

Beitrag zur 7. Dreiländertagung D-A-CH 2001 am 22. und 23. November 2001 an der Technischen Universität Braunschweig.

Veranstalter: Windtechnologische Gesellschaft e.V.

Veröffentlicht in WtG-Berichte Nr. 7. Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Udo Peil, TU Braunschweig.

1.0 EINLEITUNG

Wann immer Statiker Standsicherheitsnachweise erstellen müssen, stehen sie vor dem Problem, einen komplexen Sachverhalt mit einer stark vereinfachenden Norm sicher zu interpretieren.

Insbesondere die DIN 1055 Teil 4 vom September 1986[2] als auch die SIA 160 (1989) + SIA 271 (1992)[7] lassen bei der Bemessung realer Gebäude viele Fragen unbeantwortet. Im Grunde genommen sind alle nicht-kubischen Gebäude Sonderfälle außerhalb dieser Normen. Der Eurocode 1991-2-4[5] und der darauf beruhende Gelbdruck der DIN 1055 Teil 4 vom März 2001[4] enthalten zwar mehr und präzisere Parametersätze, lösen das Grundproblem jedoch nicht.

Die sich in der Praxis ergebenden Fragestellungen beantwortet ein Prüfstatiker i.d.R. dahingehend, dass er die Berechnung auf die sichere Seite, oftmals den Worst Case, zieht. In besonders kritischen Fällen werden Spezialisten eingeschaltet und gegebenenfalls Windkanaluntersuchungen durchgeführt.

Beide Lösungen, Worst-Case-Betrachtung und Windkanaluntersuchungen, sind im Massengeschäft der Flachdacheindeckung aus Zeit- und Kostengründen nicht anwendbar. Da die pauschale Bemessung anhand der „Anerkannten Regeln der Technik“ (Flachdachrichtlinien)[1] für den Großteil moderner Leichtbaukonstruktionen nicht anwendbar ist, musste ein Weg gefunden werden, der im „Interpretationsbereich“ jenseits der Normen eine ausreichend sichere und wirtschaftliche Lösung ermöglicht.

1.0 BEMESSUNGSPROBLEMATIK

Bei der Suche nach einer sinnvollen Bemessung realer Gebäude ergeben sich folgende Haupt-Problemfälle:

- a) Berücksichtigung des Standortes samt Wechselwirkung mit Nachbargebäuden und Landschaft jenseits Windzonen und Geländerauhigkeit
- b) Quantifizierung des Innendruckbeiwertes
- c) Beurteilung nicht-kubischer Grundrisse
- d) Berücksichtigung baulicher Besonderheiten (Dachneigungswechsel, Höhenversätze, Aufbauten, Attiken...)

Weitere, von den Normen nicht erfasste Einflussgrößen, müssen notgedrungen vom Sicherheitsfaktor abgedeckt werden.

Fall a) ist besonders problematisch, da sich der zugehörige Ansatz aus der DIN 1055 Teil 4 [2] (exponierte Lage) in der Praxis nicht bewährt hat und meist zu Über-, tlw. aber auch Unterbemessung führt. Überbemessung, da hohe Gebäude innerhalb einer Gebäudegruppe häufig als exponiert betrachtet werden, was den gedanklichen Ansatz ins Gegenteil verkehrt.

Unterbemessung entsteht bei Gebäuden mit $h > 58$ m. Deren zugehöriger Staudruck überschreitet den Wert für exponierte Lage ($1,1 \text{ kN/m}^2$). Auch neuere Normen bieten keinen Lösungsansatz.

Fall b) war bisher insofern kritisch, da auf Grundlage der fehlerhaften Norm (offen ab $1/3$ zu öffnender Fassadenflächen) nicht gerechnet werden durfte. Folglich setzte man das Kriterium für offene Gebäude entweder auf 3 % (Expertenrat) oder 5 % der offenen Fassadenfläche (Fachregeln Sept. 1997[1]). Berechnungen auf Grundlage Eurocode 1991-2-4[5] wurden aufgrund fehlender Angaben zu den Öffnungsflächen praktisch nicht durchgeführt!

Dennoch ergibt sich hieraus ein passender Lösungsansatz, wenn bei DIN-Berechnungen die angeströmten Öffnungen zur Gesamtöffnungsfläche ins Verhältnis gesetzt werden. Der Innendruckbeiwert wird nach Eurocode 1991-2-4[5] ermittelt und in die DIN-Berechnung übernommen. Inwiefern solche Mischberechnungen rechtlich zulässig sind bleibt dahingestellt.

Für die Fälle c) und d) möchte ich nachfolgend einen Lösungsansatz aufzeigen.

2.0 MODELLIERUNG

Um komplexe Gebäudeformen mit den vereinfachten Parametern einer Norm zumindest näherungsweise bemessen zu können, ist es notwendig, das Gebäude abschnittsweise auf den Parametersatz der Norm zu reduzieren. Diese Gebäudeabschnitte werden anschließend zusammengeführt und zu einer Gesamtlösung verschmolzen. In diesem Zusammenhang ist es von entscheidender Bedeutung, dass die einzeln zu bestimmenden Gebäudeabschnitte nicht isoliert betrachtet werden. Die Wechselwirkung eines Abschnittes, hier einer Gebäudeecke bzw. einer Fassade, mit dem Gesamtgebäude ist stets zu berücksichtigen.

Bei der Bemessung von Flachdächern hat sich folgende Modellbildung bewährt:

- 1) Erstellen des Dachumrisses
- 2) Windwirksame Längen der an den Ecken anliegenden Fassadenlänge- und breite bestimmen. Hierzu geistigen Auges um das Gebäude wandern und für den Fall der Übereckanströmung die wirbelbildenden Fassadenlängen ermitteln.
- 3) Bemessung der (Dach-) Eckenflächen und Kraftbeiwerte im Eck
- 4) Bemessung der (Dach-) Randbreiten und Kraftbeiwerte im Rand
- 5) Überlagerung aller Flächen dergestalt, dass der breitere Rand den schmalen überlagert und die jeweils höheren Lastbeiwerte die niedrigeren ersetzen
- 6) Druckbeiwert der inneren Dachfläche aus dem ungünstigsten Eck bzw. den Gesamtgebäudelängen bestimmen

3.1 Modellierung rechteckig umrissener Gebäude

Für das nachfolgend aufgezeichnete Gebäude wurden die Gebäudekanten als windwirksame Längen an allen Ecken angesetzt. Die Eck- und Randbereiche wurden darauf aufbauend entsprechend DIN 1055 Teil 4, Ausgabe 1986 [2] ausgebildet.

Die gefundene Lösung ist insofern hinreichend korrekt, als dass die Eck- und Randbereiche Abmessungen besitzen, wie es die zu erwartende Wirbelbildung erwarten lässt.

Die Ausgabe entstammt dem Programm MF Windsog Version 3.6.05, Berechnungsmodus „DIN 1055 Teil 4 – kleine Ecken“.

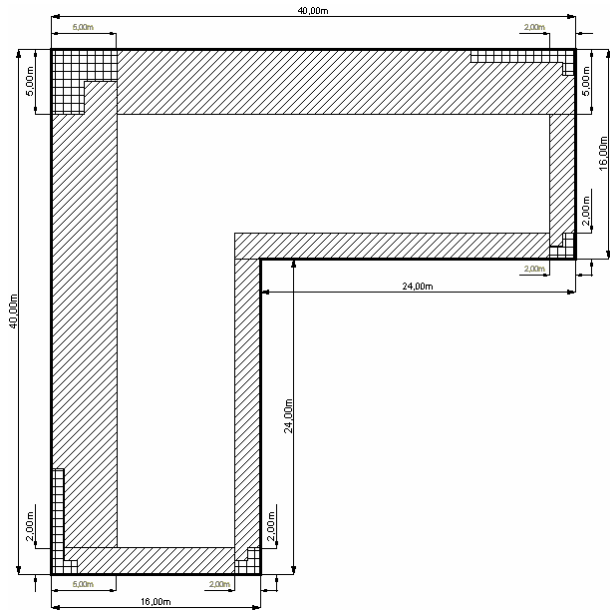


Bild 1: L-förmiger Baukörper, langgestreckte Schenkel

Diese Form der Modellbildung funktioniert sehr gut, solange die einzelnen Gebäudeecken autark verwirbeln und keine Wechselwirkungen zwischen Eck- und/oder Randbereichen bestehen.

Bei ungewöhnlich geformten Gebäuden erreicht man im ersten Anlauf jedoch meist keine optimale Lösung. Diese zu finden, wird durch die Anzeige von Ecken und Randflächen innerhalb des Gebäudeumrisses stark erleichtert. Die Erfahrung hat gezeigt, dass falsch interpretierte windwirksame Gebäudelängen oftmals rein optisch entlarvt werden können.

Hierzu das obige Gebäude mit veränderten Schenkelbreiten:

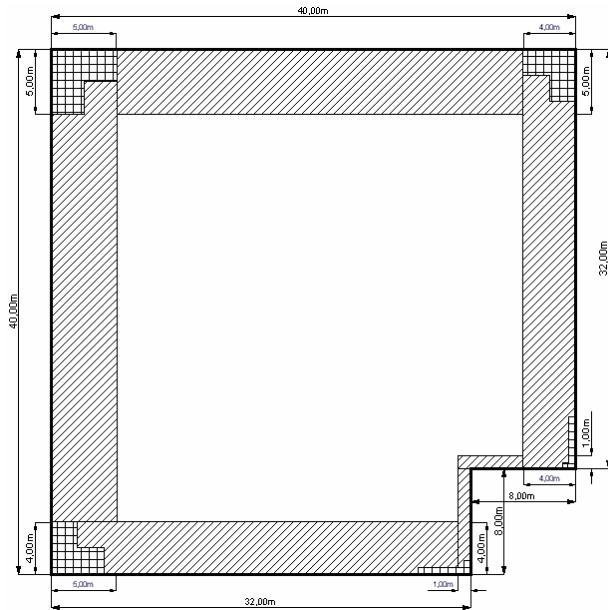


Bild 2: L-förmiger Baukörper, gedungen, 1. Lösungsansatz

Bereits ein wenig geübter Anwender kann erkennen, dass die Eckbereiche im rechten, unteren Bereich zu klein und die Ränder am Inneneck zu schmal sind.

Die zu erwartende Wirbelbildung wird sich dort sicherlich ähnlich ergeben wie in den 3 Ecken links unten, links oben und rechts oben. Der Programmanwender kann nun die windwirksamen Längen dahingehend verändern, dass eine sichere Lösung entsteht.

Ein erster Lösungsansatz besteht darin, die windwirksamen Längen für die beiden Ecken unten rechts auf 32 m zu setzen, und zwar für die horizontale und vertikale Gebäudekante. Daraus ergibt sich folgende Lösung:

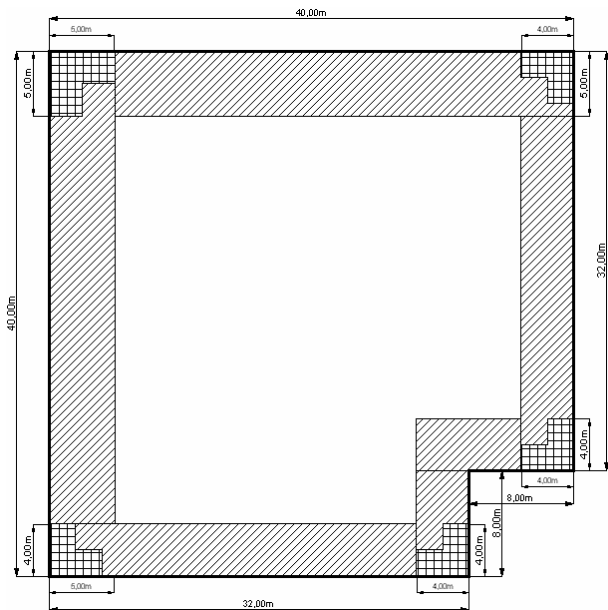


Bild 3: L-förmiger Baukörper, gedungen, 2. Lösungsansatz

Betrachtet man nur die Flächenausbildung, ist die gefundene Lösung sicherlich akzeptabel.

Dennoch birgt diese Lösung eine Überraschung: die Gesamtzahl der benötigten Befestiger ist geringer als bei der ersten Lösung! Ursache: die Kraftbeiwerte c_{pe} verringern sich von 3 auf 2 im Eck und von 1,7 auf 1,0 in den betroffenen Randbereichen. Berücksichtigt man nun den Aspekt, dass ein Dach verlegefreundlich dimensioniert werden sollte, verringert sich die Befestigeranzahl um bis zu 40%! Denn verlegefreundlich heißt, dass alle Eck- und Randbereiche auf die gleiche Art und Weise verlegt werden. Was wiederum bedeutet, dass die Verlegung des am höchsten belasteten Ecks bzw. Randes in alle anderen Ecken bzw. Ränder übernommen wird.

Interessant wäre es in diesem Fall zu wissen, ab wann an einem Eck die Gebäudeabmessungen statt der direkt anliegenden Kantenlängen anzuwenden sind? Wo sind die Übergänge? Wirkt die Gebäudehöhe mit ein?

3.2 Modellierung nicht rechteckig umrissener Gebäude

Der Gelbdruck der DIN 1055 Teil 4 vom März 2001[4] enthält zwar Angaben zu diversen Dachformen (Flachdach, Satteldach, Trogdach, Walmdach) und Dachrandausbildungen (ohne- bzw. mit Attika, runde Traufe, schräge Traufe), doch bereits eine schräge Wand wird zum Problem.

Es stellen sich folgende Fragen:

1. Ab und bis zu welchem Öffnungswinkel ist ein Eck ein Eck?
2. Wie verhalten sich die Kraftbeiwerte in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel?
3. Welche Dimensionen haben die Eckschenkel und Randtiefen?
4. Ist das Übernehmen der Kraftbeiwerte rechtwinkliger Ecken ein sicheres Verfahren?

Im Programm MF Windsog wurden folgende Lösungsansätze gewählt.

- zu 1.) Für Ecken kann ein Öffnungswinkelbereich konfiguriert werden, innerhalb dessen ein Eck als Eckbereich im Sinne der Norm gilt. In Anlehnung an die NEN 670x[6] sind Öffnungswinkel zwischen 25 und 155 Grad voreingestellt. Diese Einstellung ist optional. Ist sie nicht aktiv, werden für alle Öffnungswinkel Eckbereiche ausgebildet.
- zu 2.) Mangels Alternative wird mit den Kraftbeiwerten rechtwinkliger Ecken gerechnet.
- zu 3.) Die windwirksamen Gebäudekanten sind vom Anwender eigenverantwortlich einzugeben. Für die Übernahme der angrenzenden Gebäudelängen existiert eine Halb-Automatik.
- Zu 4.) Hierzu liegen dem Autor z.Zt. noch keine verbindlichen Informationen vor.

3.3 Modellierung von Aufbauten, Höhenversätzen etc.

3.3.1 Aufbauten

Um Aufbauten herum sind nach den Fachregeln des Deutschen Dachdeckerhandwerkes[1] Randbereiche auszubilden. Die Randtiefe ergibt sich aus der Hälfte des größten horizontalen Ausmaßes!? Zu den Kraftbeiwerten machen die Fachregeln[1] keine direkte Aussage. Lediglich die Mindestmaße für Aufbauten werden genannt: $h > 0,35$ m und $L > 0,5$ m. Ob diese Regel pauschal sinnvoll ist möchte ich hier nicht beurteilen.

In den Normen findet man hierzu keine direkte Entsprechung. Aus den Betrachtungen für Attiken, Fassaden und Geländeformen (Eurocode Seite 30ff[5], Entwurf DIN 1055-4 Anhang B[4]) können zwar div. Rückschlüsse gezogen werden, allgemeingültige Lösungen lassen sich hieraus nicht ableiten. Dies gilt sinngemäß auch für Höhenversätze.

3.3.2 Höhenversatz

Alltägliche Bausituationen wie Höhenversätze werden in den aktuellen Normen nicht direkt behandelt. Auch die Fachregeln[1] liefern keinerlei Lösungsansatz.

Somit kann auch MF Windsog keine vorgefertigten Lösungsfunktionen anbieten. Unseren Anwendern empfehlen wir die manuelle Anpassung der Randtiefe vor dem Höhenversatz. Diese ergibt sich aus dem Durchmesser der zu erwartenden Windrolle, welche aus der Höhe der aufgehenden Wand resultiert. Inwiefern die senkrecht stehenden Windrollen hinter den windabgewandten Ecken der Wand auf die Flachdachabdichtung einwirken bleibt offen.

Eine weitere offene Frage ergibt sich aus den unterschiedlichen Höhen der Dachflächen: Ab welchem Höhenunterschied müssen beide Flächen aufgrund des ungleichen Bezugstaudrucks getrennt gerechnet werden?

3.3.3 Mauern

In der Mehrzahl größerer Gebäude finden sich Brandmauern. Für diese gilt sinngemäß das unter Höhenversatz Gesagte.

3.3.3 Rundungen

Türme, Schornsteine und Masten sind häufig untersuchte Forschungsobjekte und entsprechend detailliert in den Normen berücksichtigt. Dächer auf runden Türmen finden sich jedoch weder im Eurocode [5] noch im Entwurf zur DIN 1055-4[4].

Die Bemessung dieser Dächer kann nur von rechtwinkligen Formen abgeleitet werden. Eckbereiche entfallen sicherlich, doch die Randtiefen samt Kraftbeiwerten bleiben kritisch.

Baupraktisch bedeutender sind Rundungen an ansonsten quader-förmigen Grundrissen.

Hier stellen sich 2 grundsätzliche Fragen:

- Wann müssen am Übergang zu den Rundungen Eckflächen samt erhöhter Kraftbeiwerte ausgebildet werden?
- Bei welchem Radius können „runde Ecken“ ohne Eckbereich ausgebildet werden?

3.3.5 Zusammengesetzte Baukörper

Die zuvor angesprochenen Probleme können evtl. noch isoliert interpretiert und bemessen werden. Für zusammengesetzte Baukörper ist dies meist nicht mehr möglich.

Hierzu das nachfolgend aufgeführte Beispiel samt zugehöriger Fragestellung: Müssen an den 2 Teildachflächen die windwirksamen Längen aus der jeweiligen Teilfläche oder aus den Gesamtgebäudelängen abgeleitet werden?

Die dargestellten Lösungen zur Flächenaufteilung entstammen dem Programm MF Windsog in Verbindung mit dem MF DachDesigner. Sie nehmen auch Bezug auf die zuvor angesprochenen Fragestellungen bei nicht-rechtwinkligen Grundformen, Höhenversätzen und Rundungen. Den Anspruch auf Richtigkeit erheben sie nicht! Es bleibt dem Anwender überlassen für ausreichend Sicherheit zu sorgen.

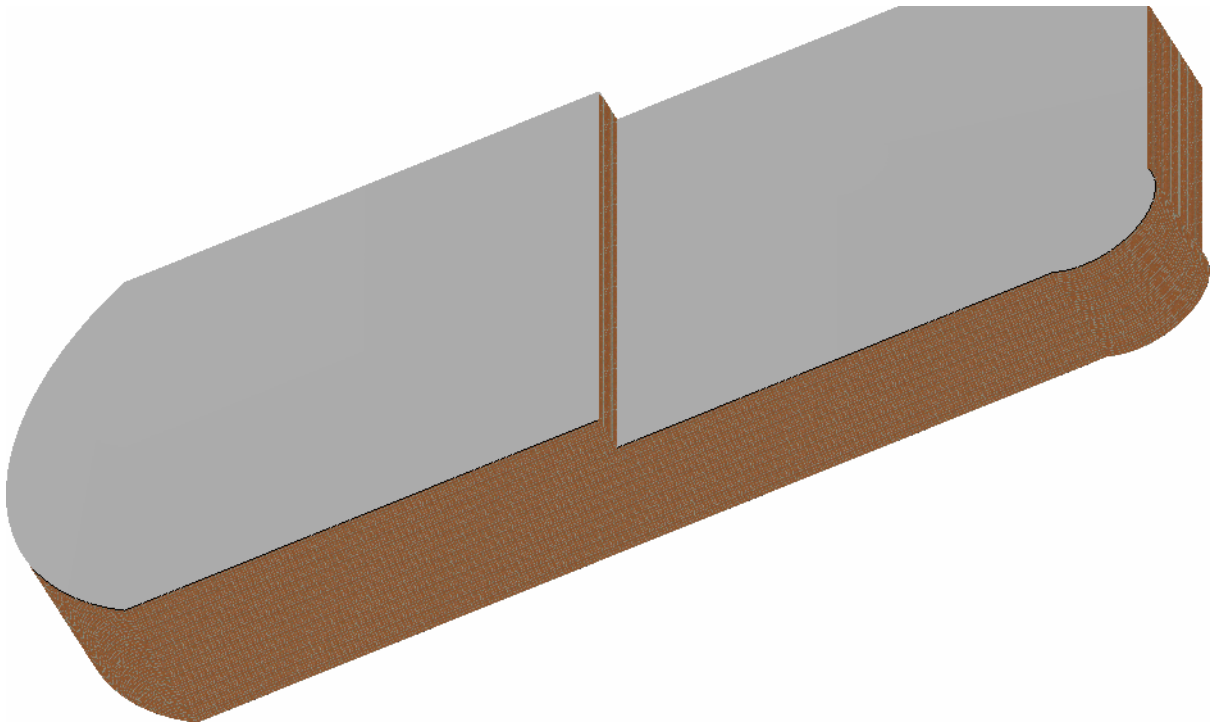


Bild 4: zusammengesetzter Baukörper

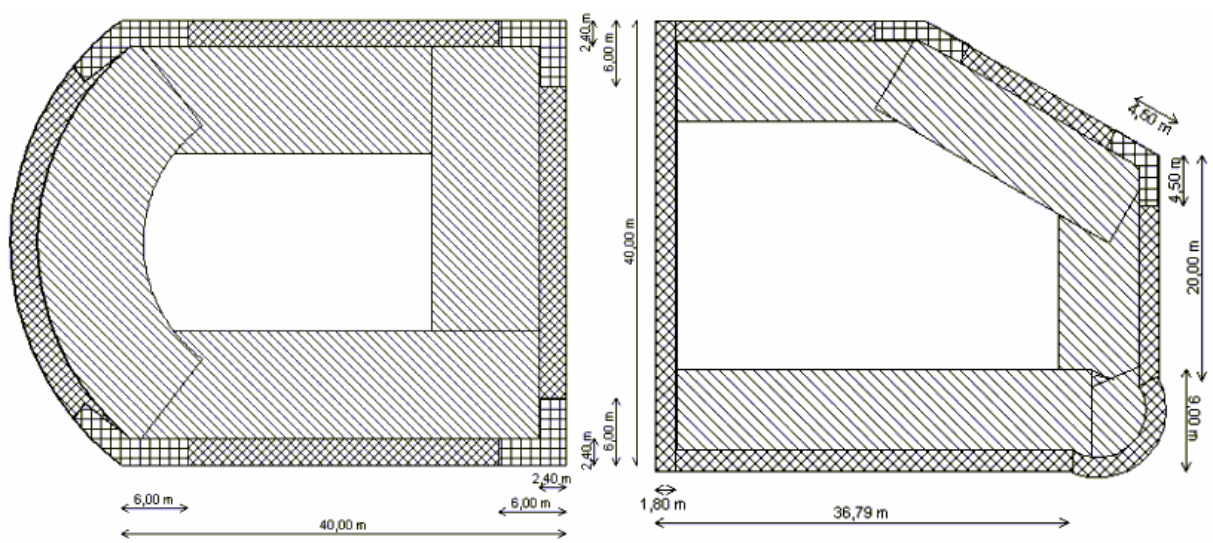


Bild 5: Ansatz zur Flächenaufteilung der 2 Teilflächen nach Eurocode 1991-2-4

5.0 ZUSAMMENFASSUNG

Die windtechnische Bemessung von Bauwerken birgt meist Probleme, auf die in den Normen keine Lösung bzw. Handlungsanweisung gefunden werden kann. Die Bemessung wird zumindest in Teilen zur Interpretation.

Für Teilbereiche dieser Problematik bietet MF Windsog Lösungsansätze und Interpretationshilfen, vorwiegend durch Rückgriff auf ergänzende Normen und Regeln. Von der automatisierten Bemessung ist das Programm jedoch noch weit entfernt. Hierzu müssen noch zahlreiche Voraussetzungen seitens der Grundlagenforschung und darauf aufbauend des Normierungswesens geschaffen werden.

6.0 LITERATUR

- [1] Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk
hier: Anhang - Hinweise zur Lastenermittlung
und: Flachdachrichtlinien, Sicherung von Dachabdichtungen gegen
Abheben durch Windkräfte.
Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e.V., Köln
Rudolf Müller Verlag, Köln ISBN 3-481-01356-6
- [2] DIN-Taschenbuch 38 - Bauplanung
Beuth Verlag GmbH, Berlin – Wien – Zürich
ISBN 3-410-13043-8
- [3] DIN 18531, Dachabdichtungen - Begriffe, Anforderungen, Planungsgrundsätze
Beuth Verlag Berlin, September 1991
- [4] DIN 1055-4:2001-03, Entwurf vom März 2001
Beuth Verlag GmbH, Berlin– Wien – Zürich
- [5] EUROCODE 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke
Teil 2.4: Windlasten.
Beuth Verlag GmbH, Berlin– Wien – Zürich
- [6] NEN 6700 bis 6707, insbesondere
NEN 6700:1991: “Technical Principles for building structures TGB 1990, General
Principles” und NEN 6702:1991: “Technical Principles for building structures TGB
1990, Loadings and Deformations”.
- [7] SIA 160: Einwirkung auf Tragwerke, Ausgabe 1989 und
SIA 271: Flachdächer, Fassung vom 29.9.1992
Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, CH-8039 Zürich
- [8] WTG-Berichte Nr. 2 – Windlastnormen nach 1992
Windtechnologische Gesellschaft e.V. 1994
ISBN 3-928909-01-09-28