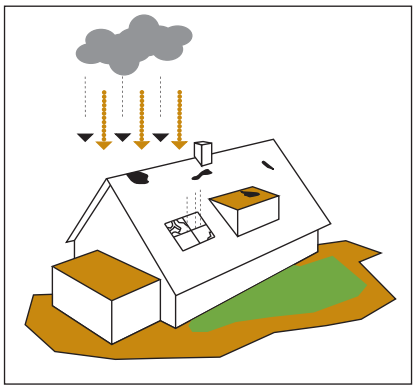
Hagel mit Wind



Bei Hagelereignissen mit Wind kann der Einfallwinkel schräg bis horizontal sein und die Einfallrichtung wechseln. Es resultieren Schäden am Dach und an der Fassade.



Hagel mit Regen



Ist das Ereignis von Regen begleitet, so sind grosse Folgeschäden bei Undichtheit der Gebäudehülle nach dem Hagelschlag möglich. Die Hagelkörner verstopfen die Entwässerungseinläufe und es kommt zum Einstau von Dach- und Platzflächen mit der möglichen Überschwemmung des Gebäudes.



© 2007 VKF/AEAI

Schadenklassen

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

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

Oberflächenschäden



Reversible Farbveränderung



Farbabtragung

Formschäden



Dellen



Verbiegung

Strukturschäden



Innere Brüche



Perforation

© 2007 VKF/AEAI

Fassadenaufbau

Beim Fassadenaufbau ist die Einwirkung durch Hagelschlag je nach Klimaregion zu berücksichtigen. Insbesondere sollen Materialien und Materialkombinationen gewählt werden, welche gegenüber Hagelschlag unempfindlich sind. Des Weiteren soll die Reparaturfähigkeit resp. Ersetzbarkeit von einzelnen Fassadenelementen gewährleistet sein, so dass nicht die gesamte Fassade ersetzt werden muss.

Entwässerung

Bei der Bemessung der Dach-, Balkon- und Platzentwässerungen ist das Gefährdungsbild einer Verstopfung durch angeschwemmte Hagelkörner und von abgeschlagenen Blättern und Zweigen zu berücksichtigen. Durch das Verstopfen der Abläufe können infolge Rückstaus hohe Folgeschäden entstehen. Vorteilhaft sind Entwässerungsabläufe mit grossem Durchmesser und erhöhten Siebaufsätzen. Auch bei kleinen Dachflächen sind mindestens zwei Regenwassereinläufe einzubauen. Insbesondere bei hohen Schadenpotenzialen ist der Verstopfung von Entwässerungsöffnungen durch konstruktive Massnahmen zu begegnen.



Beispiel einer verstopften Dachentwässerung infolge grosser Hagelkornakkumulation.



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

Gebäudeausrichtung

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

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

© 2007 VKF/AEAI

Materialwahl: VKF Elementarschutzregister Hagel

Die geeignete Materialwahl verhindert Schäden an der Gebäudehülle durch den Hagelanprall. Ähnlich dem Brandschutzregister bezeichnet das VKF Elementarschutzregister Hagel die Resistenz der Materialien der Gebäudehülle gegenüber Hagelschlag (vgl. Stucki, Egli 2007). Dieses Register befindet sich in der Aufbauphase. Die kantonale Gebäudeversicherung gibt Auskunft über den aktuellen Stand und die Verbindlichkeit des Registers. Die folgende Klassierung stellt die voraussichtlichen Klassen des Hagelwiderstandes dar.

Klassen des Hagelwiderstandes

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

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

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

Funktionen der Bauteile

Ein Bauteil kann eine oder mehrere Funktionen erfüllen, die häufigsten sind: Wasserdichtheit, Aussehen, Lichtabschirmung, Lichtdurchlässigkeit, Mechanik und Elektrik. Diese Funktionen können durch verschieden grosse Hagelenergie beeinträchtigt werden, so dass ein Bauteil in Bezug auf seine Funktionen in unterschiedliche Hagelwiderstandsklassen eingeteilt werden kann.

Kennwerte des Hagelwiderstandes

Im Anhang finden sich Kennwerte des Hagelwiderstandes einzelner, typischer Bauprodukte der Gebäudehülle, ermittelt anhand von künstlichen Beschussversuchen mit Eiskugeln im Labor (Flüeler, Stucki 2007). Sie geben einen groben, vergleichenden Überblick. Die nachgewiesenen Werte des Hagelwiderstandes von Bauprodukten sind bei den Herstellern nachzufragen.

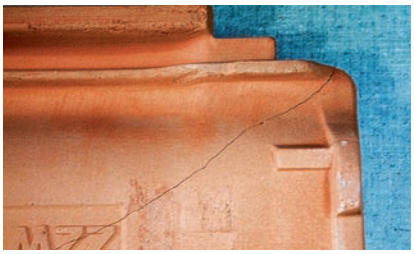
© 2007 VKF/AEAI

Schadenart

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

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

Laborversuche



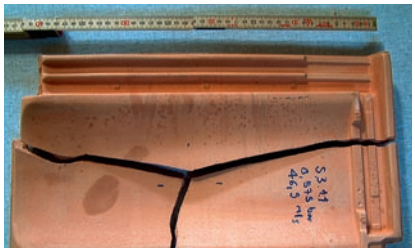
Makroriss



Absplitterung



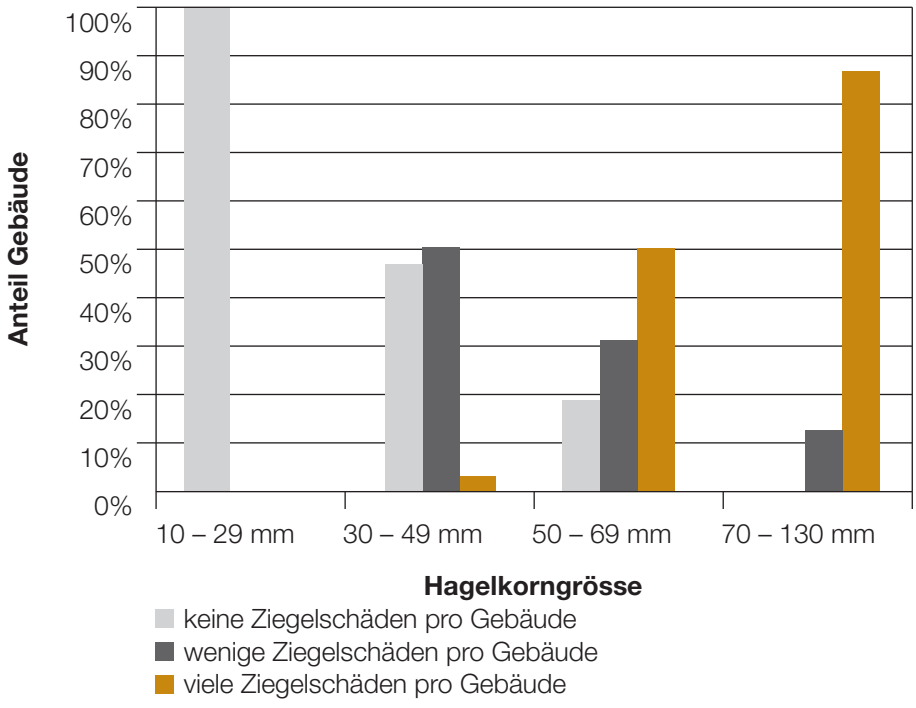
Perforation



Bruch

Umfangreiche Versuche der EMPA (2006) an Neuprodukten haben gezeigt, dass Tonziegel einen Hagelwiderstand von HW 4 erreichen. Dies deckt sich mit der detaillierten Analyse zu Schäden an Tonziegeln vom Sydney-Hagelsturm des Jahres 1999. Die folgende Grafik veranschaulicht diese Auswertungen.

Sydney-Hagelsturm



© 2007 VKF/AEAI

Hagelschäden



Absplitterung Ziegeloberseite



Strukturschaden an Holzschindeln

Reparatur

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

Objektschutz

Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Dicke der Ziegel und Schindeln.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenart

Faserzementplatten erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Delle auf der Vorderseite, Riss auf der Rückseite, Materialabplatzung auf der Rückseite, Perforation.

Laborversuche



Delle



Riss



Materialabplatzung



Perforation (Trichterbruch)

Hagelschäden



Perforation von Faserzementwellplatten



Absplitterung von Faserzementplatten



Perforation von Faserzementplatte



Absplitterung von Faserzementplatten

Reparatur

Faserzementplatten können nach einem Hagelschlag nicht repariert werden. Im Vordergrund steht der Ersatz der beschädigten Elemente.

Objektschutz

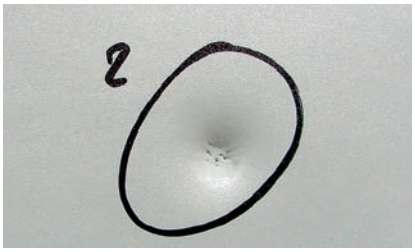
Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Dicke der Faserzementplatte.

© 2007 VKF/AEAI

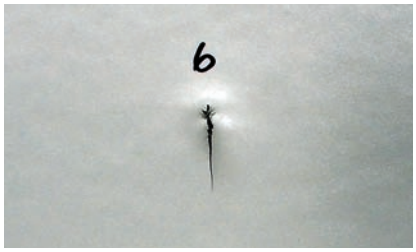
Schadenart

Freiliegende Kunststoff-Dichtungsbahnen erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Perforation, Riss.

Laborversuche



Perforation



Riss

Dachhautabspannungen

Bei bekiesten Flachdächern trifft man oft auf An- und Abschlüsse, bei denen sich die aufgeklebte Dachhaut aus Kunststoff-Dichtungsbahnen abgelöst hat und sich mehr oder weniger weit vom Anschluss zur Dachfläche hin abgespannt hat oder gar unter dem Deckstreifen hervorgerissen ist.

Ursache der Abspannungen: Infolge Alterung werden Kunststoff-Dichtungsbahnen spröde und ihr Ausdehnungskoeffizient wird grösser. Bei tiefen Aussentemperaturen ziehen sich deshalb gealterte Dichtungsbahnen relativ stark zusammen. Dichtungsbahnen lösen sich dadurch von ihren Abschlüssen ab. Es entstehen gut sichtbare Abspannungen. In den Gebäudeecken und entlang von Aufbauten, Oblichtern bilden sich Falten, Wulste oder andere Hohlräume.

Auswirkungen der Abspannungen: Neben den rein optischen Auswirkungen als Abspannungen führt der Weichmacherverlust zu einer vorzeitigen Alterung der Kunststoff-Dichtungsbahnen in Form von Versprödung und Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften. Die Reissdehnung, Reissfestigkeit und Faltbiegung bei Kälte nehmen ab und der Widerstand gegen mechanische Einwirkungen, insbesondere durch Hagelschlag, wird kleiner. Der Zeitpunkt für eine Erneuerung der Kunststoff-Dichtungsbahn ist nun gekommen. Jährliche Kontrollen des Flachdaches geben Auskunft über diesen Termin (vgl. Checkliste im Kapitel Unterhalt).

Hagelschäden



Durch Hagelschlag perforierte freiliegende Abschlüsse von Kunststoff-Dichtungsbahnen.



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

© 2007 VKF/AEAI

Reparatur

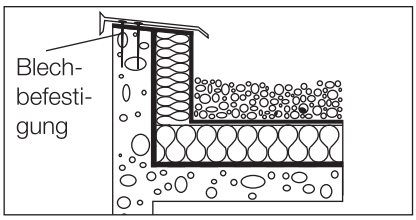
Kleine Risse können durch aufgeklebte Flickstücke desselben Materials repariert werden, sofern die Alterung des Materials das noch erlaubt. Bei der Sanierung von Abspannungen muss das zufolge Kältekontraktion im Randbereich fehlende Material durch neue Randstreifen ersetzt werden. Zur Verhinderung erneuter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



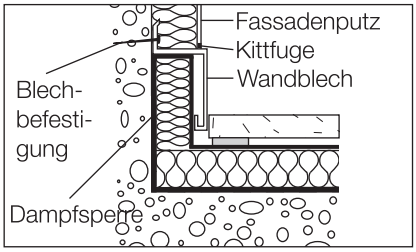
Objektschutz

Widerstand der Abdichtungsbahnen gegen Hagelschlag:
Für Abdichtungsbahnen liegt gemäss SIA 280 (Kunststoffdichtungsbahnen), SIA 281 (Bitumenhaltige Dichtungsbahnen) und gemäss SN EN 13583 (Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen, Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag) ein genormter Widerstandstest gegen Hagelschlag vor.

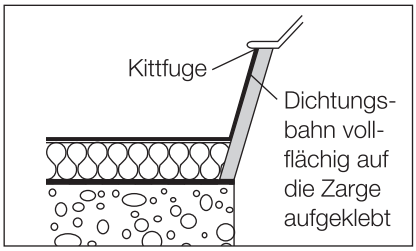
An- und Abschlüsse horizontal:
Horizontale Flächen bei Aufbordungen, Brüstungen usw. sind mit einer Blechabdeckung zu schützen. Für untergeordnete Nutzungen (z.B. nicht wärmegedämmte eingeschossige Remisen oder Unterstände) wird bei Dächern mit Kunststoffdichtungsbahnen eine einlagige Abdeckung mit mindestens 1.5 mm Materialstärke toleriert, sofern sie hohlraumfrei auf ebener Unterlage vollflächig verklebt wird und das Material nach SIA 280 frei bewitterbar ist.



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



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



© 2007 VKF/AEAI

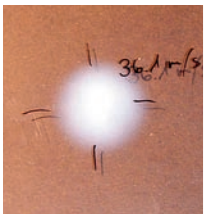
Materialarten

Als lichtdurchlässige Kunststoffprodukte werden folgende Materialien angeboten: Acrylglas (PMMA), Polycarbonat (PC), Polyvinylchlorid (PVC) und Glasfaserverstärktes Polyester (GF-UP).

Schadenart

Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Mikroverstreckung (nur bei PMMA schlagzäh), Delamination (Schichttrennung), Sternriss, Perforation. Die folgenden Bilder zeigen Schäden an unterschiedlichen Materialien und Anwendungen.

Laborversuche



Mikroverstreckung



Delamination



Sternriss



Perforation

Hagelschäden









Zeitabhängigkeit des Hagelwiderstandes (Alterung)

Die Alterung der Kunststoffprodukte durch Bewitterung vermindert den Hagelwiderstand rasch und massgeblich. Aufgrund von systematischen Versuchen mit natürlicher Bewitterung und anschliessender Prüfung mit einer Polyamidkugel 40 mm wurde folgender Verlauf der Hagelschlagbeständigkeit festgestellt (vgl. Löwe 1998):

© 2007 VKF/AEAI

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

Reparatur

Perforierte Platten lassen sich mittels Flickstücken desselben Materials überkleben.

Objektschutz

Empfohlen wird ein freiwilliger Nachweis des Hagelwiderstandes von Lichtbändern gemäss SN EN 1013-1. Grundsätzlich steigt der Hagelwiderstand mit zunehmender Materialstärke (Dicke).

© 2007 VKF/AEAI

Materialarten

Folgende Verglasungsarten werden häufig verwendet: als Einfachgläser Float-, Draht- und Einscheiben-sicherheitsglas (ESG), als mehrschichtige Gläser Isolier- und Verbundsicherheitsglas (VSG).

Schadenart

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

Laborversuche



Floatglas



Drahtglas (erster Bruch)

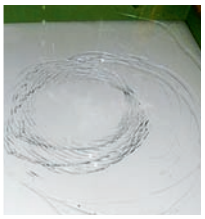


Drahtglas (Perforation)



ESG



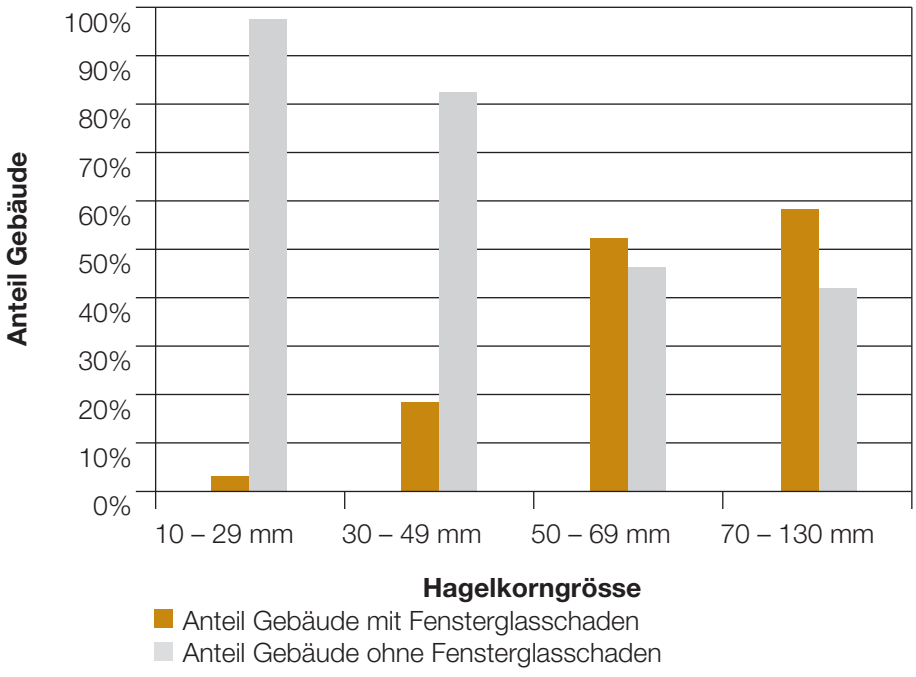


VSG mit verschiedenen Rissstrukturen

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

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

Sydney-Hagelsturm



© 2007 VKF/AEAI

Reparatur

Hagelschäden





Der vollflächige Ersatz von Scheiben ist notwendig.

Objektschutz

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

– Belastung nach SIA 261 und 261/1 für Wind und Schnee entsprechend der Schräglage
– Ansatz für Biegebruchspannung (schrägliegende Scheiben) 15 N/mm^2 für Floatglas
– zum Schutz gegen Hagelschlag die äussere Scheibe mit der wie oben ermittelten Glasdicke (für Floatglas) in Einscheibensicherheitsglas, die innere Scheibe aus Verbundsicherheitsglas (VSG)

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

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Holzverkleidungen erleiden durch Hagelschlag Farbschäden und Strukturschäden.
Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Abschlagen der natürlichen Vergrauung oder Abschlagen des Farbanstriches, Delle, Riss, Perforation.

Laborversuche



Dellen
Abschlagen des Farbanstrichs

Hagelschäden



Farbveränderung bei unbehandelter



und gestrichener Holzverkleidung



Strukturschaden durch Abschlagen von exponierten Kanten

Reparatur

Fassaden aus unbehandeltem Holz sind unempfindlicher gegenüber Hagelschlag als Oberflächen mit Anstrichen. Farbliche Veränderungen und kleine Dellen an unbehandelten Holzfassaden stellen grundsätzlich keinen Schaden dar. Im Normalfall regeneriert sich eine unbehandelte Oberfläche durch natürliche Bewitterung von selbst. Allenfalls kann durch Bürsten der unbehandelten Oberfläche ein einheitliches Farbbild rascher wiederhergestellt werden. Abgeschlagene oder oberflächlich polierte Farbanstriche sind zu erneuern. Kleine Strukturschäden (abgeschlagene Kanten, Beulen) können bei ausreichendem Profil durch Schleifen repariert werden. Bei Rissen und Perforationen ist ein Elementersatz vorzusehen.

Objektschutz

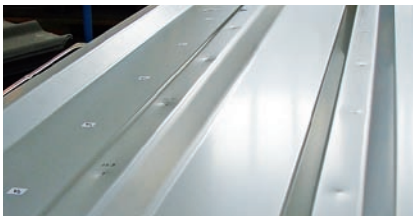
Vertikal gerichtete Verkleidungen sind unempfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen. Bei horizontal gerichteter Verkleidung ist insbesondere die Stülpschalung unempfindlich gegenüber Kantenschäden. Im Weiteren sind Vordächer zu empfehlen, welche die Fassade vor direktem Hagelschlag schützen.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Bleche erleiden durch Hagelschlag Farb- und Formschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Farbveränderung, Dellen.

Laborversuche



Dellen

Hagelschäden

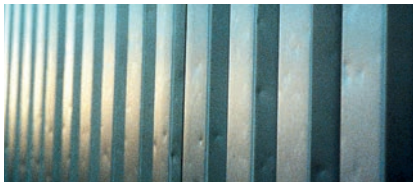
Die folgenden zwei Bilder zeigen Farbveränderungen infolge Hagelschlags. Es handelt sich dabei um ein Wegschlagen der oberflächlich vorhandenen Auskreidung der Farbe. Durch Reinigen der Oberfläche kann ein einheitliches Erscheinungsbild wiederhergestellt werden.



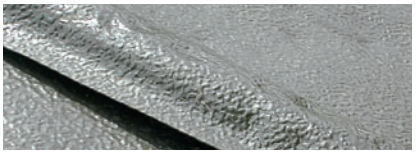


Die Dellengrösse der Bleche ist abhängig von der Materialart und -stärke.





Die folgenden Bilder zeigen Schäden an Blechziegeln. Hierbei werden nicht nur Dellen, sondern zusätzlich Verbiegungen festgestellt, welche die Wasserdichtigkeit beeinflussen können.





Reparatur

Farbveränderungen in der Art des Abschlagens der Auskreidung können allenfalls durch das Reinigen der Oberfläche behoben werden. Sie stellen grundsätzlich keinen Schaden dar. Dellen können durch die Vakuummethode entfernt werden. Allenfalls ist ein Elementersatz hierbei die kostengünstigere Lösung.

Objektschutz

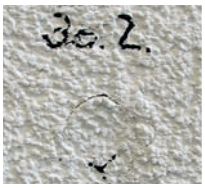
Der Hagelwiderstand von Blechen steigt mit zunehmender Materialfestigkeit (Elastizitätsmodul) und Materialstärke (Blechdicke). Vertikal gerichtete Verkleidungen sind unempfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen. Blechfassaden sind allenfalls zusätzlich durch ausreichende Vordächer zu schützen.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Putze erleiden durch Hagelschlag Farb- und Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Farbabschlagen, Delle, Riss im Putz, Aufplatzen des Putzes bis zur Freilegung des Armierungsgitters.

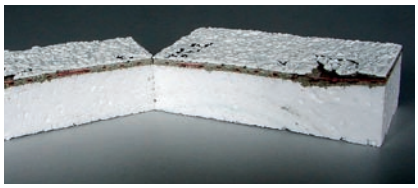
Laborversuche



Delle mit Riss



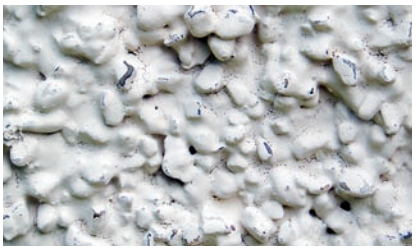
Delle und Aufplatzen Putz



Querschnitt

Hagelschäden

Das Abschlagen der Farbe ist hier punktuell bis flächig und wirkt sich nicht auf die Dichtigkeit der Gebäudehülle aus





Das Abschlagen des Verputzes führt hier zu einem Strukturschaden mit undichter Fassade.





Erscheinungsbild von schweren Fassadenschäden nach Hagelschlag







Reparatur

Bei grossflächigen Schäden mit Undichtheit ist ein Ersatz des Putzes notwendig. Bei kleinflächigen Schäden mit Undichtheit und bei Farbschäden steht die Reparatur des bestehenden Putzes im Vordergrund.

Objektschutz

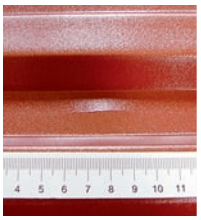
Der Hagelwiderstand des Putzes ist insbesondere bei Verwendung einer Aussenisolation vom Hersteller nachzuweisen.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Lichtundurchlässige Kunststoffplatten erleiden durch Hagelschlag Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Dellen, Risse, Perforation.

Laborversuche



Dellen



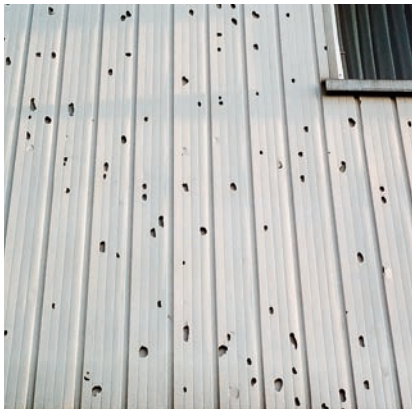
Risse



Perforation

Hagelschäden





Reparatur

Eine Reparatur mit aufgeklebten Flickstücken desselben Materials ist möglich. Aus ästhetischen und wirtschaftlichen Gründen wird eine solche Reparatur nur bei vereinzelten Strukturschäden an einer Fassade angewandt.

Objektschutz

Der Hagelwiderstand der Produkte steigt mit zunehmender Materialstärke (Dicke). Der Hagelwiderstand und das Langzeitverhalten sind von den Herstellern nachzuweisen. Vertikal gerichtete Verkleidungen sind unempfindlicher gegenüber Kantenschäden als horizontal gerichtete Verkleidungen.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Abschlüsse erleiden durch Hagelschlag Formschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Dellen, Verbiegung, Perforation (nur bei Kunststoffprodukten).

Laborversuche



Dellen auf Raffstoren



Dellen auf Rollladen

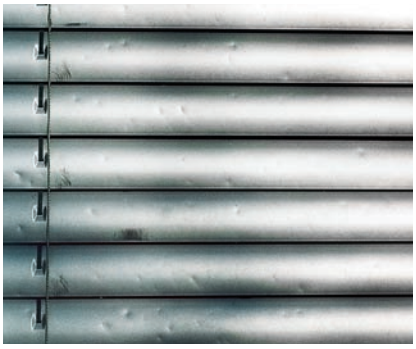


Verbiegung der Lamellen

Hagelschäden

Dellen an Rafflamellenstoren beeinträchtigen die Ästhetik dieses Fassadenelementes. Die Funktionstüchtigkeit muss hierdurch nicht beeinflusst sein.





Bei Verbiegungen von Rafflamellenstoren ist die Funktionstüchtigkeit nicht mehr gegeben.





Reparatur

Im Vordergrund steht der Ersatz des gesamten Abschlusses.

Objektschutz

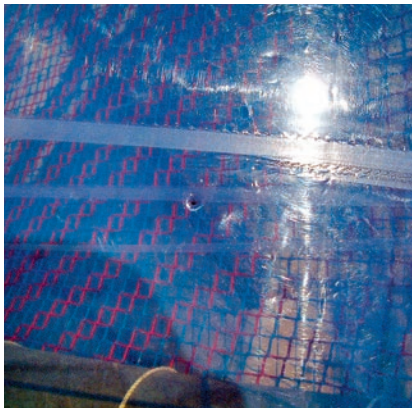
Der Hagelwiderstand steigt mit zunehmender Materialstärke (Dicke). Das Hochziehen von Storen und Rollläden vor dem Hagelschlag stellt einen temporären Objektschutz dar. Die Kopplung von Storenautomationen mit Hagelwarneinrichtungen ist in Entwicklung. Die Anordnung von Storen und Rollläden hinter Glas stellt einen permanenten Objektschutz gegen Hagel dar.

© 2007 VKF/AEAI

Schadenarten

Membranen erleiden durch Hagelschlag Form- und Strukturschäden. Mit steigender Hagelkorngrösse können folgende Schäden beobachtet werden: Dellen, Perforation. Membranen sind insbesondere empfindlich hinsichtlich Hagelkörnern mit eckiger Form. Diese hinterlassen Dellen und führen zur Perforation.





Reparatur

Perforierte Membranen können mit aufgeklebten Flickstücken desselben Materials repariert werden oder müssen ausgetauscht werden.

Objektschutz

Die Tragkonstruktion ist so zu wählen, dass die äussere Schicht einen genügenden Hagelwiderstand aufweist, beziehungsweise eine zusätzliche äussere Membrane als Verschleissschicht für den Hagelanprall dient. Als Alternative hierzu können die höher gefährdeten Dachpartien von Membranen mit einem Hagelschutznetz geschützt werden.

Solarkollektoren

Für Solarkollektoren sind Mindestanforderungen bezüglich des Hagelwiderstandes in EN 12975 – 2 festgehalten.

© 2007 VKF/AEAI

Dachüberstände / Vordächer

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

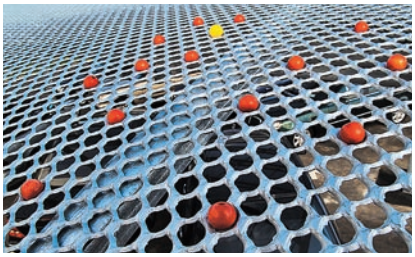


Schutzgitter

Hagelschutzgitter über hagelempfindlichen Materialien stellen einen wirksamen, dauerhaften Schutz dar.



Hagelschutzgitter über Lichtkuppeln.



Hagelschutzgitter über Lagerplatz für Neuwagen (Lochdurchmesser 10 mm)

Schutznetze

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

© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombinationen

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

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

Massnahmenkombination A «Schutz durch Gitter oder Netz»

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

Massnahmenkombination B «Schutz durch Verschleisselement»

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

Massnahmenkombination C «Umbau mit hagelwiderstandsfähigen Materialien»

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

© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombination D «Neubau mit hagelwiderstandsfähigen Dachmaterialien»

Beim Neubau an windgeschützten Standorten werden ausschliesslich hagelwiderstandsfähige Dachmaterialien verwendet.

Massnahmenkombination E «Neubau mit hagelwiderstandsfähigen Dach- und Fassadenmaterialien»

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

Massnahmenkombination F «Neubau mit Dachüberständen»

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

© 2007 VKF/AEAI

Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse

Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Hagelwiderstandes von Lichtkuppeln mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen. Die Methodik ist im Anhang E der vorliegenden Wegleitung detailliert beschrieben.

Kosten

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

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

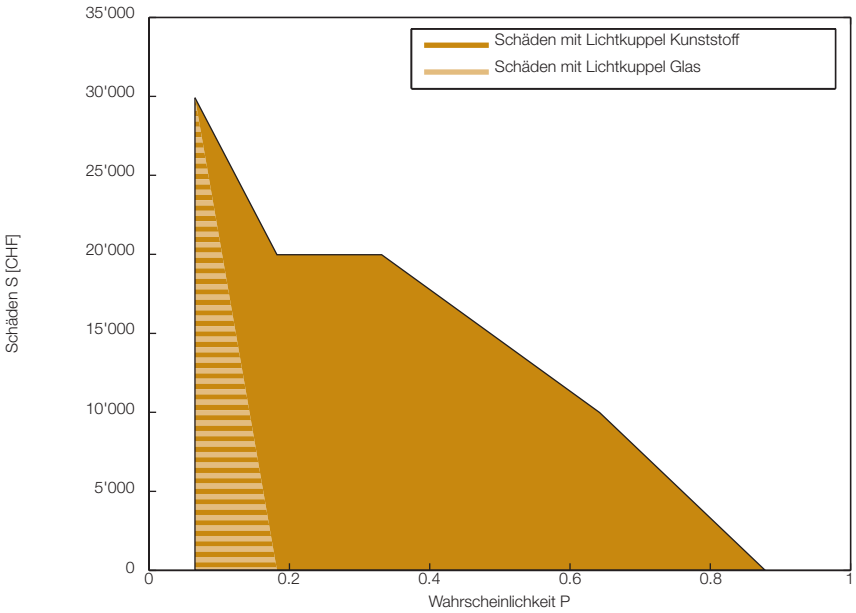
Gemäss den Ausführungen im Teil «Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte» dieses Kapitels ist ersichtlich, dass der Hagelwiderstand von Acrylglas bereits nach 5 Jahren freier Bewitterung um rund 40% abnimmt. Um einen ausreichenden Hagelwiderstand zu gewährleisten, sollte diese Kuppel daher nach 10 Jahren ersetzt werden. Das Glasprodukt mit Metallrahmen weist eine Lebensdauer von 30 Jahren auf.

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

Nutzen

Als Nutzen werden der verhinderte direkte Schaden (gebrochene Lichtkuppel) und die indirekten Schäden infolge der Wasserschäden eingerechnet. Der Schadensbeginn liegt bei der Lichtkuppel aus Kunststoff bei einem 10-jährlichen Hagelereignis, währenddem die Lichtkuppel aus Glas selbst ein Ereignis der Wiederkehrperiode von 100 Jahren unbeschädigt übersteht. Der Nutzen wird für einen Betrachtungshorizont von 20 Jahren berechnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein 10-jährliches Ereignis innerhalb von 20 Jahren eintritt, beträgt 87.8 % (P = 0.878), ein 100-jährliches tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 18.2 % (P = 0.182) ein. Gemäss den in der folgenden Abbildung dargestellten Schäden resultiert für die Variante mit Lichtkuppel aus Kunststoff ein Schadenerwartungswert von CHF 11'765.- (Methodik vgl. Anhang). Der Schadenerwartungswert für das Glasprodukt beträgt CHF 1'762.-. Der Nutzen, also die Differenz der beiden Schadenerwartungswerte, beträgt CHF 10'003.-.

© 2007 VKF/AEAI



Kosten-Nutzen-Vergleich

Die Mehrkosten der Lichtkuppel aus Glas von CHF 7'224.- stehen somit einem Nutzen von CHF 10'003.- gegenüber. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis beträgt somit 7'224.- / 10'003.- = 0.72. Dies bedeutet, dass sich der Einsatz des teureren Produktes aus Glas ökonomisch rechtfertigt.

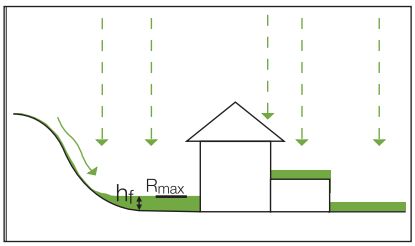
© 2007 VKF/AEAI

© 2007 VKF/AEAI



© 2007 VKF/AEAI

1 Bezeichnungen



Q_R [l/s]: Regenwasserabfluss
r [l/sm²]: Regenspende
A [m²]: beregnete Fläche (Horizontalprojektion)
C [-]: Abflussbeiwert
h_f [m]: Überschwemmungshöhe
R_{max} [m ü. M.]: Kote der max. möglichen Rückstauebene
v [m/s]: Fliessgeschwindigkeit (Überschwemmungsgeschwindigkeit)
a [mm/h]: Anstiegsgeschwindigkeit
T_N [h]: Niederschlagsdauer
V [mm]: Niederschlagsvolumen pro Ereignis
T_V [h]: Vorwarnzeit (Dauer von Gefahrenerkennung bis Überschwemmungsbeginn)
S_F [-]: Sicherheitsfaktor

2 Charakterisierung

Abgrenzung zu Grundwasser und Überschwemmung durch ausufernde Gewässer
In diesem Kapitel werden die Auswirkungen von intensiven Regenfällen beschrieben. Diese können zur Überschwemmung von Grundstücken und zu Wassereintritt ins Gebäude führen. Ursprung der Überschwemmung ist also weder der Anstieg von Grundwasser noch das Ausufern eines Fliessgewässers oder Sees, sondern das oberflächliche Zufliessen und Ansammeln von Niederschlägen (Oberflächenwasser).

Niederschlagsintensität
Trifft Starkniederschlag auf verdichtete oder gefrorene Böden, so ergibt sich der Oberflächenabfluss aufgrund von Infiltrationshemmungen. Bei Strassen und Plätzen ist die Infiltrationshemmung künstlich bedingt. Als Niederschlagsintensität zur Bemessung der Entwässerung von solchen Plätzen wird in der Schweiz ein Regenereignis der Wiederkehrdauer von 5 bis 10 Jahren verwendet. Dies bedeutet, dass bei selteneren Ereignissen ebenfalls Oberflächenabfluss auftritt und zur Überlastung des Entwässerungssystems führen kann.



Niederschlagsdauer
Neben der Niederschlagsintensität sind die Niederschlagsdauer und die Vorgeschichte (Niederschläge der letzten Tage vor dem Ereignis) weitere wichtige Vorbedingungen zur Entstehung von Oberflächenabfluss. Bei natürlichen Böden tritt nach der Füllung der obersten Bodenschicht der Oberflächenabfluss auf. Dies ist vor allem bei flachgründigen oder feucht-nassen Böden mit geringem Speichervermögen sehr rasch der Fall. Bei mittelgründigen Böden tritt die Sättigung erst nach längerer Niederschlagsdauer auf.



© 2007 VKF/AEAI

Charakterisierung

Der Ausfluss von Wasser aus gesättigten Bodenschichten kann flächig oder in Form von lokalen Quellen erfolgen.





Vorwarnzeit
Die Vorwarnzeit ist sehr kurz, weil sich Starkniederschläge nur kurzfristig vorhersagen lassen und zudem die Abflussbildung im Ereignisfall äusserst rasch erfolgt. **Dies bedeutet, dass ausschliesslich permanente Objektschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss vorzusehen sind.**

Fliessgeschwindigkeit
Die Fliessgeschwindigkeit erreicht bei Überschwemmungen in steilerem Gelände (5 - 10%) einen Bereich von über 2 m/s (7.2 km/h). Solch hohe Geschwindigkeiten treten zudem entlang kanalisierter Bereiche auf (Strassenzüge). In flacherem Gelände (< 2%) reduziert sich die Geschwindigkeit allgemein auf unter 2 m/s (7.2 km/h).

Anstiegsgeschwindigkeit
Die Anstiegsgeschwindigkeit beschreibt die Schnelligkeit des Wasseranstieges bei der Überschwemmung.

Überschwemmungsdauer
Die Überschwemmungsdauer beginnt zum Zeitpunkt der Benetzung mit Wasser und endet zum Zeitpunkt des Trockenfallens. Für Überschwemmungen von Oberflächenwasser schwankt sie meistens zwischen Minuten und Stunden.

Rückstauebene / Überschwemmungshöhe
Die Rückstauebene ist die höchste Ebene, bis zu der das Wasser in einer Entwässerungsanlage ansteigen kann. Es wird unterschieden zwischen: a) errechneter Rückstauebene gemäss Generellem Entwässerungsplan (GEP) und b) maximal möglicher Rückstauebene. Die Überschwemmungshöhe aufgrund Starkniederschlags entspricht der maximal möglichen Rückstauebene.

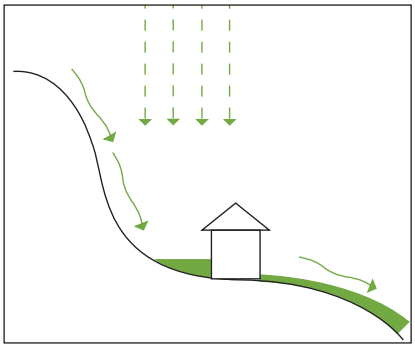
Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung bedarf es Angaben zur **Regenspende**, den **beitragenden Flächen** und deren **Abflussbeiwerte**. Die Regenspende kann der Norm SN 592'000 entnommen werden. Bei erhöhtem Schadenpotenzial sind allenfalls höhere Schutzziele zu wählen. Hilfestellung bieten die Angaben im nachfolgenden Kapitel «Ermittlung der Einwirkungen».

© 2007 VKF/AEAI

Gefährdungsbild 1: Hanglage

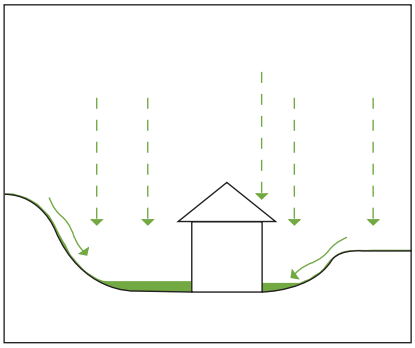
Das Oberflächenwasser strömt von der ansteigenden Hangseite auf das Grundstück und staut sich am Gebäude.





Gefährdungsbild 2: Muldenlage

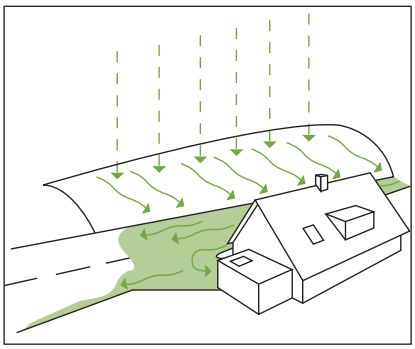
Das Oberflächenwasser sammelt sich auf dem muldenartigen Grundstück und das Wasser dringt durch Öffnungen in das Gebäude ein.





Gefährdungsbild 3: Zufluss von Strassenwasser

Das Oberflächenwasser von angrenzenden Böschungen und der Rückstau der Kanalisation sammeln sich auf der Strasse und gelangen über die Strassenzufahrt auf das Grundstück.

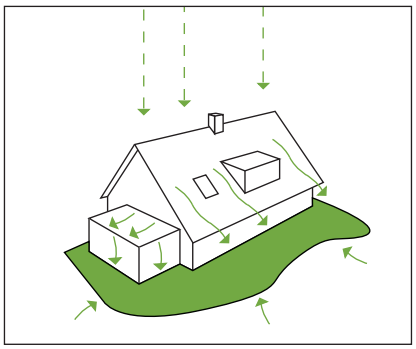




© 2007 VKF/AEAI

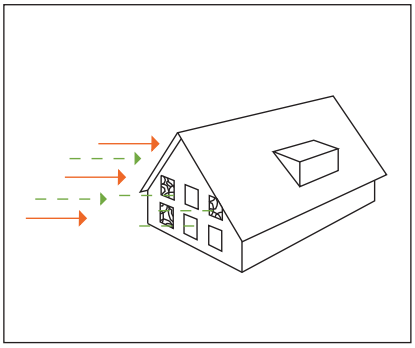
Gefährdungsbild 4: Zufluss von Dach- und Platzwasser

Die Entwässerungseinrichtungen von Dächern und Plätzen vermögen das zufliessende Wasser nicht vollständig abführen. Es kommt zu einem kurzzeitigen Einstau auf Flachdächern und auf Plätzen, wodurch ein Wassereintritt ins Gebäude möglich wird.



Gefährdungsbild 5: Regen mit Wind (Schlagregen)

Der Regen ist von Sturm begleitet, so dass windgetriebenes Wasser durch die Gebäudefassade in das Gebäudeinnere gelangen kann.





© 2007 VKF/AEAI

Berechnung des Regenwasserabflusses

Gemäss Norm SN 592'000 Liegenschaftsentwässerung bemisst sich der Regenwasserabfluss Q_R nach folgender Formel:

$$Q_R = r \cdot S_F \cdot A \cdot C \quad [l/s]$$

Dabei ist Q_R der Regenwasserabfluss für die Fläche A. S_F ist ein Sicherheitsfaktor, welcher je nach Empfindlichkeit des Gebäudes zu wählen ist, und C der dimensionslose Abflussbeiwert je nach Art der beregneten Oberfläche. Sind Teilflächen mit unterschiedlichen Abflussbeiwerten C vorhanden, so muss für jede einzelne Fläche der Regenwasserabfluss Q_R bestimmt werden. Die einzelnen Regenwasserabflüsse sind dann zu addieren.

Sicherheitsfaktor

Der Sicherheitsfaktor ist unabhängig von der gewählten Regenspende wie folgt zu wählen:

Gebäudeart	Sicherheitsfaktor
Gebäude, bei denen eindringendes Regenwasser grössere Schäden verursachen kann. Beispiele: - Fabrikations- und Lagerhallen - Labors - Einkaufszentren - …	1.5
Gebäude, für die ein aussergewöhnliches Mass an Schutz notwendig ist. Beispiele: - Krankenhäuser / medizinische Zentren - Theater / Konzertsäle - Museen oder Gebäude, in denen besondere Kulturgüter aufbewahrt werden - EDV- und PC-Zentren oder TV-Studios - Fabriken / Lagerhallen der chemischen Industrie - …	2.0

Regenspende

Gemäss Norm SN 592'000 ist für schweizerische Verhältnisse mit einer Regenspende von $r = 0.03$ l/sm^2 zu rechnen. Je nach Region ist eine 25 – 50% höhere Regenspende zu berücksichtigen. Die folgende Tabelle zeigt Regenspenden unterschiedlicher Jährlichkeit für ein Intervall von 10 Minuten in 4 verschiedenen Städten der Schweiz (beste Schätzung auf der Basis der ANETZ Stationen der MeteoSchweiz). Im Anhang befindet sich die vollständige Tabelle mit Angaben zu insgesamt 43 Stationen in der Schweiz.

© 2007 VKF/AEAI

Ort	Regenspende in [l/sm²]				
	5-jährlich	10-jährlich	30-jährlich	50-jährlich	100-jährlich
Zürich-MeteoSchweiz	0.027	0.033	0.042	0.046	0.053
Bern / Zollikofen	0.023	0.027	0.034	0.037	0.041
Basel-Binningen	0.021	0.025	0.030	0.033	0.037
St.Gallen	0.025	0.031	0.040	0.044	0.050
Neuchâtel	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Pully	0.020	0.023	0.029	0.033	0.037
Locarno-Monti	0.034	0.040	0.051	0.057	0.065

Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz 2007
Diese neu ermittelten Zahlen zeigen deutlich, dass der bisher schweizweit verwendete Wert der Regenspende von 0.030 l/sm² regional stark übertroffen werden kann. Es empfiehlt sich deshalb, der Berechnung obenstehende Werte zugrunde zu legen.

Abflussbeiwert

Der Abflussbeiwert C berücksichtigt die Beschaffenheit der beregneten Fläche, die daraus resultierende Abminderung und die Verzögerung des Abflusses.
Da die C-Werte ausschliesslich auf Einzelobjekte angewendet werden, liegen diese Werte höher als die im Generellen Entwässerungsplan angewandten Abflussbeiwerte.
Gärten, Wiesen und Kulturland tragen ebenfalls massgeblich zum Regenwasserabfluss bei.
Aus diesem Grund enthält die folgende Tabelle mit Abflussbeiwerten gemäss SN 592'000 zusätzlich Angaben zu **Gärten, Wiesen, Kulturland und Wald.**
Je nach Gefährdungsbild (vgl. vorne) sind auch angrenzende Grundstücksflächen in die Berechnungen einzubeziehen!

Beregnete Fläche	C
Schräg- und Flachdächer	1.0
Plätze und Wege	
– mit Hartbelag	1.0
– mit Kiesbelag	0.6
– mit Ökosystem (Splittfugen)	0.6
– mit sickerfähigem Belag	0.6
– mit Sickersteinen	0.2
– mit Rasengittersteinen	0.2
Humusierte Flachdächer*	
– Aufbaudicke > 50 cm	0.1
– Aufbaudicke > 25 – 50 cm	0.2
– Aufbaudicke > 10 – 25 cm	0.4
– Aufbaudicke ≤ 10 cm	0.7
Gärten, Wiesen und Kulturland	
– ohne Vernässung, ohne Verdichtung	0.1 – 0.25
– mit Vernässung, mit Verdichtung	0.35 – 0.55
Wald	
– ohne Vernässung, ohne Verdichtung	0.05 – 0.15
– mit Vernässung, mit Verdichtung	0.25 – 0.45

* gültig bis 15° Dachneigung (C um 0.1 erhöhen, wenn Neigung grösser)

© 2007 VKF/AEAI

Beispiel der Abschätzung des Oberflächenabflusses

Als erster Schritt ist der Regenwasserabfluss gemäss vorhergehenden Erläuterungen zu ermitteln.
In Herisau wird ein Einfamilienhaus angrenzend an eine mittelsteil abfallende Wieslandfläche erstellt. Der Zufluss von dieser Fläche und von der Grundstücksfläche wird folgendermassen abgeschätzt:

Berechnung:
Abflussbeitragende Wieslandflächen: 1000 m^2 mit Abflussbeiwert: 0.35
Kiesflächen: 100 m^2 mit Abflussbeiwert: 0.6
Regenspende: 0.050 l/sm^2 (Wert für Station St. Gallen mit Wiederkehrperiode 100 Jahre)
Sicherheitsfaktor: 1.3
Regenwasserabfluss: $Q_R = 0.050 \cdot 1.3 \cdot (1000 \cdot 0.35 + 100 \cdot 0.6) = 26.7$ l/s

Beurteilung:
Gemäss dieser Berechnung ist auf diesem Grundstück ein Oberflächenwasserabfluss von 27 l/s zu erwarten. Die Wahl der Wiederkehrperiode der Regenspende sollte angepasst zum Schadenpotenzial erfolgen. Wie das Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse am Ende dieses Kapitels zeigt, kann es ökonomisch gerechtfertigt sein, die Wiederkehrperiode bei 100 Jahren oder sogar höher zu wählen.
Die abflussbeitragende Fläche ist je nach Bodentyp, Gefälle und hydrologischen Vorbedingungen (Vorregen, gefrorener Boden) unterschiedlich. Der Abflussbeiwert kann in Bezug auf die lokalen Verhältnisse der auf Seite 87 stehenden Tabelle entnommen werden. Der Sicherheitsfaktor ist entsprechend dem Schadenpotenzial zu wählen.

© 2007 VKF/AEAI

Eintrittswege des Wassers in ein Gebäude

Der Wassereintritt in ein Gebäude erfolgt über folgende möglichen Wege:

1) Grundwasser durchdringt Kellerwände / -böden

2) Wasser staut aus der Kanalisation zurück

3) Grundwasser dringt durch undichte Hausanschlüsse (Rohrwege, nicht druckwasserdicht ins Mauerwerk eingebettete Kabel) oder durch undichte Fugen

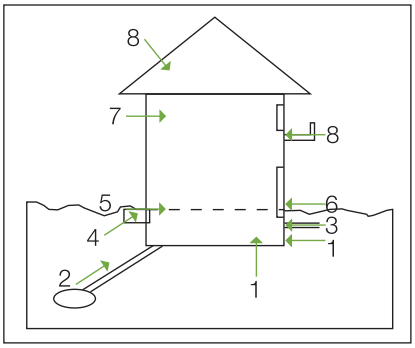
4) Grundwasser und Oberflächenwasser strömen durch Lichtschächte und Kellerfenster

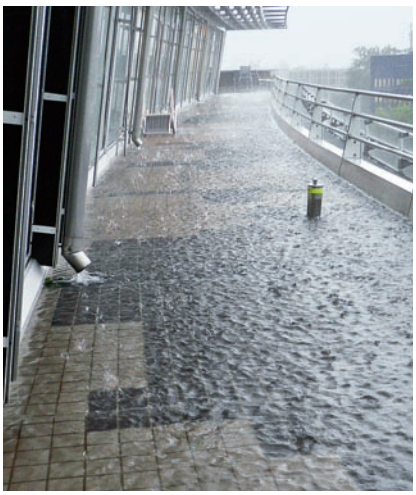
5) Oberflächenwasser durchsickert die Aussenwand

6) Oberflächenwasser dringt durch Tür- und Fensteröffnungen

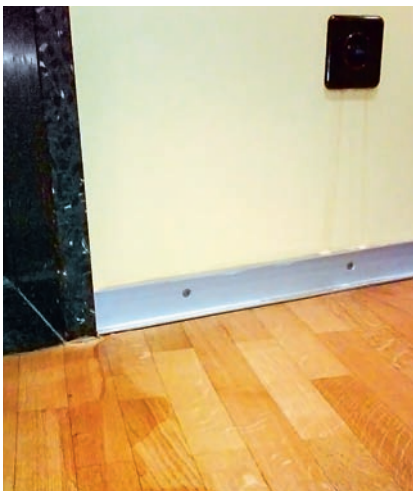
7) Niederschlagswasser durchdringt Fassade bei Starkregen mit Sturm

8) Dach- / Balkonwasser dringt in das Gebäude ein





Als Folge von kurzzeitigem Wassereinstau bei Starkregen auf Flachdächern und Balkonen kann das



Wasser in Räume eindringen (im Bild: über Steckdose).

© 2007 VKF/AEAI

1
Gebäudestandort

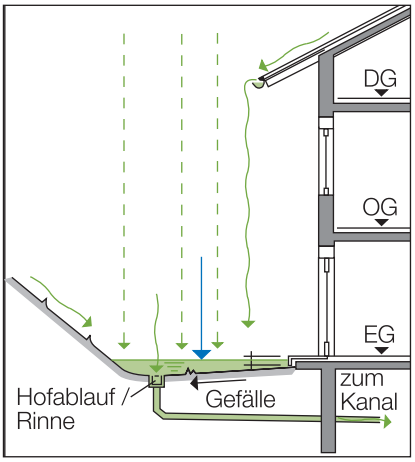
Bei der Wahl des Gebäudestandortes sind die örtlichen Verhältnisse in Bezug auf den Oberflächenwasserzu- und -abfluss zu berücksichtigen. Insbesondere sind Standorte zu meiden, an denen sich Wasser sammeln kann (Mulden, Rinnen).

2
Terraingestaltung

Die Terraingestaltung bestimmt den Verlauf des Oberflächenwasserabflusses. Durch eine konsequente Planung des Wasserabflusses kann vermieden werden, dass Wasser an die Gebäudehülle und somit in das Gebäude selbst gelangt.

3
Hang- und Platzentwässerung

Der Oberflächenwasserzufluss von angrenzenden Wiesenflächen muss bei der Grundstücksentwässerung speziell berücksichtigt werden.



4

Oberflächenwasserzufluss von Steilböschung nach langanhaltenden Niederschlägen.



5

Einbau einer Sickerleitung mit Schachtöffnung angrenzend an eine ansteigende Wieslandfläche.



6

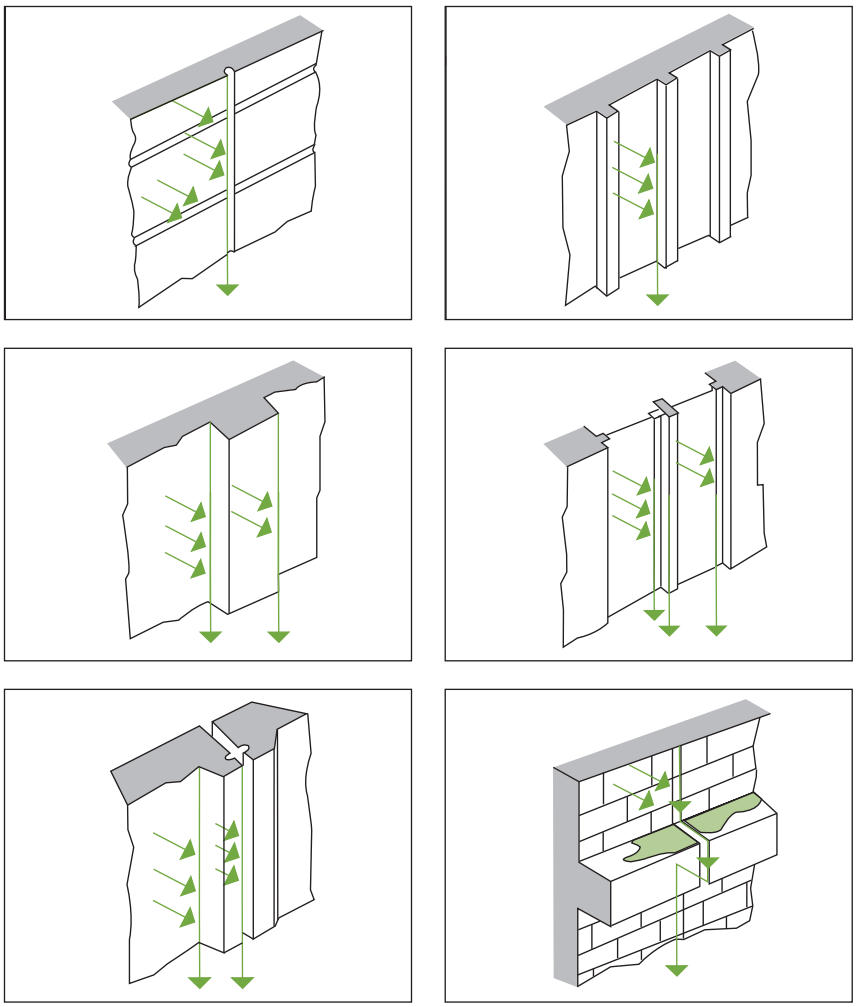
7

© 2007 VKF/AEAI

Gebäudeausrichtung und Fassadenkonzept

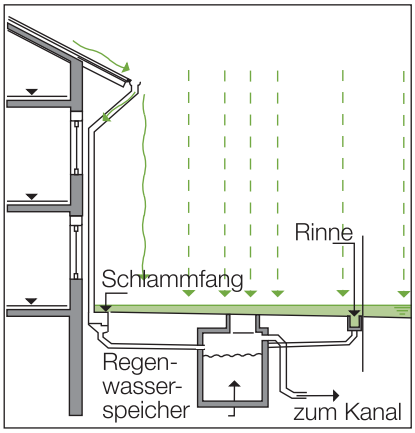
Die Gebäudeausrichtung und das Fassadenkonzept sollen nach der Hauptwindrichtung (Starkregen und Sturm) und der Besonnung (Fassadentrocknung) angepasst gewählt werden. Die Struktur und das Material der Fassade bestimmen das Entwässerungsvermögen. Je schneller die Fassade sich entwässert, desto geringer ist das Risiko von direkten oder indirekten Wasserschäden (Pilze, Farbveränderungen, Frostsprengung, Kalklösung, u.a.).

Arten der Fassadenentwässerung:



Dachentwässerung Steildach

Die Bemessung der Dachentwässerung richtet sich normgemäss nur nach einem Ereignis der Wiederkehrperiode von durchschnittlich 5 – 10 Jahren. Die Konsequenzen des Überlastfalles müssen daher unbedingt berücksichtigt werden und in die Umgebungsgestaltung einfliessen (Topographie, Lichtschächte etc.).



© 2007 VKF/AEAI

Dachentwässerung Flachdach

Die Entwässerung des Flachdachs erfolgt nach der Norm SIA 271 Abdichtungen von Hochbauten (Ausgabe 2007) und nach der Richtlinie Dachentwässerung (suissetec 2004).

Die An- und Abschlüsse sind nach der Norm SIA 271 Abdichtungen von Hochbauten auszuführen.



Falsch:
Die Lichtkuppel ist ebenerdig eingebaut



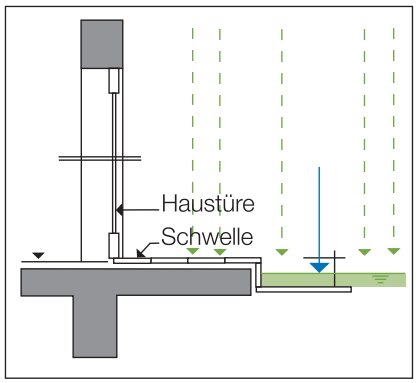
Richtig:
Die Lichtkuppel ist gemäss der zulässigen Überstauhöhe eingebaut

Vordach

Ein Vordach bei einem Gebäude schützt die Fassaden sowie die Fenster gegen Witterungseinflüsse und damit gegen Alterung und Schäden. Jeder Dachvorsprung beeinflusst die Strömungsverhältnisse auf der Fassade günstig. Selbst mit einem Vordach ist ein vollständiger Schutz gegen Sturm und Starkregen nicht möglich. Wichtig ist es, dass die Häufigkeit der Durchnässung reduziert werden kann. Für die dauerhafte Funktion der Fassade ist die Trocknungszeit von grosser Wichtigkeit.

Lage des Erdgeschosses und von Öffnungen

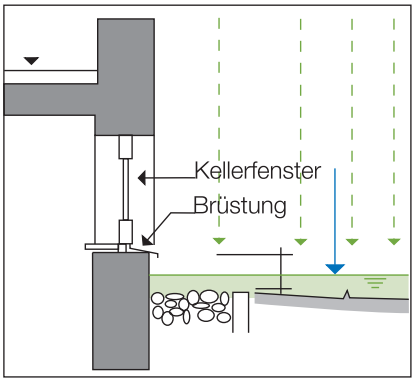
Öffnungen eines Gebäudes sind nach Möglichkeit über der Rückstauebene des Oberflächenwassers einzuplanen. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen: Lichtschächte, Fensteröffnungen, äussere Treppenabgänge, Aussentüren, Lüftungsschächte und Leitungsdurchführungen.



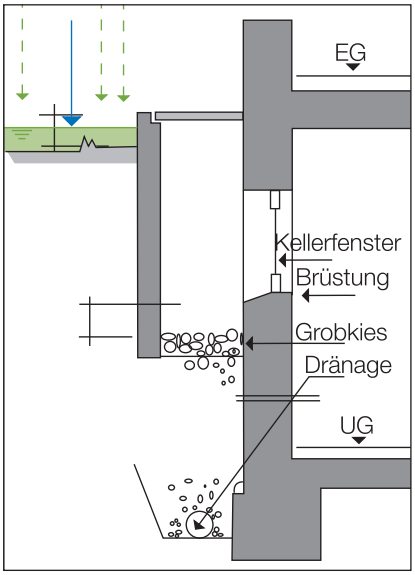
Türsituation:
Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Türöffnung nicht erreichen. Das Gefälle soll vom Gebäude weg gerichtet sein.

© 2007 VKF/AEAI

Fenstersituation:
Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Fensteröffnung nicht erreichen.



Lichtschachtsituation:
Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Lichtschachtöffnung nicht erreichen.
Der Lichtschacht kann bei ausreichender Untergrundentwässerung an seiner Sohle offen ausgebildet sein. Im Falle von drückendem Grundwasser ist der Lichtschacht als geschlossenes Becken dicht und auftriebssicher an das Gebäude anzuschliessen.



© 2007 VKF/AEAI

Lösungen für Lichtschächte

Oberkante des Lichtschachtes liegt über der Rückstauebene





Erhöhte Anordnung des Lichtschachtes, allenfalls mit Einbezug in Umgebungsgestaltung (Sitzbank).

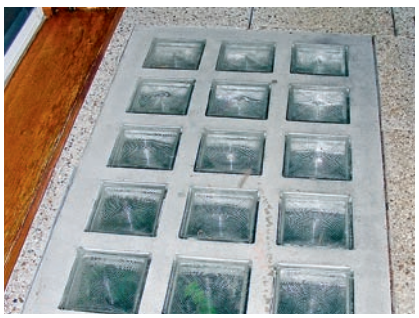
Oberkante des Lichtschachtes liegt unter der Rückstauebene



Variante A: Lichtschacht mit abgedichtetem und verschraubbarem Deckel (Normalzustand: verschraubt).



Variante B: Abschottung der tiefer liegenden Lichtschachtöffnung durch seitliche Mauern, welche bis zur Rückstauebene hochgezogen sind.



Variante C: Permanentes Verschliessen des Lichtschachtes mit Glasbausteinen.

Hochführen von Lüftungsöffnungen

Lüftungsöffnungen stellen oftmals unerkannte Eintrittswege von Oberflächenwasser in das Gebäude dar. Lüftungen sind u.a. notwendig für Öltanks, Zivilschutzräume und Anlagen der Gebäudeklimatisierung. Besondere Beachtung ist den in den Fensterleibungen eingelassenen Luftfassungen privater Luftschutzkeller zu schenken.

© 2007 VKF/AEAI

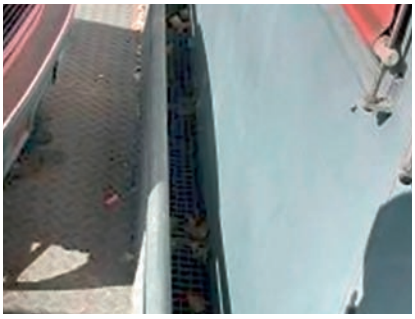
Erhöhung der Schutzraumzuluftfassung.



Erhöhung der Schutzraumzuluftfassung.



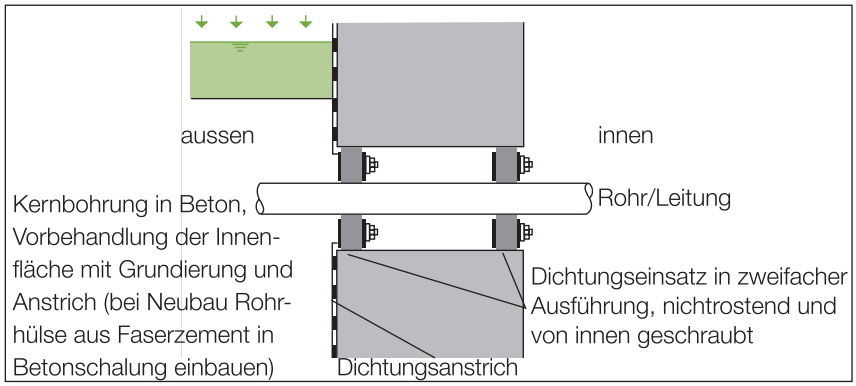
Aufbordung im Bereich der Abluftöffnung von Untergeschossen.



Leitungsdurchführungen

Durchdringungen der wasserundurchlässigen Gebäudehülle werden sich nicht vermeiden lassen. So sind z.B. Rohrleitungen der Wasser- oder Gasversorgung, Entwässerung, Elektro-, Fernseh-, Telefonkabel sowie Fernwärme-, Lüftungs- und Heizungsrohre durch die wasserundurchlässige Wand oder Sohle zu führen. Diese Durchdringungen sind wasserundurchlässig herzustellen. Bei Mantelrohren und Bohrungen wird der Zwischenraum mit Dichtungsmaterial verschlossen und abgedichtet. Bei Flanschrohren wird die Rohrleitung dichtend angeflanscht.

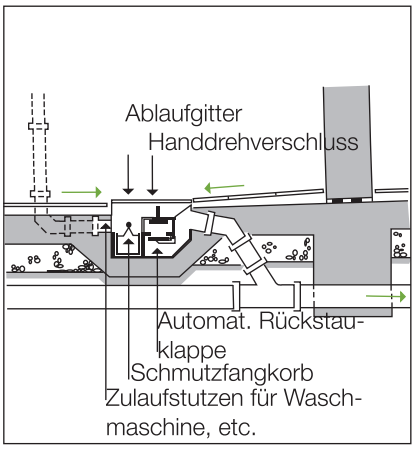
Dichtungseinsatz für Kunststoffmantelrohr



© 2007 VKF/AEAI

Rückstauschutz / Hebeanlagen

Bei Kanalisationsleitungen ist der Schutz vor einem Rückstau resp. Rückfluss die wichtigste Massnahme. Alle Abläufe und Sanitäreinrichtungen unterhalb der Rückstauebene sind entsprechend gefährdet. Mittels verschiedener Typen von Rückstauklappen und -schiebern sowie durch Hebeanlagen kann eine Überschwemmung im Gebäudeinnern durch Rückströmungen im Kanalisationsnetz vermieden werden. Der Vorteil der automatischen Rückstauklappe liegt in ihrer Unabhängigkeit bezüglich eines menschlichen Eingriffes. Dies ist wichtig, da der Eintritt eines Rückstaus nicht direkt wahrnehmbar ist. Die Anordnung solcher Rückflusssperren kann bei Gebäuden ausserhalb des potenziellen Überschwemmungsgebietes ebenfalls von Bedeutung sein. Insbesondere wenn die oberirdische Ausdehnung durch Hindernisse beschränkt wird, kann es zur (inneren) Überschwemmung von Gebäuden in an sich unbetroffenen Gebieten kommen. Soll während des Überschwemmungsereignisses eine ununterbrochene Schmutzwasserabfuhr möglich sein (z.B. bei Spitälern, Pflegeheimen etc.), so ist die Anordnung eines parallel geschalteten, isolierten Auffangbeckens mit Hebeanlage vorzusehen.



Pumpe

Ein allfälliges Restrisiko hinsichtlich durchsickernden Wassers kann effizient verringert werden durch die Anordnung einer Tauchpumpe, gegebenenfalls mit Notstromanschluss im Untergeschoss. Abgesaugtes Wasser wird in der Druckleitung der Pumpe über die Rückstauebene dem Kanalnetz zugeführt.

© 2007 VKF/AEAI

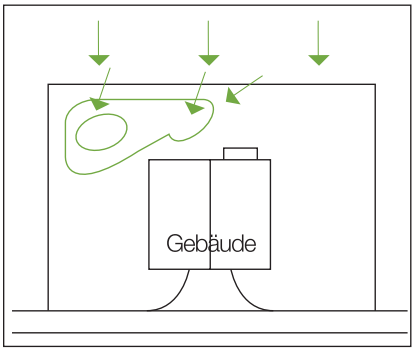
Massnahmen zur Bewältigung des Oberflächenwassers

Bei der Gestaltung des Grundstückterrains ist das Oberflächenwasser in die Planung einzubeziehen. Das Gefälle des Terrains ist stets vom Gebäude weg vorzusehen. In einem ersten Analyseschritt ist abzuschätzen, von welcher Nachbarparzelle wie viel Wasser oberflächlich bei einem Starkregenereignis zufliesst. Die Pflicht zum Aufnehmen von oberflächlich zufliessendem Wasser ist im Schweizerischen Zivilgesetzbuch (ZGB) verankert:

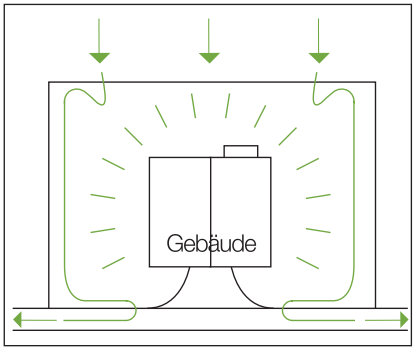
ZGB Art. 689:
«[1]Jeder Grundeigentümer ist verpflichtet, das Wasser, das von dem oberhalb liegenden Grundstück natürlicherweise abfliesst, aufzunehmen, wie namentlich Regenwasser, Schneeschmelze und Wasser von Quellen, die nicht gefasst sind.
[2]Keiner darf den natürlichen Ablauf zum Schaden des Nachbarn verändern.

Es stehen folgende Massnahmenmöglichkeiten zur Wahl:
– Retention (Retentionsmulden)
– Versickerung (Versickerungsmulden, Versickerungsschächte in den Untergrund)
– Durchleiten (Terrainrinnen durch das Grundstück)
– Sammeln und Abführen (Sammelrinnen und -schächte und Meteorleitungen)
– Abschirmen (Dämme / Sperren entlang der Grundstücksgrenze)

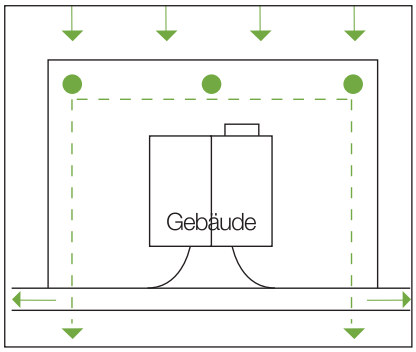
Sehr oft kommen in der Praxis Kombinationen dieser Massnahmenmöglichkeiten zur Anwendung. Zur Bemessung der Retentions- und Versickerungsbauwerke kann auf die Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten (VSA 2002) verwiesen werden.



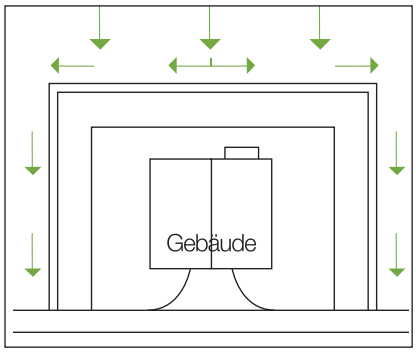
Retention / Versickerung



Durchleiten



Sammeln / Abführen



Abschirmen

Im zweiten Analyseschritt ist das auf der eigenen Parzelle anfallende Oberflächenwasser zu ermitteln. Hierbei ist auch der Überlastfall von Dachflächenentwässerungen einzubeziehen. Im dritten Schritt ist das Massnahmenkonzept zur Bewältigung des gesamten Oberflächenwassers zu erarbeiten. Zusätzlich ist auch eine Überlastung des Gesamtsystems (Überlastfall) zu berücksichtigen.

© 2007 VKF/AEAI

Dämme und Rampen

Mit Erddämmen lassen sich bestehende Gebäude vor Oberflächenwasser schützen. Diese Schutzvariante stellt sehr oft eine landschaftsplanerisch gute Lösung dar. Das Wasser wird nach Möglichkeit entlang der Grundstücksgrenze abgeleitet. Eine erhöhte Gefährdung von Dritten muss dabei verhindert werden.



Landschaftlich gut eingepasster Erddamm entlang der Grundstücksbegrenzung.



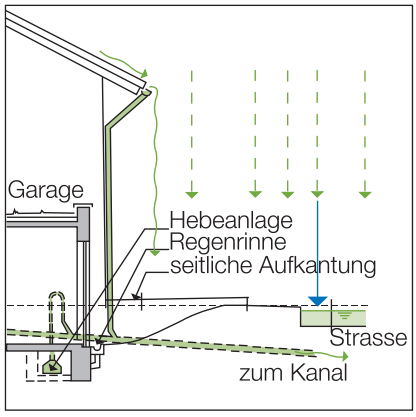
Kann das Wasser mit dem Erddamm nicht abgeleitet, sondern lediglich zurückgehalten werden, so ist eine Abführung über Schächte notwendig.



Rampe zur Überwindung eines umgrenzenden Erddamms.

Zufahrt zu tieferliegenden Garagen und Plätzen

Bei Zufahrten zu tieferliegenden Garagen und Plätzen ist die Kenntnis der Rückstauebene (blauer Pfeil) wiederum von grosser Bedeutung. Mittels Rampen ist das Überfliessen in die tieferliegenden Bereiche zu verhinden. Anfallendes Niederschlagswasser und überschiessendes Wasser von Dächern muss allenfalls mittels Hebeanlagen abgeführt werden.





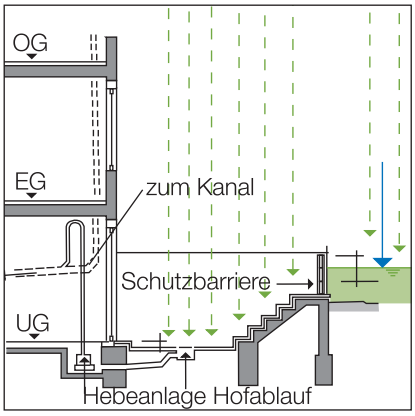


Rampenlösungen bei der Zufahrt zu tieferliegendem Terrain.

© 2007 VKF/AEAI

Zugang zu Untergeschossen

Beim Zugang zu Untergeschossen über Aussentreppen ist die Rückstauebene (blauer Pfeil) bei der Festlegung der obersten Treppenstufe in die Planung einzubeziehen. Nur bei genügend Vorwarnzeit kann das Einsetzen von mobilen Schutzschildern die Untergeschosse schützen. Im Grundsatz sind zum Schutz vor Oberflächenwasser immer permanente Objektschutzlösungen zu wählen.



Stellriemen und Mauern

Stellriemen und Mauern sind Lösungen zur Ableitung von Oberflächenwasser bei beschränkten Platzverhältnissen. Die Wirkungsweise ist dieselbe wie bei Erddämmen.



Dieser Stellriemen schützt das Grundstück vor Strassenwasser.



Diese Mauer schützt den untenliegenden Lichthof vor Oberflächenwasser einer Zufahrt.



Diese Rampe verhindert den Zufluss von Strassenwasser über den Treppenzugang.

Erhöhte Anordnung

Die Anschüttung des Terrains stellt in vielen Fällen bei Neubauten die kostengünstigste und wirksamste Massnahme dar. Das gefährdete Objekt kann so gänzlich vor Oberflächenwasser geschützt werden (Ausnahme: vertieft angeordnete Gebäudezugänge).



© 2007 VKF/AEAI

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

Massnahmenkombinationen

		Massnahmen											
		Konzeption					Abdichtung		Abführung			Abschirmung	
Massnahmenkombination	Gefährdungsbild	Gebäudestandort	Terraingestaltung	Höhenlage Erdgeschoss	Höhenlage Öffnungen	Rückstauschutz Kanalisation	Gebäudehülle	Öffnungen	Sammelschächte / -rinnen, Drains	Retention / Versickerung	Offene Mulden	Erhöhte Anordnung	Damm / Rampe, Stellriemen / Mauer
		Bestehendes Gebäude											
A	1						●	●					
B	1												●
C	1										●		
D	1									●			
E	1								●				
F	2						●	●					
G	2												●
H	3												●
I	4						●	●					
J	4								●				
K	4									●			
L	5						●	●					
		Neubau											
M	1	●	●	●	●								
N	1						●	●					
O	1								●				
P	1									●			
Q	1										●		
R	1											●	
S	1												●
T	2	●		●	●	●							
U	2	●					●	●					
V	2					●						●	
W	2					●							●
X	3												●
Y	4						●	●					
Z	5						●	●					

© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombination A «Abdichtung bei Hanglage»	Die betroffenen Gebäudeöffnungen werden permanent verschlossen oder so erhöht (Lichtschächte), dass kein Oberflächenwasser eindringen kann.
Massnahmenkombinationen B und S «Damm / Mauer bei Hanglage»	Entlang der Grundstücksgrenze verhindern Kleindämme, Stellriemen oder Mauern das Zufliessen von Oberflächenwasser zum Gebäude.
Massnahmenkombinationen C und Q «Abführung über offene Mulden»	Das Oberflächenwasser wird über offene Mulden am Gebäude vorbeigeleitet. Das Terraingefälle ist zudem abfallend vom Gebäude weg.
Massnahmenkombinationen D, P, K «Retention / Versickerung»	Das Oberflächenwasser wird oberflächlich über Rinnen gesammelt, gespeichert und örtlich über Versickerungsbauwerke dem Untergrund zugeführt.
Massnahmenkombinationen E und O «Abführung über Rinnen und Sammelschächte»	Das Oberflächenwasser wird in Rinnen gesammelt und über Sammelschächte und Leitungen dem Meteorwassernetz zugeführt.
Massnahmenkombination F «Abdichtung bei Muldenlage»	Die betroffenen Gebäudeöffnungen werden permanent verschlossen oder so erhöht (Lichtschächte), dass kein Oberflächenwasser eindringen kann. Nach Bedarf ist auch die Gebäudehülle abzudichten.
Massnahmenkombinationen G und W «Damm / Mauer bei Muldenlage»	Entlang der Grundstückgrenze verhindern Kleindämme oder Mauern das Zufliessen von Oberflächenwasser zum Gebäude. Nach Bedarf sind zusätzliche Dichtungsmassnahmen im Untergrund notwendig.
Massnahmenkombinationen H und X «Rampe bei Zufluss von Strassenwasser»	Mittels Rampen wird verhindert, dass auf der Strasse zufliessendes Oberflächenwasser zum Gebäude gelangt.

© 2007 VKF/AEAI

1 Massnahmenkombinationen I und Y «Abdichtung bei Zufluss von Dach- und Platzwasser»

Die betroffenen Gebäudeöffnungen werden permanent verschlossen oder so erhöht (Lichtschächte), dass kein Oberflächenwasser eindringen kann.

2 Massnahmenkombination J «Abführung bei Zufluss von Dach- und Platzwasser»

Das Oberflächenwasser wird in Rinnen gesammelt und über Sammelschächte und Leitungen dem Meteorwassernetz zugeführt.

3 Massnahmenkombinationen L und Z «Abdichtung gegen Schlagregen»

Für die Gebäudehülle und die Fenster werden ausschliesslich Produkte verwendet, welche eine geprüfte Schlagregendichtheit aufweisen.

4 Massnahmenkombination M «Konzeptionelle Schutzmassnahmen bei Hanglage»

Beim Neubau wird mittels konzeptionellen Schutzmassnahmen (Gebäudestandort, Terraingestaltung, Höhenlage von Erdgeschoss und Öffnungen) das Oberflächenwasser am Eindringen in das Gebäude gehindert.

Massnahmenkombinationen N und U «Neubauabdichtung»

Eine dichte Gebäudehülle und genügend hoch angeordnete Öffnungen schützen vor dem Oberflächenwasser.

5 Massnahmenkombination R «Erhöhte Anordnung»

Der Neubau wird erhöht angeordnet, so dass das Oberflächenwasser die Gebäudehülle nicht erreicht.

6 Massnahmenkombination T «Konzeptionelle Schutzmassnahmen bei Muldenlage»

Beim Neubau wird mittels konzeptionellen Schutzmassnahmen (Gebäudestandort, Höhenlage von Erdgeschoss und Öffnungen, Rückstauschutz) das Wasser am Eindringen in das Gebäude gehindert.

7 Massnahmenkombination V «Erhöhte Anordnung bei Muldenlage»

Der Neubau wird erhöht angeordnet (inkl. Rückstauschutz), so dass Wasser nicht in das Gebäude eindringen kann.

© 2007 VKF/AEAI

Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse

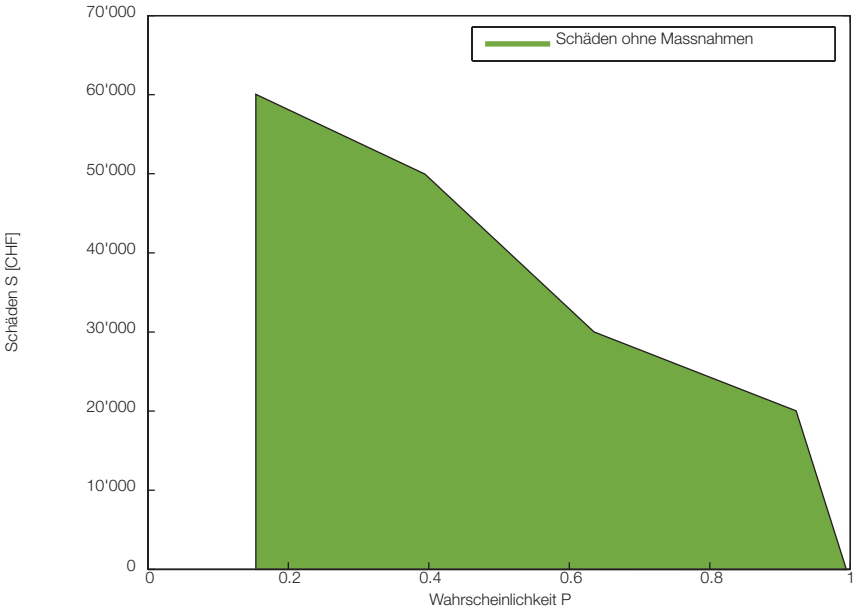
Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Oberflächenwassers mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen. Die Methodik ist im Anhang E der vorliegenden Wegleitung detailliert beschrieben.

Kosten

Ein Mehrfamilienhaus wird angrenzend an eine mittelsteil geneigte freie Wieslandfläche erstellt. Zur Aufnahme und Abführung des Oberflächenwassers werden Kleindämme und Sammelschächte mit Meteorwasserleitungen erstellt. Die Bemessung erfolgt für ein Ereignis der Wiederkehrperiode von 300 Jahren. Die Kosten dieser Investition betragen CHF 7'000.-. Wird eine Lebensdauer von 50 Jahren angenommen, so resultieren verzinste Mehrkosten gegenüber der Variante ohne Objektschutzmassnahmen von CHF 30'687.- (Zins 3%).

Nutzen

Als Nutzen werden der verhinderte Schaden (Überschwemmung Kellerräume, Heizungsanlage) eingerechnet. Es wird angenommen, dass der Schadensbeginn bei einem 10-jährlichen Starkregenereignis liegt. Der Nutzen wird für einen Betrachtungshorizont von 50 Jahren berechnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein 10-jährliches Ereignis innerhalb von 50 Jahren eintritt, beträgt 99.5 % (P = 0.995). Gemäss den in der folgenden Abbildung dargestellten Schäden resultiert für die Variante ohne Damm ein Schadenerwartungswert von CHF 30'800.- (Methodik vgl. Anhang). Dies stellt gleichzeitig den Nutzen dar, da die Variante mit Damm den Schadenerwartungswert 0 aufweist.



Kosten-Nutzen-Vergleich

Als Kosten-Nutzen-Vergleich werden nun die Mehrkosten dem Nutzen gegenübergestellt. Kosten / Nutzen = CHF 30'687.- / CHF 30'800.-. Dies bedeutet, dass sich die Objektschutzmassnahme ökonomisch rechtfertigt. Allerdings muss die Abflusskapazität der Entwässerung mindestens auf ein Ereignis der Wiederkehrperiode von 300 Jahren bemessen sein. Nur dann liegt der Nutzen knapp über den Kosten.

© 2007 VKF/AEAI

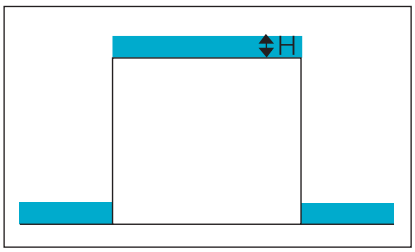
© 2007 VKF/AEAI

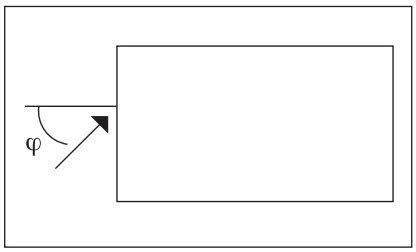


© 2007 VKF/AEAI

Bezeichnungen

I [mm/h]: Niederschlagsintensität
T_N [h]: Niederschlagsdauer
s_k [kN/m²]: charakteristische Schneelast auf horizontalem Gelände (gemäss SIA 261)
q_k [kN/m²]: charakteristische Schneelast auf Dächern (gemäss SIA 261)
$q_{k,r}$ [kN/m]: Linienlast bei auskragenden Bauteilen (Schneeüberhang gemäss SIA 261)
h [m]: Schneehöhe pro Ereignis
H [m]: Gesamtschneehöhe
q_s [kN/m³] Raumlast des Schnees
SWE [mm] Schneewasserwert
φ [°] Windrichtung horizontal
T_V [h]: Vorwarnzeit (Dauer von Gefahrenerkennung bis Ereignisbeginn)





Charakterisierung

Die **Schneefallintensität** bestimmt den Schneezuwachs auf dem Dach. Je grösser diese Intensität, desto weniger Zeit verbleibt, um eine allfällige Dachschneeräumung vorzunehmen.

Die **Schneefalldauer** bestimmt den totalen Schneezuwachs pro Ereignis.

Die **Raumlast** von Schnee ist innerhalb der Schneedecke veränderlich, nimmt in der Regel mit der Liegedauer zu und ist vom Standort abhängig.

Der **Schneewasserwert** entspricht dem Wasserwert der Gesamtschneedecke, wie sie sich bei Akkumulation aus den verschiedenen Niederschlagsereignissen im Laufe eines Winters ergibt. Der Schneewasserwert wird in mm angegeben und entspricht der fiktiven Höhe des Wassers, die sich aus dem Schmelzen der Gesamtschneedecke ergeben würde. Auf Dächern, die periodisch vom Schnee befreit werden, muss der Schneewasserwert jeweils gesondert erhoben werden.

Die **Windverhältnisse** bestimmen die Homogenität der Schneeablagerungen. In der Norm SIA 261 wird gemäss Lastmodell 2 auch eine ungleichmässige Ablagerung infolge Windverfrachtung berücksichtigt. Bei aussergewöhnlichen Windverhältnissen sind objektspezifische Untersuchungen notwendig.

Die Anzahl und Dauer der auftretenden **Frost- / Tauperioden** sind mitbestimmende Faktoren für die totale Schneeakkumulation und die Vereisung und Vernässung des Dachschnees. Der unbehinderten Entwässerung des Daches bei Tauperioden ist besondere Beachtung zu schenken. Ein grosser Wärmedurchgang an der Dachoberfläche kann den Schmelzprozess beschleunigen.

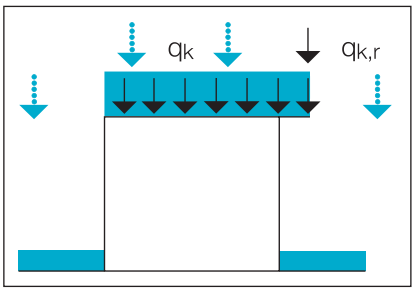
Die **Vorwarnzeit** ist bedeutungsvoll, wenn die aktuelle Schneelast annähernd so gross ist wie die Bemessungsschneelast und weitere Schneefälle erwartet werden.

Intensitätsparameter zur Bemessung

Zur Bemessung bedarf es Angaben zur **Schneelast** und zur lokalen **Windexposition**. Die Schneelast kann der Norm SIA 261 entnommen werden. Die lokale Windexposition ist allenfalls durch einen Fachmann zu ermitteln. Bei erhöhtem Schadenpotenzial sind allenfalls höhere Schutzziele zu wählen.

© 2007 VKF/AEAI

Gefährdungsbild 1: Schnee ohne Wind

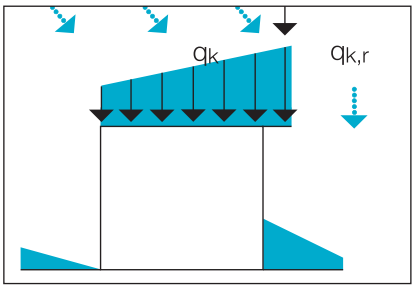


Die Ablagerung des Schnees ist gleichmässig. Für geneigte Dächer sind die Lastanordnungen gemäss SIA 261 zu berücksichtigen. Bei



auskragenden Bauteilen ist ein Schneeüberhang als Linienlast gemäss SIA 261 zu berücksichtigen.

Gefährdungsbild 2: Schnee mit Wind

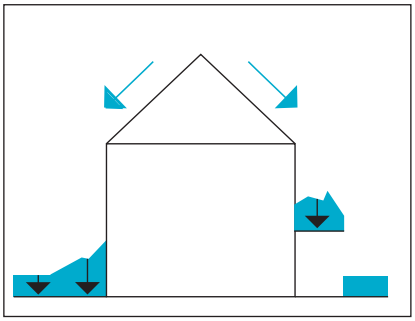


Die Ablagerung des Schnees ist ungleichmässig. Die massgebende Lastanordnung ist gemäss SIA 261, Lastmodell 2 zu ermitteln. Bei auskragenden Bauteilen ist ein



Schneeüberhang als Linienlast gemäss SIA 261 zu berücksichtigen. Aussergewöhnliche Windverhältnisse erfordern objektspezifische Untersuchungen.

Gefährdungsbild 3: Schneerutsch

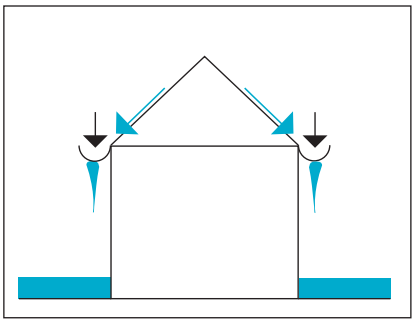


Dieses Gefährdungsbild tritt bei Steildächern (i.d. Regel bei Neigung > 25°) und bei Traglufthallen auf, wenn das Abgleiten des Schnees ohne Behinderung möglich ist.



Die erhöhten Belastungen infolge abgeglittenen Schnees auf untenliegenden Dachflächen oder am Fusse von Traglufthallen ist speziell zu berücksichtigen.

Gefährdungsbild 4: Eislast



Ungünstiger Frost-Tau-Wechsel verursacht bei Steildächern hohe Eislasten im Traufbereich. Diese Eislasten stellen einerseits eine Beanspruchung der Traufe dar, andererseits führt abbrechendes Eis zu Personen- und Sachschäden.

© 2007 VKF/AEAI

Schneelast

Grösse und Form der Schneelast werden beeinflusst durch das Klima, die Topographie, den Standort und die Form des Bauwerks, sowie durch die Windeinwirkung, die Beschaffenheit der Dacheindeckung und den Wärmeaustausch an der Dachoberfläche.
Der charakteristische Wert der Schneelast auf Dächern q_k ist gemäss **SIA 261, Kapitel 5 Schnee** zu ermitteln.

Für Bauwerke über 2000 m über Meer und für Bauwerke an Lagen mit aussergewöhnlichen Schnee- und Windverhältnissen ist die Norm SIA 261 nicht anwendbar. In solchen Fällen sind zum Festlegen der Schneelast objektspezifische Untersuchungen über Schneehöhe und Ablagerungsverhältnisse notwendig.

Raumlast der verschiedenen Schneearten

Die Richtwerte der mittleren Raumlasten für Schnee auf horizontalem Gelände gemäss SIA 261 und deren Bandbreiten sind:

Schneeart	Richtwert [kN/m³]	Bandbreiten [kN/m³]
Neuschnee	1.0	0.5 – 2.5
Filzschnee (einige Stunden bis Tage nach dem Neuschneefall)	2.0	1.0 – 3.0
Altschnee (wochen- bis monatealter Schnee)	3.5	2.0 – 5.0
Nassschnee	4.0	2.0 – 7.0

Schneelast auf horizontalem Gelände in Bezug auf die Schneehöhe

Der charakteristische Wert der Schneelast auf horizontalem Gelände beträgt gemäss Norm SIA 261:

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350}\right)^2\right] * 0.4 \geq 0.9 \text{ kN/m}^2$$

Die Bezugshöhe h_0 (in m) ist gemäss Anhang D zu ermitteln. Die massgebende korrigierte Höhe ergibt sich dabei aus der Höhe des Standortes und einer klimabedingten Korrektur.

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Schneelast auf horizontalem Gelände s_k für die Bezugshöhe h_0 bei verschiedenen Raumlasten und Schneehöhen.

© 2007 VKF/AEAI

Schneeart (Richtwert Raumlast)		**Neuschnee** (1.0 kN/m³)	**Filzschnee** (2.0 kN/m³)	**Altschnee** (3.5 kN/m³)	**Nassschnee** (4.0 kN/m³)
Korrigierte massgebende Höhe in m ü. M.	**Schneelast in kN/m²**	Schneehöhe in m			
400	**0.92**	0.92	0.46	0.26	0.23
500	**1.22**	1.22	0.61	0.35	0.30
600	**1.58**	1.58	0.79	0.45	0.39
700	**2.00**	2.00	1.00	0.57	0.50
800	**2.49**	2.49	1.24	0.71	0.62
900	**3.04**	3.04	1.52	0.87	0.76
1000	**3.67**	3.67	1.83	1.05	0.92
1100	**4.35**		2.18	1.24	1.09
1200	**5.10**		2.55	1.46	1.28
1300	**5.92**		2.96	1.69	1.48
1400	**6.80**		3.40	1.94	1.70
1500	**7.75**		3.87	2.21	1.94
1600	**8.76**			2.50	2.19
1700	**9.84**			2.81	2.46
1800	**10.98**			3.14	2.74
1900	**12.19**			3.48	3.05
2000	**13.46**			3.85	3.37

Rot hinterlegt ist der Bereich unrealistischer Werte.

Bemessung von Schutzvorrichtungen gegen Schneerutsch

Die Bemessung von Schneefängern und Schneestoppvorrichtungen richtet sich nach den Herstellerangaben der jeweiligen Systeme. Im Anhang finden sich Hinweise zu solchen Herstellerrichtlinien.

© 2007 VKF/AEAI

Tragwerksversagen

Bei der Mehrzahl der Schadenfälle der jüngsten Vergangenheit handelt es sich um Fehler der Bemessung und der konstruktiven Durchbildung des Tragwerks.





Beispiele von Hallendacheinstürzen mit Holz- und mit Stahlträgern.

Schneerutsch

Fehlende oder ungenügende Vorrichtungen gegen Schneerutsch von Dächern führen zur Gefährdung von Personen im Freien und zu Schäden an Dachaufbauten und an tiefer liegenden Gebäudeteilen.



Beispiel eines gebrochenen Vordaches infolge Schneerutschs vom Dach.



Beispiel einer beschädigten Dachaufbaute (Storenkasten) infolge von Schneerutscheinwirkung.



Beispiel eines beschädigten Zwischendaches infolge von Schneerutsch vom Hauptdach.

© 2007 VKF/AEAI

Gebäudestandort

Der Gebäudestandort bestimmt unter anderem die Windexposition. Diese ist für die windbeeinflusste Schneeverteilung auf dem Dach bedeutsam. Den örtlichen Windverhältnissen ist Rechnung zu tragen. Gegebenenfalls sind objektspezifische Untersuchungen zur Windsituation notwendig. Im Weiteren bestimmt der Gebäudestandort auch die Häufigkeit des Frost-Tau-Wechsels.

Höhenlage

Die Höhenlage in [m] über Meer bestimmt die Schneelast. Die Korrektur der Bezugshöhe gemäss Anhang D der Norm SIA 261 trägt dem regionalen Klima Rechnung.

Dachform

Für Dächer normal windexponierter Gebäude sind die Dachformbeiwerte gemäss Norm SIA 261 massgebend. Für Bauwerke an Lagen mit aussergewöhnlichen Windverhältnissen sind ortsspezifische Abklärungen notwendig. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen zeigt sich, dass bei grossflächigen Dächern mit tiefen Dachformbeiwerten (Bsp. Flachdächer) Vorsicht geboten ist.

Gebäudeausrichtung

Die Gebäudeausrichtung bestimmt die Ablagerung des Schnees infolge der Windverhältnisse. Entsprechend günstig ist die parallele Giebelausrichtung zur Hauptwindrichtung bei einem Satteldach. Bei einem Pultdach ist es günstig, die tiefer liegende Traufseite rechtwinklig der Hauptwindrichtung zugewandt anzuordnen.

Wärmedurchgang Dach

Ein grosser Wärmedurchgang an der Dachoberfläche beschleunigt den Schmelzprozess des Dachschnees. Gemäss Norm SIA 261 kann dies mit Hilfe eines thermischen Beiwertes berücksichtigt werden. Der Einfluss des Ausfalls technischer Installationen auf den angenommenen Wärmedurchgang ist dabei zu prüfen, beispielsweise bei Glasdächern über geheizten Räumen.

© 2007 VKF/AEAI

Gebäudehülle / Tragwerk / Fundament

Der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Dach ist gemäss Norm SIA 261 zu ermitteln. Diese Last ist über die Gebäudehülle und das Tragwerk bis in das Fundament abzuleiten. Eine sorgfältige konstruktive Umsetzung ist notwendig.

Dachtraufe

In Gebieten mit häufigen Frost-Tau-Wechseln und entsprechend hohen Eislasten im Bereich der Dachtraufe sind allenfalls Verstärkungen vorzusehen. Zur Vermeidung von Personen- und Sachschäden durch abbrechendes Eis empfiehlt es sich jedoch, Ablagerungen frühzeitig zu entfernen. Als alternative Lösung ist hier die elektrische Rinnenheizung zu nennen.

© 2007 VKF/AEAI

Schutzvorrichtungen gegen Schneerutsch

Als Schutzvorrichtung gegen Schneerutsch kommen Schneefänger, Schneebalken und Schneestopper in Frage. Die Hersteller informieren über die angemessene Bemessung dieser Schutzmassnahmen. Generell sind solche Vorkehrungen bei Dachneigungen ab 25° zu empfehlen.



Beispiel einer Schneestoppvorrichtung.



Beispiel eines Schneefängers.

Notmassnahmen

Die Notmassnahmen im Falle von Starkschneefällen, welche das Bemessungsniveau erreichen können, gliedern sich folgendermassen:

1. Ermittlung der zulässigen Schneelast für das vorhandene Tragwerk (anhand der Bauwerksakten bzw. einer statischen Beurteilung)
2. Messung oder Abschätzung der aktuellen örtlichen Schneelast
3. Vergleich von Bemessungsschneelast mit aktueller Schneelast
4. Abfrage der weiteren Schneefallprognose (www.meteoschweiz.ch, www.slf.ch)
5. Falls nötig: Dachschneeräumung/ Eislastentfernung durch ausgebildetes Personal veranlassen
6. Falls nötig: Evakuation der betroffenen Räume eines Gebäudes

© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombinationen

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

		Massnahmen							
		Konzeption					Lastabtragung / Verstärkung		Stabilisierung
Massnahmenkombination	**Gefährdungsbild**	Gebäudestandort / generelle Exposition	Höhenlage	Dachform	Gebäudeausrichtung (Mikroklima / Umgebung)	Wärmedurchgang Dach	Gebäudehülle / Tragwerk / Fundament	Dachtraufe	Schutzvorrichtungen gegen Schneerutsch
		Bestehendes Gebäude							
A	1						●		
B	2	●					●		
C	3								●
D	4							●	
		Neubau							
E	1	●	●	●		●	●		
F	2	●	●	●	●	●	●		
G	3								●
H	4							●	

© 2007 VKF/AEAI

Massnahmenkombination A «Verstärkung bei Schneelast ohne Wind»	Die Gebäudehülle und das Tragwerk werden im Rahmen eines Umbaus verstärkt.
Massnahmenkombination B «Verstärkung bei Schneelast mit Wind»	Die Gebäudehülle und das Tragwerk werden im Rahmen eines Umbaus verstärkt. Die spezifische örtliche Windexposition wird bei der Bemessung berücksichtigt.
Massnahmenkombinationen C und G «Schutz bei Schneerutsch»	Bei Dachneigungen grösser als 25° werden Vorrichtungen zum Schutz vor Schneerutsch vorgesehen.
Massnahmenkombinationen D und H «Schutz bei Eislast»	Bei Gebäudestandorten mit hohen Schneemengen und häufigen Frost-Tau-Wechseln werden Verstärkungsmassnahmen im Bereich der Dachtraufen vorgesehen.
Massnahmenkombinationen E und F «Neubaukonzeption»	Beim Neubauentwurf werden die konzeptionellen Kriterien (Standort, Höhenlage, Dachform, Ausrichtung, Wärmedurchgang Dach) in die Planung miteinbezogen. Gebäudehülle und Tragwerk werden gemäss den Anforderungen mit Windeinwirkung bemessen.

© 2007 VKF/AEAI

Beispiel einer Kosten-Nutzen-Analyse

Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Schutzes vor Schneerutschungen mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen.

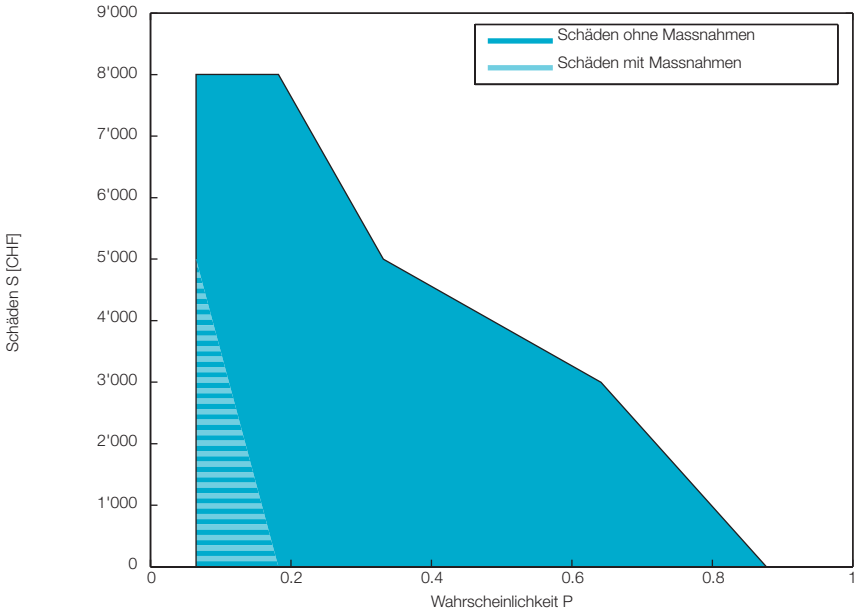
Die Methodik ist im Anhang E der vorliegenden Wegleitung detailliert beschrieben.

Kosten

Ein Einfamilienhaus mit einer Dachfläche von 200 m^2 und einer Dachneigung von 36° wird neu auf einer Höhenlage von 800 m ü. Meer erstellt. Die Vorrichtungen zum Schutz vor Dachschneelawinen kosten inkl. Montage CHF 2'500.-. Diese Mehrkosten gegenüber der Variante ohne Schneestoppvorrichtung betragen verzinst mit 3% über 20 Jahre K = CHF 4'515.-.

Nutzen

Als Nutzen werden der verhinderte direkte Schaden (gebrochenes Glasvordach) eingerechnet. Es wird angenommen, dass der Schadensbeginn ohne Schneestoppvorrichtung bei einem 10-jährlichen Schneeereignis liegt. Mit Schneestoppvorrichtung ist erst bei einem 100-jährlichem Ereignis mit Schäden zu rechnen. Der Nutzen wird für einen Betrachtungshorizont von 20 Jahren berechnet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein 10-jährliches Ereignis innerhalb von 20 Jahren eintritt, beträgt 87.8 % (P = 0.878), ein 100-jährliches tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von 18.2 % (P = 0.182) ein. Es werden die Schadenausmasse gemäss folgender Graphik angenommen. Gemäss der Methodik im Anhang E resultiert ein Nutzen von CHF 3'215.-.



Kosten-Nutzen-Vergleich

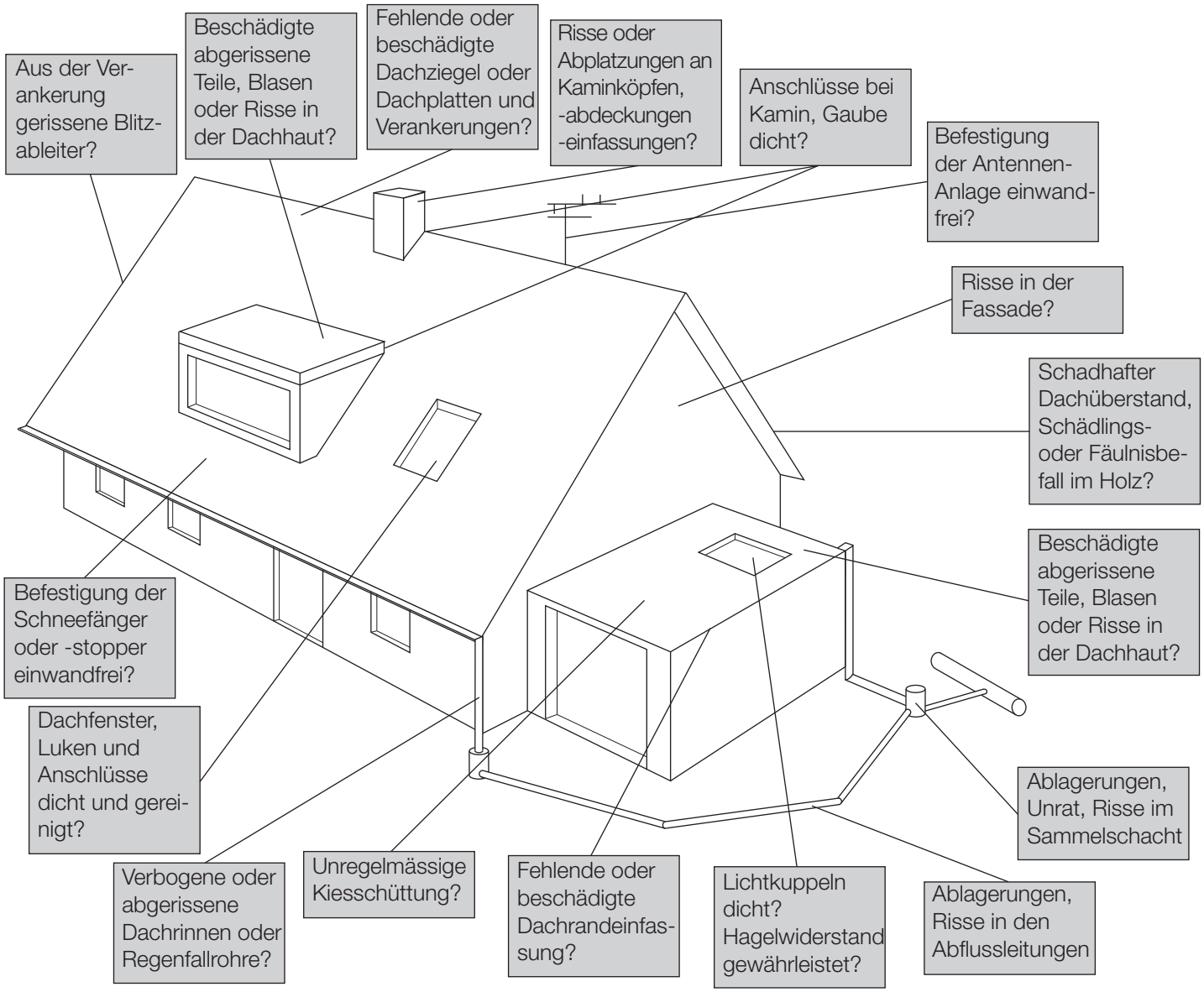
Die Mehrkosten von CHF 4'515.- übersteigen den Nutzen von CHF 3'215.- in geringem Masse. In Anbetracht des dadurch verhinderten Personenrisikos (Eigentümerhaftung!) und weiterer möglicher Schäden im Bereich der Dachaufbauten und der Dachtraufe, welche in dieser Berechnung nicht berücksichtigt sind, sollte auf die Verwendung der Schutzvorrichtungen nicht verzichtet werden.

© 2007 VKF/AEAI



© 2007 VKF/AEAI

Die Kontrolle von Dach, Fassade und Entwässerungssystemen kann nach folgender Checkliste erfolgen:



Kontrolle von Fenstern (Gefahren durch Wind und Regen)

- Kontrolle der Dichtungen im Glasfalz, im Fensterfalz und gegen den Rohbau. Ölkitte müssen regelmässig überstrichen werden. Kittfugen aus dauerelastischen Dichtstoffen sind auf Risse und Flankenablösungen zu überprüfen. Bei Profildichtungen ist der ordnungsgemässe Sitz zu kontrollieren.
- Kontrolle der Wassersammelrinnen. Beseitigung von Schmutzablagerungen, Kontrolle und Reinigung der Abschlussöffnungen.
- Kontrolle der Eckverbindungen an Flügeln und Rahmen.
- Allgemeine Kontrolle von Schutzanstrichen, Eloxierungen oder anderen Oberflächenbehandlungen.
- Kontrolle der seitlichen Fensterbankanschlüsse, insbesondere die Dichtheit von lediglich aufgesteckten Aufbordungen und die Funktionstüchtigkeit von Kittfugen.
- Kontrolle der Fensterrahmenanschlüsse gegen die angrenzende Fassade, insbesondere Kontrolle des Zustandes von Kittfugen.

© 2007 VKF/AEAI

Kontrolle von grossformatigen Schuppeneindeckungen auf Holzkonstruktionen

Durch Abschwinden der Holzunterkonstruktion wie Pfetten, Schalungen lockern sich die Schrauben und die Distanz zwischen Holz und Schraubenkopf vergrössert sich. Bei starkem Wind beginnen die Dachplatten zu schlagen und erhöhen die Gefahr des Durchstanzens des Schraubenkopfes durch die Dachplatte. Damit an der Bedachung keine Schäden auftreten, müssen auf Holzkonstruktionen alle Schrauben ein Jahr nach Verlegung der Dachplatten durch den Hersteller nachgezogen werden.

Kontrolle der Entwässerungssysteme

Die Kontrolle und Reinigung des Entwässerungssystems (inkl. Sickerleitungen) gewährleistet deren volle Funktionstüchtigkeit im Falle eines Regenereignisses.

Mögliche Versagensarten sind: Verwurzelungen im Rohr, Korrosion, Rissbildung, unsachgemässe Seitenanschlüsse, undichte Rohrverbindungen, Rohrversatz, Verformung, Wassereinbruch.



Hochdruckspülung einer verstopften Flachdachentwässerung.



Die periodische Kontrolle und Reinigung von Dachrinnen schützt vor Verstopfungen der Fallleitungen durch Laub und Äste.



Die periodische Kontrolle von Flachdachentwässerungen ist zwingend notwendig, damit keine Rückstaugefahr besteht.

© 2007 VKF/AEAI

Periodische Kontrolle und Instandhaltung von Flachdächern

Flachdächer sind witterungsbedingt einer mechanischen Beanspruchung und Alterung unterworfen. Sie können ihre Schutz- und Abdichtungsfunktion nicht unbegrenzt erfüllen. Regelmässige Kontrollen, Wartung und Pflege sowie eine fachmännische Mängelbehebung sind erforderlich, wenn ein Flachdach seine Schutzfunktion über längere Zeit erfüllen soll. Fachfirmen bieten Wartungsverträge an. Die jährlichen Kontrollen sollten mindestens folgende Punkte beinhalten:

Überprüfung	Beurteilung / Massnahmen	Ausführung durch
Dachfläche		
Schutzschichten wie Sand oder Kies können durch den Wind verfrachtet werden. Ist die Schutzschicht ungleichmässig verteilt oder teilweise freigelegt? (Die Materialstärke der Schutzschicht sollte mindestens 50 mm betragen)	Sand oder Kies sorgfältig gleichmässig verteilen, ohne die Abdichtung zu verletzen Ergänzung der Schutzschicht veranlassen	Hauswart / Eigentümer Fachfirma
Hat sich auf dem Dach Moos angesetzt?	Moos sorgfältig entfernen	Hauswart / Eigentümer
Weist die Dachfläche Pflanzenbewuchs auf?	Gräser, Sträucher, Unkraut, entfernen. Abdichtung kontrollieren, wenn nötig reparieren	Fachfirma
Liegen Gegenstände auf dem Dach?	Fremdgegenstände entfernen	Hauswart / Eigentümer
Werden Abspannungen, Hohlräume, Wülste oder Blasenbildung festgestellt?	Ursachen überprüfen und Instandstellung veranlassen	Fachfirma
An- und Abschlüsse		
Sind Blechteile von Korrosion (Rost) befallen?	Betroffene Blechteile entrosten oder ersetzen lassen	Fachfirma
Sind Kittfugen spröde oder haben sich Fugenflanken abgelöst?	Ergänzung oder Ersatz der Kittungen in Auftrag geben	Fachfirma
Weisen aufgehende Bauteile wie Kamine, Brüstungen, Liftbauten usw. Risse auf?	Reparatur durch Fassadenunternehmer veranlassen	Fachfirma
Entwässerung		
Sind Dachwasserrinnen verschmutzt?	Laub- und Schmutzablagerungen sorgfältig entfernen	Hauswart / Eigentümer
Sind Dachwasserabläufe oder Notüberläufe verstopft?	Schmutz sorgfältig entfernen Bei Kalkablagerungen Spezialreinigung durchführen lassen	Hauswart / Eigentümer Fachfirma

Überprüfung und Erneuerung

Die folgenden Normen SIA regeln die Überprüfung und Erneuerung von Bauten:
Norm SIA 462: Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke
Norm SIA 469: Erhaltung von Bauwerken

© 2007 VKF/AEAI

Sturmschaden-Skala

Auf Mitteleuropa angepasste, detaillierte Beschreibung der Fujita- und Torro-Skalen (Dotzek et al. 2000). Anhand dieser Skala können die Schadenfolgen von Stürmen detailliert abgeschätzt werden. Bei der angegebenen Windgeschwindigkeit handelt es sich um Böen.

km/h	m/s	Skala	Merkmale
76 ± 14	17 – 25	T0	Schadensatz: S_{leicht} = 0.05%, S_{massiv} = 0.01% Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben. Äste beginnen abzubrechen, in Getreidefeldern ist der Zugweg erkennbar. Baugerüste können umstürzen, leichte Schäden an Markisen und Zelten. Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern. Keine Schäden an Gebäudetragwerken
104 ± 14	25 – 33	T1	Schadensatz: S_{leicht} = 0.10%, S_{massiv} = 0.05% Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen und können durch die Luft gewirbelt werden. Holzzäune werden umgeworfen. Windbruch an Bäumen. Leichte Schäden an Dachziegeln und Verblechungen. Geringe Schäden an Leichtbauten; keine strukturellen Schäden.
135 ± 16	33 – 42	T2	Schadensatz: S_{leicht} = 0.25%, S_{massiv} = 0.10% Auch schwerere Gegenstände werden vom Boden aufgehoben und können zu gefährlichen Geschossen werden. Fahrzeuge und Anhänger können umgeworfen werden. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer werden teilweise abgedeckt. Geringe bis mittelschwere Schäden an Leichtbauten; erste Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten möglich. An Bäumen werden einzelne starke Äste abgebrochen oder geknickt, kleine Bäume entwurzelt.
167 ± 16	42 – 51	T3	Schadensatz: S_{leicht} = 0.80%, S_{massiv} = 0.25% Einzelne grössere Bäume werden entwurzelt. Zahlreiche Fahrzeuge und Anhänger werden umgeworfen. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer erleiden grössere Schäden. Mittelschwere Schäden an Leichtbauten; einzelne Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Fahrende Autos werden von der Strasse gedrückt.
202 ± 18	51 – 61	T4	Schadensatz: S_{leicht} = 3%, S_{massiv} = 0.80% Schwerer Windbruch an freistehenden Bäumen und in Wäldern. Grosse Schäden an Fahrzeugen und Anhängern. Hohe Gefährdung und Schäden durch herumfliegende Teile. Ganze Dächer werden abgedeckt. Schwere Schäden an Leichtbauten; zunehmend Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten, Einsturz von Giebelwänden möglich.
238 ± 18	61 – 71	T5	Schadensatz: S_{leicht} = 10%, S_{massiv} = 3% Schwere Schäden an Dächern und Anbauten. Schwere Schäden an Leichtbauten; weiter zunehmende Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Vollständiger Einsturz einzelner Gebäude, vor allem landwirtschaftlich genutzter Konstruktionen und Lagerhallen. Kraftfahrzeuge werden hochgehoben.
275 ± 20	71 – 82	T6	Schadensatz: S_{leicht} = 30%, S_{massiv} = 10% Leichtbauten werden in grösserem Umfang zerstört. Schwere Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Einsturz einzelner Gebäude. Schwere Kraftfahrzeuge werden hochgehoben.
315 ± 20	82 – 93	T7	Schadensatz: S_{leicht} = 90%, S_{massiv} = 30% Verbreitet völlige Zerstörung von Leichtbauten und schwere Schäden an Massivbauten. Einsturz zahlreicher Gebäude. Deutliche Entrindung stehenbleibender Bäume durch umherfliegende Trümmer.

© 2007 VKF/AEAI

km/h	m/s	Skala	Merkmale
356 ± 22	93 – 105	T8	Schadensatz: S_{leicht} = 100%, S_{massiv} = 60% Schwere Schäden an Massivbauten. Verbreiteter Einsturz von Gebäuden, deren Einrichtung weit verstreut wird. Kraftfahrzeuge werden über grosse Strecken geschleudert.
400 ± 22	105 – 117	T9	Schadensatz: S_{leicht} = 100%, S_{massiv} = 80% Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Züge werden von den Schienen gerissen. Totale Entrindung stehengebliebener Baumstämme.
445 ± 23	117 – 130	T10	Schadensatz: S_{leicht} = 100%, S_{massiv} = 90% Überwiegend Totalschäden an Massivbauten.
491 ± 23	130 - 143	T11	Schadensatz: S_{leicht} = 100%, S_{massiv} = 95% Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen.

Windsogsicherung für Flachdächer (nach Massong 1998)

Die Flachdachrichtlinien sehen als Massnahme zur Sicherung von Dachabdichtungen gegen Windsog drei verschiedene Verfahren vor:

– Verklebung
– Auflast
– mechanische Befestigung

Lagesicherung durch Verklebung
Die Lagesicherung von Flachdächern durch Verklebung ist nicht ohne weiteres rechnerisch zu erfassen. Die Flachdachrichtlinien enthalten Richtwerte zur Verklebung von Dachabdichtungen.

Die Werte der Tabelle beruhen auf handwerklicher Erfahrung und setzen entsprechende Einbaubedingungen und Materialqualität voraus.

Windsogsicherung von Dachabdichtungen durch Verklebung bei geschlossenen Gebäuden bis h = 20 m (nach Flachdachrichtlinien)

	Ohne Auflast		Mit Auflast	
	Heissverklebung	**Kaltkleber (adhäsiv)**	**Heissverklebung**	**Kaltkleber (adhäsiv)**
Normalbereich:	10% d. Fläche	2 Streifen/m²	-	-
Randbereich:	20% d. Fläche	3 Streifen/m²	10% d. Fläche	2 Streifen/m²
Eckbereich:	40% d. Fläche	4 Streifen/m²	20% d. Fläche	3 Streifen/m²

Lagesicherung durch Auflast
Als Auflast kommen u. a. in Frage:

– Kies (Körnung 16/32), Schüttung min. 5 cm hoch
– Plattenbeläge (Terrassenplatten, Beton, keramische Beläge, Kunststein usw.) auf Kies, Splitt oder Stelzenlager
– Ortbetonplatten
– Begrünungen, Eignung muss nachgewiesen sein.

Für den Nachweis der Windsogrichtung sind die Rechenwerte der Eigenlasten nach DIN 1055-1 auf 80% der Tabellenwerte abzumindern, oder es ist mit den genauen Werten laut Hersteller zu rechnen. Für ein Schüttgut mit dem Tabellenwert der Schüttdichte $\rho_{s,Tab}$ ist der anzusetzende Rechenwert der Schüttdichte $\rho_{s,R}$ also nach folgender Formel zu ermitteln:

$$\rho_{s,R} = 0.8 \cdot \rho_{s,Tab}$$

Mit anderen Dichten und Lasten ist entsprechend zu verfahren (Rechenwert = 0.8 · Tabellenwert).

Die erforderliche Höhe s einer Schüttung als Auflast lässt sich aus dem Rechenwert der Schüttdichte $\rho_{s,R}$ in [kN/m³] und dem 1,5fachen Betrag des Windsogs $|w_s|$ in [kN/m²] wie folgt berechnen:

© 2007 VKF/AEAI

$$s = \frac{1.5\ |w_S|}{\rho_{S,R}}\ [m]$$

mit:

$|w_S|$: Betrag des Windsoges (z. B. |-1.6| = 1.6).

Lagesicherung durch mechanische Befestigung
Die mechanischen Befestigungen unterscheiden sich durch:
– Nagelung
– lineare Befestigung (Einzelbefestiger)
– Linienbefestigung (durchgehende Profile)
– Klettsystem

Bei Befestigung durch Nagelung ist die Ausreissfestigkeit der Bahn am Nagelkopf entscheidend. Die nachfolgende Tabelle gibt Anforderungen an die Nagelung nach den Fachregeln wieder, dabei wird immer vorausgesetzt, dass die genagelte Bahn eine gute Ausreissfestigkeit besitzt (bei Bitumenbahnen z. B. eine Bahn mit Glasgewebeeinlage, nicht mit Glasvlies).

Windsogsicherung von Dachabdichtungen durch Nagelung bei geschlossenen Gebäuden bis h = 20 m (nach Flachdachrichtlinien)

	Ohne Auflast		Mit Auflast: 5 cm Kies	
	Nagelabstand	**Reihenabstand**	**Nagelabstand**	**Reihenabstand**
Normalbereich:	10 cm	90 cm	-	-
Randbereich:	10 cm	30 cm	10 cm	45 cm
Eckbereich:	5 cm	30 cm	5 cm	45 cm

Die Haltekraft von linearen Befestigungen hängt weniger von der Auszugfestigkeit der Befestigungsmittel ab als vielmehr von der Ausreissfestigkeit der befestigten Dachabdichtungen.

Die Ausreissfestigkeit wird u.a. bestimmt von Art und Dicke der Abdichtung sowie ggf. verwendeter Träger, aber auch von Art und Grösse der Halteteller.

Die erforderliche Anzahl erf *n* der Befestiger je m^2 ergibt sich aus dem γ = 1,5fachen Betrag des Windsogs $|w_S|$ in [kN/m^2] und der Bemessungslast zul *F* der Befestiger in [kN]:

$$\text{erf } n = \frac{1.5 \cdot |w_S|}{\text{zul } F}\ [Stck/m^2]$$

Es sind bei Ergebnissen n < 3 jedoch mindestens 3 Stück / m^2 vorzusehen.

Der zulässige Abstand der Befestiger a_{Bef} in der Reihe wird aus erf *n* und dem Reihenabstand a_{Reihe} in [m] (z.B. Achsabstand der Obergurte) wie folgt berechnet:

$$a_{Bef} = \frac{1}{\text{erf } n \cdot a_{Reihe}}\ [m]$$

© 2007 VKF/AEAI

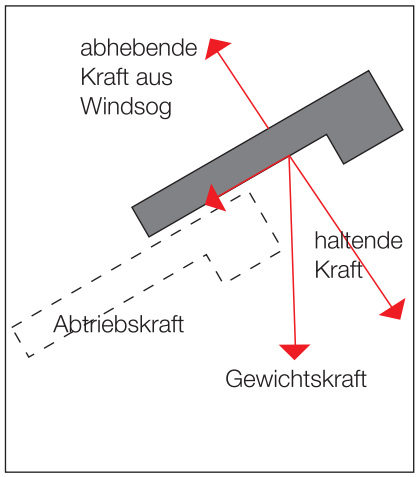
Windsogsicherung für geneigte Dächer (nach Massong 1998)

Genagelte Deckwerkstoffe, welche nach der Fachregeln verarbeitet und befestigt werden, sind ausreichend sturmsicher (z.B. Schieferdeckung).

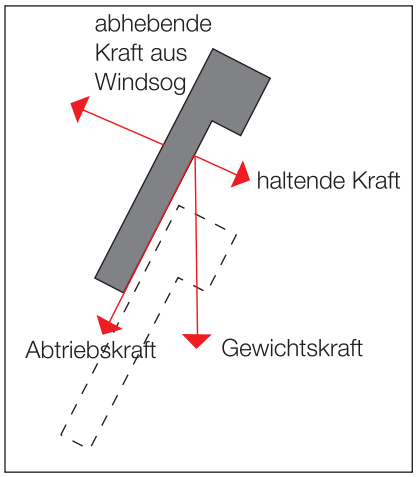
Deckwerkstoffe, welche nur durch ihre Eigenlast auf dem Dach gehalten werden, also Ziegel und Dachsteine, müssen je nach Windsogbelastung durch Klammern o.ä. gesichert werden. Als Alternative hierzu kann eine Hinterlüftung vorgesehen werden. Diese bewirkt ein kurzes Anheben der Ziegel bei einer Böe. Wichtig ist in diesem Fall, dass die Sogkräfte vom Unterdach aufgenommen werden können.

Je steiler ein Dach geneigt ist, desto kleiner wird der Anteil der Eigenlast, welcher den Ziegel o.ä. auf der Lattung hält. Dabei wird als zu sichernde Last die Differenz aus Windsog und massgebender Eigenlast der Deckung angenommen.

Kraftkomponenten eines Dachziegels und abhebende Kraft aus Windsog bei unterschiedlichen Dachneigungen:



A: Flach geneigtes Dach: Haltende Kraft überwiegt; der Ziegel muss nicht befestigt werden.



B: Steiles Dach: Windsog überwiegt; der Ziegel muss befestigt werden.

Ermittlung der erforderlichen Befestigung

Bei allen folgenden Gegebenheiten ist ein rechnerischer Nachweis zu empfehlen:

- Gebiete mit höherem Referenzwert des Staudrucks als 0.9 kN/m² gemäss SIA 261
- Standorthöhe > 1100 m ü. NN
- Firsthöhe > 30 m
- Offene Gebäude mit offener Deckunterlage

Die rechnerische Eigenlast der Deckung g_R ergibt sich entweder aus Herstellerangaben oder es wird der Wert abgemindert auf 80% angesetzt.

$$g_R = 0.8 \cdot g_{TAB} \; [kN/m^2]$$

Bei der Berechnung der massgebenden Eigenlast der Deckung rel g (haltende Kraft) wird der Einfluss der Dachneigung mit dem Dachneigungsfaktor c_S berücksichtigt:

$$\text{rel } g = 0.9 \cdot g_R \cdot c_S \quad [kN/m^2]$$

Der Faktor 0,9 berücksichtigt als Sicherheitsfaktor Werkstofftoleranzen u.ä.

© 2007 VKF/AEAI

Dachneigungsfaktor c_s[1])														
Dachneigung α	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
Faktor c_s	1,05	1,06	1,06	1,05	1,04	1,02	0,99	0,95	0,91	0,86	0,80	0,74	0,67	0,60

1) Zwischenwerte dürfen interpoliert werden, oder es ist mit dem niedrigeren Wert zu rechnen. Bei $\alpha > 75°$ ist $c_s = 0$ anzunehmen.

Die Hersteller von Sturmklammern geben für ihr Produkt die bei der jeweiligen Deckung zulässige Belastung zul *F* an. Diese Bemessungslast enthält einen Sicherheitsfaktor gegenüber der Versagenslast.

Aus dem Betrag $|w_s|$ (positiver Wert) des Windsogs in [kN/m²], der Bemessungslast zul *F* in [kN/Stck] des Befestigungsmittels (z.B. Klammer) und der relevanten Eigenlast rel *g* ergibt sich die erforderliche Anzahl der Befestigungen je m²:

$$\text{erf } n = \frac{|w_s| - \text{rel } g}{\text{zul } F} \quad [\text{Stck/m}^2]$$

Gemäss Fachregel darf bei Werten erf $n \leq 2{,}5$ Stck/m² in Verbindung mit einer Bemessungslast zul f $\leq 0{,}15$ Stck/m² aus praktischen Gründen auf eine Verklammerung verzichtet werden. Die Lastannahmen enthalten für diese Vereinfachung genügend Sicherheitsreserven.

Ermittlung des Klammerschemas:

Aus der Zahl der Ziegel (bzw. Dachsteine) je m² n_Z und erf *n* wird das Klammerschema wie folgt berechnet:

$$a_{Bef} = \frac{n_Z}{\text{erf } n} \quad [\text{jeder a-te Ziegel}]$$

Dabei gilt für den Klammerabstand a_{Bef}:

– Bei der Dachneigung $\alpha > 65°$ ist unabhängig vom Wert a_{Bef} jeder Ziegel zu befestigen.
– Werte ≥ 3,0 werden auf 3 abgerundet, d.h. es wird mindestens jeder dritte Ziegel befestigt.
– Werte ≥ 2,0 und < 3,0 werden auf 2 abgerundet, d.h. es wird jeder zweite Ziegel befestigt.
– Werte ≥ 1,0 und < 2 werden auf 1 abgerundet, d.h. es wird jeder Ziegel befestigt.
– Werte < 1,0 bedeuten, dass die Bemessungslast der Klammern nicht ausreicht.

In letzterem Fall sind, wenn nicht durch den Einsatz einer geschlossenen Deckunterlage oder durch eine Hinterlüftung geringere Soglasten erreicht werden können, stärkere Klammern erforderlich. Die erforderliche Bemessungslast zul *F* bei Befestigung jedes Dachziegels und gewähltem Klammernabstand a_{Bef} ergibt sich nach folgender Formel:

$$\text{zul } F = \frac{|w_s| - \text{rel } g}{n_z} \cdot a_{Bef} \quad [\text{kN/Stck}]$$

© 2007 VKF/AEAI

Verankerung von Aussenwandbekleidungen (nach Massong 1998)

Gegenstand dieses Kapitels sind hinterlüftete Aussenwandbekleidungen auf Holzunterkonstuktion. Aussenwandbekleidungen bestehen aus mehreren Teilen:

– *Grundlattung,* im Untergrund *verankert;*
– ggf. *Konterlattung* (Lüftungslattung), mit Grundlattung *verbunden;*
– *Traglattung* oder *Schalung,* mit Grundlattung bzw. Konterlattung *verbunden;*
– *Bekleidung,* auf der Unterkonstruktion *befestigt.*

Die Verankerung einer Fassadenbekleidung bewirkt deren Aufhängung an der tragenden Wand, sie übernimmt damit die entscheidende statische Funktion.

Für die Verankerung dürfen nur *bauaufsichtlich zugelassene Verankerungsmittel* (Dübel) verwendet werden. Art und Abmessungen der Verankerungsmittel müssen auf den vorhandenen Verankerungsgrund abgestimmt sein.

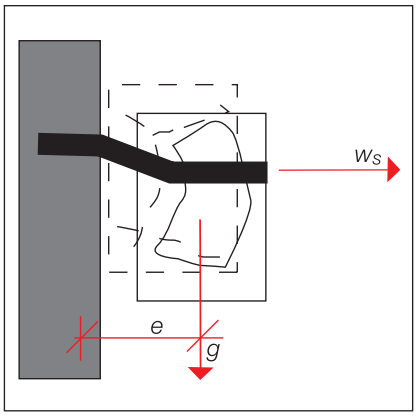
Dübelschrauben müssen aus rostfreiem Stahl hergestellt sein, verzinkte Schrauben sind gemäss Zulassung unter der Voraussetzung zusätzlicher Korrosionsschutzmassnahmen zulässig.

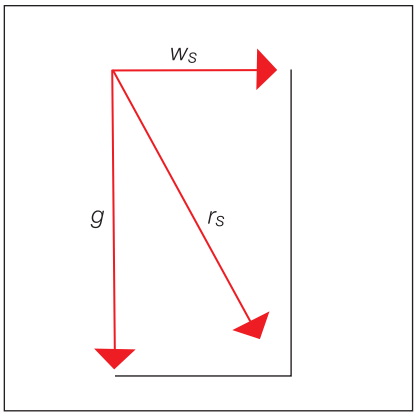
Verankerungsgrund ist i.d.R. das tragende Mauerwerk bzw. die Betonwand. Putzschichten, gleich welcher Art, sind nicht Teil des tragenden Untergrundes.

Die Verankerungsmittel werden durch die vertikale Last (Eigenlast) in Verbindung mit Windsog auf *Querzug* beansprucht. Bei Abstandsmontage (Abstand zwischen Grundlattung und Wand) entsteht bei Winddruck ausserdem *Querdruck.*

Zusätzlich erfahren die Verankerungsmittel neben den genannten Beanspruchungen Biegemomente aus den vertikalen Lasten, diese werden mit zunehmendem Abstand der Grundlattung vom Verankerungsgrund grösser (Moment = Kraft mal Hebelarm).

Der oft verwendete Begriff «Abscheren» für die Belastung der Dübelschrauben ist, statisch betrachtet, nicht korrekt. Die im Vergleich zum Stahl der Dübelschraube geringe Druckfestigkeit des Holzes lässt keine Scherbeanspruchung zu, stattdessen verbiegt sich die Dübelschraube und zerdrückt dabei das Holz. Die folgende Abbildung zeigt die Beanspruchung einer Dübelschraube und des theoretischen Versagenszustandes.





Für den genauen Nachweis von Art und Anzahl der Verankerungen ist zu beachten, dass die Beanspruchungen aus Windsog (bei Abstandsverankerungen zusätzlich Winddruck), Abscheren und Biegemoment durch vertikale Lasten sich gegenseitig überlagern und deshalb zusammen betrachtet werden müssen.

© 2007 VKF/AEAI

Die Ermittlung der Zahl der Verankerungen erfolgt für folgende Belastungsarten:

– Querzug aus Eigenlast und Windsog
– Querdruck aus Eigenlast und Winddruck nur bei Abstandsmontage
– Biegemoment aus Eigenlast und exzentrischem Lastangriff.

Die resultierende Flächenlast aus dem Querzug r_S wird aus der Eigenlast der gesamten Bekleidung (samt Unterkonstruktion) g in kN/m² und dem Windsog w_S in kN/m² ermittelt:

$$r_S = \sqrt{w_S^2 + g^2}\ [\text{kN/m}^2]$$

Bei Abstandsmontage ergibt sich die resultierende Flächenlast aus Querdruck r_d aus der Eigenlast der gesamten Bekleidung g in kN/m² und dem Winddruck w_d in kN/m²:

$$r_d = \sqrt{w_d^2 + g^2}\ [\text{kN/m}^2]$$

Aus der massgebenden (grösseren) resultierenden Flächenlast rel r und der Bemessungslast des Dübels zul F in kN wird die Dübelzahl n_F berechnet:

$$n_F = \frac{\text{rel } r}{\text{zul } F}\ [\text{Stck/m}^2]$$

Das flächenbezogene Biegemoment der Verankerung m ergibt sich aus der Eigenlast der gesamten Bekleidung g und der Exzentrizität des Lastangriffs e:

$$M\ [\text{Nm/m}^2] = g\ [\text{kN/m}^2] \cdot e\ [\text{m}] \cdot 1000$$

Aus dem flächenbezogenen Biegemoment m in Nm/m² und dem Bemessungsmoment des Dübels zul M in Nm wird die Dübelzahl n_M berechnet.

$$n_M = \frac{m}{\text{zul } M}\ [\text{Stck/m}^2]$$

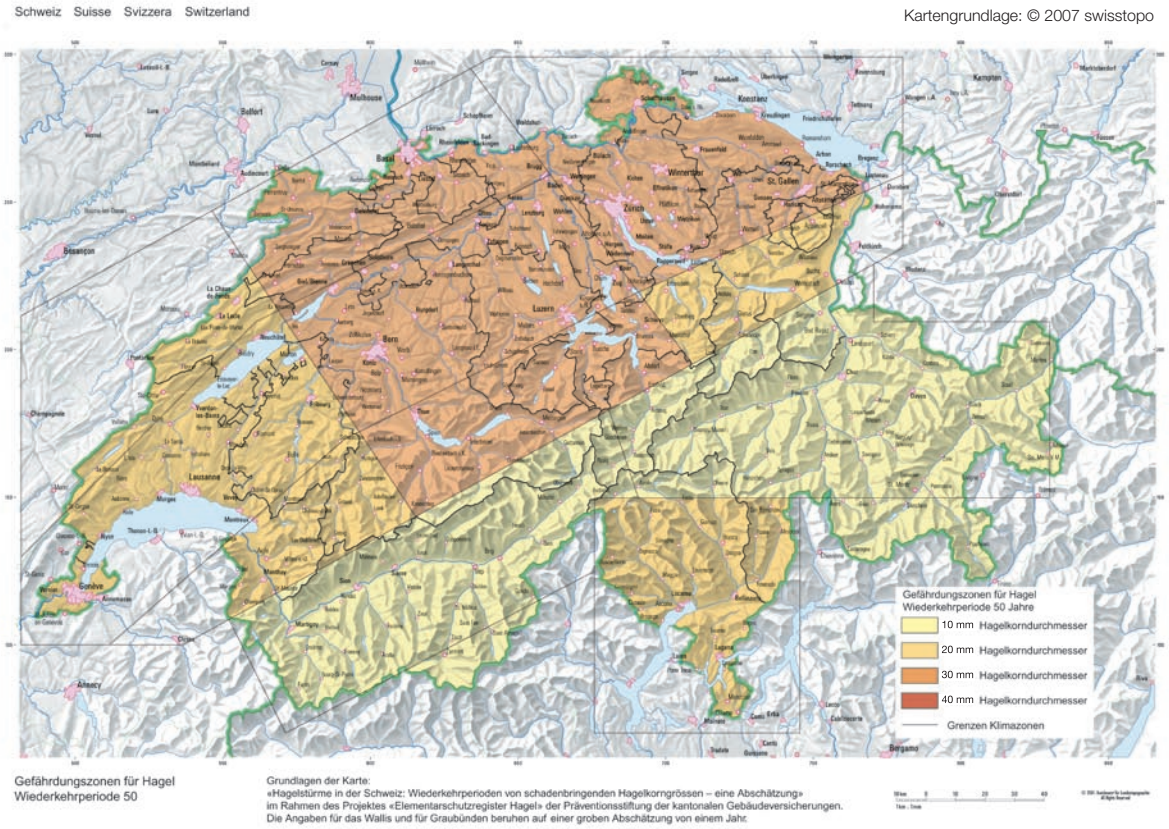
Die erforderliche Dübelanzahl erf n entspricht dem Grösstwert aus n_F und n_M.

© 2007 VKF/AEAI

Karten der Hagelintensität in der Schweiz

Die folgenden Karten stellen die Hagelintensität für die Wiederkehrperioden von 50, 100 und 300 Jahren dar. Angegeben sind die mindestens zu erwartenden Korndurchmesser in mm. Die Resultate sind der Studie von Schiesser 2006 entnommen und stützen sich auf Radarmessungen von Meteo-Schweiz.

Wiederkehrperiode 50 Jahre

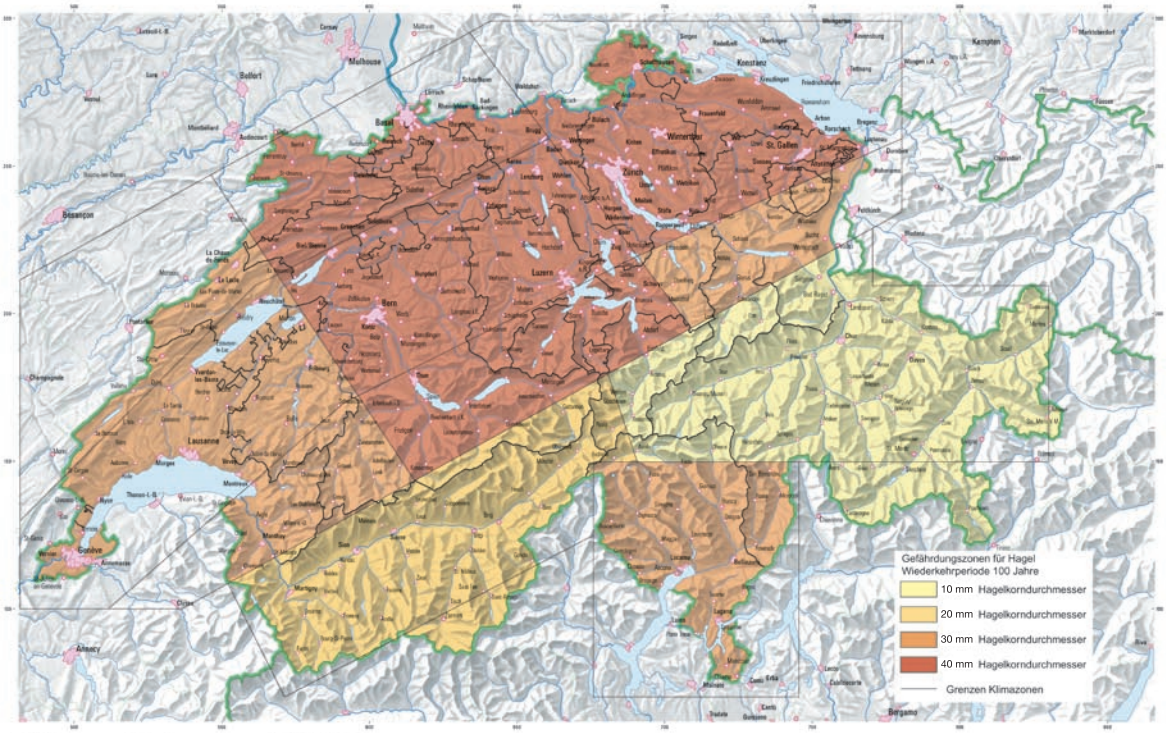


© 2007 VKF/AEAI

Wiederkehrperiode 100 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

Kartengrundlage: © 2007 swisstopo



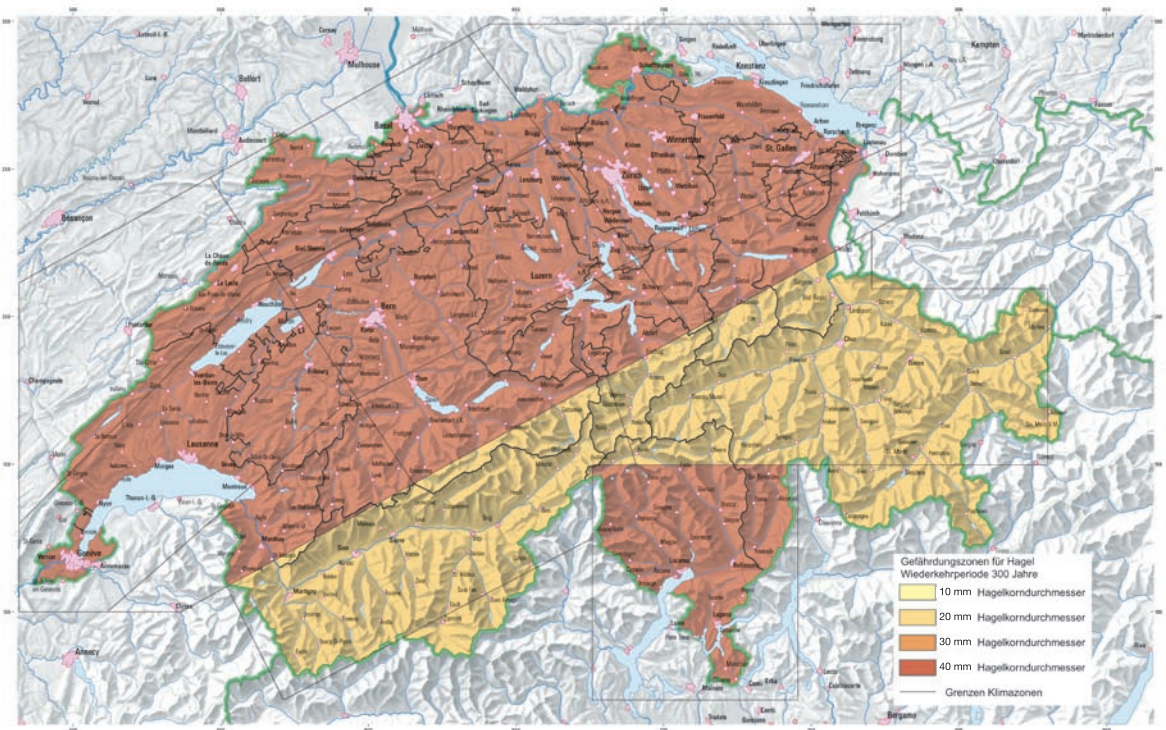
Gefährdungszonen für Hagel
Wiederkehrperiode 100

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

Wiederkehrperiode 300 Jahre

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

Kartengrundlage: © 2007 swisstopo



Gefährdungszonen für Hagel
Wiederkehrperiode 300

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

© 2007 VKF/AEAI

Kennwerte des Hagelwiderstandes

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

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

Bauteilkategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Ziegel	Biberschwanz (Ton)	ohne Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flachziegel (Ton)	mit Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Rollladen	Hohlprofil (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	geschäumt	0.25	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	Ganzmetal	0.9	Fassade	Aussehen	1
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 verzinnt	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
Faserzementplatten	Gewellt	unbeschichtet	5.5	Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flach	lasierende Beschichtung	6.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
					Aussehen	5

© 2007 VKF/AEAI

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke mm	Einsatz	Funktion	HW
Putz auf Aussenwärmedämmung	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
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

© 2007 VKF/AEAI

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke mm	Einsatz	Funktion	HW
Kunststoffplatten	Polymethylmethacrylat (PMMA)	normal, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, SDP 16		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		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*
	Glasfaserverstärkter 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*
Lichtkuppel	Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	2*
	Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale		3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Aussehen	3*

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

© 2007 VKF/AEAI

Regenspenden

Örtliche extreme Regenspenden r (in Liter pro Sekunde und Quadratmeter) für Jährlichkeiten von 5, 10, 30, 50 und 100 Jahren (Meteo Schweiz 2007).

Ort	Regenspende r [l/sm²]				
	5-jährlich	10-jährlich	30-jährlich	50-jährlich	100-jährlich
Adelboden	0.022	0.026	0.033	0.036	0.042
Aigle	0.016	0.020	0.025	0.028	0.032
Altdorf	0.016	0.019	0.024	0.026	0.029
Basel-Binningen	0.021	0.025	0.030	0.033	0.037
Bern / Zollikofen	0.023	0.027	0.034	0.037	0.041
Buchs-Aarau	0.024	0.029	0.038	0.042	0.047
Changins	0.019	0.023	0.030	0.033	0.038
Chur	0.016	0.019	0.024	0.027	0.030
Disentis	0.016	0.019	0.025	0.028	0.033
Engelberg	0.017	0.019	0.021	0.022	0.024
Fahy-Boncourt	0.020	0.024	0.030	0.033	0.037
La Fretaz	0.024	0.030	0.039	0.043	0.049
Glarus	0.026	0.032	0.042	0.047	0.055
Güttingen	0.018	0.021	0.026	0.028	0.032
Genève-Cointrin	0.018	0.022	0.028	0.031	0.036
Hinterrhein	0.016	0.019	0.024	0.026	0.029
Interlaken	0.019	0.022	0.027	0.030	0.033
La Chaux-de-Fonds	0.029	0.035	0.046	0.052	0.060
Locarno-Monti	0.034	0.040	0.051	0.057	0.065
Lugano	0.033	0.039	0.049	0.055	0.063
Luzern	0.022	0.025	0.030	0.032	0.035
Magadino / Cadenazzo	0.031	0.043	0.047	0.052	0.059
Montana	0.010	0.012	0.015	0.016	0.018
Neuchâtel	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Payerne	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Pilatus	0.023	0.028	0.036	0.041	0.047
Piotta	0.018	0.022	0.028	0.031	0.035
Pully	0.020	0.023	0.029	0.033	0.037
Reckenholz	0.022	0.028	0.037	0.042	0.050
Rünenberg	0.021	0.025	0.032	0.035	0.040
San Bernardino	0.020	0.023	0.028	0.030	0.033
Scuol	0.013	0.016	0.020	0.022	0.026
Schaffhausen	0.023	0.029	0.039	0.045	0.053
Sion	0.013	0.016	0.022	0.025	0.029
St. Gallen	0.025	0.031	0.040	0.044	0.050
Tänikon	0.025	0.029	0.035	0.037	0.041
Ulrichen	0.012	0.015	0.019	0.021	0.024
Vaduz	0.017	0.021	0.027	0.030	0.035
Wädenswil	0.022	0.026	0.033	0.037	0.042
Wynau	0.022	0.027	0.036	0.040	0.047
Zermatt	0.008	0.010	0.013	0.015	0.017
Zürich-Kloten	0.020	0.024	0.031	0.034	0.038
Zürich-MeteoSchweiz	0.027	0.033	0.042	0.046	0.053

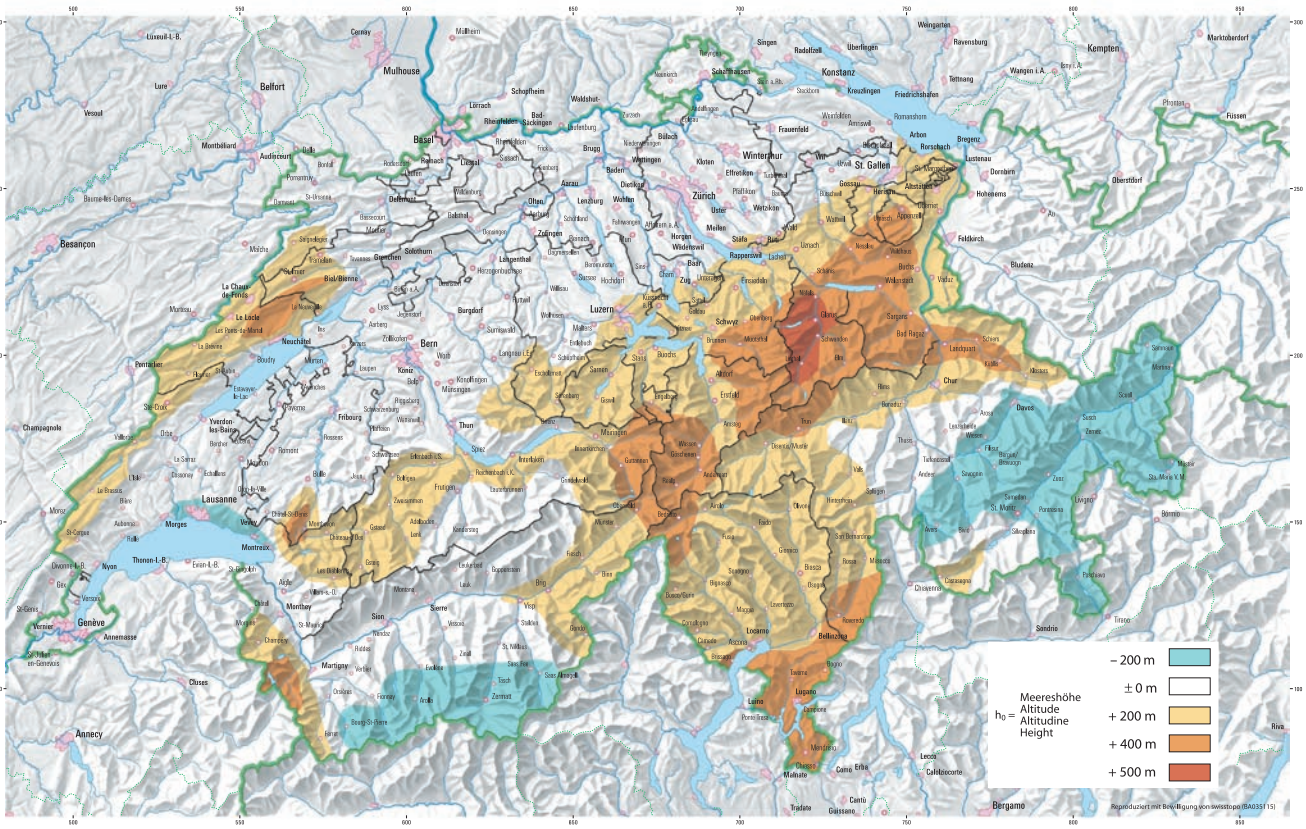
Die oben aufgeführten Werte entsprechen 10 Minutenwerten, die mittels Extremwertstatistik aus den Messwerten (von 1981 bis 2005) der automatischen Stationen von MeteoSchweiz abgeleitet wurden. Die detaillierte Beschreibung des Vorgehens und der weiteren Resultate kann dem Bericht von MeteoSchweiz (2007) entnommen werden. Die obigen Zahlen zeigen deutlich, dass der bisher schweizweit verwendete Wert der Regenspende von 0.030 l/sm² regional stark übertroffen werden kann. Es empfiehlt sich deshalb, der Berechnung obenstehende Werte zugrunde zu legen.

© 2007 VKF/AEAI

Bezugshöhe für Schneelasten gemäss SIA 261

Die folgende Karte ist der Norm SIA 261 entnommen und stellt die örtliche Bezugshöhe h_0 für die Ermittlung des charakteristischen Wertes der Schneelast auf horizontalem Gelände dar.

ANHANG D Bezugshöhe für Schneelasten



Anhang Annexe Appendice Appendix D

Bezugshöhe h_0
Altitude de réference h_0
Altitudine di riferimento h_0
Reference Hight h_0

(nicht anwendbar auf Bauwerke über 2000 m Meereshöhe)
(pas applicable pour les constructions situées au-dessus de 2000 m d´altitude)
(non applicabile a costruzioni ubicate sopra 2000 m sul mare)
(not applicable for construction works at heights greater than 2000 m)

© 2007 VKF/AEAI

Risikoverminderung

Der Nutzen der ergriffenen Objektschutzmassnahmen bemisst sich an der damit erreichbaren Risikoverminderung. Hierzu ist es notwendig, den durch die Massnahme verhinderten Personen- und Sachschaden abzuschätzen. Im Folgenden wird eine Methode zur Berechnung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses in Bezug auf Sachwerte dargestellt.

Massnahmen haben eine begrenzte Lebensdauer, weshalb zur Berechnung der Eintretenswahrscheinlichkeit nicht direkt die Wiederkehrperiode, welche für eine unbegrenzte Zeitreihe einen durchschnittlichen Wert angibt, verwendet werden kann. Das Eintreten innerhalb einer begrenzten Periode errechnet sich nach der Formel $P = 1-(1-1/T)^{n}$. P ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Ereignisses der Wiederkehrperiode T innerhalb der Lebensdauer n der Objektschutzmassnahme.

Beispiel:
Wiederkehrperiode T des Ereignisses = 100 Jahre
Lebensdauer n der Massnahme = 20 Jahre
Wahrscheinlichkeit P des Eintretens während 20 Jahren = $1 – (0.99)^{20} = 0.182$

Kosten

Die Mehrkosten infolge von Objektschutzmassnahmen sind zu verzinsen. Dies erfolgt nach der Formel $K = k (1 + z)^{n}$. K sind die verzinsten Mehrkosten, k die unverzinsten Mehrkosten, z der Zinssatz in Prozent und n die Lebensdauer in Jahren.

Nutzen

Der Nutzen entspricht der Differenz der Schadenerwartungswerte für den Fall ohne bzw. mit Objektschutzmassnahme. Die Ermittlung der Schadenerwartungswerte erfolgt dabei über die Lebensdauer der Massnahmen. Der Schadenerwartungswert ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit P des Eintretens eines Ereignisses und dem zugehörigen Schaden S.

Fallbeispiel

Das folgende Beispiel soll die Bedeutung des Windsoges bei Dächern mit entsprechenden Schadenfolgen verdeutlichen.

Kosten
Ein Industriebetrieb in der Region Mittelland erstellt eine Montagehalle mit Blechdach. Als Verbindungsmittel zwischen Konterlattung und Sparrenpfetten werden ohne Objektschutzmassnahme glattschaftige Nägel verwendet (Variante A). Werden anstelle dieser glattschaftigen Nägel ordnungsgemäss Schrauben verwendet (Variante B), so entstehen durch diese Objektschutzmassnahme Mehrkosten an Arbeitszeit und Material von CHF 3'000.-.
Berechnung:
Mehrkosten k = CHF 3'000.-,
Zinssatz z = 3%, Lebensdauer n = 20 Jahre
Verzinste Mehrkosten $K = 3000 \cdot (1.03^{20}) =$ CHF 5'418.-

Nutzen
Der Nutzen entspricht der Differenz der Schadenerwartungswerte der Varianten A und B. Zunächst werden für Ereignisse mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden T die zugehörigen Schäden S geschätzt. Im vorliegenden Beispiel wird angenommen, dass der Schadensbeginn ohne Objektschutzmassnahmen (Variante A) bei einem 10-jährlichen Windereignis und mit Objektschutzmassnahmen (Variante B) bei einem 100-jährlichen Windereignis liegt.
Anschliessend wird aus der Wiederkehrperiode T und der Lebensdauer n die Wahrscheinlichkeit P des Eintretens des jeweiligen Schadens während der Lebensdauer n berechnet. Wird der Schaden S in Abhängigkeit der Wahrschein-

© 2007 VKF/AEAI

lichkeit P aufgetragen, entspricht der Schadenerwartungswert der unter der entsprechenden Kurve liegenden Fläche. In den beiden nachstehenden Tabellen wird diese Fläche jeweils in den letzten drei Spalten durch Multiplikation des Wahrscheinlichkeitsintervalls $\Delta P = P_{i+1} - P_i$ mit dem mittleren Schaden für das betreffende Intervall $S_m = 0.5 \times (S_{i+1} + S_i)$ und anschliessende Summation der $\Delta P \times S_m$ berechnet.

Nutzen

(Variante A)

T [Jahre]	S [CHF]	P [-]	ΔP [-]	Sm [CHF]	ΔP x Sm [CHF]	
10	0	0.878				i
			0.237	15'000	3'554	
20	30'000	0.642				i+1
			0.309	40'000	12'365	
50	50'000	0.332				i+2
			0.150	75'000	11'272	
100	100'000	0.182				i+3
			0.117	110'000	12'925	
300	120'000	0.065				i+4

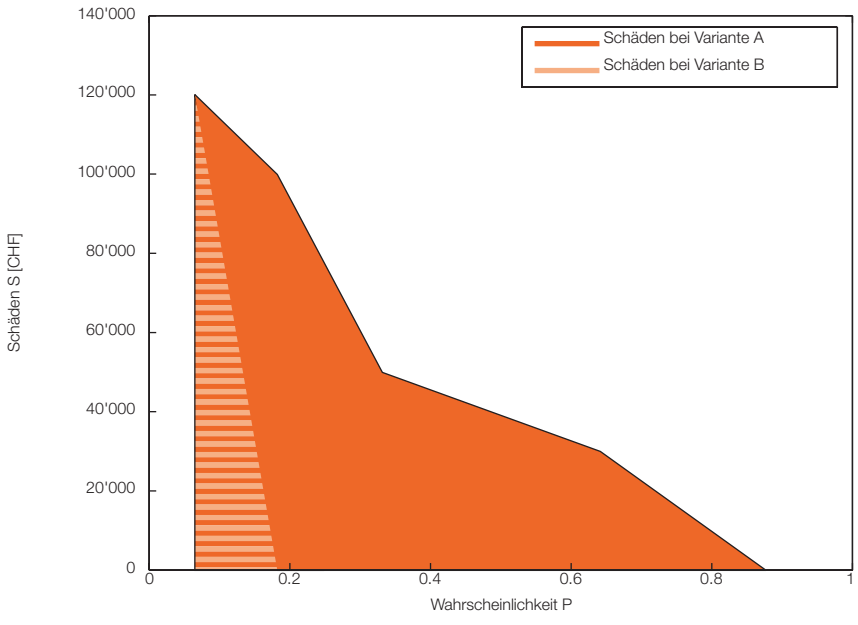
Schadenerwartungswert Variante A **40'115 CHF**

(Variante B)

T [Jahre]	S [CHF]	P [-]	ΔP [-]	Sm [CHF]	ΔP x Sm [CHF]	
10	0	0.878				i
			0.237	0	0	
20	0	0.642				i+1
			0.309	0	0	
50	0	0.332				i+2
			0.150	0	0	
100	0	0.182				i+3
			0.117	60'000	7'050	
300	120'000	0.065				i+4

Schadenerwartungswert Variante B **7'050 CHF**

Nutzen = Schadenerwartungswert Variante A - Schadenerwartungswert Variante B 33'066 CHF



© 2007 VKF/AEAI

Kosten-Nutzen-Vergleich

Als Kosten-Nutzen-Vergleich werden nun die Kosteneinsparungen dem Nutzen gegenübergestellt.
Kosten / Nutzen = CHF 5'418.- / CHF 33'066.- = 0.164
Dies bedeutet, dass die Mehrkosten aufgrund der Objektschutzmassnahmen aus ökonomischer Sicht sehr wirtschaftlich sind.
Da ohne Objektschutzmassnahmen bereits bei einem Windereignis der Wiederkehrperiode von 20 Jahren mit ersten Schäden zu rechnen ist, fällt der Schadenerwartungswert im Betrag von CHF 40'115.- sehr hoch aus.
Bei einer normkonformen Bemessung nach SIA 261 ist anzunehmen, dass selbst ein Windereignis der Wiederkehrperiode von 100 Jahren ohne Schadenfolge für das Gebäude ist (Variante B). Die Mehraufwendungen von CHF 5’418.- stehen somit in sehr günstigem Verhältnis zur verhinderten Schadenerwartung von CHF 33’066.-.

© 2007 VKF/AEAI

Tragwerksnormen

SIA Norm 260 (2003): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 261 (2003): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 261/1 (2003): Einwirkungen auf Tragwerke – ergänzende Festlegungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA Norm 465 (1998): Sicherheit von Bauten und Anlagen. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

SIA Norm 462 (1994): Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

SIA Norm 469 (1997): Erhaltung von Bauwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich

Bauproduktenormen mit Anforderungen betreffend Wind, Schnee, Hagel oder Regen (Auswahl)

Fassaden, Türen, Fenster, äussere Abschlüsse
SIA 329: Montierbare Fassaden
SIA 329.003: Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Leistungsanforderungen und Klassifizierung (SN EN 12154).

SIA 329.004: Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Laborprüfung unter Aufbringung von statischem Druck (SN EN 12155).

SIA 329.005: Vorhangfassaden – Widerstand gegen Windlast – Prüfverfahren (SN EN 12179).

SIA 329.006: Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Laborprüfung mit wechselndem Luftdruck und Besprühen mit Wasser (SN EN 13050).

SIA 329.007: Vorhangfassaden – Schlagregendichtheit – Feldversuch (SN EN 13051).

SIA 329.008: Vorhangfassaden – Widerstand gegen Windlast – Leistungsanforderungen (SN EN 13116).

SIA 329.011: Vorhangfassaden – Stossfestigkeit – Leistungsanforderungen (SN EN 14019).

SIA 331: Fenster
SIA 331.051: Fenster und Türen – Windwiderstandsfähigkeit – Prüfverfahren (SN EN 12211).

SIA 331.053: Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Prüfverfahren (SN EN 1027).

SIA 331.054: Prüfverfahren für Fenster – Mechanische Prüfungen (SN EN 107).

SIA 331.181: Glas im Bauwesen – Pendelschlagversuch – Verfahren für die Stossprüfung und die Klassifizierung von Flachglas (SN EN 12600).

SIA 331.302: Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Klassifizierung (SN EN 12208).

© 2007 VKF/AEAI

SIA 331.303: Fenster und Türen – Widerstandsfähigkeit bei Windlast – Klassifizierung (SN EN 12210).

SIA 331.308: Fenster und Türen – Mechanische Beanspruchung – Anforderungen und Einteilung (SN EN 12400).

SIA 342: Sonnen- und Wetterschutzanlagen
SIA 342.001: Markisen – Widerstandsfähigkeit gegenüber der Belastung durch Wasseransammlung – Prüfverfahren (SN EN 1933).

SIA 342.003: Abschlüsse und Markisen – Widerstand gegen Windlast – Prüfverfahren (SN EN 1932).

SIA 342.007: Rollläden für Dachflächenfenster oder Windergärten – Widerstand gegen Schneelast – Prüfverfahren (SN EN 12833).

SIA 342.016: Markisen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen (SN EN 13561).

SIA 342.017: Abschlüsse aussen – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen (SN EN 13659).

SIA 343: Türen und Tore
SIA 343.061: Türblätter – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen harten Stoss (SN EN 950).

SIA 343.101: Tore – Widerstand gegen Windlast – Klassifizierung. (SN EN 12424).

SIA 343.102: Tore – Widerstand gegen eindringendes Wasser – Klassifizierung (SN EN 12425).

SIA 343.108: Tore – Widerstand gegen Windlast – Prüfung und Berechnung (SN EN 12444).

SIA 343.111: Tore – Widerstand gegen eindringendes Wasser – Prüfverfahren (SN EN 12489).

Dach- und Fassadenbekleidungsprodukte
SIA 232: Geneigte Dächer

SIA 232.301: Lichtdurchlässige profilierte Platten aus Kunststoff für einschalige Dacheindeckungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (SN EN 1013-1).

SIA 232.601: Faserzement-Dachplatten und dazugehörige Formteile für Dächer - Produktspezifikationen und Prüfverfahren (SN EN 492).

SIA 232.602: Faserzement-Wellplatten und dazugehörige Formteile für Dächer - Produktspezifikationen und Prüfmethoden (SN EN 494).

SIA 232.603: Faserzement-Tafeln – Produktspezifikationen und Prüfverfahren (SN EN 12467).

© 2007 VKF/AEAI

SIA 232.105: Dachziegel und Formziegel: Begriffe und Produktanforderungen (SN EN 1304).

SIA 232.701: Bestimmung des Abhebewiderstandes von verlegten Dachziegeln und Dachsteinen – Prüfverfahren für Dachsysteme (SN EN 14437).

SIA 271: Abdichtungen von Hochbauten
SIA 280: Kunststoff-Dichtungsbahnen (Polymer-Dichtungsbahnen). Anforderungswerte und Materialprüfung.

SIA 281: Bitumen- und Polymerbitumen-Dichtungsbahnen – Anforderungswerte und Materialprüfung.

Abdichtungsbahnen
SIA 289.307: Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen – Bestimmung des Widerstandes gegen Hagelschlag (SN EN 13583)

Fugenabdichtungen
SIA V274: Fugenabdichtungen in Bauwerken

Grundwasserabdichtungen
SIA 272: Grundwasserabdichtungen

Solarkollektoren
EN 12975-2: Kollektoren - Prüfverfahren

Gewächshäuser
SIA 328.001: Gewächshäuser – Bemessung und Konstruktion – Teil 1: Kulturgewächshäuser (SN EN 13031-1)

Abwassertechnik
SIA 190.122: Rückstauverschlüsse für Gebäude – Teil 2: Prüfverfahren (SN EN 13564-2).

SIA 190.123: Rückstauverschlüsse für Gebäude – Teil 3: Güteüberwachung (SN EN 13564-3).

VSS-102: Entwässerungsrinnen für Verkehrsflächen – Klassifizierung, Bau und Prüfungsgrundsätze, Kennzeichnung und Beurteilung der Konformität (SN EN 1433).

VSA-15: Abwasserhebeanlagen für die Gebäude- und Grundstücksentwässerung – Bau- und Prüfungsgrundsätze – Teil 4: Rückflussverhinderer für fäkalienfreies und fäkalienhaltiges Abwasser (SN EN 12050-4).

SSIV-10: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden – Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung (SN EN 12056-3).

SSIV-12: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden – Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung (SN EN 12056-5).

SN 640 350: Oberflächenentwässerung von Strassen. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS
SIA 318: Garten- und Landschaftsbau

© 2007 VKF/AEAI

Technische Richtlinien (Auswahl)

Allgemein
HEV (2006): Lebensdauertabelle. Hauseigentümerverband Schweiz / Schweizerischer Mieterinnen- und Mieterverband

Dach
Fibrecem (2000): Richtlinien zur Planung und Ausführung von geneigten Dächern mit Faserzementprodukten. Schweizerischer Faserzement-Verband, Niederurnen

Suissetec (2003): Wegleitung für die Bemessung der Befestigung von Bekleidungen und Deckungen aus Dünnblech. Schweizerisches Spenglereigewerbe, Suissetec

SSIV (1980): Wegleitung für die Bemessung der Dachhautbefestigungen – Doppelfalzdächer. Schweizerischer Spenglermeister- und Installateur-Verband, Zürich

SVDW (2006): Rechenschieber für Schneestopp. Technische Kommission Steildach, Schweizerischer Verband Dach und Wand, Uzwil

VSZ (2002): Das Tonziegeldach. Verband Schweizerische Ziegelindustrie, Zürich (www.domoterra.ch)

Entwässerung
Suissetec (2004): Richtlinie «Dachentwässerung». Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband, Suissetec

VSA (1996): Planung der Liegenschaftsentwässerung. Informationsforum der VSA Fachgruppe «Liegenschaftsentwässerung», Olten

VSA (2002): Regenwasserentsorgung: Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich

Glas
SIGaB (2002): Sicherheit mit Glas. Dokumentation, Schweizerisches Institut für Glas am Bau, Schlieren (www.sigab.ch)

Sonnen- und Wetterschutz
VSR (2000): Einfluss der Windgeschwindigkeiten auf Sonnen- und Wetterschutz-Systeme. Verband Schweiz. Anbieter von Sonnen- und Wetterschutz-Systemen, Zürich (www.storen-vsr.ch)

VSR (1997): VSR-Merkblatt betreffend die Bedienung von Sonnen- und Wetterschutz-Anlagen bei Schnee und Eis. Verband Schweiz. Anbieter von Sonnen- und Wetterschutz-Systemen, Zürich (www.storen-vsr.ch)

Gewächshäuser
Deutsche Hagel (1984): Schadenerfahrungen mit Eindeckungsmaterialien von Gewächshäusern. Deutsche Hagel-Versicherungs-Gesellschaft, Nr. 12, Wiesbaden

© 2007 VKF/AEAI

Holz
Lignum (2005): Holzbautabellen – Handbuch für die Bemessung. Lignum, Zürich

Lignum (1999): Fassadenverkleidungen aus unbehandeltem Holz. Lignatec Nr. 8, ISSN 1421-0320, Zürich

Gerüste / Krane
SUVA (2007): Checkliste Fassadengerüste. Bestellnummer: 67038.d, SUVA, Luzern

SUVA (2007): Checkliste Krane auf Baustellen. Bestellnummer: 67116.d, SUVA, Luzern

SUVA (2007): Checkliste für Kranführer von Turmdrehkranen. Bestellnummer: 88179.d, SUVA, Luzern

© 2007 VKF/AEAI

Allgemein

Wind

Egli, Th. (2005): Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

Ambrose, J., Vergun, D. (1995): Simplified building design for wind and earthquake forces. John Wiley & Sons, Third Edition, New York

Dotzek et al. (2000): Die Bedeutung von Johannes P. Letzmanns «Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben» für die heutige Tornadoforschung. Meteorologische Zeitschrift, 9, 165 - 174

Dyrbye, C., Hansen, S.O. (1997): Wind loads on structures. John Wiley and Sons, Chichester

FEMA (1999): Midwest Tornado of May 3, 1999 – Observations, Recommendations, and technical Guidance, Federal Emergency Management Agency, Washington

FEMA (2000): Design and Construction Guidance for Community Shelters. Federal Emergency Management Agency, No. 361, Washington

Gerhardt, H.J. (2005): Windschäden. Schadenfreies Bauen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

GDV (2000): Sturm – Eine Gefahr für bauliche Anlagen. Planungs- und Ausführungshinweise zur Schadenverhütung. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, VdS Schadenverhütung, VdS 2389, Köln

GDV (2000): Sturm – Eine Gefahr für das Dach. Merkblatt zur Schadenverhütung. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, VdS Schadenverhütung, VdS 2089, Köln

Holmes, J.D. (2001): Wind loading of structures. Spon Press, London

Janser, F. (1995): Windbeanspruchung belüfteter Aussenwände. Dissertation an der Technischen Universität Berlin

Lawson, T. (2001): Building Aerodynamics. Imperial College Press, London

Lee, B.E., Wills, J. (2002): Vulnerability of Fully Glazed High-Rise Buildings in Tropical Cyclones. Journal of Architectural Engineering, Vol. 8, No. 2, American Society of Civil Engineers, Reston

Massong, F. (1998): Statik am Dach: Grundlagen, praktische Anwendung und Berechnungshilfen. Verlag Rudolf Müller, Köln

Melaragno, M. (1996): Severe Storm Engineering for Structural Design. Gordon and Breach Science Publishers, United States

Minor, J.E. (2002): Formal Engineering of Residential Buildings. Journal of Architectural Engineering, Vol. 8, No. 2, American Society of Civil Engineers, Reston

© 2007 VKF/AEAI

Ruscheweyh, H. (1982): Dynamische Windwirkung an Bauwerken. Band 1: Grundlagen, Band 2: Praktische Anwendungen, Bauverlag GmbH, Wiesbaden / Berlin

Schunck, E., Oster, H.J., Barthel, R., Kiessl, K. (2002): Dach Atlas – Geneigte Dächer. Birkhäuser Verlag, 4. Auflage, Basel

Simiu, E., Scanlan, R.H. (1996): Wind effects on structures – fundamentals and applications to design. Third Edition, John Wiley & Sons, Third Edition, New York

Sockel, H. (1984): Aerodynamik der Bauwerke. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Wills, J.A.B., Lee, B.E., Wyatt, T.A. (2002): A model of wind-borne debris damage. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 90, S. 555 – 565, Elsevier Science Ltd., Amsterdam

Zimmerli, B., Hertig, J.A. (2006): Wind – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke. Dokumentation D 0188, SIA, Zürich

Zuranski, J.A. (1978): Windeinflüsse auf Baukonstruktionen. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2. Auflage, Köln

Hagel

Andrews, K.E., Blong, R.J. (1997): March 1990 Hailstorm Damage in Sydney, Australia. Natural Hazards, 16: 113 – 125, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Changnon, S.A (1977): The Scales of Hail. Journal of Applied Meteorology, Vol. 16, 626 – 648,

Charlton, R.B., Kachman, B.M., Wojtiw, L. (1995): Urban Hailstorms: a View from Alberta. Natural Hazards, 12: 29 – 75, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Eckhardt, A., Wörndle, P., Leonarz, M., Lattmann, P. (2007): Schadenpotenziale, Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

Flüeler, P., Rupp, F. (1988): Hagelschlagversuche an Baumaterialien an der Empa – Prüfgerät, Prüfrichtlinien und Pressekommentare. Forschungs- und Arbeitsberichte, Bericht Nr. 114/4, Abteilung Kunststoffe, Empa Dübendorf

Flüeler, P., Staudenmaier, A. (2005): Hagelwiderstand der Gebäudehülle – Archivdaten. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

Flüeler, P., Stucki, M. (2007): Hagelwiderstand der Gebäudehülle – experimentelle Ermittlung des Hagelwiderstandes, Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

Haag E. (1997): Hail-Fall, Roofing and Impact Testing. Haag Engineering Co., Document No. 972-247-6444, Carrollton, Texas

© 2007 VKF/AEAI

Kim, H., Keith T.K. (2000): Modeling Hail Ice Impact and Predicting Impact Damage Initiation in Composite Structures. American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, Vol. 38, No. 7

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

IBHS (2002): Is Your Home Protected From Hail Damage? A Homeowners Guide to Hail Retrofit. Institute for Business & Home Safety, Tampa

Leigh, R., Kuhnel, I. (2001): Hailstorm Loss Modelling and Risk Assessment in the Sydney Region. Natural Hazards, Vol. 24, Issue 2, P. 171 – 185, Dortrecht

Löwe, C. (1998): Freibewitterung von Lichtplatten aus Kunststoffen. Eine Langzeitstudie während elf Jahren. Chimia 52, Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft, S. 182 - 192

McMaster, H. (2001): Hailstorm Risk Assessment in Rural New South Wales. Natural Hazards, Vol. 24 Issue 2, P. 187 – 196, Dortrecht

Münchener Rück (1984): Hagel. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München

Paterson D.A., Sankaran, R. (1994): Hail impact on building envelopes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, No. 53, S. 229 – 246.

Risk Frontiers Australia: www.es.mq.edu.au/NHRC/web/scales/scalespage12.htm, Datum: 02.12.02

SIGaB 2002: Sicherheit mit Glas. Dokumentation, Schweizerisches Institut für Glas am Bau, Schlieren (www.sigab.ch)

Schiesser, H.H. (1988): Fernerkundung von Hagelschäden mittels Wetterradar. Remote Sensing Series, Geographisches Institut, Universität, Zürich

Schiesser, H.H. (2006): Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrössen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

Stucki, M., Egli, Th. (2007): Elementarschutzregister Hagel – Synthesebericht. Bericht erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

Summers, P.W., Wojtiw, L. (1971): The economic impact of hail damage in Alberta, Canada and its dependence on various hailfall parameters. 7th Conf. Severe Local Storms, 158 – 163, Kansas City

Vanomsen, P., Egli, Th. (2007): Elementarschutzregister. Schlussbericht zum Teilprojekt. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung des kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern

© 2007 VKF/AEAI

Regen

Yeo, S., Leigh, R., Kuhne, I. (1999): The April 1999 Sydney hailstorm. Natural Hazards Quarterly, Vol. 5 issue 2, Natural Hazards Research Centre, Macquarie University, Sydney

Heinrichs et al. (1995): Gebäude- und Grundstücksentwässerung. Kommentar zu DIN 1986, Beuth Verlag GmbH

MeteoSchweiz (2007): Extremwertanalyse für Kurzzeit Niederschlagsspitzen. Bericht des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie zuhanden der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

Rickli, Ch., Forster, F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen, Nr. 148, Zürich

Robinson, G., Baker, M.C. (1975): Wind-driven rain and buildings. National Research Council Canada No. 14792, Ottawa

Scherrer, S. (1997): Abflussbildung bei Starkniederschlägen – Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. Mitteilung Nr. 147, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich

van Mook, F.J.R. (2002): Driving rain on building envelopes. Fakultät für Architektur, Planung und Gebäude, Bausteine 69, Technische Universität Eindhoven

Schnee

Auer, M., R. Meister, A. Stoffel und R. Weingartner (2004): Analyse und Darstellung der mittleren monatlichen Schneehöhen in der Schweiz. Wasser Energie Luft' 96. Jahrgang, Heft 7/8.

Lawinenwarnzentrale Bayern (2006): Anleitung zum Abschätzen einer aktuellen Schneelast. Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Meister, R. (1986): Density of New Snow and its dependency on Air temperature and Wind. Zürcher Geographische Schriften 23, S 73-79.

Seierstad J.-K. (2006): Snow measurements in Norway using snow pillows. Hydrological Department
Norwegian Water Resources and Energy Directorate

Stiefel, U., D. Ulrich-Weibel, R. Meister and S. Margreth (2004): Improving Codes for Snow Loads in Switzerland. 5th International Conference on Snow Engineering, July 5 – 7, 2004, Davos, Switzerland

Links

www.vkf.ch
www.planat.ch
www.meteoschweiz.ch
www.wetteralarm.ch

© 2007 VKF/AEAI