

**Hinweise und Erläuterungen zur
Technischen Regel für Anlagensicherheit**

**Vorkehrungen und Maßnahmen
wegen der Gefahrenquellen
Wind, Schnee- und Eislasten**

(TRAS 320)

Forschungsnehmer: Krätzig und Partner, Bochum

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Wilfried B. Krätzig, Bochum
Dr.-Ing. Matthias Andres, Bochum
Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Niemann, Bochum
Prof. Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke, Bad Oeynhau-
sen

unter Mitwirkung von
Prof. Dr. rer. nat. Manfred Stock, Potsdam
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.

im Auftrage des Umweltbundesamtes

Datum: Oktober 2015

Die TRAS 320 wurde am 16.07.2015 im Bundesanzeiger veröffentlicht.

Ein Forschungsbericht mit zusätzlichen Informationen ist als Download unter

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
 Wörlitzer Platz 1
 D-06844 Dessau-Roßlau

Redaktion: Fachgebiet III 2.3
 Roland Fendler

Dessau-Roßlau, Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

Zur Präambel	1
Zu Kapitel 1 Grundlagen	1
Zu Kapitel 2 Anwendungsbereich	3
Zu Kapitel 3 Begriffe	3
Zu Kapitel 4 Systematisierung und Aufbau der TRAS 320.....	4
Zu Kapitel 5 Beschreibung der Gefahrenquellen.....	5
Zu Abschnitt 5.1 Gefahrenquellen durch statische und dynamische Lasten.....	5
Zu Abschnitt 5.2 Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile sowie Luftdruckänderungen und -schwankungen	10
Zu Kapitel 6 Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse	11
Zu Kapitel 7 Detaillierte Gefahrenquellenanalyse.....	12
Zu Abschnitt 7.1 Statische und dynamische Lasten	13
Zu Abschnitt 7.1.1 Bezug zu Normen und Zuverlässigkeitsklassen	13
Zu Abschnitt 7.1.2 Windlasten.....	21
zu Abschnitt 7.1.3 Schnee- und Eislasten	28
zu Abschnitt 7.2 Berücksichtigung des Klimawandels	32
zu Abschnitt 7.3 Windbedingte Projektile	33
Zu Kapitel 8 Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen	35
zu Abschnitt 8.1 Gefahrenquellen durch statische und dynamische Lasten.....	35
zu Abschnitt 8.1.1 Windlasten.....	35
zu Abschnitt 8.1.2 Schnee- und Eislasten	38
zu Abschnitt 8.2 Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile: Ermittlung der gefährdeten Anlagen und Anlagenteile	42
Zu Kapitel 9 Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen	43

Zu Kapitel 10	Festlegung von anlagenbezogenen Schutzzielen	44
Zu Kapitel 11	Erarbeitung von Schutzkonzepten	46
Zu Kapitel 12	Prüfung der Schutzkonzepte	51
Zu Kapitel 13	Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Ge- fahrenabwehrplanung.....	52
Zu Kapitel 14	Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfall- auswirkungen.....	53
Zu Kapitel 15	Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Übermittlung von Informa- tionen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung.....	55
Zu Kapitel 16	Dokumentation.....	60
Zu Kapitel 17	Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV.....	60
Zu Abschnitt 17.1	Anforderungen an die Instandhaltung (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV).....	60
Zu Abschnitt 17.2	Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV).....	62
Zu Abschnitt 17.3	Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräf- ten im Störfall (Beratungspflicht gemäß § 5 Absatz 2 StörfallV)	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Überblick über Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse	14
Abbildung 2:	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Sicherheitszone Z	16
Abbildung 3:	Wahrscheinlichkeitsverteilung $F(v)$ der Extremwerte der mittleren Windgeschwindigkeit für (a) Nordseeküste und (b) Süddeutschland	18
Abbildung 4:	Darstellung der atmosphärischen Grenzschicht.....	21
Abbildung 5:	Windgeschwindigkeitsprofile der mittleren Windgeschwindigkeit und der Böengeschwindigkeit für Geländekategorie II (Referenzgelände).....	23
Abbildung 6:	Windgeschwindigkeitsprofile in Abhängigkeit von der Bodenrauigkeit.....	24
Abbildung 7:	Windzonenkarte der DIN EN 1991-1-4	24
Abbildung 8:	Sturmkarte des DWD: Windspitzen für eine mittlere Wiederkehrzeit von 100 Jahren (© DWD Deutscher Wetterdienst)	25
Abbildung 9:	Für den Nachweis von baulichen Anlagen zu berücksichtigende Einwirkungen infolge der Gefahrenquelle Wind	27
Abbildung 10:	Schneelastzonenkarte der Bundesrepublik Deutschland 2010, Nationaler Anhang DIN EN 1991-1-3 (© DIN Deutsches Institut für Normung e.V.).....	28
Abbildung 11:	Verdeutlichung der Höhe der Schneelast in Abhängigkeit von der Schneedichte	29
Abbildung 12:	Mögliche Anpassung der Schneelast auf dem Boden gemäß DIN EN 1991-1-3 (2010), Anhang D in in Abhängigkeit von der Wiederholungswahrscheinlichkeit.....	30
Abbildung 13:	Typische Lastbilder der Eisbildung: Glatteisbildung (oben), Raueisbildung (unten), (© DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)	31
Abbildung 14:	Eiszonenkarte der Bundesrepublik Deutschland 2005 (© DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)	32
Abbildung 15:	Darstellung möglicher Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile	33
Abbildung 16:	Festlegungen des Geschwindigkeitsdruckes in deutschen Normen: in TGL 32274/07, Ausgabe Dezember 1976, als Polygonzug; in DIN 1055-4, Ausgabe Juni 1938, als Treppenkurve, in der Ausgabe März 2005 als Potenzprofile, hier für Geländekategorie II in Abhängigkeit der Windzonen.....	38

Abbildung 17:	Einwirkungen, Störfalleintrittsvoraussetzungen und Folgen durch die Gefahrenquellen Wind, Schnee und Eis.....	44
Abbildung 18:	Aerodynamische Maßnahmen gegen wirbelerregte Querschwingungen.....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Dichte von Schnee in kg/m^3	9
Tabelle 2:	Kriterien zum Ausschluss von Gefahrenquellen	12
Tabelle 3:	Schadenfolge- und Zuverlässigkeitsklassen nach DIN EN 1990	19
Tabelle 4:	Aerodynamische Rauigkeitslängen (Bilder: © DIN Deutsches Institut für Normung e.V.).....	22
Tabelle 5:	Böengeschwindigkeiten nach DIN EN 1991-1-4	26
Tabelle 6:	Vereisungsklassen im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland nach DIN 1055-5.....	32
Tabelle 7:	Verfahrensschritte zur Berechnung der Windlast nach DIN EN 1991-1-4.....	36
Tabelle 8:	Abminderungsfaktor nach TGL-Richtlinie	37
Tabelle 9:	Liste zur Überprüfung von Anlagen in Betriebsbereichen	39
Tabelle 10:	Regelschneelast s_0 in kN/m^2 (kg/m^2) gemäß Tabelle 2 der DIN 1055 Teil 5.....	40
Tabelle 11:	Konstruktive Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung des Widerstandes gegenüber Wind und Schneelasten.....	47
Tabelle 12:	Weitere Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung des Widerstandes gegenüber Wind, Schnee- und Eislasten.....	48
Tabelle 13:	Vorschlag für einen Begehungs- und Kontrollplans für die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten der Autoren dieser Hinweise und Erläuterungen.....	61

Hinweise und Erläuterungen

Diese Hinweise und Erläuterungen ergänzen die Technische Regel für Anlagensicherheit „Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten“ (TRAS 320). Sie wurden mit dem Arbeitskreis umgebungsbedingte Gefahrenquellen der Kommission für Anlagensicherheit abgestimmt; es handelt sich jedoch nicht um eine Technische Regel.

Zur Präambel

Üblicherweise enthalten Rechtsvorschriften Präambeln, in denen Sinn und Zweck der nachfolgenden Regelungen umrissen werden. Dieser Praxis folgt auch die Präambel der TRAS 320. Das verfolgte Anliegen der TRAS 320 und ihr Zustandekommen werden kurz beschrieben.

Zu Kapitel 1 Grundlagen

Die Ausführungen im Kapitel Grundlagen zielen darauf ab, die rechtliche Zuordnung der TRAS 320 zu verdeutlichen. Die Pflichten der Betreiber von Betriebsbereichen leiten sich aus § 3 der Störfall-Verordnung (StörfallV, 12. BImSchV) ab und umfassen Folgendes:

1. Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen (§ 3 Absatz 1 StörfallV)
2. Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen – „Dennoch“-Störfällen (§ 3 Absatz 3 StörfallV)
3. Die Pflicht zur Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik (§ 3 Absatz 4 StörfallV)

Gemäß § 3 Absatz 2 StörfallV sind bei der Erfüllung dieser Betreiberpflichten umgebungsbedingte Gefahrenquellen zu berücksichtigen.

Vorkehrungen zur Verhinderung von Störfällen sind vom Betreiber zu treffen, wenn die Gefahrenquellen vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können und müssen Art und Ausmaß der ansonsten bei Wirksamwerden der Gefahrenquellen resultierenden Gefahren entsprechen (d.h. im Verhältnis zu den hervorgerufenen Risiken stehen).

Zur Auslegung des Begriffs „vernünftigerweise“ wird auf die vom BMUB veröffentlichte Vollzugshilfe zur StörfallV hingewiesen.¹ Ob und wie die hier relevanten Gefahrenquellen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, wird im Zusammenhang mit den Erläuterungen zur vereinfachten Gefahrenquellenanalyse diskutiert.

¹ BMUB: Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung vom März 2004
<http://www.bmub.bund.de/bmub/parlamentarische-vorgaenge/detailansicht/artikel/vollzugshilfe-zur-stoerfall-verordnung-vom-maerz-2004>

Beschaffenheit und Betrieb der Anlagen in Betriebsbereichen müssen dem Stand der Sicherheitstechnik entsprechen, was damit auch für die wegen umgebungsbedingter Gefahrenquellen erforderlichen Vorkehrungen und Maßnahmen gilt. Von daher ergibt sich für die Betreiber von Anlagen im Geltungsbereich der StörfallV eine besondere Verantwortung zur Gewährleistung der Anlagensicherheit gegenüber Gefahrenquellen, wie Wind, Schnee- und Eislasten.

Betreiber mit „erweiterten“ Pflichten haben nach § 9 StörfallV ihren Sicherheitsbericht sowie ihr Konzept zur Verhinderung von Störfällen und ihr Sicherheitsmanagementsystem zu jedem anderen Zeitpunkt, wenn neue Umstände dies erfordern, oder um aktuelle Erkenntnisse zur Beurteilung der Gefahren zu berücksichtigen, fortzuschreiben. Dies schließt Erkenntnisse zu umgebungsbedingten Gefahrenquellen und den Einfluss des Klimawandels auf diese ein.

Im Rahmen der Erarbeitung der TRAS 320 wurde geprüft, inwieweit der wissenschaftliche Kenntnisstand Aussagen über eine zukünftige Veränderung der in der TRAS 320 betrachteten Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten aufgrund des Klimawandels zulässt und konkrete Anforderungen zur Anpassung aufgestellt werden können. Im Gegensatz zur Entwicklung der oberflächennahen Temperatur mit der damit in Zusammenhang stehenden Luftfeuchtigkeit ist bei Anwendung der verschiedenen Modellrechnungen für die Entwicklung von Windgeschwindigkeit, Schnee- und Eislasten kein eindeutiger Trend erkennbar. Eine wissenschaftlich allgemein anerkannte Prognose über die Entwicklung der Häufigkeiten und Intensitäten dieser Gefahrenquellen ist somit derzeit noch nicht möglich. Anders als in der TRAS 310 „Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser“ wird daher auf die Einführung eines Klimaanpassungsfaktors verzichtet.

Gleichwohl kann ein Einfluss des Klimawandels auf die zukünftigen Häufigkeiten und Intensitäten der betrachteten Gefahrenquellen nicht ausgeschlossen werden. Der Einfluss kann sich ergeben aus:

1. Veränderung der Anteile der verschiedenen Großwetterlagen in Westeuropa
2. Verlagerung der Hauptniederschlagsperioden im Jahresgang
3. Veränderung von Häufigkeiten und Intensitäten von Starkniederschlagsereignissen und extremen Wetterlagen

Werden entsprechende Veränderungen bei Intensitäten oder Häufigkeiten von Wind-, Schneelast- oder Eislastereignissen festgestellt, so sind diese aufgrund der dynamischen Pflichten der StörfallV bei der Überprüfung und ggf. Anpassung der bisherigen Sicherheitsanforderungen und –managementsysteme zu berücksichtigen, auch wenn die TRAS 320 hinsichtlich des Anpassungsbedarfs keine quantitativen Vorgaben macht. Die oben genannten Veränderungen sind auch bei der alle 5 Jahre vorgeschriebenen Überarbeitung der TRAS zu beachten.

Zu Kapitel 2 Anwendungsbereich

Die TRAS 320 gilt für Betriebsbereiche im Anwendungsbereich der StörfallV. Ihre Anwendung wird aber auch für andere immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen empfohlen, bei denen Gefahren durch gefährliche Stoffe bestehen. Sollen Anforderungen für Betriebsbereiche gelten und werden sie für entsprechende, immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen empfohlen, so wird in der TRAS 320 von „Betrieb“ gesprochen. Von Betriebsbereich wird nur gesprochen, wenn Anforderungen aufgrund der StörfallV und damit nur für Betriebsbereiche gelten.

Die TRAS 320 richtet sich an die Betreiber und kann von Behörden und Sachverständigen im Rahmen von Genehmigungsverfahren, Überwachung, Inspektionen und Prüfungen herangezogen werden. Im Rahmen der Festlegung des Anwendungsbereichs erfolgt in der TRAS 320 auch die Auflistung der Gefahrenquellen, die diese TRAS berücksichtigt.

In § 3 Absatz 2 StörfallV genannte, umgebungsbedingte Gefahrenquellen können naturbedingt und technisch bedingt sein (d.h. auch durch Anlagen außerhalb des Betriebsbereichs). Die TRAS 320 ist auf Gefahrenquellen, die durch Wind, Schnee- und Eislasten hervorgerufen werden, begrenzt. Die methodische Vorgehensweise ist jedoch so konzipiert, dass sie grundsätzlich auch für die Berücksichtigung weiterer natürlicher oder technischer umgebungsbedingter Gefahrenquellen geeignet ist.

Zu Kapitel 3 Begriffe

In der TRAS 320 werden nur jene Begriffe erläutert, die für das Verständnis der Zusammenhänge unverzichtbar sind. Im Einzelnen werden folgende Begriffe definiert:

- TRAS 320, Abschnitt 3.1: Gefahrenquelle
- TRAS 320, Abschnitt 3.2: Umgebungsbedingte Gefahrenquellen
- TRAS 320, Abschnitt 3.3: Gefahrenquellenanalyse
- TRAS 320, Abschnitt 3.4: Analyse der Gefahren und Gefährdungen
- TRAS 320, Abschnitt 3.5: Wind
- TRAS 320, Abschnitt 3.5.1: Extremwind
- TRAS 320, Abschnitt 3.5.2: Windgeschwindigkeit
- TRAS 320, Abschnitt 3.5.3: Bö
- TRAS 320, Abschnitt 3.5.4: Windspitze
- TRAS 320, Abschnitt 3.5.5: Tornado
- TRAS 320, Abschnitt 3.6: Schneelast
- TRAS 320, Abschnitt 3.6.1: außergewöhnliche Schneelast
- TRAS 320, Abschnitt 3.6.2: extreme Schneelast
- TRAS 320, Abschnitt 3.7: Eislast
- TRAS 320, Abschnitt 3.8: Windbedingte Projektile
- TRAS 320, Abschnitt 3.9: Störungen des bestimmungsgemäßen Betriebs durch Wind sowie Schnee- und Eislasten
- TRAS 320, Abschnitt 3.10: Schutzkonzept
- TRAS 320, Abschnitt 3.11: Anlagenbezogene Schutzziele
- TRAS 320, Abschnitt 3.12: Störfalleintrittsvoraussetzung

Folgende Hinweise ergänzen die Begriffsdefinitionen:

Zu TRAS 320 Abschnitt 3.2 Umgebungsbedingte Gefahrenquellen

Der Begriff „umgebungsbedingte Gefahrenquellen“ wird in der Störfall-Verordnung eingeführt. Als Beispiele werden Erdbeben und Hochwasser genannt. Gegenstand der TRAS 320 sind die auslösenden Gefahrenquellen Wind, Luftdruckänderungen, Schneefall und Eisbildung. Als Folge können statische und dynamische Lasten, wie Winddruck, winderregte Schwingungen, Schnee- und Eislasten sowie windbedingte Projektile, Staub und Druckschwankungen als Gefahrenquellen auf Anlagen oder Anlagenteile wirken (Abbildung 2 der TRAS 320). Während die auslösenden Gefahrenquellen nicht beeinflusst werden können, ist dies bei der zweiten Gruppe möglich.

In der Vollzugshilfe des BMUB wird der Begriff umfassender definiert. Hier werden darüber hinaus noch umgebungsbedingte, technische Gefahrenquellen genannt, die von benachbarten Anlagen verursacht werden oder von Verkehrsanlagen ausgehen können.

Die im Rahmen der TRAS 320 betrachteten naturbedingten Gefahrenquellen werden ausschließlich durch Wind, Schnee- und Eislasten unmittelbar oder mittelbar, wie z. B. durch windbedingte Projektile, verursacht. Nicht betrachtet wird die Wirkung von Kälte, insbesondere Gefahrenquellen durch die Bildung von Eis aus in den Betrieben vorhandenem Wasser, wie z. B. Kühlturmschwaden.

TRAS 320, Abschnitt 3.10: Schutzkonzept

Analog zu dem für betriebliche Gefahrenquellen einschlägigen Begriff „Sicherheitskonzept“ und dem für Eingriffe Unbefugter einschlägigen Begriff „Sicherungskonzept“ wird in Zusammenhang mit umgebungsbedingten Gefahrenquellen der Begriff „Schutzkonzept“ verwandt. Dies soll eine gemeinsame Berücksichtigung der verschiedenen Arten von Gefahrenquellen innerhalb des Sicherheitskonzepts nicht ausschließen.

Zu Kapitel 4 Systematisierung und Aufbau der TRAS 320

Die Erfüllung der Betreiberpflichten im Sinne der StörfallV hinsichtlich der umgebungsbedingten Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten kann mit einer methodischen Vorgehensweise erreicht werden, die als Grafik Abbildung 1 in der TRAS 320 illustriert wird. Kernstücke der vorgestellten Methodik sind die vereinfachte und detaillierte Gefahrenquellenanalyse, die auch schon in der TRAS 310 für die Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser eingeführt wurden. Alle anderen Teilschritte sind übliche Vorgehensweisen und schon in den verschiedenen Publikationen beschrieben.^{2,3,4} Sie wurden für die zu betrachtenden umgebungsbedingten Gefahrenquellen nur inhaltlich angepasst.

² SFK "Leitfaden Anlagensicherheit" (Kapitel 3) SFK-GS-06, November 1995

³ Arbeitskreis des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: "Vollzug der §§ 9 und 13 Störfall-Verordnung (12. BImSchV)" (Kapitel 3), März 2002

⁴ SFK „Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung“ (Kapitel 4.4) April 2004

Zu Kapitel 5 Beschreibung der Gefahrenquellen

Um das Verständnis der Vielzahl der Gefahrenquellen zu erleichtern wird in der Abbildung 2 der TRAS 320 unterschieden zwischen:

1. auslösenden Gefahrenquellen, wie Wind (Tiefdruckstürme oder Tornados), Schnee und Eis
2. möglichen daraus folgenden Gefahrenquellen, wie z. B. Schwingungen oder windbedingte Projektile

Die auslösenden Gefahrenquellen können von Menschen nicht beeinflusst werden. Eingriffsmöglichkeiten bestehen jedoch bei den daraus folgenden Gefahrenquellen. Durch geeignete Vorkehrungen und Maßnahmen können diese verhindert oder in ihrer Wirkung vermindert werden.

Zu Abschnitt 5.1 Gefahrenquellen durch statische und dynamische Lasten

Die TRAS 320 definiert zunächst die Naturphänomene Wind, Schnee und Eisbildung, gegenüber deren Einwirkungen Anlagen und Betriebe auszulegen sind. Eine Charakterisierung der unterschiedlichen, als Gefahrenquelle relevanten Erscheinungsformen der Phänomene Wind, Schnee- und Eislasten findet sich in Abschnitt 3: Begriffsbestimmungen. Die durch den natürlichen Wind verursachten statischen und dynamischen Lasten, die auf eine Anlage wirken können, werden in den folgenden Abschnitten erläutert.⁵

Zu Abschnitt 5.1.1 Gefahrenquellen durch Windlasten

Einem dem natürlichen Wind ausgesetzten Bauwerk oder Bauteil werden Lasten aufgeprägt, die in Abhängigkeit von der Zeit stochastisch um einen mittleren Wert schwanken. Der mittlere Lastwert resultiert dabei aus der zeitlich über 10 min gemittelten Grundgeschwindigkeit des Windes. Dem Mittelwind sind in Zeit und Raum schwankende Böenstöße überlagert, die eine Erhöhung bzw. Verringerung der Windgeschwindigkeit bewirken. Diese böeninduzierten Schwankungen der Geschwindigkeit führen am Bauwerk oder Bauteil zu entsprechenden Lastschwankungen. Ihr überwiegender Anteil erfolgt mit niedrigen Frequenzen und führt nicht zu Schwingungen. Daher benutzt die Windlastnorm in vereinfachter Weise den Böengeschwindigkeitsdruck, um diesen Teil der Böenwirkung abzudecken.

Die Windlastnormen erfassen die Windlast auf Einhausungen und vergleichbare, räumlich ausgedehnte Anlagenteile - wie in Abbildung 3 der TRAS 320 dargestellt - in Form von Strömungsdrücken und ihrer Verteilung in der Oberfläche. Die Windlast auf Gerüste, Fachwerke, Rohre und ähnliche stabartige Anlagenteile erfasst man dagegen in Form von Strömungskräften. In beiden Fällen berechnet man die Windeinwirkungen mithilfe von aerodynamischen Beiwerten, die sich aus Form und Größe des Baukörpers ergeben. Das Technische Regelwerk enthält eine umfangreiche Sammlung von aerodynamischen

⁵ DIN EN 1991-1-4, Ausgabe Dezember 2012: Eurocode Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4: Windlasten, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin

Druckbeiwerten für Winddrücke auf die Oberfläche von Bauwerken und von aerodynamischen Kraftbeiwerten für die Windkräfte an Stäben unterschiedlicher Querschnitte.

Anlagen bestehen häufig aus einem Stützgerüst, das eine kompakte Anordnung von Rohren und Kolonnen umfasst. Ohne Einhausung sind die Anlagenteile dem Wind direkt ausgesetzt. Die erforderlichen Kraftbeiwerte sind für die Windkräfte auf Einzelstäbe angegeben. Liegen die Anlagenteile in engem Abstand hintereinander, so entsteht eine Abschirmwirkung, für die zurzeit keine umfassende Regelung vorliegt. Eine Abschätzung auf sicherer Seite besteht darin, auf die Abschirmwirkung zu verzichten und für jeden Stab die volle Windkraft anzunehmen. Im Einzelfall kann es für die Auslegung und Überprüfung von Anlagen in Betrieben sinnvoll sein, genauere Untersuchungen anstellen zu lassen.

Die TRAS 320 verweist an dieser Stelle auf Windlasten, die von Tornados ausgelöst werden, als eine weitere Gefahrenquelle, die allerdings mit den aerodynamischen Beiwerten des aktuellen technischen Regelwerks nicht erfasst ist.

Zu Abschnitt 5.1.2 Gefahrenquellen durch Schwingungen

Durch die höherfrequenten Anteile der Windböigkeit können Tragwerke zu mehr oder weniger ausgeprägten Resonanzschwingungen angeregt werden. Diese überlagern sich den niederfrequenten Böenwirkungen und können in extremen Tiefdruckstürmen zu Schäden an einzelnen Bauteilen und in seltenen Fällen zum Versagen des Gesamtbauwerkes führen.

Schlanke, lang gestreckte Tragstrukturen können infolge der Windströmung zudem zu Schwingungen angeregt werden, deren Bewegungen quer zur Anströmrichtung erfolgen⁶. Den Querschwingungen liegt ein Anregungsmechanismus zugrunde, bei dem zyklisch und alternierend Strömungswirbel an den Flanken des Baukörpers ablösen. Hierbei bilden sich sogenannte Wirbelstraßen aus. Hierdurch werden periodische Quertriebskräfte induziert, deren Erregerfrequenz mit den Eigenfrequenzen der Tragwerksstruktur in Resonanz geraten kann. Insbesondere bei schwach gedämpften Tragwerken und Tragwerksteilen stellen sich große resonante Überhöhungen ein, so dass auch kleine Erregerkräfte große Verformungen und Spannungen hervorrufen können. Die Beanspruchung resultiert dabei im Wesentlichen aus den Massenträgheitskräften des in Resonanz geratenen Systems. Die aus Wirbelresonanz hervorgerufenen Beanspruchungen sind meist deutlich geringer als die im jeweiligen Tragwerk vorliegenden Beanspruchbarkeiten. Ein Tragwerksversagen infolge Gewaltbruchs kann daher i. d. R. ausgeschlossen werden. Gleichwohl können langandauernde Querschwingungen häufige Lastwechsel auslösen, die zu signifikanten Ermüdungsschäden des Tragwerks führen.

Neben möglichen böen- sowie wirbelinduzierten Schwingungen können Anlagen oder Anlagenteile unter Windeinwirkungen zu selbsterregten Schwingungen angeregt werden. Diese Schwingungserscheinungen haben ihre Ursache in einer Störung, die zunächst eine Bewegung des Tragwerks hervorruft. Hierdurch entwickeln sich im Weiteren

⁶ Niemann, H.-J.; Peil, U.: Windlasten auf Bauwerke, Stahlbau-Kalender 2003, S. 673-748, Verlag Ernst&Sohn, Berlin

Schwingbewegungen, die ihre Antriebsenergie dem umströmenden Medium entnehmen. Sie gehen im Allgemeinen mit sehr großen Amplituden einher und können gegebenenfalls zur Zerstörung des Tragwerks führen. Man spricht von aeroelastischen Effekten. Nähere Hintergründe finden sich z. B. in Niemann, H.-J.; Peil, U.: „Windlasten auf Bauwerke“⁶. Sie werden wie folgt zusammengefasst:

1. Formanregung (Gallopung)

Formanregung tritt bei Stäben mit kantigen Querschnitten auf. Sie führt zu einer Schwingung mit anwachsenden Amplituden, dem Galloping. Dieser Zustand tritt ein, sobald eine kritische Geschwindigkeit überschritten ist. Man spricht von einer aeroelastischen Instabilität. Geringe Strukturdämpfung und kleine Eigenfrequenz ergeben eine kleine kritische Geschwindigkeit, so dass Anlagenteile mit diesen Eigenschaften besonders gefährdet sind. Auch Bauteile mit Kreisquerschnitt können betroffen sein, sobald durch Eisansatz eine ungünstige Querschnittsform entsteht.

2. Regen-Wind induzierte Schwingungen

Grundvoraussetzung für diese Schwingungserscheinung ist das gleichzeitige Auftreten von Wind und Niederschlag. Bei gegen die Vertikale geneigten Seilen oder Rundstäben bilden sich aus dem Niederschlag Wasserrinnsale auf der Oberfläche aus, die zu einer Veränderung des angeströmten Querschnitts führen. Ähnlich wie beim Galloping gehen hiermit Änderungen in der Umströmung und den dabei hervorgerufenen Luftkräften einher, die das System zu besonders starken Schwingungen quer und ggfs. auch längs zur Windströmung anregen.

Infolge der großen Schwingamplituden erfahren entsprechend angeregte Seil- und Stabstrukturen maßgebliche Betriebsbeanspruchungen, die Ermüdungsprobleme verursachen können.

3. Flattern

So genannte Flatterschwingungen entstehen als Überlagerung einer Biege- und Torsionsschwingung. Zur Schwingungsanfachung müssen die beiden Schwingungsformen in ihrer Phase derart aufeinander abgestellt sein, dass die am Tragwerk ausgelösten Luftkräfte überwiegend in Bewegungsrichtung zur Wirkung kommen und innerhalb einer Schwingungsperiode eine positive Arbeitsbilanz bewirken. Anfällig gegenüber dieser Schwingungserscheinung sind biege- und torsionsweiche Konstruktionen wie z. B. Hauptträger von Hängebrücken.

4. Divergenz

Unter Divergenz fasst man statische aeroelastische Instabilitäten, die aus einem Anwachsen der aerodynamischen Belastung des Tragwerkes über die elastischen Rückstellkräfte des Systems resultieren. Sie sind zunächst statischer Natur und gehen entsprechend ohne Schwingbewegungen einher. Infolge einer zunehmenden Verringerung der Torsionssteifigkeit bei anwachsenden Windgeschwindigkeiten können Flatterschwingungen ausgelöst werden.

5. Interferenzeffekte

Bei dichter Anordnung schlanker Bauteile in Reihe oder als Gruppe können etwaige aeroelastische Effekte durch Strömungsinterferenz begünstigt werden. In diesem Zusammenhang sind folgende Schwingungserscheinungen zu unterscheiden:

a) Interferenzgalloping

Das Interferenzgalloping ist eine selbsterregte Schwingung, die bei in dichter Anordnung stehenden Zylindern auftreten kann. Der Anregungsmechanismus beruht auf einem plötzlichen Strömungsumschlag, der bei einem kritischen Anströmwinkel einsetzen kann. Die Windströmung wird dabei durch den Zwischenraum der Zylinder geführt und ruft auf dem rückwärtigen Zylinder große einseitige Quersoglasten hervor. Durch die nichtsymmetrische Druckverteilung wird er in Richtung des Druckgefälles ausgelenkt, was letztlich die selbsterregten Schwingungen auslöst.

b) wirbelerregte Querschwingungen

c) Galloping

Die zuvor beschriebenen selbsterregten Schwingungsphänomene gehen i. a. mit großen und lang andauernden Amplituden einher, so dass in den meisten Fällen der Nachweis gegenüber Anlagenteilermüdung nicht mit Erfolg geführt werden kann.

Neben einer Begünstigung möglicher aeroelastischer Effekte kann eine sehr enge Bauwerks- oder Anlagenanordnung eine grundsätzliche Veränderung der einfallenden Windströmung in der Weise bewirken, dass in bestimmten Bereichen die zugehörige Geschwindigkeit gegenüber der ungestörten Anströmung signifikant erhöht ist. Diese Übergeschwindigkeiten sind in der Regel auf wenige Windrichtungen beschränkt und haben die folgenden zwei Effekte zur Ursache:

- Im Zwischenraum zwischen großen Einzelbauwerken oder Anlagenteilen können durch eine Kanalisierung der Windströmung Übergeschwindigkeiten im Vergleich zur äußeren Anströmung auf die Industrieanlage auftreten. Diese wirken sich ungünstig auf kleinere Baukörper wie z. B. Rohrleitungen aus, die sich in diesem Zwischenraum befinden.
- Das Strömungsfeld, das von einem der großen Bauwerke oder Anlagenteile ausgeht, kann an einem zweiten Bauwerk oder Anlagenteil ähnlicher Größe, das sich stromab befindet, zusätzliche Windlasten ausüben. Das gilt insbesondere für den dynamischen Lastanteil, der durch die erhöhte Ablöseturbulenz im Nachlauf vergrößert wird. Man spricht von Interferenzwirkungen bei der Böenlast.

Zu Abschnitt 5.1.3 Gefahrenquellen durch Schnee und Eislasten

Bei dem Naturphänomen Schnee handelt es sich um Eiskristalle, welche je nach Druck- und Temperaturverhältnissen in unterschiedlicher Form und Struktur zusammenhängen und einzelne Schneeflocken bilden. Diese entstehen durch kleinste Staubteilchen (Kondensationskerne), an denen sich in den Wolken unterkühltes Wasser anlagert, welches dann gefriert. Die sich so bildenden Eiskristalle wachsen auf dem Weg in die tieferen

Luftschichten kontinuierlich an und werden zu Schneeflocken unterschiedlichster Ausprägung. Ist die einzelne Schneeflocke auf ein Hindernis gefallen, so hängt es von der Temperatur des Hindernisses und der Umgebung sowie deren Luftfeuchtigkeit ab, wie sie sich im Weiteren verhalten wird. Im besten Fall ist die Temperatur des Hindernisses so hoch, dass die Schneeflocke sich unmittelbar wieder in die Aggregatform Wasser verwandelt und abschmilzt.

Taut der Schnee nicht unmittelbar wieder ab, so baut sich sukzessive eine Schneeschicht auf dem Hindernis auf. Dieser Schnee verändert sich infolge der Temperatur-, Feuchtigkeits- und Druckverhältnisse der Umgebung mit jedem Tag, an dem er auf dem Hindernis liegt. Beispielsweise wird eine Schneeschicht unter erhöhtem Druck – somit also auch die tieferliegenden Schneeschichten infolge der Auflast des frischeren Schnees – komprimiert. Das bedeutet, dass der Abstand der einzelnen Schneekristalle untereinander verringert wird, das eingeschlossene Luftvolumen sinkt und somit dichter und schwererer Altschnee entsteht. Würde der Druck über längere Zeit anhalten und ansteigen, so bildet sich dann immer dichter Schnee bis hin zu einer sehr dichten Eisschicht. Die Temperaturveränderung der Umgebung nach dem Schneefall ist ebenfalls ein die Dichte der Schneeschicht verändernder Faktor. Hier führt beispielsweise ein Ansteigen der Temperaturen zu einem Abschmelzen einzelner Schichten. Dabei gibt es eine Vielzahl von möglichen Verläufen, die zu ganz unterschiedlichen Veränderungen in den Schneeschichten führen können. Eine starke Sonneneinstrahlung in Kombination mit tiefen Temperaturen kann beispielsweise dazu führen, dass ausschließlich die obere Schneedecke antaut, das Wasser dann aber in tieferen Schichten einsickert und wieder gefriert und somit die Schneeschicht immer dichter wird.

Die somit über eine gewisse Periode entstandenen Schneeschichten können als Lastkomponenten daher auch nicht mittels einfacher Schneehöhenmessung beurteilt werden. Vielmehr müssen andere Methoden zur Lastbestimmung verwendet werden. Nachfolgende **Tabelle 1** gibt als erste Einschätzung die Größenordnung der unterschiedlichen Schneemassen (Schneelasten) – je nach Einstufung – wieder:

Tabelle 1: Dichte von Schnee in kg/m³

Dichte	Bezeichnung der Schneeart
30 bis 50 kg/m ³	trockener, lockerer Neuschnee
50 bis 100 kg/m ³	gebundener Neuschnee
100 bis 200 kg/m ³	stark gebundener Neuschnee
200 bis 400 kg/m ³	trockener Altschnee
300 bis 500 kg/m ³	feuchtnasser Altschnee
150 bis 500 kg/m ³	Schwimmschnee
500 bis 800 kg/m ³	mehrfähriger Firn
800 bis 900 kg/m ³	Eis

Die Größe der Schneebelastung wird in erster Linie vom Standort der Anlage bestimmt. Daneben spielen die geometrischen Form der Bauwerke oder Anlagenteile, auf die der

Schnee einwirkt, sowie ihre gegenseitige Anordnung eine erhebliche Rolle. Diese Abhängigkeit entsteht vornehmlich durch die Wechselwirkung von Schneefall und Wind, wie aus den winterlichen Verwehungen in den Schneefallgebieten Deutschlands bekannt ist. Wind kann gefallenen Schnee in großem Maße versetzen, woraus sich schnell gefährliche Lasten entwickeln können.

Anders als der Schneefall kann eine Eisbildung unterschiedliche auslösende Ursachen haben. Im Folgenden wird ausschließlich die Eisbildung infolge Niederschlag betrachtet. Andere betriebsbedingte Ursachen für Eisbildung, beispielsweise Leckagen, Abgase, Wasserdampfaustritt, Kühlturmschwaden etc. bei Frost führen mitunter zu ähnlichen Phänomenen, sollen aber nicht Bestandteil der folgenden Untersuchungen sein. Bei Niederschlag in einer Niedrigtemperaturumgebung oder bei Temperaturwechseln von warm zu kalt kann es zu Eisbildung an exponierten Baukörpern, Abspannseilen und Rohrleitungen kommen. Fast in jedem Winter berichten die Medien von Bauwerksschäden oder (Teil)Einstürzen infolge Vereisung. Diese Eisbildung wird an den der Witterung frei zugänglichen Teilen eines Bau- oder Anlagenteils durch Windeinwirkung stark begünstigt. Die durch den Wind transportierten, meist unterkühlten Regentropfen treffen luvseitig auf das Bauteil. An diesem können dadurch bei ungünstigen Konstellationen zum Teil lange Eisfahnen, Eiskörper oder Eiswalzen aufgebaut werden, die das Tragwerk bzw. Teile des Tragwerks in ihrer Standsicherheit durchaus gefährden können. Eis entsteht bei niedrigen Temperaturen infolge sich absetzendem Reif, Nebel oder Regen in verschiedenen Schichtstärken auf den Bauteilen. Es kann sich bei anhaltend ähnlichen Bedingungen weiter aufbauen und stärkere Schichten bilden.

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, dass sich aus abtauendem Schnee an exponierten Stellen des Bauteils Eiskörper bilden und dort zu lokalen Belastungen führen.

Zu Abschnitt 5.2 Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile sowie Lufdruckänderungen und -schwankungen

Zu Abschnitt 5.2.1 Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch den Winddruck bzw. durch Schwingungen Anlagenteile gelöst und durch den Wind zu Projektilen werden. Hierbei können sowohl am Ort der Projektilbildung als auch am Immissionsort, also dem Ort des Projektilaufpralls, Schäden an Anlagenteilen auftreten, die die Sicherheit der Anlagen gefährden. Tankanlagen oder Rohrleitungen, die oftmals direkt in ein Bauwerk führen, können dabei ebenso getroffen werden, wie z. B. Trafostationen, Messfühler, Regelarmaturen oder Kabelverbindungen.

Eine besondere Form der Projektilbildung stellen Gegenstände dar, die durch den Wind getrieben bodennah fortgetragen werden können, wie z. B. ein rollendes Fass. Die Betrachtung derartiger Gegenstände gleicht der Gefahrenquellenanalyse für den Aufprall von Fahrzeugen auf sicherheitsrelevante Anlagenteile.

Der Begriff „Trümmerflug“ wird im Rahmen dieser Betrachtung nicht benutzt, weil der Trümmerflug i.d.R. durch ein Explosionsereignis verursacht wird und im Rahmen der

Analyse von „Dennoch-Störfällen“ sowie im Zusammenhang mit potenziellen Domino-Effekten zu betrachten ist.

Zu Abschnitt 5.2.2 Gefahrenquellen durch Luftdruckänderungen und Druckschwankungen

Tiedruckstürme sind, wie die Bezeichnung schon andeutet, mit einem Absinken des Luftdrucks verbunden. Die Änderung des atmosphärischen Luftdrucks liegt maximal in einer Größenordnung von 30 hPa. Sie findet über einen vergleichsweise langen Zeitraum statt, so dass die Druckunterschiede in baulichen und sonstigen Anlagenteilen sich an die Änderungen des atmosphärischen Luftdruck angleichen können. Gefahren können eintreten, wenn die Luftdruckänderung schneller erfolgt oder wenn ein Druckausgleich nicht möglich ist und eine flexible Wandung Gas umschließt, wie z. B. die Foliensysteme zur Biogasspeicherung.

Starke Windströmungen können an Kaminen von Abgassystemen Druckänderungen herbeiführen, die Größe und Richtungen von Strömungen im Abgassystem beeinflussen können. Es ist zu prüfen, ob derartige Druckänderungen auftreten und sicherheitsrelevant werden können.

Zu Kapitel 6 Vereinfachte Gefahrenquellenanalyse

Die vereinfachte Gefahrenquellenanalyse hat die Aufgabe, diejenigen Gefahrenquellen zu bestimmen, die auf einen Betrieb einwirken können. Die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten können grundsätzlich im ganzen Bundesgebiet auftreten und können nur unter bestimmten Bedingungen ausgeschlossen werden.

Zunächst sind die Gefahrenquellen zu ermitteln, die dem Bereich des „Exzeptionellen Störfalles“ zuzuordnen sind. Gefahrenquellen, die außerhalb des wissenschaftlichen Erkenntnisvermögens und jeglicher Berechenbarkeit liegen, können vorab ausgeschlossen werden (vgl. „keine weitere Betrachtung“ in der Abbildung 1 der TRAS).

Danach ist zu prüfen, welche Gefahrenquellen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können, so dass keine Vorkehrungen und Maßnahmen nach § 3 Absatz 1 StörfallV zur Verhinderung von Störfällen erforderlich werden. Die dabei vernünftigerweise ausgeschlossenen Gefahrenquellen sind jedoch später im Rahmen der Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ und bei der Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen von Ereignissen gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV wieder zu berücksichtigen (vgl. Abzweig nach „Identifizierung gefährdeter sicherheitsrelevanter Anlagenteile“ in der Abbildung 1 der TRAS).

Für eine Entscheidung, ob eine Gefahrenquelle vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann, sind möglichst einfache und leicht nachvollziehbare Kriterien heranzuziehen. Solche Kriterien sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Tabelle 2: Kriterien zum Ausschluss von Gefahrenquellen

Gefahrenquelle	Kriterium	Beispiele
Wind (Ausnahme Tornados)	eingehauste Anlagen, sofern die Gebäude gemäß DIN EN 1991 mit Einstufung RC3 gegen Wind bemessen sind	Produktionsanlagen, Aufbereitungsanlagen
Wind (einschließlich Tornados)	unter Erdgleiche befindliche Anlagenteile	Rohrleitungen, Tanks
Schnee und Eis	Betriebsbereiche, die mit hoher Temperatur betrieben werden. ^{a)}	Reaktoren, Rohrleitungen, Destillationskolonnen, Lagertanks für Stoffe mit hoher Kristallisationstemperatur, Lagertanks für viskose Medien
	eingehauste Betriebsbereiche, sofern Gebäude ausreichend gegen Schnee- und Eislasten bemessen sind	Produktionsanlagen, Aufbereitungsanlagen
	unterirdisch und frostsicher verlegte Anlagenteile	Rohrleitungen, Tanks
	Anlagenteile mit Begleitheizung	Rohrleitungen, Armaturen
Windbedingte Projektilgefahr durch Losreißen von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen Gefährdung durch Aufschlagen von Projektilen	eingehauste Anlagenteile keine Bauwerke, Anlagen, Maschinen oder Bäume in der Nähe, die als Projektilquelle zu betrachten wären	

a) Der Ausschluss von Anlagenteilen setzt voraus, dass bei Ausfall oder Abschalten der Wärmequellen z. B. für die Instandhaltung, die Temperatur der Anlagenteile über den Zeitraum der Abschaltung nicht so weit absinkt, dass eine Gefährdung durch Schnee- oder Eislasten eintreten kann. Anderenfalls sind die Behälter oder Rohrleitungen zu entleeren.

Zu Kapitel 7 Detaillierte Gefahrenquellenanalyse

Die detaillierte Gefahrenquellenanalyse dient einer eingehenderen Untersuchung von möglichen Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglichen Intensitäten von Gefahrenquellen. Die Ergebnisse sollen dazu dienen

- a) im nachfolgenden Schritt prüfen zu können, ob eine Gefährdung sicherheitsrelevanter Anlagenteile vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann,
- b) Gefährdungen durch die Gefahrenquellen für die nachfolgende Untersuchung von „Dennoch-Störfällen“ zu beschreiben (Szenarienbildung).

Im Rahmen der detaillierten Gefahrenquellenanalyse sind daher weitergehende Informationen über die Bedingungen einzuholen, die die Gefährdung des Betriebes oder der Anlage beeinflussen können.

Zunächst wird die Einstufung von Anlagen, die der StörfallV unterliegen, in die Zuverlässigkeitsstufe RC3 gemäß DIN EN 1990 näher erläutert. Diese Einstufung gilt sowohl für die Nachweise gegen Wind- als auch gegen Schnee- und Eiseinwirkungen. Anschließend werden wegen ihrer hohen Wind- bzw. Böengeschwindigkeiten die Tiefdruckstürme sowie die Tornados näher betrachtet.

Zu Abschnitt 7.1 Statische und dynamische Lasten

Zu Abschnitt 7.1.1 Bezug zu Normen und Zuverlässigkeitsklassen

Für Betreiber gerät ein Tragwerk dann in einen kritischen Zustand, wenn entweder dessen planmäßige Nutzung nicht mehr gewährleistet ist oder wenn eine unmittelbare Gefahr für die Tragsicherheit, im Bauwesen oft als Standsicherheit bezeichnet, besteht. Heutige moderne, weltweite ähnliche Sicherheitskonzepte für Nachweisverfahren zur baulichen Gefahrenabwehr definieren hierfür bestimmte Grenzzustände als Nachweis- oder Bemessungsziele. Je nachdem, ob Versagenssicherheiten oder Gebrauchseigenschaften der Konstruktion das Bemessungsziel sind, wird zwischen

- Grenzzuständen der Tragfähigkeit (des Versagens) und
- Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

unterschieden. Für beide Grenzzustandssituationen, die im Allgemeinen beide gleichzeitig zu gewährleisten sind, existieren international abgestimmte Mindestwerte (operativer) Eintrittswahrscheinlichkeiten P_f . Letztere werden für Deutschland durch die Europäische Normung CEN sowie das Deutsche Institut für Normung (DIN) bestimmt und mit der Einführung der entsprechenden Norm als Technische Baubestimmung durch die Länder verbindlich.

Für jeden der obigen Grenzzustände ist zu verifizieren, dass während eines festgelegten Bezugszeitraums, beispielsweise der Tragwerksnutzungsdauer, die zu erwartenden Folgen der Einwirkungen E die zugeordneten Tragwerkswiderstände R mit einer festgelegten hohen Wahrscheinlichkeit nicht überschreiten:

$$(1) \quad R \geq E, \Rightarrow Z = R - E \geq 0.$$

Z bezeichnet man hierin als Sicherheitszone. Beide Größen E und R sind mit Unschärfen stochastischen Charakters behaftet, die mittels probabilistischer Vorgehensweisen über die zugehörigen Wahrscheinlichkeitsfunktionen erfasst werden können. Z beschreibt somit ebenfalls eine Wahrscheinlichkeitsverteilung und die gesamte Beziehung einen stochastischen Prozess.

Die modernen Vorgehensweisen der baulichen Gefahrenabwehr basieren auf Methoden der probabilistischen Zuverlässigkeitstheorie ⁷. Die zur Behandlung empfohlenen Vorgehensweisen sind hierarchisch gestuft, von traditionellen (historischen) Nachweiskonzepten bis hin zu vollständig stochastischen Vorgehensweisen. Einen Überblick hierüber in Anlehnung an den Anhang C der DIN EN 1990 ⁸ gibt **Abbildung 1**.

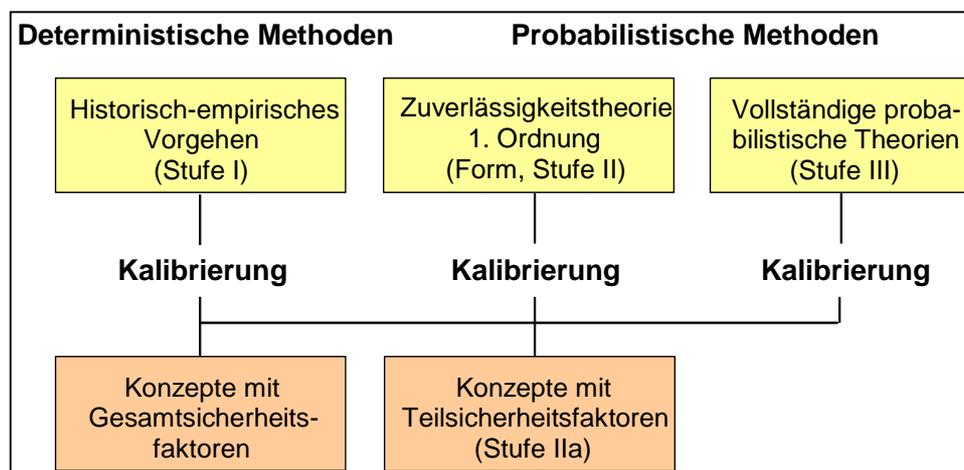


Abbildung 1: Überblick über Methoden der Zuverlässigkeitsanalyse

Jedes moderne zuverlässigkeits-theoretische Nachweiskonzept hat sich mit den statistischen Eigenschaften seiner einwirkenden und widerstehenden Elemente auseinander zu setzen: Alle Tragwerkeigenschaften, die Werkstoffeigenschaften und vor allem die Einwirkungen unterliegen unterschiedlichen Verteilungsfunktionen, statistischen Unschärfen und führen damit zu Sicherheitsstreuungen, welche durch das verwendete Zuverlässigkeitskonzept sicher abgefangen werden müssen.

Historisch gesehen sind Sicherheits- und Zuverlässigkeitsprobleme in der Technik gemäß **Abbildung 1** zunächst mittels Gesamtsicherheitsfaktoren und im Rahmen von sogenannten zulässigen Spannungen behandelt worden. Da die hierin beteiligten Unschärfeparameter, interpretiert als Fraktilwerte der beteiligten Wahrscheinlichkeitsverteilungen, jedoch sehr unterschiedlichen Verteilungsfunktionen entstammen, wurden derartige Sicherheitskonzepte der Stufe I bereits früh als relativ unsicher erkannt. ⁹ Bei ihrer Anwendung können unbeabsichtigt sowohl Sicherheitsdefizite als auch erhebliche Sicherheitsüberschüsse auftreten.

⁷ Schuëller, G.I. (1981): Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.

⁸ DIN EN 1990 (2010) (Eurocode 0): Grundlagen der Tragwerksplanung, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

⁹ NABau im DIN (1977): Richtlinie zur Bestimmung der der Sicherheitsmaße im Ingenieurbau (Richtlinie GruSiBau). NABau-Arbeitsausschuss Sicherheit von Bauwerken, Berlin.

Vom mathematischen Standpunkt kann Abhilfe durch gesteigerte Genauigkeit letztlich nur mittels vollständig probabilistischer Zuverlässigkeitskonzepte (Stufe III, SORM: Second-order reliability method) geschaffen werden, welche die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen statistischen Verteilungsfunktionen berücksichtigen. Die hierbei einzusetzenden mathematischen Methoden gelten jedoch in der Ingenieurpraxis als so schwierig, dass Theorien der Stufe III in naher Zukunft kaum Eingang in die technische Nachweispraxis finden werden.¹⁰ Sie leiden außerdem unter dem Makel, dass für die sehr seltenen Zustände an den Rändern ihrer Verteilungsfunktionen, den für Zuverlässigkeitsaussagen entscheidenden Bereichen, kaum physikalisch verlässliche Information vorliegen, die Ergebnisse somit entscheidend von physikalisch fragwürdigen mathematischen Funktionseigenschaften abhängen. Allenfalls wäre ein Eingang in linearisierter Form als Zuverlässigkeitstheorie 1. Ordnung (Stufe II, FORM: First-order reliability method) denkbar, wie dies beispielsweise im Anhang von DIN 1055-100 (März 2001) erläutert wird. Schätzt man mit dem Ziel einer Vereinfachung die hierbei auftretenden statistischen Verteilungsfunktionen durch geeignete Fraktile ab, so gelangt man zu Zuverlässigkeitskonzepten mittels Partialsicherheitsfaktoren (Teilsicherheitsfaktoren). Diese Stufe IIa gemäß **Abbildung 1** stellt die Basis der ab dem 01. Juli 2012 geltenden DIN-EN-Normen 1990 und 1991 dar, die auf den entsprechenden Eurocodes basieren, den modernen Europäischen Baunormen und Nachweisformaten vieler weiterer Länder.

Schwachpunkt aller deterministischen und probabilistischen Zuverlässigkeitstheorien bildet stets deren Kalibrierung an der technischen Realität. Tragwerksversagen stellt einen äußerst unwahrscheinlichen Grenzfall für seltene Extremereignisse dar, häufig zusätzlich gekoppelt an menschliches Versagen. Da letzteres im Zusammenhang mit technischen Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalysen als rational nicht erfassbar ausgeklammert werden muss, sind vertrauenswürdige statistische Unterlagen über bauliche Versagensfälle äußerst rar.

Im Rahmen von Zuverlässigkeitskonzepten der Stufe IIa, die in ihren technischen Nachweisproblemen mit Partialsicherheitsfaktoren arbeiten und daher auch als semi-probabilistisch bezeichnet werden, wird der Zuverlässigkeitsindex β als Maß für die Sicherheit einer vorliegenden Tragwerkssituation betrachtet. Ausgehend von Gleichung 1 repräsentieren sowohl der Tragwerkswiderstand R als auch der Einwirkungseffekt E infolge kombinierter Tragwerkseinwirkungen grundsätzlich Zufallsverteilungen. Deshalb besitzt natürlich auch die Sicherheitszone Z statistische Eigenschaften:

Alle Werte $Z > 0$ garantieren das Überleben des Tragwerks, Werte $Z < 0$ sein Versagen und der Zustand $Z = 0$ beschreibt gerade die Grenze zwischen Versagen und Überleben. Diese Grenze bezeichnet man als Grenzzustandsfunktion $g: R - E = 0$. Sind sowohl R als auch E normalverteilt (Gauss-verteilt), so gilt dies auch für Z . Üblicherweise gehorchen R und E andere Verteilungsfunktionen. Dennoch wird auch dann die Sicherheitszone Z gern als normalverteilt vorausgesetzt. Dies stellt eine näherungsweise geltende Praktikabilitätsannahme dar, die aber wegen der geringen Wahrscheinlichkeiten für $Z < 0$ allgemein als konfident angesehen wird.

¹⁰ Schuëller, G.I. (1981): Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.

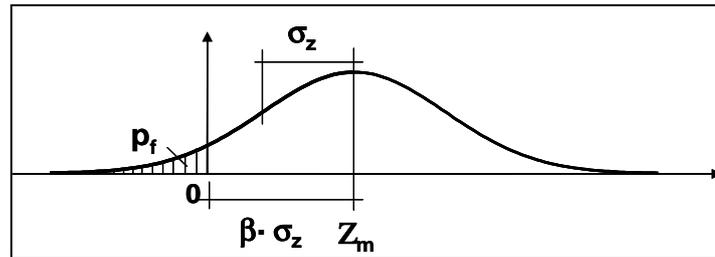


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Sicherheitszone Z

Damit wird deutlich, dass die Tragwerkssicherheit grundsätzlich nur durch Wahrscheinlichkeitsaussagen bewertet werden kann. Die Wahrscheinlichkeit $(1-P_f)$ dafür, dass Versagen nicht eintritt, d.h. dass für die Sicherheitszone Z die Überlebensaussage $Z > 0$ gilt, ist ein Maß für die Zuverlässigkeit des Tragwerks. Aus **Abbildung 2** erkennt man, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit umso höher liegt, je größer der Mittelwert Z_m der Sicherheitszone Z im Verhältnis zu deren Standardabweichung σ_z ist. Umgekehrt gilt natürlich auch, dass die Versagenswahrscheinlichkeit P_f als Maß für die Wahrscheinlichkeit eines Tragwerkversagens umso geringer bleibt, je größer dieser Verhältniswert ist. Er wird daher als Sicherheits- oder Zuverlässigkeitsindex β bezeichnet und zur Quantifizierung sowohl der Überlebenswahrscheinlichkeit $(1-P_f)$ als auch der Versagenswahrscheinlichkeit P_f verwendet:

$$(2) \quad \beta = Z_m / \sigma_z.$$

Dieses Modell ist Grundlage sowohl der DIN EN 1990 als auch der früheren DIN 1055-100: *Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*. In ihr wird für den Sicherheitsindex β im Grenzzustand der Tragfähigkeit ein Zielwert von $\beta = 4,7$ gefordert. Das entspricht einer Versagenswahrscheinlichkeit von $P_f \approx 1,25 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr. Mit anderen Worten: das Überleben der Konstruktion ist mit einem Wert der Überlebenswahrscheinlichkeit von $(1 - 1,25 \cdot 10^{-6})$ ein nahezu sicheres Ereignis. Die Standardabweichung der Streuungen der Sicherheitszone ist eine Funktion der Standardabweichungen der widerstehenden Größen R sowie der schädigenden Größen, insbesondere der Einwirkungen S. Sie wird aus praktischen Gründen im Rahmen der sogenannten First Order Reliability Method (FORM) linearisiert:

$$(3) \quad \sigma_z = \alpha_R \sigma_R - \alpha_S \sigma_S$$

Die Linearfaktoren α gewichten die unterschiedlichen Beiträge der Streuungen des Tragwerkswiderstands bzw. der einzelnen Einwirkungen zur Streuung der Sicherheitszone. Dabei ist das Vorzeichen α_s der schädigenden Größen vereinbarungsgemäß negativ. Durch den geforderten Wert für den Sicherheitsindex β wird gleichzeitig die maximale Überschreitungswahrscheinlichkeit für den Bemessungswert einer Einwirkung, F_d , festgelegt:

$$(4) \quad P(F > F_d) = \Phi(\alpha_F \cdot \beta)$$

Φ ist die Standardnormalverteilung. Die Anhänge der DIN EN 1990 und der zuvor angewandten DIN 1055-100 enthalten pauschale Werte für die Wichtungsfaktoren aller Einwirkungstypen.

Am Beispiel der Einwirkung Wind wird die Herleitung des Teilsicherheitsfaktors und der Kombinationsbeiwerte erläutert und die Konsequenz der Einstufung in RC3 dargestellt.

Wendet man diese vereinfachend auf die Windlast an, so ergeben sich folgende Fälle:

1. Die Windlast ist Leiteinwirkung und ihre Streuung dominiert. Dann wird $\alpha_F = -1$ angesetzt, und die maximal zulässige Überschreitungswahrscheinlichkeit des Bemessungswertes F_d der Windlast ergibt sich zu

$$P(F_w > F_{wd}) = \Phi(-1 \cdot 4,7) = 1,25 \cdot 10^{-6}.$$

2. Die Windlast ist Leiteinwirkung und ihre Streuung dominiert nicht. Dann ist $\alpha_F = -0,7$ und die maximal zulässige Überschreitungswahrscheinlichkeit des Bemessungswertes der Windlast ist

$$P(F_w > F_{wd}) = \Phi(-0,7 \cdot 4,7) = 5 \cdot 10^{-4}.$$

3. Die Windlast ist Begleiteinwirkung und ihre Streuung dominiert. Dann ist $\alpha_F = -0,7$ und

$$P(F_w > F_{wd}) = \Phi(-0,7 \cdot 4,7) = 5 \cdot 10^{-4}.$$

4. Die Windlast ist Begleiteinwirkung und ihre Streuung dominiert nicht. Dann ist $\alpha_F = -0,4$ $0,7 = -0,28$ und

$$P(F_w > F_{wd}) = \Phi(-0,28 \cdot 4,7) = 10^{-1}.$$

In seltenen Fällen überwiegt die Streuung der Windlast so stark, dass die Fälle (1) oder (3) vorliegen. Die Fälle (2) und (4) sind die Regel. Sie werden etwas genauer betrachtet. Um das Windlastniveau für die Bemessung festzulegen, wird das 10-min Mittel der Windgeschwindigkeit als Basisvariable herangezogen. Die Windlast hängt mit ihm quadratisch zusammen. Für den Bemessungswert der Windlast F_{wd} gilt:

$$(5) \quad F_{wd} = C_{aero} \cdot v_d^2$$

Dabei ist C_{aero} ein Faktor, der die aerodynamische Übertragung von quadrierter Windgeschwindigkeit in Windlast erfasst; er schließt u. a. die aerodynamischen Beiwerte und die Böenwirkung ein. v_d bezeichnet die Bemessungswindgeschwindigkeit.

Die Bemessungswindgeschwindigkeit ergibt sich nun mit den oben angegebenen Sicherheitsvorgaben aus der Statistik der mittleren Windgeschwindigkeit. Man benutzt als Extremwertverteilung die Gumbelverteilung vom Typ I sowie als Datenbasis die jährlichen Maxima der mittleren Windgeschwindigkeit, die unabhängig von der Windrichtung betrachtet werden. Die Messung muss unter den Standardbedingungen der World Meteorological Organisation erfolgen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert v der Geschwindigkeit nicht überschritten wird, lässt sich so mit folgendem Ausdruck berechnen:

$$(6) \quad P(\leq v) = F(v) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{1}{K}\left(\frac{v}{U}-1\right)\right]\right\}$$

K ist der sogenannte Formbeiwert, U der Modalwert der Verteilung. Beide Parameter werden durch Anpassung der Verteilungsfunktion an die Messdaten einer meteorologischen

Station in einem speziellen Wahrscheinlichkeitspapier gewonnen. **Abbildung 3** zeigt das Vorgehen anhand zweier Beispiele auf.

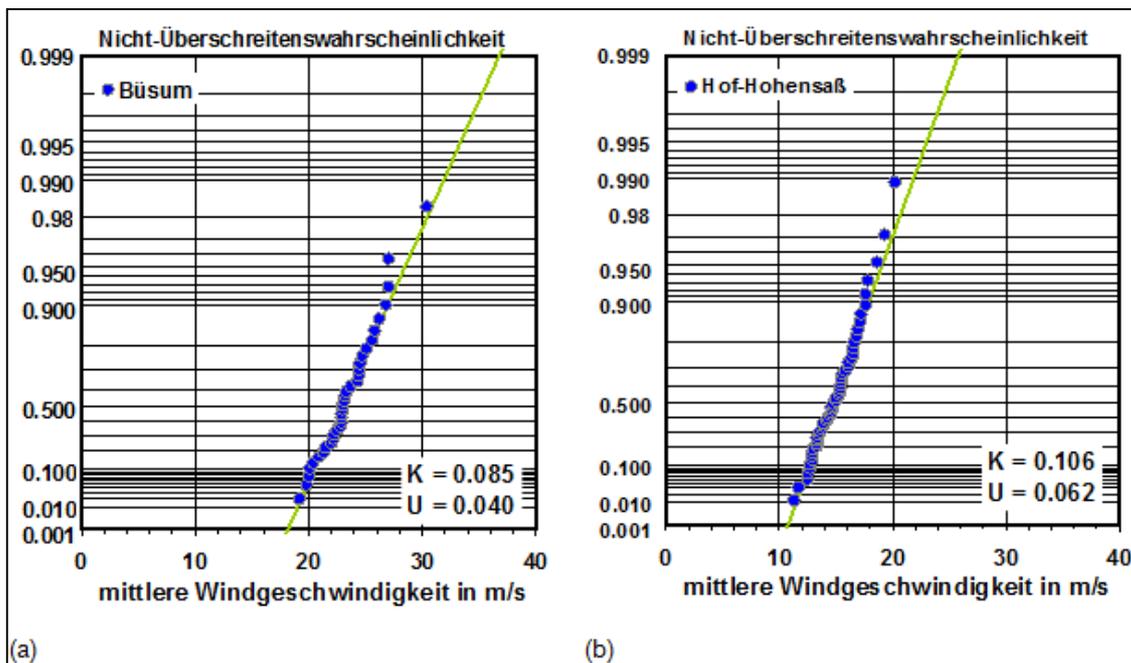


Abbildung 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung $F(v)$ der Extremwerte der mittleren Windgeschwindigkeit für (a) Nordseeküste und (b) Süddeutschland

Für den Formparameter benutzt man $K = 1/10$ als eine im europäischen Windklima brauchbare Näherung. Die mittlere Windgeschwindigkeit v zu einem gewählten Wahrscheinlichkeitsniveau P ergibt sich daraus zu:

$$(7) \quad v = U \cdot \{1 - K \cdot \ln[-\ln(P(\leq v))]\}$$

Ist die Windlast Leiteinwirkung, d.h. $P(v \leq v_d) = 1 - P(v > v_d) = 1 - 5 \cdot 10^{-4}$ (Fall 2), so ergibt sich die Entwurfsgeschwindigkeit zu

$$(8) \quad v_{md} = 1,760 \cdot U$$

Ist die Windlast dagegen lediglich Begleiteinwirkung, so erhält man analog (Fall 4)

$$(9) \quad v_{md} = 1,225 \cdot U$$

Die Bemessungswerte der Windlast sind sehr seltene Ereignisse, deren Wiederkehrperiode zumeist viel größer ist, als der Zeitraum, für den Beobachtungsergebnisse zur Verfügung stehen. Entsprechend unsicher ist die Extrapolation mit Hilfe einer Modellannahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilung, nämlich derjenigen, dass die Gumbelverteilung das statistische Verhalten der Windgeschwindigkeit zutreffend beschreibt. Im Sicherheitskonzept der DIN EN 1990 werden deshalb nicht direkt die Bemessungswerte F_d benutzt. Vielmehr wird ein charakteristischer Wert F_k eingeführt, der häufiger eintritt und insoweit mit viel größerer statistischer Sicherheit angegeben werden kann. Die Norm legt dafür generell bei allen veränderlichen Einwirkungen eine Nicht-Überschreitenswahrscheinlichkeit von 0,98 pro Jahr, mit anderen Worten eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren fest. Für die charakteristische Windgeschwindigkeit ergibt sich

$$(10) \quad v_{mk} = 1,390 \cdot U$$

Die Bemessungswerte sind durch den Teilsicherheitsbeiwert γ und den Kombinationsbeiwert ψ_0 mit dem charakteristischen Wert verknüpft. Ist die Windlast *Leiteinwirkung*, so gilt

$$(11) \quad F_{Wd} = \gamma_w \cdot F_{Wk}$$

ist sie dagegen nur *Begleiteinwirkung*, so ist der Bemessungswert mit dem Kombinationsbeiwert ψ_0 abzumindern

$$(12) \quad F_{Wd} = \psi_0 \cdot \gamma_w \cdot F_{Wk}$$

Man erhält, je nach vorliegendem Fall:

$$(13) \quad F_{Wk} = C_{aero} \cdot (1,390 \cdot U)^2$$

$$(14) \quad F_d = \gamma_w \cdot F_{Wk} = C_{aero} \cdot (1,760 \cdot U)^2 \quad \text{Leiteinwirkung}$$

$$(15) \quad F_d = \psi_0 \cdot \gamma_w \cdot F_{Wk} = C_{aero} \cdot (1,225 \cdot U)^2 \quad \text{Begleiteinwirkung}$$

Daraus ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert zu

$$(16) \quad \gamma_w = \frac{F_{Wd}}{F_{Wk}} = \left(\frac{1,760}{1,390} \right)^2 = 1,603$$

In der DIN EN 1990 wird für alle nichtständigen Einwirkungen (sie sind mit dem Symbol Q bezeichnet) einheitlich der Wert $\gamma_Q = 1,5$ festgelegt. Für den Kombinationsbeiwert ergibt sich

$$(17) \quad \psi_{0w} = \frac{F_{Wd}(\text{Begleiteinwirkung})}{F_{Wd}(\text{Leiteinwirkung})} = \left(\frac{1,225}{1,760} \right)^2 = 0,484$$

In der DIN EN 1990 wird für der Kombinationsbeiwert die Windlast der $\psi_{0w} = 0,6$ festgelegt, der Normwert liegt also um 24% höher.

Die DIN EN 1990 über die Grundlagen der Tragwerksplanung bietet die Möglichkeit, die bautechnische Sicherheit zu differenzieren. Sie führt 3 Schadensfolgeklassen CC 1 bis 3 und zugehörige Zuverlässigkeitsklassen RC 1 bis RC 3 ein. Die folgende **Tabelle 3** gibt einen Überblick.

Tabelle 3: Schadenfolge- und Zuverlässigkeitsklassen nach DIN EN 1990

Schadenfolge- bzw. Zuverlässigkeitsklasse	Merkmale	Mindestwert für den Sicherheitsindex β , Bezugszeitraum 1 Jahr
CC 3 / RC 3	Hohe Folgen für Menschenleben <u>oder</u> sehr große wirtschaftliche, soziale oder Umweltschäden	5,2
CC 2 / RC 2	Mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder Umweltschäden	4,7

Schadensfolge- bzw. Zuverlässig- keitsklasse	Merkmale	Mindestwert für den Sicherheitsindex β , Bezugszeitraum 1 Jahr
CC 1 / RC 1	Niedrige Folgen für Menschenleben <u>und</u> kleine oder vernachlässigbare wirt- schaftliche, soziale oder Umweltschä- den	4,2

Die Zuverlässigkeitsklasse RC 2 für mittlere Versagensfolgen mit dem Sicherheitsindex $\beta = 4,7$ ist Grundlage für die festgelegten, oben angegebenen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte. Für Anlagen mit hohen Schadensfolgen ist $\beta = 5,2$ maßgebend entsprechend einer Versagenswahrscheinlichkeit von $P_f = 10^{-7}$. Sie ist also etwa um den Faktor 7,7 geringer als bei RC 2. Im Ergebnis empfiehlt die DIN EN 1990, in den Zuverlässigkeitsklassen RC 1 bis 3 den Teilsicherheitsbeiwert für die veränderlichen Einwirkungen mit 1,35 bei RC 1, 1,5 bei RC 2 und 1,65 bei RC 3 anzusetzen. Darüber hinaus empfiehlt sie als begleitende Maßnahmen die Anwendung entsprechender Stufen bei der Überwachung von Planung und Herstellung. Definitionsgemäß können von Betriebsbereichen aufgrund von Art und Menge der darin vorhandenen gefährlichen Stoffe Störfälle ausgehen. Ein Störfall ist ein Ereignis ... größeren Ausmaßes, das sich aus einer Störung des bestimmungsgemäßen Betriebs in einem unter die StörfallV fallenden Betriebsbereich oder ... Anlage ergibt, das unmittelbar oder später innerhalb oder außerhalb des Betriebsbereichs oder der Anlage zu einer ernststen Gefahr oder zu Sachschäden nach Anhang VI Teil 1 Ziffer I Nummer 4 StörfallV führt und bei dem ein oder mehrere gefährliche Stoffe beteiligt sind. Eine ernste Gefahr ist eine Gefahr, bei der

- a) das Leben von Menschen bedroht wird oder schwerwiegende Gesundheitsbeeinträchtigungen von Menschen zu befürchten sind,
- b) die Gesundheit einer großen Zahl von Menschen beeinträchtigt werden kann oder
- c) die Umwelt, insbesondere Tiere und Pflanzen, der Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- oder sonstige Sachgüter geschädigt werden können, falls durch eine Veränderung ihres Bestandes oder ihrer Nutzbarkeit das Gemeinwohl beeinträchtigt würde.

Die Kriterien für „ernste Gefahr“ entsprechen denen, die in der DIN EN 1990 bei „hohe Folgen“ genannt werden. Durch die TRAS 320 wird deshalb eine Einstufung der sicherheitsrelevanten Anlagen in Betriebsbereichen in die Klasse CC 3 / RC 3 vorgenommen. Die Anwendung der Anforderungen der TRAS 320 auf immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen wird empfohlen, da und soweit diese schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen oder in anderer Weise die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft gefährden können.

Das vorgestellte semi-probabilistische Verfahren ist die Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes der DIN EN 1990. Die Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte, welche innerhalb der TRAS zur Erzielung einer höheren Jährlichkeit über die Einstufung von Anlagen in Betrieben in die Zuverlässigkeitsklasse RC3 vorgenommen wurde, ist eine vereinfachte aber mit Hilfe der gängigen Mittel gut anwendbare Methode.

An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber ebenfalls auf weiterführende und komplexere Methoden zur Differenzierung der Zuverlässigkeit hingewiesen, welche in der DIN EN 1990 Anhang B bis D ergänzend erwähnt und beschrieben werden. Wird unter Anwendung dieser Methoden eine gleiche Zuverlässigkeit eines Anlagenteils hinsichtlich Wind-, Schnee- und Eislasten erzielt und diese Gleichwertigkeit gegenüber den zuständigen Bau- und Immissionsschutzbehörden nachgewiesen, können diese ebenfalls angewendet werden. Dieses gilt an den jeweiligen Stellen, in denen die TRAS 320 oder auch die Hinweise und Erläuterung auf die Erhöhung der Teilsicherheitsbeiwerte zur Erhöhung der Zuverlässigkeitsklasse eingehen.

Zu den begleitenden Maßnahmen bei Planung und Herstellung finden sich Regelungen in Kapitel 10 der TRAS 320.

Zu Abschnitt 7.1.2 Windlasten

Tiefdruckstürme werden, wenn die Windeinwirkungen auf Bauwerke, Anlagen und Anlagenteile zu erfassen sind, als ein horizontal gerichtetes, paralleles Strömungsfeld verstanden. Zwischen dem Boden und der Luftströmung der freien Atmosphäre bildet sich dabei eine turbulente Strömungsgrenzschicht, die sogenannte atmosphärische Grenzschicht aus, wie **Abbildung 4** verdeutlicht. Um die Eigenschaften der turbulenten Strömung zu erfassen, trennt man den Vorgang in die mittlere, zeitlich konstante Geschwindigkeit und die ihr überlagerten turbulenten Geschwindigkeitschwankungen auf. Die mittlere Windgeschwindigkeit ist dabei definiert als Mittelwert über ein Zeitintervall von 10 Minuten. Diese Werte werden von den Wetterdiensten aufgezeichnet und bilden die Grundlage für die Festlegungen in den Windlastnormen.

In der Bodengrenzschicht nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit mit wachsendem Bodenabstand zu. Dagegen ist die Turbulenz in der bodennahen Grenzschicht, der sogenannten Prandtlschicht, zunächst konstant. Sie nimmt oberhalb davon kontinuierlich bis auf Null (in einer Höhe von mehreren Kilometern) ab.

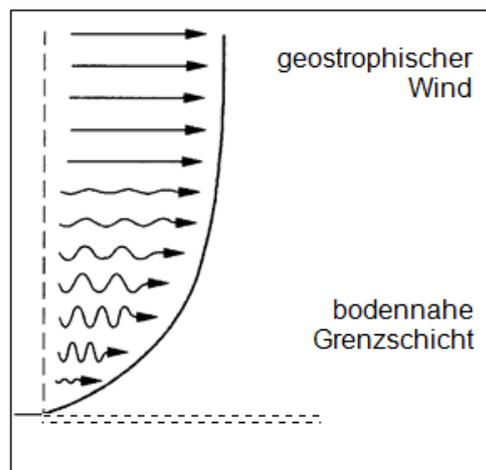


Abbildung 4: Darstellung der atmosphärischen Grenzschicht

Durch Bewuchs und Bebauung entsteht eine Bodenrauigkeit, die die Windströmung beeinflusst. Abhängig von der Art der Bodenrauigkeit entstehen unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile des Mittelwindes. Die mittlere Geschwindigkeit nimmt mit wachsender Bodenrauigkeit ab, während die Turbulenz zunimmt.

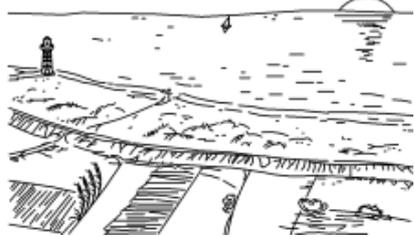
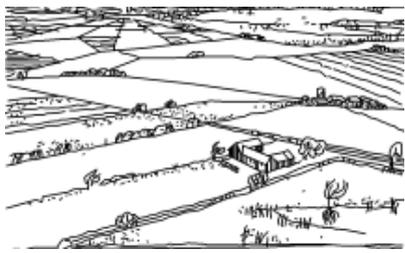
Zur Beschreibung der mittleren Windgeschwindigkeit verwendet man u. a. das logarithmische Windprofil. Es gilt in der Prandtlschicht, die bis in eine Höhe von ca. 70 m über Grund reicht. Das logarithmische Windprofil wird wie folgt beschrieben:

$$(18) \quad u(z) = u_r(z_0) \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)}$$

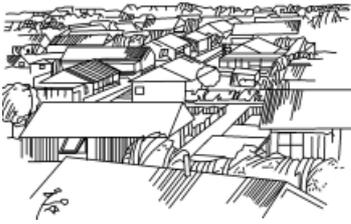
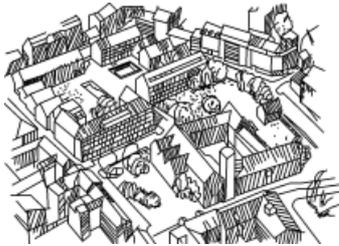
- mit: $u(z)$ mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe z ;
 $u_r(z_0)$ Referenzgeschwindigkeit in Referenzhöhe z_r in der betrachteten Geländekategorie;
 z Höhe über Grund;
 z_0 aerodynamische Rauigkeitslänge.

Tabelle 4 gibt die zugehörigen Rauigkeitslängen z_0 für unterschiedliche Geländekategorien an. Die Referenzhöhe ist durch Europäische Normung mit 10 m über Grund festgelegt. Die Referenzgeschwindigkeit hängt von der Windzone und der Geländekategorie ab. In den europäischen Windzonenkarten ist sie für die Geländekategorie II als Referenzgelände angegeben. Wegen der Umrechnung zwischen unterschiedlichen Geländekategorien siehe Niemann, H.-J.; Peil, U.: „Windlasten auf Bauwerke“¹¹.

Tabelle 4: Aerodynamische Rauigkeitslängen (Bilder: © DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)

<p>Geländekategorie I Offene See; Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes, flaches Land ohne Hindernisse $z_0 = 0,01$ m</p>	
<p>Geländekategorie II Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z. B. landwirtschaftliches Gebiet $z_0 = 0,05$ m</p>	

¹¹ Niemann, H.-J.; Peil, U.: Windlasten auf Bauwerke, Stahlbau-Kalender 2003, S. 673-748, Verlag Ernst&Sohn, Berlin

<p>Geländekategorie III Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete; Wälder $z_0 = 0,30 \text{ m}$</p>	
<p>Geländekategorie IV Stadtgebiete, bei denen mindestens 15% der Fläche mit Gebäuden bebaut ist, deren mittlere Höhe 15m überschreitet $z_0 = 1,05 \text{ m}$</p>	

Die mittlere Windgeschwindigkeit reicht als Grundlage für die Windlasten nicht aus. Vielmehr müssen die Geschwindigkeitserhöhungen infolge der Windböigkeit erfasst werden. Man benutzt dazu die einhüllende Böengeschwindigkeit. **Abbildung 5** zeigt die Vergrößerung der mittleren Windgeschwindigkeit durch die Böigkeit des natürlichen Windes.

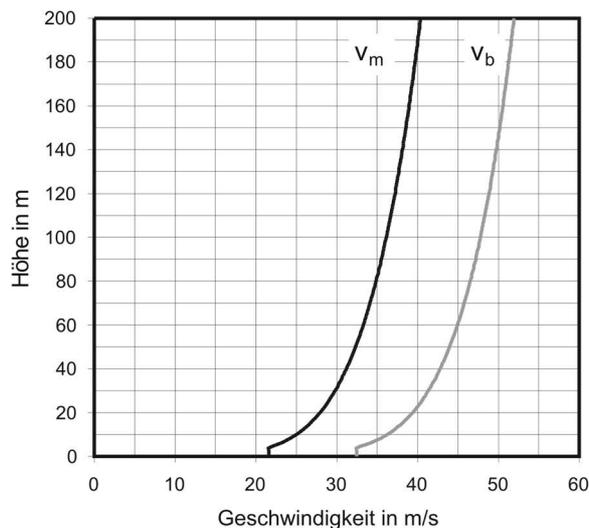


Abbildung 5: Windgeschwindigkeitsprofile der mittleren Windgeschwindigkeit und der Böengeschwindigkeit für Geländekategorie II (Referenzgelände)

V_b = Böengeschwindigkeit

V_m = mittlere Windgeschwindigkeit

Den Einfluss der Geländekategorie auf die mittlere Windgeschwindigkeit illustriert schließlich die **Abbildung 6**.

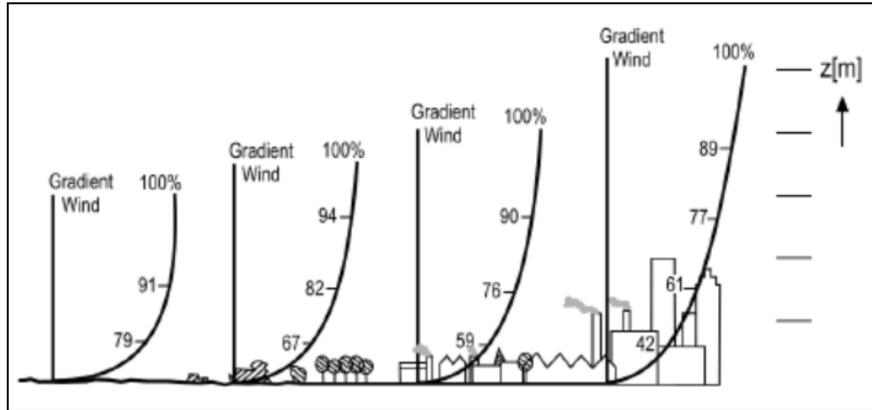


Abbildung 6: Windgeschwindigkeitsprofile in Abhängigkeit von der Bodenrauigkeit

Die mittlere Windgeschwindigkeit am Anlagenstandort ist Grundlage zur Ermittlung der Böengeschwindigkeit. Sie hängt von der Windzone, in der die Anlage liegt, und von der Geländekategorie ab. Sie wird anhand einer Basisgeschwindigkeit ermittelt, die in der Windzonenkarte im Deutschen Nationalen Anhang der DIN EN 1991-1-4 (**Abbildung 7**) angegeben ist. Die Werte gelten für 10 m Höhe über Grund in ebenem, offenem Gelände. Sie sind beschränkt auf Standorte bis in einer Meereshöhe von 800 m über NN. Sie gelten nicht für Kamm- und Gipfellagen der Mittelgebirge.

Der genaue Verlauf der Zonengrenzen kann beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) abgefragt werden. Die Regelung obliegt jedoch den obersten Baubehörden der Bundesländer und kann im Detail von der Liste des DIBt abweichen.

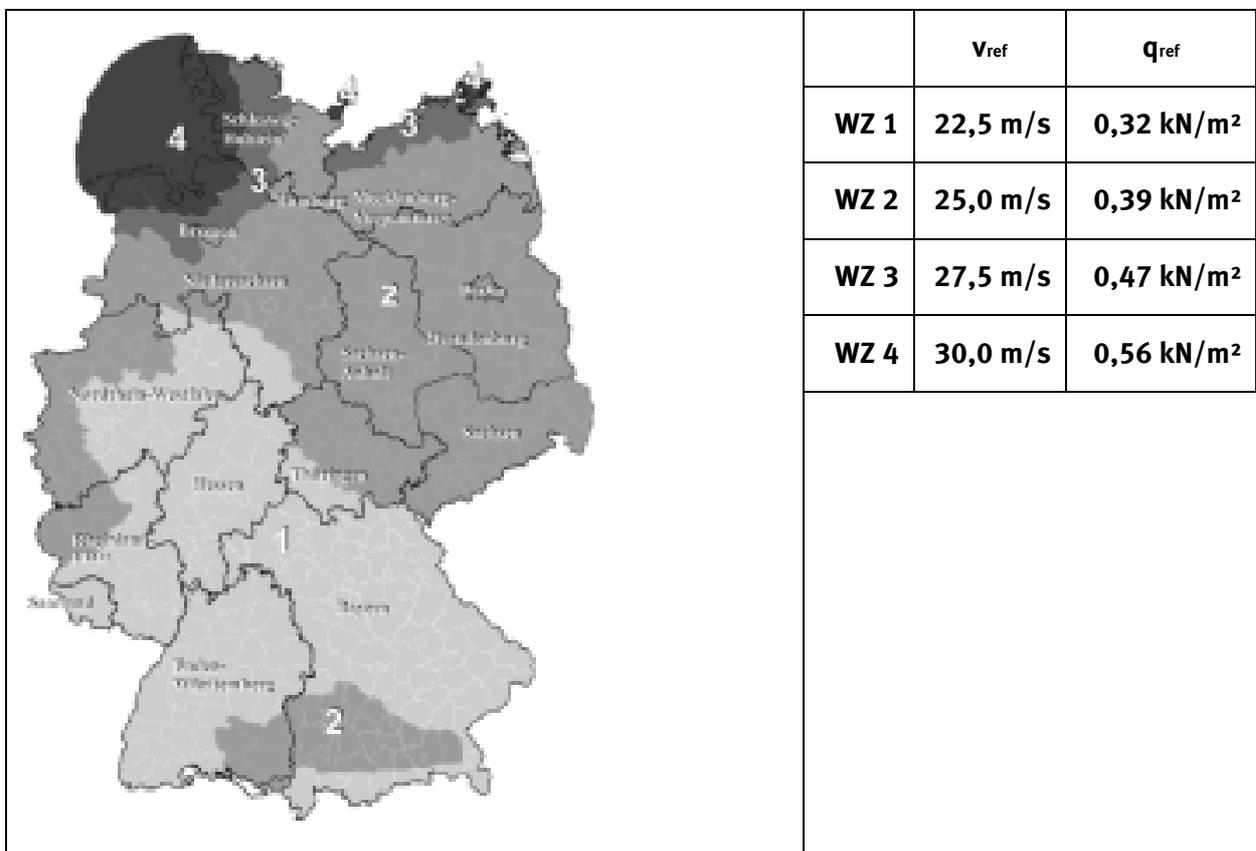


Abbildung 7: Windzonenkarte der DIN EN 1991-1-4

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) hat auf Veranlassung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenvorsorge (BBK) eine flächendeckende Karte zur Einschätzung der Sturmgefahren in Deutschland erarbeitet. Basisgröße ist dabei die Böenwindgeschwindigkeit als 3-Sekundenmittelwert. Sie ist in Form von Sturmkarten für Windböen für das gesamte Bundesgebiet angegeben, deren Auftreten im statistischen Mittel z. B. einmal in 50, 100 und 500 Jahren zu erwarten ist. **Abbildung 8** zeigt exemplarisch die Verteilung der 100-Jahres Windspitzen. Für diese Böenwindgeschwindigkeit findet sich deutschlandweit eine Bandbreite von etwa 30 m/s als Kleinst- und ca. 68 m/s als Größtwert. Alle kartierten Angaben stehen darüber hinaus auch als diskrete Rasterdaten mit einem Gitterpunktabstand von 1 km zur Verfügung. Sie überdecken eine Fläche mit den Gauß-Krüger Koordinaten zum 3 ten Meridianstreifen (Datenaufbau entsprechend ArcInfo-GRIDASCII Daten) von Rechtswert: 3280000 bis 3929000 bzw. Hochwert: 5230000 bis 6109000, so dass ohne weiteres ein Raumbezug zum Anlagenkataster von Betriebsbereichen nach StörfallV geschaffen werden kann. Die Genauigkeit der Einzelwerte wird zudem statistisch bewertet: der Konfidenzbereich, in dem jeder Rasterwert mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit liegt, hat die Untergrenze -3,0 m/s und die Obergrenze +5,0 m/s um den jeweiligen Kartenwert. Die Karte der Windspitzen gibt die tatsächlichen Verhältnisse in Bodennähe in 10 m Höhe über Grund wieder. Für die Windlastermittlung an Bauwerken und Anlagen wird die Höhenzunahme der mittleren und der Böengeschwindigkeit benötigt. Dazu enthält die Karte keine Angaben.

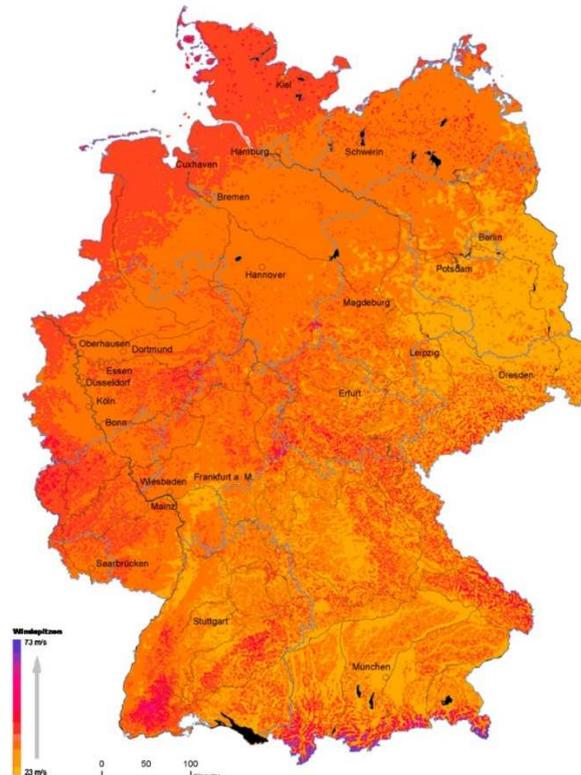


Abbildung 8: Sturmkarte des DWD: Windspitzen für eine mittlere Wiederkehrzeit von 100 Jahren¹² (© DWD Deutscher Wetterdienst)

¹² Augter G.; Roos M. (2011): Berechnung von Sturmintensitäten für Deutschland, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nummer 236, Offenbach

In **Tabelle 5** sind zum Vergleich die Böengeschwindigkeiten nach DIN EN 1991-1-4 in Abhängigkeit von der Windzone, der Geländekategorie sowie der Jährlichkeit angegeben. Maßgebend für die Gefahrenquelleanalyse der TRAS 320 ist die Jährlichkeit von 100 Jahren. Die den Böenwerten in **Tabelle 5** zugrunde liegende Zonierung entstammt der Windzonenkarte von **Abbildung 7**.

Tabelle 5: Böengeschwindigkeiten nach DIN EN 1991-1-4

WZ	Gelände-kategorie	Böengeschwindigkeit v_p in m/s in 10m Höhe über Grund			
		R=50a	R=100a	R=500a	R=1000a
		1,000 ^{b)}	1,050 ^{b)}	1,166 ^{b)}	1,216 ^{b)}
1	GK I	36,2	38,0	42,2	44,1
	GK II	32,6	34,2	38,0	39,7
2	GK I	40,2	42,2	46,9	48,9
	GK II	36,2	38,0	42,2	44,1
3	GK I	44,2	46,5	51,7	53,9
	GK II	39,9	41,9	46,5	48,5
4	GK I	48,3	50,7	56,3	58,7
	GK II	43,5	45,7	50,7	52,9

^{b)} Erhöhungsfaktor für die Jährlichkeit

Beim Vergleich der Böengeschwindigkeit der Windlastnorm mit denen der Sturmkarte **Abbildung 8** ist zu beachten, dass die Normen Mittel- und Böengeschwindigkeit zunächst für einheitliche, standardisierte Bedingungen der Bodenrauigkeit, nämlich Geländekategorie II, und der Topographie, nämlich ebenes Gelände, angeben. Die Normen behandeln die Auswirkungen von Geländekategorie und Topographie für den individuellen Standort gesondert. Die für die Windlastermittlung erforderliche Höhenentwicklung von Mittel- und Böengeschwindigkeit kann auf diese Weise je nach Lage des Standortes und seiner Exponiertheit zuverlässig bestimmt werden. Die oben angegebene Sturmkarte enthält keine Angabe über die Entwicklung des Böenprofils.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass Tiefdruckstürme in Deutschland im Wesentlichen die Gefahrenquelle Wind bestimmen. Derartige Stürme erfassen große Gebiete und treten mehrfach pro Jahr auf. Für den Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Intensität gibt es umfangreiche statistische Daten, die regional differenziert vorliegen. Aus den meteorologischen Daten wurde eine Windzonenkarte entwickelt, die Grundlage für die sturmsichere Konstruktion von Bauwerken aller Art ist. Gewitterstürme können im Binnenland regional die Stärke von Tiefdruckstürmen übertreffen. Die Werte der Windzonenkarte decken Gewitterstürme ab.

Abbildung 9 zeigt zusammenfassend den Ablauf einer Windlastermittlung für ein Anlagenteil.

Die Wahl einer Risikoklasse ist der erste Schritt. Er führt auf Windlastfaktoren.

Im zweiten Schritt werden die Windlasten bestimmt. Das Vorgehen folgt der technischen Regel DIN EN 1991-1-4: Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten. Strömungsinterferenz kann für Anlagen ein wesentlicher Einflussparameter sein, der zu Windlasterhöhungen führt. Die Windlasten berechnet man mithilfe von aerodynamischen Beiwerten, die sich aus Form und Größe des Baukörpers ergeben. Zwar enthält das Technische Regelwerk eine umfangreiche Sammlung solcher Beiwerte, jedoch kann es für verfahrenstechnische Anlagen im Einzelfall erforderlich sein, sie zu ergänzen.

Schließlich ist die Gefährdung eines Anlagenteils durch vom Wind erregte Schwingungen zu prüfen. Dazu gehört zunächst Resonanz mit der Windböigkeit, die die mechanischen Beanspruchungen im Anlagenteil erhöht. Es ist nachzuweisen, dass die erhöhten Beanspruchungen ohne Schädigung ertragen werden können. DIN EN 1991-1-4 enthält ein erprobtes Verfahren, das im Allgemeinen auch bei Anlagen geeignet ist. Mögliche Einschränkungen sind der Norm zu entnehmen.

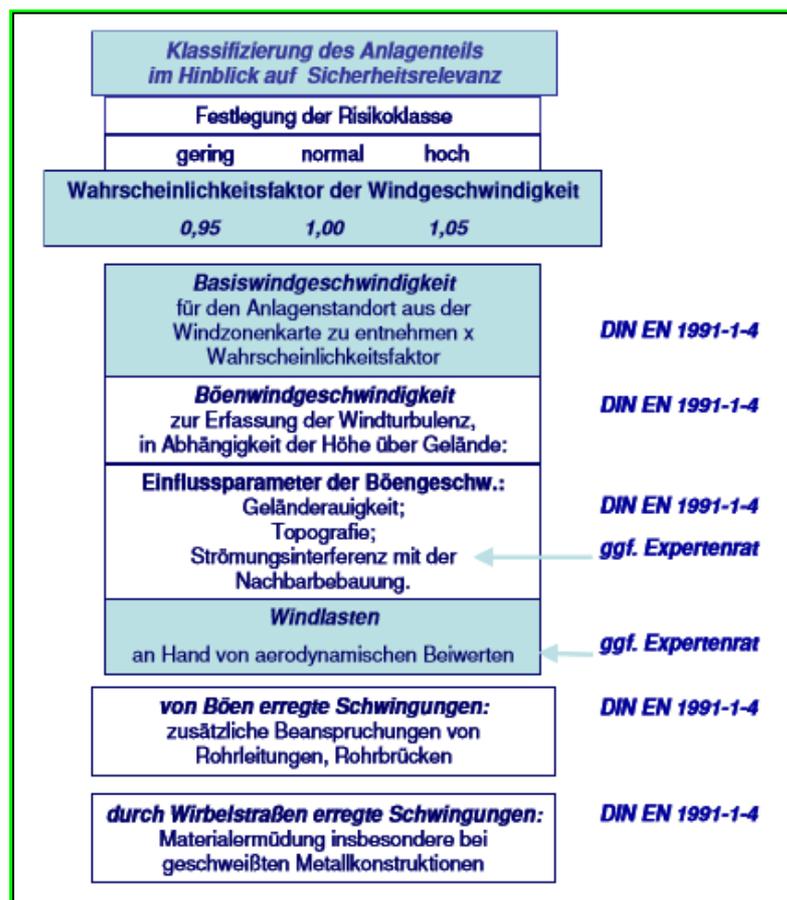


Abbildung 9: Für den Nachweis von baulichen Anlagen zu berücksichtigende Einwirkungen infolge der Gefahrenquelle Wind

Weitere Gefährdungen gehen von wirbelerregten Schwingungen aus. Sie können auf dem Wege der Materialermüdung zum Tragwerksversagen führen. Zur Berechnung der

Schwingamplituden und der von ihnen ausgelösten Spannungen stehen im Anhang E.1 der Windlastnorm DIN EN 1991-1-4 zwei Verfahren zur Verfügung. Das erste Berechnungsverfahren in Anhang E.1.5.2 der Norm (das sogenannte Wirklängenverfahren) ist für das Windklima der mittleren Breiten geeignet und wird für eine Verwendung in der TRAS 320 empfohlen. Das zweite Berechnungsverfahren in Anhang E.1.5.3 der Norm (Spektralmethode) gilt für den Grenzfall turbulenzfreier Windströmung, wie sie in den Küstenregionen Nordeuropas auftritt. Das Verfahren nach Anhang E.1.5.3 liefert in der Regel Berechnungsergebnisse, die deutlich auf sicherer Seite liegen. Es kann bei hohem Schadenspotential einer Anlage oder eines Anlagenteils zur Anwendung kommen.

zu Abschnitt 7.1.3 Schnee- und Eislasten

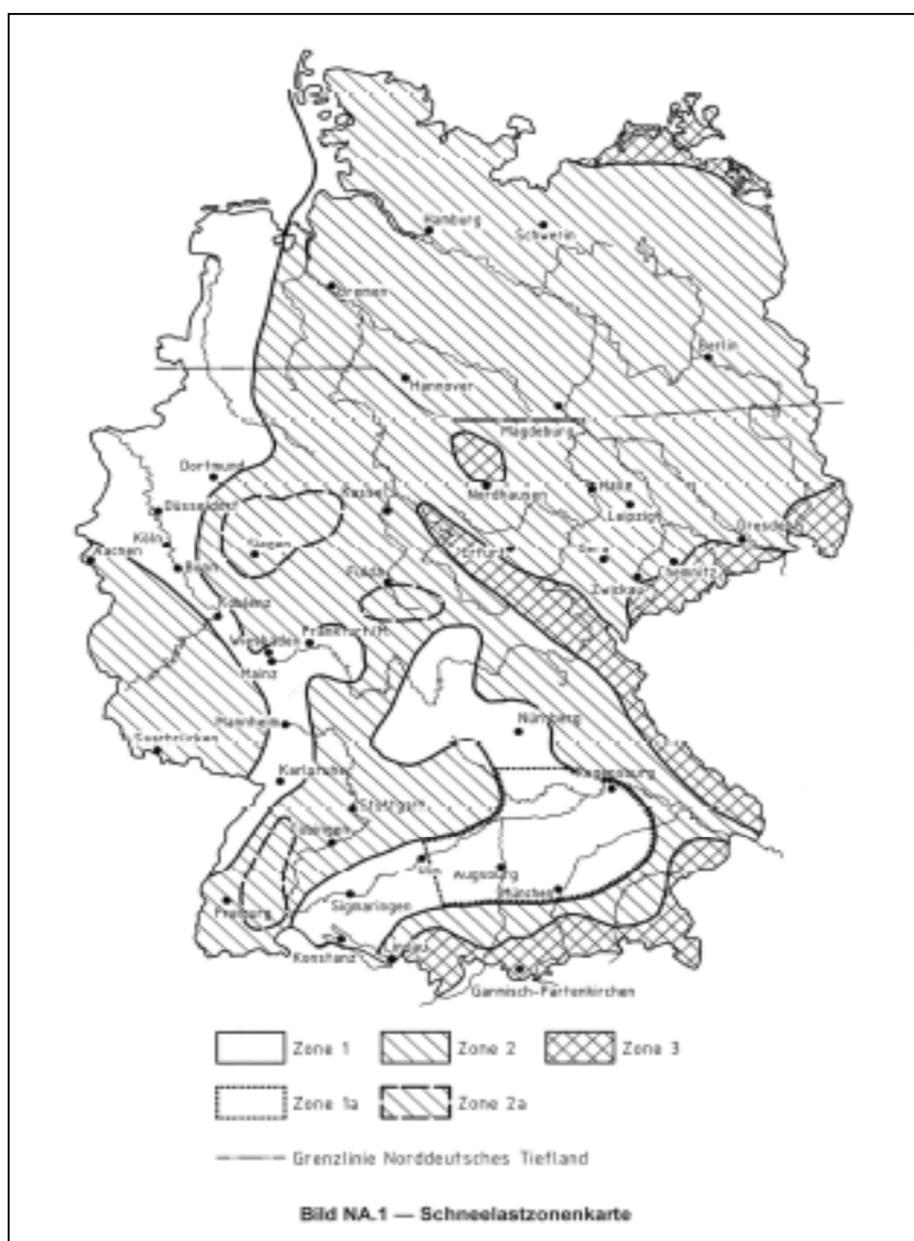


Abbildung 10: Schneelastzonenkarte der Bundesrepublik Deutschland 2010, Nationaler Anhang DIN EN 1991-1-3 (© DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)

Die Größe der Schneebelastung eines Baukörpers wird in erster Linie vom Standort des Bauwerks bestimmt. Daneben spielen die geometrischen Form der Bauwerke oder Anlagenteile, auf die der Schnee einwirkt, sowie ihre gegenseitige Anordnung eine erhebliche Rolle. Diese Abhängigkeit entsteht vornehmlich durch die Wechselwirkung von Schneefall und Wind. Durch Wind kann gefallener Schnee in großem Maße versetzt werden, woraus sich schnell erhöhte Lasten entwickeln können.

Die gängigen Normen des Bauwesens berücksichtigen dies mit Hilfe von Formbeiwerten. Diese dienen als Hilfsmittel, um die Schneelast bei geneigten Bauwerksformen gegebenenfalls zu reduzieren und dann folglich in Mulden durch Schneesackbildung zu erhöhen. Für einen einzelnen Standort kann dies zur Folge haben, dass es – obwohl er im Normalfall innerhalb einer einzigen Schneelastzone anzusiedeln ist – zu ganz unterschiedlichen Lastsituationen der einzelnen Bauwerke, Anlagen- und Maschinenteile eines Betriebs kommen kann. Daher ist die Gefahrenquelle Schneelast in komplexen Produktionsanlagen für einzelne Anlagen und Anlagenteile stets separat zu untersuchen.

Die **Abbildung 11** zeigt den Zusammenhang zwischen der Schneedichte und der Höhe der Schneelast bei unterschiedlichen Schneehöhen. Es wird deutlich, dass sich der Betreiber bei der Beurteilung seiner Anlagen und Anlagenteile über die Bedeutung der Schneedichte im Klaren sein sollte.

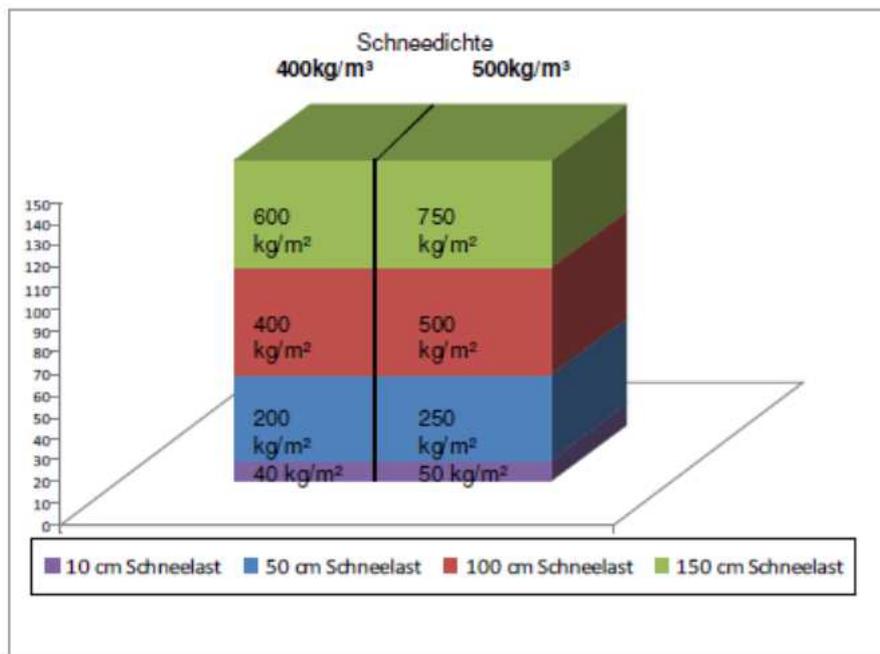


Abbildung 11: Verdeutlichung der Höhe der Schneelast in Abhängigkeit von der Schneedichte

Der in Deutschland am häufigsten auftretende Schnee ist gebundener Neuschnee bis feuchtnasser Altschnee. Für dessen Dichte stellen 400 kg/m^3 einen guten Mittelwert dar. Mit diesem Mittelwert ergibt sich, dass Schneehöhen von knapp unter 20 cm auf einer ebenen Fläche bereits die Lastgrenze (75 kg/m^2) eines üblichen Bauwerks in einem mittleren Standort in Deutschland darstellen. Bei sehr ungünstigen Verhältnissen kann bereits bei einer Schneehöhe 15 cm die Last von 75 kg/m^2 erreicht werden.

Eine Schneedichte von $>500 \text{ kg/m}^3$ ist jedoch nur bei mehrmaligen Schneereignissen zu erwarten, da der dichteerhöhende Prozess nur durch permanenten Druck durch neue Schneeschichten auf den alten Schnee erfolgt.

Aufgrund der Vielzahl von beeinflussenden Faktoren lassen sich keine Regelwerte für die Schneedichte angeben.

Mit den zu Beginn der Erläuterungen zu Abschnitt 7 am Beispiel der Windbelastung hergeleiteten Zusammenhängen zwischen der Einstufung in die Zuverlässigkeitsklasse RC3 und der Jährlichkeit des betrachteten Ereignisses lässt sich in gleichem Maß die somit erzielte Jährlichkeit von 100 Jahren bei der Schneelast begründen.

Abbildung 12 zeigt diesen Zusammenhang anschaulich. An dieser Stelle ist ersichtlich, dass die Einführung eines Faktors von 1,1 einer Erhöhung der Wiederkehrperiode von 50 auf 100 Jahre gleichkommt. Hierin ist der Parameter V der Koeffizient der Schwankungen der jährlichen Höchstschneelast

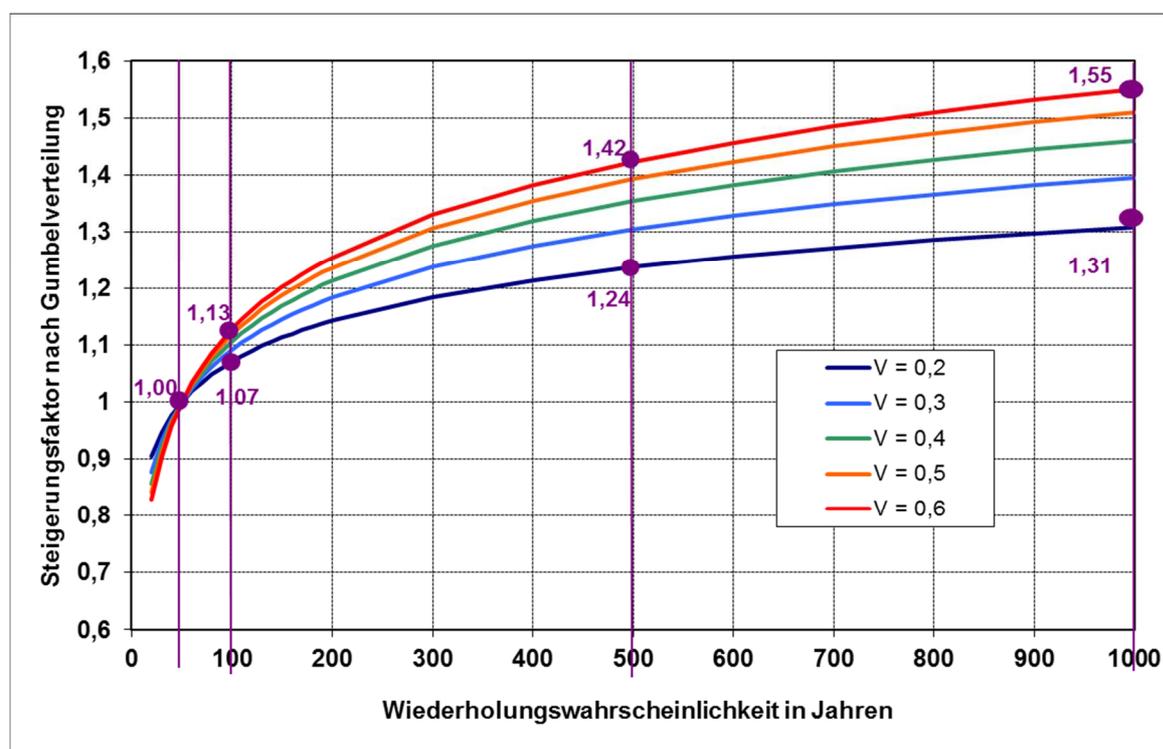


Abbildung 12: Mögliche Anpassung der Schneelast auf dem Boden gemäß DIN EN 1991-1-3 (2010), Anhang D in in Abhängigkeit von der Wiederholungswahrscheinlichkeit

Die DIN 1055-5 aus dem Jahr 2005 stellte bezüglich der Eislasten mit dem informativen Anhang A den damaligen Stand der Technik dar. Im Zuge der Einführung der Eurocodes entfiel dieser Teil ersatzlos, so dass in den derzeit aktuellen Lastnormen keine detaillierten Angaben zu der Eisbelastung zu finden sind. Derzeit wird innerhalb der Normenkommission die Wiederaufnahme der Eisbelastung diskutiert und vorbereitet.

Es gibt weiterhin aktuelle Untersuchungen zu diesem Thema, welche sich zumeist auf die ISO 12494 (August 2001) der International Organization of Standardization (ISO) „Einwirkungen auf Tragwerke infolge atmosphärischer Eisbildung“ beziehen, welche Lastbilder und Größenordnungen der Eisbelastungen vorgeben. In erster Linie ist diese ISO Norm die Grundlage für die Erstellung von Anwendungsnormen. Sie ist im Sinne des Baurechts nicht bauaufsichtlich eingeführt und somit nicht direkt bindend. Allerdings stellt sie in gewisser Weise den Stand der Technik dar, welcher grundsätzlich bei der Berechnung und Auslegung von Anlagen und Anlagenteilen zu berücksichtigen ist.

Grundsätzlich entsteht die durch die TRAS 320 betrachtete Eisbildung an einer Anlage oder einem Anlagenteil durch das Gefrieren des Wassers aus der Luft (entweder Luftfeuchtigkeit oder Niederschlag). Hierbei kann sowohl das Glatteis um den gesamten Körper aber auch das Raueis auf einer Seite des Körpers entstehen. Allerdings kann es aufgrund von Kombination mit starken Winden auch zu einer starken Ausprägung von Eisfahnen kommen. Eine Erhöhung der Windbeanspruchung der zumeist dünnen Anlagenteile ist hierbei aufgrund der Vergrößerung der Oberfläche besonders zu betrachten.

Die DIN 1055-5 widmet sich, wie bereits oben erwähnt, den Eislasten an Tragwerken, allerdings nur solchen natürlichen Ursprungs. (Sogenanntes Industrieeis infolge austretendem und gefrorenem Wasser oder Dampf wird in der Norm nicht behandelt.) Hierzu werden die Vereisungsklassen G1 und G2 (Glatteis) sowie R1 bis R5 (Rau eis) definiert. Aufgrund der unterschiedlichen Entstehungsweise sind die anzusetzenden Lastbilder auch unterschiedlicher Ausprägung (**Abbildung 13**).

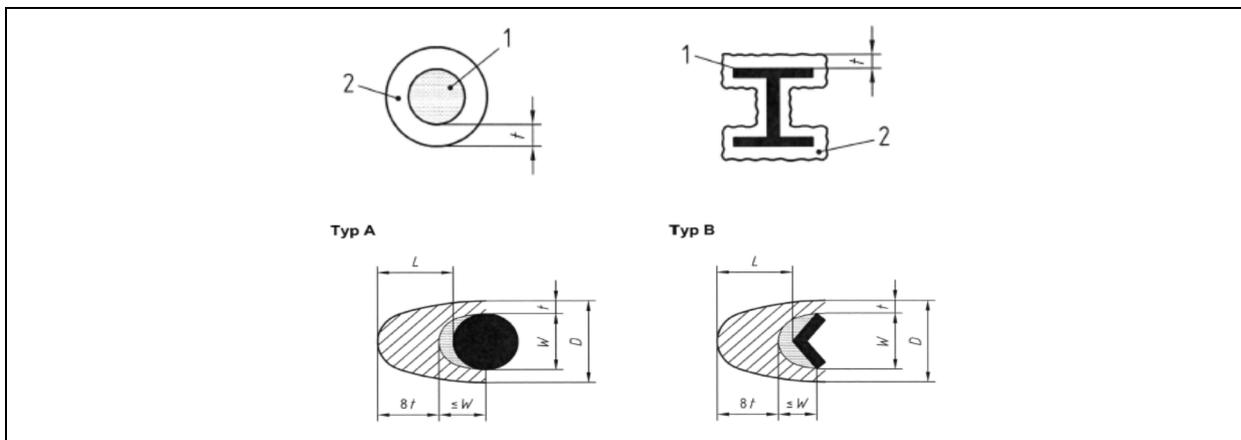


Abbildung 13: Typische Lastbilder der Eisbildung: Glatteisbildung (oben), Raueisbildung (unten), (© DIN Deutsches Institut für Normung e.V.)

Die Bundesrepublik Deutschland ist durch die Eiszonenkarte A.3, die in **Abbildung 14** wieder gegeben ist, in die Eiszonen 1 bis 4 aufgeteilt. Diesen Eiszonen sind gemäß DIN 1055-5, Tabelle A.4, hier wiedergegeben als **Tabelle 6**, die Vereisungsklassen zugeordnet. Diese decken normale Verhältnisse ab. In besonders exponierten oder auch abgeschirmten Lagen sollte die maßgebende Vereisungsklasse besser durch ein meteorologisches Gutachten festgelegt werden.

Die Unsicherheiten der Prognosen sind derzeit noch zu groß. Daher wurde zu dem Zeitpunkt der Bekanntmachung der TRAS 320 (Juni 2015) auf die Einführung eines solchen Faktors verzichtet. Die Grundlagen dieser Entscheidung sind dem Forschungsbericht zur TRAS 320 zu entnehmen.

zu Abschnitt 7.3 Windbedingte Projektil

Unter Abschnitt 7.1.2 wird die Wirkung von Windlasten auf gesamte Bauwerk bzw. Tragwerke von Anlagen berücksichtigt. Unter Abschnitt 7.3. werden weitere Gefahrenquellen berücksichtigt, die durch Wind verursacht werden können.

Wind kann auch dadurch zur Gefahrenquelle werden, dass er auf einzelne sicherheitsrelevante Anlagenteile einwirkt. Verliert das sicherheitsrelevante Anlagenteil durch die Einwirkung seine Funktion oder wird es insgesamt von der Anlage abgelöst, so kann dies eine zum Störfall führende Gefahrenquelle auslösen. Abschnitt 7.3.1 fordert daher, dass ein möglicher Verlust von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen durch Windeinwirkung berücksichtigt wird.

Weiter können Starkwinde als primäre umgebungsbedingte Gefahrenquelle Objekte mit sich tragen oder Bäume, Masten, Gerüste, Baumaschinen usw. umstürzen, die dann als sekundäre Gefahrenquellen sicherheitsrelevante Anlagenteile gefährden.

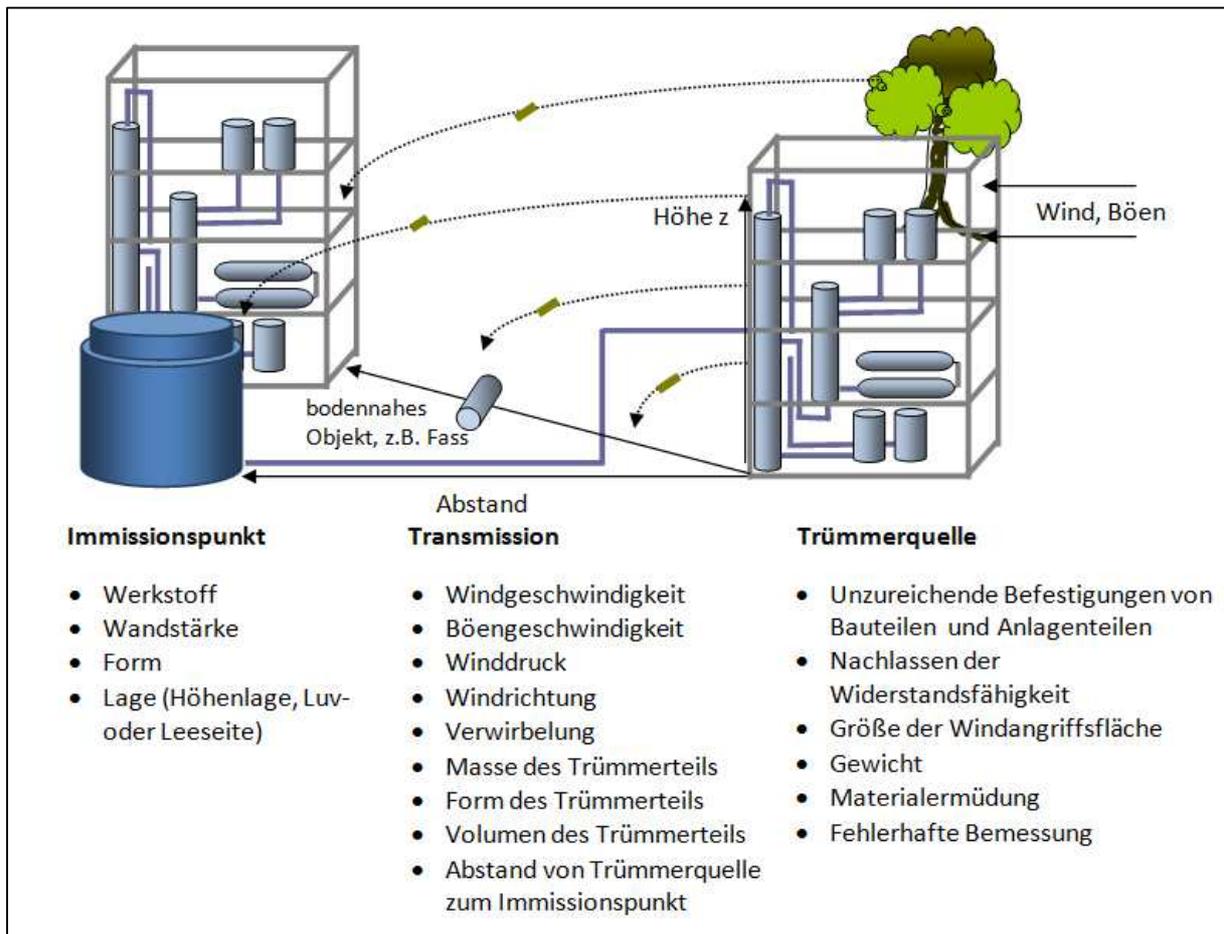


Abbildung 15: Darstellung möglicher Gefahrenquellen durch windbedingte Projektil

In **Abbildung 15** ist der gesamte Bereich zur Gefahrenquellenanalyse windbedingter Projektilen mit den verschiedenen Einflussfaktoren grafisch dargestellt. Dabei wird zwischen Projektilquelle, Transmission und dem Immissionspunkt, an dem die beweglichen Objekte auftreffen, unterschieden. Freisetzungen von gefährlichen Stoffen können sowohl an der Projektilquelle als auch am Immissionspunkt durch Zerstörung von Rohrleitungen oder Behälterwandungen auftreten. Als potenzielle Projektilquellen sind unter anderem benachbarte Anlagen oder Bauwerke aber auch Bäume, Gerüste, Kräne, die sich in der Nähe von Anlagen befinden, zu betrachten. Die Faktoren, die zu einem Abriss von Bau- oder Anlagenteilen führen können, sind vielfältig. Dies können zum Beispiel unzureichende Befestigungen, Materialermüdung oder die Größe der Windangriffsfläche sein.

Die Transmission von Objekten kann durch die Luft aber auch am Boden erfolgen. Zum Beispiel kann ein umgestürztes Fass durch den Wind beschleunigt und auf sicherheitsrelevante Anlagenteile zu rollen. Andere Objekte werden aus größeren Höhen durch die Luft getragen und können je nach Körper, Gewicht, Höhe und Windgeschwindigkeit einige Meter von der Emissionsquelle entfernt auf z. B. Rohrleitungen, Tanks oder andere sicherheitsrelevante Anlagenteile prallen.

Die Transmission hängt entscheidend von der Art der Windeinwirkung statt. Großflächige Tiefdruckstürme zeichnen sich überwiegend durch eine horizontale Windgeschwindigkeit aus.

Zusammengefasst ist von folgenden Szenarien auszugehen:

1. Durch eine Windspitze wird ein sicherheitsrelevantes Anlagenteil beschädigt oder abgerissen und verliert damit seine Funktion.
2. Ein Extremwind reißt innerhalb oder außerhalb des Betriebs aus einer Anlage, von einem hoch gelegenen Bauwerksteil, wie z. B. eine Fassade, oder einem Gerüst ein Teil heraus, das anschließend weitere Zerstörungen durch Herabstürzen innerhalb und außerhalb einer Anlage verursachen kann.
3. Ein Gegenstand, wie z. B. ein Baum, Gerüst, Kran oder ein Anlagenteil, wird von einer Bö umgestürzt und trifft auf ein Anlagenteil.
4. Durch Extremwind werden auf dem Boden liegende lose Gegenstände, wie z. B. Fässer, bodennah fortgetragen.

Für den Fall 1 ist eine Ermittlung sicherheitsrelevanter Anlagenteile, auf die Wind direkt einwirken kann, und Überprüfung ihrer Befestigung sinnvoll.

Für den Fall 2 ist mit Hilfe vereinfachender Annahmen die Berechnung von Flugbahnen mit sogenannten Modellkörpern (Rohr) möglich. Auch die Eindringtiefe in Stahl oder Beton kann überschlägig berechnet werden. Im Fall 3 ist eine Betrachtung der Standsicherheit möglicherweise relevanter Objekte und der möglichen Sturzflächen sinnvoll.

Im Fall 4 ist anzuraten zu nächst zu prüfen, inwieweit bei Anlagen ein Aufprallschutz bereits realisiert wurde. Danach kann geprüft werden, inwieweit überhaupt Gegenstände

im Betrieb vorhanden sein können, aus denen sich „bodennahe Projektile“ entwickeln können und deshalb der Aufprallschutz zu ergänzen ist.

Zu Kapitel 8 Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile des Betriebsbereichs und der Anlagen

Als sicherheitsrelevante Teile des Betriebsbereichs und von Anlagen sind jene

- a) mit besonderem Stoffinhalt oder
- 6. mit besonderer Funktion

zu bestimmen.

Bei bestehenden Betriebsbereichen und Anlagen sind die sicherheitsrelevanten Teile grundsätzlich bekannt. Ob alle Teile tatsächlich durch die jeweilige naturbedingte Gefahrenquelle betroffen sind, muss im Einzelfall untersucht werden.

Die TRAS 320 gibt schon zahlreiche Hinweise zur Ermittlung der potenziell betroffenen sicherheitsrelevanten Anlagenteile. Hierbei ist grundsätzlich wie folgt zu differenzieren:

1. Bauwerke, in denen sicherheitsrelevante Anlagen oder Anlagenteile untergebracht sind,
2. Anlagen oder Anlagenteile, die im Freien aufgestellt sind,
3. unter Erdgleiche verlegte Anlagenteile, wie z. B. Rohrleitungen, sowie erdgedeckte Lagertanks.

zu Abschnitt 8.1 Gefahrenquellen durch statische und dynamische Lasten

zu Abschnitt 8.1.1 Windlasten

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines Tragwerksversagens durch Wind, Schnee- und Eislasten bei Bauwerken, die nach DIN EN 1990 mit Einstufung RC3 errichtet wurden, sehr gering ist (Ausnahme Tornados). Aus diesem Grund sind vorzugsweise diejenigen Bauwerke und Anlagenteile zu betrachten, die nicht dieser Bemessungsgrundlage entsprechen und in denen sicherheitsrelevante Anlagenteile untergebracht oder die selber sicherheitsrelevante Anlagenteile sind.

Bei der Ermittlung der sicherheitsrelevanten, gefährdeten Teile eines Betriebsbereichs ist Baujahr der Anlage bzw. des Anlagenteils sowie das Erscheinungsjahr des zur Auslegung verwandten Technischen Regelwerks zur Tragwerksberechnung zu beachten.

Die DIN 1055-4 regelte die Windeinwirkungen auf Tragwerke. Nach Kriegsende galt in der Bundesrepublik Deutschland - und vermutlich ebenfalls in der DDR - zunächst die Fassung der Ausgabe Juni 1938 weiter. Die Ausgabe August 1986 ersetzte sie ab Januar 1987 in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. In der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) war bereits im Dezember 1976 der DDR-Standard Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL) 32274/07: *Lastannahmen für Bauwerke/ Windlasten* eingeführt worden. Die Ausgabe DIN 1055 Blatt 4 (August 1986) galt seit dem Beitritt der DDR zur Bundesrepublik Deutschland im Oktober 1990 auch in

den neuen Bundesländern. Im März 2005 erschien die grundsätzliche Neufassung DIN 1055-4 (März 2005), die erstmals regionale Unterschiede bei den Windgeschwindigkeiten durch Ausweisung von vier Windzonen berücksichtigte. Sie galt nach ihrer bauaufsichtlichen Einführung bis zur Einführung der entsprechenden, seit Dezember 2010 veröffentlichten DIN EN 1991-1. Mittlerweile wurde die DIN EN 1991-1 am 1. Juli 2012 bauaufsichtlich eingeführt. Sie löst somit die DIN 1055 in der Liste der technischen Baubestimmungen ab. Allerdings wurde eine weitere bauordnungsrechtliche Übergangsfrist in einigen Ländern der Bundesrepublik Deutschland bis zum 31. Dezember 2013 geschaffen.

Tabelle 7: Verfahrensschritte zur Berechnung der Windlast nach EN 1991-1-4

Prüfung der Schwingungsanfälligkeit des Tragwerks	
nicht schwingungsanfälliges Tragwerk Verfahren für Winddrücke oder Windkräfte	schwingungsanfälliges Tragwerk Verfahren nur für Windkräfte
Windlast als vorwiegend ruhende, statische Einwirkung mit Größenfaktor c_s zur Erfassung der Turbulenzstruktur (Ungleichzeitigkeit maximaler lokaler Böengeschwindigkeiten)	statische Ersatzlast für die Windkräfte mit Strukturbeiwert c_{sCd} in Abhängigkeit der Turbulenzstruktur und der dynamischen Tragwerkeigenschaften, insbesondere der Dämpfung
Berechnung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p in der Bezugshöhe z_e - Windzone des Anlagenstandorts - Berücksichtigung der Bodenrauigkeit; - Auswirkung einer topographisch exponierten Lage - Einfluss der Windrichtung: Stärkewindrose - Höhe des Standortes ü. NN - Erfassung der Windturbulenz	Berechnung des Böengeschwindigkeitsdrucks q_p in der Bezugshöhe z_s wie bei nicht schwingungsanfälligem Tragwerk
	Berechnung des Strukturbeiwerts c_{sCd} mit den Windparametern in der effektiven Höhe z_s
aerodynamische Druck-, Kraft- oder Reibungsbeiwerte	aerodynamische Kraftbeiwerte
statische Wind-Ersatzlasten vereinfachte Anordnung von Winddrücken oder Windkräften, deren Auswirkungen äquivalent zu den maximalen Wirkungen des turbulenten Windes sind	

Die Festlegungen zum Geschwindigkeitsdruck in der Fassung August 1986 stammten aus der Ausgabe vom Juni 1938. Er war dort in Form der bekannten Treppenkurve angegeben (**Abbildung 16**). Die Treppenkurve galt einheitlich für alle Klimazonen Deutschlands, der Einfluss der Bodenrauigkeit wurde nicht erfasst. Die TGL-Regelung der DDR benutzte einheitlich einen Polygonzug als Annäherung an das Windprofil. Der Geschwindigkeitsdruck ist dort als ein 2-min Mittelwert mit einer Rückkehrperiode von 5 Jahren definiert. Um den Faktor 1,2 vergrößert erhält man die „Rechenlast“. Die TGL erfasste den Fall einer größeren Bodenrauigkeit dadurch, dass sie für geschützte Lagen z. B. innerhalb einer geschlossenen Bebauung einen von der Höhe über Grund abhängigen Abminderungsfaktor einführte. Er hat den in **Tabelle 8** dargestellten Wert:

Tabelle 8: Abminderungsfaktor nach TGL-Richtlinie

Höhe über Grund: m	bis 10	>10 bis 20	>20 bis 40	>40 bis 100	>350
Abminderungsfaktor	0,65	0,71	0,77	0,86	1,00

Die Neufassung der DIN 1055-4 (März 2005) ersetzte die Treppenkurven durch realistische, stetige Windprofile, deren Verlauf von der Bodenrauigkeit bestimmt ist. Darüber hinaus führt sie Windzonen ein, um die geografisch unterschiedliche Sturmintensität zu erfassen. Diese Zuschärfungen entsprachen dem Eurocode 1991-1-4, der im Dezember 2010 als DIN EN 1991-1-4 veröffentlicht wurde. Man erkennt in **Abbildung 16**, dass die TGL-Regelung ziemlich genau der Standardgeländekategorie II entspricht und die heutige Windzone 2 erfasst. Das Gebiet der ehemaligen DDR ist in der Windzonenkarte im Wesentlichen in die Zone 2 eingeordnet. Die Windlast der TGL deckte also abgesehen von küstennahen Bereichen bereits das nach heutiger Norm geforderte Lastniveau ab.

Man kann die Treppenkurve der DIN 1055 Blatt 4 durch

$$(19) \quad q = 0,75 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,22}$$

annähern, siehe Erläuterungen in DIN 1055 Blatt 4 (1986). Der Profilexponent der Näherung liegt mit einem Wert von 0,22 zwischen den Geländekategorien I und II, der Geschwindigkeitsdruck zwischen den Windzonen 1 und 2.

Zusammenfassend ergibt sich, dass es mit Einführung der DIN 1055-4 (März 2005) mit einer Windzonenkarte in Küstengebieten und in Teilen des Binnenlandes der Bundesrepublik Deutschland zu Windlasterhöhungen gekommen ist, die zwischen 22% und 47% liegen. In Ausnahmefällen, z. B. an der Nordseeküste, erreichen sie bis zu 75%. Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR ist vor allem der Bereich der Ostseeküste von Erhöhungen gegenüber der TGL betroffen.

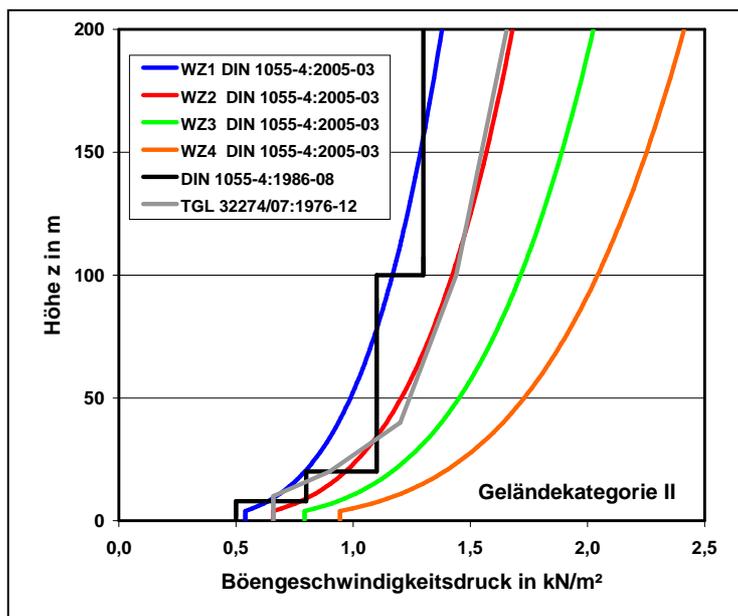


Abbildung 16: Festlegungen des Geschwindigkeitsdruckes in deutschen Normen: in TGL 32274/07, Ausgabe Dezember 1976, als Polygonzug; in DIN 1055-4, Ausgabe Juni 1938, als Treppenkurve, in der Ausgabe März 2005 als Potenzprofile, hier für Geländekategorie II in Abhängigkeit der Windzonen

zu Abschnitt 8.1.2 Schnee- und Eislasten

Anlagen und Anlagenteile, die im Freien aufgestellt sind, sind den Gefahrenquellen Wind, Schnee und Eis grundsätzlich ausgesetzt. Allerdings lässt sich der Kreis der tatsächlich zu betrachtenden Anlagen und Anlagenteile mit folgenden Überlegungen einschränken.

Sicherheitsrelevante Anlagenteile, die mit hohen Temperaturen betrieben werden, können unter bestimmten Bedingungen bei der Ermittlung der gefährdeten Anlagenteile bzgl. der Gefahrenquellen Schnee- und Eislast aus der Betrachtung ausscheiden (vgl. auch vereinfachte Gefahrenquellenanalyse). Typische Anlagenteile sind Destillationskolonnen, Reaktoren, Tanklager für Stoffe, die bei erhöhten Temperaturen gelagert werden, Rohrleitung mit Begleitheizung usw.

Allerdings müssen in diesem Zusammenhang auch Anlagenstillstände berücksichtigt werden, bei denen keine erhöhten Temperaturen vorliegen.

Durch Schnee und Eis können u. a. folgende Anlagenteile gefährdet werden:

1. Alle Anlagenteile mit mechanischen Funktionen, wie z. B. Ventile und Pumpen. Deren Funktion ist vor allem dann gefährdet, wenn längere Stillstandsphasen auftreten.
2. Rohrleitungsbrücken
3. freiliegende Kabelverbindungen

Anlagenteile, wie z. B. frostsicher im Erdreich verlegte Rohrleitungen, können dagegen vernünftigerweise ausgeschlossen werden.

Ergibt die Untersuchung aller sicherheitsrelevanten Anlagenteile, dass sie durch vernünftigerweise nicht auszuschließende Gefahrenquellen nicht gefährdet werden können, so kann mit der Untersuchung von „Dennoch-Störfällen“ fortgefahren werden (vgl. Abzweig in Abbildung 1 der TRAS).

Zur Identifizierung sicherheitsrelevanter, gefährdeter Anlagen oder Anlagenteile soll die folgende **Tabelle 9** erste Hinweise geben:

Tabelle 9: Liste zur Überprüfung von Anlagen in Betriebsbereichen

	Beschreibung	Gefahrenquelle
Anlagen und Bauwerke mit besonderen Konstruktionen	Hallenkonstruktionen mit Flachdach oder gering geneigten Dachflächen	Wind, Schnee und Eis
	Dachformen mit höher und niedriger gelegenen Bereichen	Schneesackbildung, Eis
	Rohrleitungsbrücken	Wind, Schnee, Eis, Schwingungen
	Freileitungen (Stromversorgung, MSR-Kabelverbindung)	Wind, Eis
	Kühlsysteme / Kühltürme	Eis, Wind
	Sicherheitsventile, Überdrucksicherungen mit Sperrflüssigkeit wie bei Biogasanlagen	Eis
	Tankanlagen	Wind, Eis
	Schwimmdachkonstruktionen	Gefährdung durch hohe und ungleichmäßig verteilte Schneelasten
Anlagen mit besonderen Auslegungen	Rohrleitungs- und Schlauchentleerungen	Wind, Eis
Anlagen mit besonderen Materialien	Glaskonstruktionen (wg. Beständigkeit gegenüber Korrosion)	Wind, windbedingte Projektile
	emallierte Tanks	Wind, windbedingte Projektile
	leichte Dacheindeckungen aus Glas, Kunststoff oder Folien	Schnee
Besondere Nutzungsarten		
Besondere Anforderungen an die Instandhaltung	Aggregate mit beweglichen Teilen (v.a. mit Stillstandszeiten) Pumpen, Ventile (ohne Wetterschutzhaube)	Eisbildung
	Ältere Anlagenteile im Bestand ohne Überprüfung nach aktueller Norm	Wind, Schnee- und Eislasten (Gefährdung durch Auslegung nach alter Norm)

Die erste normative Regelung zu einheitlichen Schneelasten wurde im Dezember 1936 mit der DIN 1055, Blatt 5 – Schneebelastung eingeführt. Die Schneebelastung wurde pauschal für das gesamte Rechtsgebiet des damaligen Deutschen Reichs zu $0,75 \text{ kN/m}^2$, also 75 kg/m^2 , festgelegt, bezogen auf die Grundrissfläche des Objektes. Für Dachflächen mit Neigungen kleiner 20° wird die Schneelast nicht abgemindert, und für Flächen größer 60° entfällt die Schneelast vollständig. Darüber hinaus werden in der Norm Hinweise auf die Gefahr von Schneesackbildung, Hinweise auf eventuell höhere Lasten in Gebirgsregionen und auf die besondere Situation bei Gewächshäusern gegeben.

Gegenüber der normativen Regelung von 1936 wurde aus den Erfahrungen der harten und schneereichen Winter zu Beginn des Krieges und unmittelbar nach Kriegsende in der DIN 1055 mit Ausgabe Dezember 1956 ergänzt, dass bei einem Lastanteil der Schneelast an der Gesamtbelastung von $>60\%$ der Schneelastanteil mit einem Faktor bis maximal 1,24 erhöht werden soll. Damit wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass bei leichten Dachkonstruktionen die Schneebelastung ein dominierender Lastfall ist, und das Tragwerk daher eine erhöhte Sicherheit erfahren sollte. Zusätzlich wird noch auf die Gefahr der Wassersackbildung durch Wasser aus getautem Schnee hingewiesen.

Die für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland einheitlichen Regelungen wurden mit Einführung der DIN 1055 im Jahre 1975 aufgehoben. Statt der einheitlichen Schneelast von 75 kg/m^2 wurden für das gesamte Bundesgebiet vier geographische Schneelastzonen (I bis IV) eingeführt. Die hierfür festgelegte Regelschneelast variiert je nach Geländehöhe des Bauwerksstandortes und der Schneelastzone zwischen Werten von $0,75 \text{ kN/m}^2$ und $5,50 \text{ kN/m}^2$. Für Höhen oberhalb 1000 m wird auf Festlegungen der zuständigen Baubehörden und des DWD verwiesen. **Tabelle 10** gibt diese Regelungen der DIN 1055 wieder. Im gleichen Zuge wurden auch die Grenzen zur Abminderung bei Schrägdächern verändert.

Tabelle 10: Regelschneelast s_0 in kN/m^2 (kg/m^2) gemäß Tabelle 2 der DIN 1055
Teil 5

	1	2	3	4	5
1	Geländehöhe des Bauwerks- standortes über NN	Schneelastzone I	Schneelastzone II	Schneelastzone III	Schneelastzone IV
2	≤ 200	0,75 (75)	0,75 (75)	0,75 (75)	1,00 (100)
	300	0,75 (75)	0,75 (75)	0,75 (75)	1,15 (115)
	400	0,75 (75)	0,75 (75)	1,00 (100)	1,55 (155)
3	500	0,75 (75)	0,90 (90)	1,25 (125)	2,10 (210)
	600	0,85 (85)	1,15 (115)	1,60 (160)	2,60 (260)
	700	1,05 (105)	1,50 (150)	2,00 (200)	3,25 (325)
4	800	1,25 (125)	1,85 (185)	2,55 (255)	3,90 (390)
	900		2,30 (230)	3,10 (310)	4,65 (465)
	1000			3,80 (380)	5,50 (550)
5	1000				Einzelfall-rege- lung

Für Dachformen mit Neigungen $<30^\circ$ muss die Schneelast voll und für Dachformen mit Neigungen $>70^\circ$ darf sie zu Null angesetzt werden. In dem Bereich dazwischen darf die Schneelast mit einem in der Norm neu definierten Faktor k_s abgemindert werden, der in der dortigen Tabelle 1 numerisch vorgegeben wird. Der dem Sicherheitsnachweis zugrunde zu legende Rechenwert der Schneelast ergibt sich aus dem Abminderungsfaktor k_s multipliziert mit der Regelschneelast.

Normative Regelungen zum Überlagern der Schneelast mit der Windbelastung werden ebenfalls eingeführt. Bei Dächern mit einer Neigung bis 45° muss entweder die volle Schneelast mit der halben Windlast oder aber die halbe Schneelast mit der vollen Windlast kombiniert werden. Bei Dächern mit einer Traufneigung größer als 45° darf entweder nur die Schneelast oder aber nur die Windlast betrachtet werden. Der Nachweis der Tragwerkssicherheit ist dann die größere der beiden Alternativen als maßgebend zugrunde zu legen.

Erstmals wurden 1975 auch Regelungen zu einer möglichen Eislast in die DIN 1055-5 aufgenommen. Die Normenausgabe von 1975 gibt vor, dass bei allen Tragwerken, an denen eine Belastung aus Eis auftreten kann, eine allseitige 3 cm dicke Eisschichtbildung für Geländehöhen <400 müNN angesetzt werden muss. Die Eisrohichte ist mit 7 kN/m^3 (700 kg/m^3) einzusetzen. Für Geländehöhen über 400 müNN wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass genauere Untersuchungen erforderlich sind. Bei Berücksichtigung von Eisansatz ist die Windlast auf die durch den Eisansatz vergrößerte Fläche des Anlagenteils anzusetzen. Dafür darf die Windlast mit 75% des Windstaudrucks ermittelt werden.

Im Anhang der DIN 1055-5 (1975) wird erstmalig auf die Herleitung der Regelschneelast eingegangen. Es wird erläutert, dass die Regelungen der Norm auf Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes in Abhängigkeit von geologischen und meteorologischen Verhältnissen fußen. Das Normengremium reagiert damit auf den inzwischen auf Europäischer Ebene erfolgten stärkeren Bezug normativer Regelungen im Bauwesen auf statistische Grundlagen. Die Regelschneelast wurde hierbei als ein 95%-Fraktilwert $s_{95\%}$ der Jahresmaxima eines 30-jährlichen Beobachtungszeitraums bestimmt. Zugrunde gelegt wurde hierbei eine Extremwertverteilung vom Typ I nach Fisher-Tippet mit einem Variationskoeffizienten von $V \approx 45\%$. Der hierzu erforderliche Zusammenhang zwischen der Regelschneelast und den Messgrößen (mittleres Schneehöhenmaximum s_h), mittlere Schneerohichte γ und Abminderungsfaktoren χ für Schneedrift wird angegeben. Mit diesem Formelwerk kann bei veränderten Eingangsparametern, wie beispielsweise Altschneeanlagerungen, eine Neuermittlung oder Anpassung der Lasten vorgenommen werden.

Mit Einführung der Änderung A1 der DIN 1055, Teil 5 im April 1994 bleiben alle Regelungen der Norm von Juni 1975 bestehen. Lediglich die Karte der Schneelastzonen wird auf die wiedervereinigte Bundesrepublik Deutschland einschließlich der neuen Bundesländer erweitert. Diese Karte wurde aus der Normenfassung 1994 übernommen.

zu Abschnitt 8.2 Gefahrenquellen durch windbedingte Projektile: Ermittlung der gefährdeten Anlagen und Anlagenteile

Sicherheitsrelevante Anlagenteile, die keine Gebäude oder Tragwerke sind und der direkten Einwirkung von Wind ausgesetzt sind, sind zu ermitteln und hinsichtlich möglicher Folgen der Einwirkung durch Wind zu untersuchen. Besonders zu beachten sind dabei sicherheitsrelevante Mess- und Regeltechnik mit Sensoren, Aktoren oder Kabeln an exponierten Stellen. Um Gefahren aufgrund Verlust oder Beschädigung derartiger Anlagenteile zu verhindern, ist entweder die Befestigung dieser Anlagenteile zu überprüfen oder sie sind gegen Funktionsverlust sicher auszuführen.

Als relevante Quelle von windbedingten Projektilen, die durch Auftreffen auf sicherheitsrelevante Anlagenteile Gefahren verursachen können, kommen vor allem Anlagenteile in Betracht, die höher sind als ein möglicherweise getroffenes Objekt. Daher sind vor allem Anlagenteile, die höher sind als ihre Umgebung hinsichtlich möglicher Ablösung von relevanten Projektilen zu betrachten. Damit eine Ablösung eintritt, muss eine ausreichende Kraft durch Druck oder Sog auf diese Anlagenteile wirken. Von daher sind insbesondere Anlagenteile mit einer hohen Anströmfläche als potentielle Projektilquelle relevant.

Ist die Bildung von Projektilen nicht auszuschließen, müssen die sicherheitsrelevanten Anlagenteile ermittelt werden, die durch windbedingte Projektile getroffen werden können. Hierzu ist zunächst eine Ortsbegehung erforderlich, bei der alle sicherheitsrelevanten Anlagenteile in unmittelbarer Nähe zum Entstehungsbereich von Projektilen identifiziert werden. Sind z. B. Tanklager unmittelbar unter höheren Tragwerken oder Kolonnen positioniert, sind sie als gefährdet einzustufen. Ähnliches gilt auch für Rohrleitungen bzw. Rohrleitungsbrücken.

Die TRAS 320 fordert primär, die Bildung von Projektilen zu verhindern. Falls dennoch eine Gefährdung sicherheitsrelevanter Anlagenteile durch windbedingte Projektile nicht ausgeschlossen wird, ist zu prüfen, ob durch Bauweise und Material dieser Anlagenteile eine sicherheitsrelevante Schädigung ausgeschlossen werden kann. Wenn dennoch eine Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann, können im Einzelfall Modellrechnungen herangezogen werden, um einen Anhaltspunkt für die mögliche maximale Flugweite von Projektilen zu erhalten. Wie weit Projektile fortgetragen werden können, hängt von der Höhe des Entstehungsortes (Fallhöhe), der Böengeschwindigkeit sowie von der Form und dem Gewicht des Projektils ab. Es ist mit vereinfachenden Annahmen und der Einführung von Modellkörpern möglich, die maximale Flugweite von Projektilen und damit den Kreis der eventuell gefährdeten, sicherheitsrelevanten Anlagenteile zu erhalten.

Ein windbedingtes Projektil kann sich jedoch auch am Boden fortbewegen, wie z. B. ein rollendes Fass. Ausgehend von den verschiedenen Lagerflächen auf dem Betriebsgelände sind die potenziellen Rollwege mit ihren Hindernissen zu ermitteln und zu bewerten. Von besonderer Bedeutung sind hierbei Gefällestrecken, die zu einer Erhöhung der Rollgeschwindigkeit beitragen können. Die ermittelten Wege sollten mit den potenziellen Aufprallpunkten, wie z. B. Tankanlagen, verglichen werden, die schon im Rahmen der Analyse Verkehrswege innerhalb des Betriebsgeländes durchgeführt wurden.

Zusätzlich sei auf die besondere Gefährdung durch windbedingte Projektile im Bereich von temporären Baumaßnahmen oder Aktivitäten durch werkszugehörige Abteilungen aber auch durch Fremdfirmen hingewiesen. Auf diese potentielle Gefährdung ist vor Aufnahme der Arbeiten hinzuweisen und die verantwortlichen Aufsichtsführenden auf eine ordnungsgemäße Befestigung der temporär installierten Gegenstände und Maschinen hinzuweisen.

Zu Kapitel 9 Ermittlung der Störfalleintrittsvoraussetzungen

Kernstück dieses Abschnitts der TRAS 320 sind Beispiele von Szenarien der Einwirkung natürlicher, umgebungsbedingter Gefahrenquellen für die geprüft werden muss, ob sie zu Störfällen führen können.

Hierbei sollten nicht nur gefährdete sicherheitsrelevante Anlagenteile mit besonderem Stoffinhalt oder besonderen Funktionen innerhalb des Betriebs berücksichtigt werden, sondern auch sicherheitsrelevante Anlagenteile außerhalb des Betriebs. Dies kann z. B. Trafostationen und Kommunikationseinrichtungen betreffen, die abseits vom eigentlichen Betriebsgelände gelegen sein können.

Darüber hinaus sind auch die Wechselwirkungen verschiedener Anlagenteile und das gleichzeitige Versagen mehrerer sicherheitsrelevanter Anlagenteile, wenn sie durch das Einwirken einer Gefahrenquelle gleichzeitig gestört werden können, zu betrachten.

Bei den Szenarien ist zu prüfen, ob ein nur Teilversagen oder ein sogar Vollversagen eines Bauwerks, eines Tragwerks oder einer Gefahrstoffumschließung eintreten kann. Nur mit einem Teilversagen ist bei Einwirkung windbedingter Projektile zu rechnen.

Eine denkbare Kausalkette ist in **Abbildung 17** dargestellt.

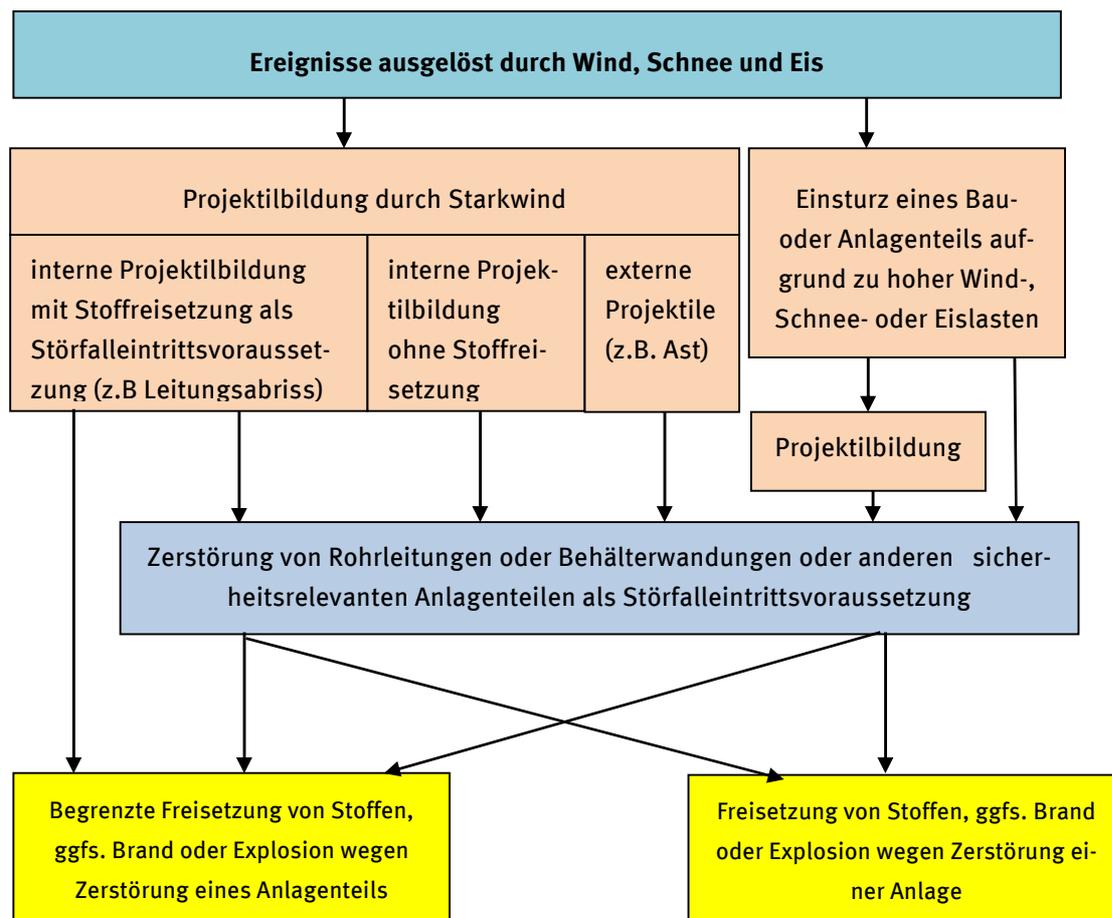


Abbildung 17: Einwirkungen, Störfalleintrittsvoraussetzungen und Folgen durch die Gefahrenquellen Wind, Schnee und Eis

Zu Kapitel 10 Festlegung von anlagenbezogenen Schutzziele

Um die Anforderungen des § 9 Absatz 1 Nummer 2 in Verbindung mit Anhang II Nummer IV der StörfallV zu erfüllen, sind die möglichen Ereignisabläufe (Störfallablaufszenarien) zu untersuchen und darzustellen. Zur späteren Prüfung der Einhaltung der übergeordneten Schutzziele des BImSchG (§ 5) und der StörfallV (§ 3) sind diese in Bezug auf die möglichen Gefährdungen und zugehörige Szenarien zu konkretisieren.

Die in der TRAS aufgeführten Vorgaben für die Aufstellung von Schutzziele sollen an dieser Stelle noch einmal erläutert werden.

Schutzziele wegen Staudruck bei Böen und Windspitzen

Die Gefährdung durch die Szenarien wie Staudruck bei Böen und Windspitzen wird mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren festgelegt. Um dieses mittels der bereits bestehenden Baunormen zu erreichen werden die sicherheitsrelevanten Anlagen und Bauwerke in denen solche sicherheitsrelevanten Anlagen betrieben werden in die Zuverlässigkeitsklasse RC3 eingestuft. Wie bereits ausführlich in den Hinweisen und Erläuterung zu Abschnitt 7 beschrieben, wird dadurch die Erhöhung des Teilsicherheitsfaktors der Einwir-

kung vorgenommen. In einer Rückwärtsbetrachtung wird dadurch die Erhöhung der Jährlichkeit von normgemäßen 50 Jahren für die Anlagen mit mittleren Versagensfolgen auf eine 100 Jährlichkeit für Anlagen in Betrieben (mit hohen Versagensfolgen) erreicht.

Für die Planung und Errichtung von neuen Gebäuden und Anlagen erfolgt eine Einstufung in die Klasse DSL2 der Überwachungsmaßnahmen bei der Planung und in die Klasse IL2 der Überwachungsmaßnahmen bei der Herstellung gemäß DIN EN 1990 Nationaler Anhang. Dieses führt zu einer stärkeren Überwachung und soll Planungs- und Herstellungsfehlern, welche oftmals Auslöser von Schadensfällen sind, verhindern.

Bei besonders hohem Gefahrenpotenzial von Anlagen in Betriebsbereichen ist zu prüfen, ob es der Anwendung von Überwachungsmaßnahmen bzw. –stufen der Kategorien DSL3 bzw. IL3 bedarf.

Bei bestehenden Anlagen ist eine nachträgliche Überwachung der Planung und Ausführung nur schwer bis unmöglich, von daher wird von der Einstufung in DSL3 bzw. DSL2 und IL3 bzw. IL2 abgesehen.

Schutzziele wegen Schwingungen bei Böen und Windspitzen

Schwingungen sind vordringlich durch das Resonanzverhalten der Struktur geprägt und treten bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten auf. Eine Untersuchung gegenüber Schwingungen muss bei schwingungsanfälligen, sicherheitsrelevanten Anlagen durchgeführt werden, da schädliche Schwingungen bei anfälligen Systemen vielfach mit einer sehr hohen Eintrittswahrscheinlichkeit auftreten können. Hierbei sollte die mittlere Windgeschwindigkeit, welche als Grenzwert zur Einstufung in schwingungsanfällig und nicht schwingungsanfällig verwendet wird, für eine Jährlichkeit von 100 Jahren verwendet werden.

Schutzziele wegen Verlust und Aufprall durch windbedingte Projektile

Der Verlust von Anlagenteilen durch Sturmereignisse kann am einfachsten durch die Überprüfung der Verschraubungen, Schweißnähte oder sonstiger Befestigungen vermieden werden. Hierzu zählen auch Container, Fässer oder andere Behältnisse, die auf Lagerflächen abgestellt sind und im Falle eines Sturmereignisses gesichert oder in geeigneten Bauwerken verlagert werden müssen.

Durch mögliche Projektile gefährdete Anlagenteile sind vor Projektilaufprall zu schützen. Dies kann z. B. durch Einhausung oder im Falle von bodennahen Projektilen durch Schutzzäune oder –wände sichergestellt werden.

Schutzziele wegen Schnee und Eisbelastung

Der Gefährdung von Anlagenteilen durch Schneelasten wird mit der Festlegung einer Jährlichkeit von 100 Jahren begegnet. Um dieses mittels der bereits bestehenden Bau-normen zu erreichen, werden die sicherheitsrelevanten Anlagen und Bauwerke, in denen solche sicherheitsrelevanten Anlagen betrieben werden, in die Zuverlässigkeitsklasse RC3 eingestuft. Wie bereits ausführlich in den Hinweisen und Erläuterung zu Abschnitt 7 beschrieben, wird dadurch die Erhöhung des Teilsicherheitsfaktors der Einwirkung

vorgenommen. In einer Rückwärtsbetrachtung wird dadurch die Erhöhung der Jährlichkeit von normgemäßen 50 Jahren für die Anlagen mit mittleren Schadensfolgen auf eine 100 Jährlichkeit erreicht.

Das Szenarium Eisbildung ist mit der Umstellung auf die DIN EN Normen entfallen. Abweichend hierzu sollen sicherheitsrelevante Anlagen und Anlagenteile weiterhin entsprechend dem Stand der Technik nach den Regelungen der DIN 1055-5¹³ ausgelegt werden.

Eine Auslegung gegen außergewöhnliche Schneelasten ist bislang gemäß DIN EN 1991-1-3/NA (Dezember 2010) nur im Norddeutschen Tiefland erforderlich. Da Überschreitungen der ordentlich anzusetzenden Schneelasten jedoch in der Vergangenheit nicht nur im Norddeutschen Tiefland festgestellt wurden, wird durch die TRAS 320 diese Regelung auf das gesamte Gebiet Deutschlands ausgedehnt. Damit ist eine Auslegung gegen außergewöhnliche Schneelasten unter Nutzung behördlich festgelegter Lasten oder regional aufgezeichneter historischer Maximallasten für alle Schneelastzonen und in allen Bundesländern erforderlich.

Zu Kapitel 11 Erarbeitung von Schutzkonzepten

Die TRAS 320 gibt an dieser Stelle nur eine Übersicht über die möglichen Vorkehrungen und Maßnahmen gegen die naturbedingten Gefahrenquellen Wind-, Schnee- und Eislasten. Wichtig ist, dass mit dem Schutzkonzept alle vernünftigerweise nicht auszuschließenden Gefährdungen und Szenarien abgedeckt werden.

Grundsätzlich können Vorkehrungen und Maßnahmen wegen einzelner Gefahrenquellen in die zeitliche Abfolge vor, während und nach dem Ereignis unterschieden werden. Auf dieser Basis können in Ergänzung zur TRAS folgende Hinweise gegeben werden.

Vor dem Wirksamwerden der Gefahrenquelle

Erweist sich anhand der Prüfungsergebnisse, dass Anlagen oder Anlagenteile nicht ausreichend ausgelegt sind, um den erhöhten Anforderungen gegenüber der Gefahrenquellen zu genügen, sind die bestehenden Defizite durch geeignete Nachrüstungen zu beheben. Aufgrund des grundsätzlich unterschiedlichen Wirkungsprinzips kann hierbei zwischen Maßnahmen gegen statische Windlasteffekte, Maßnahmen gegen statische Schnee- und Eislasten, Maßnahmen gegen Projektilflug und Maßnahmen gegen winderregte Schwingungen differenziert werden.

Die Nachrüstungen gegen die statischen Einwirkungen zielen dabei auf eine Erhöhung des Tragwerkswiderstandes ab. Dies gelingt durch Verstärkungen oder Aussteifungen von Anlagen oder Anlagenteilen oder ihrer Verankerungen. Darüber hinaus können in bestimmten Fällen Seilabspannungen zielführend sein. **Tabelle 11** stellt für verschiedene Anlagen und Anlagenteile geeignete Nachrüstungsmöglichkeiten gegen die statischen Einwirkungen beispielhaft zusammen.

¹³ DIN 1055-5: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Tabelle 11: Konstruktive Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung des Widerstandes gegenüber Wind und Schneelasten

Anlage oder Anlagenteil	Nachrüstungsmaßnahmen
Dächer	<p>Gefahrenquelle Wind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung der Verankerung der Dachkonstruktion im Tragwerk mittels Mauerankern, Schrauben oder Metallbändern • Verschraubung flächig ausgebildeter Dacheindeckungen an der Dachkonstruktion • Flexible Befestigung einzelner Dachelemente oder –ziegel <p>Gefahrenquelle Schnee</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung von leichten Dachkonstruktionen durch zusätzliche Dachbinder bzw. Verstärkung der Vorhandenen • Beheizung von durch Schneelasten betroffenen Bereichen zur Verhinderung von Schneelastbildung. Regelmäßige Kontrolle der Dachkonstruktionen im Betrieb und Austausch von schadhafte Dachbauteilen. Instandhaltung der Dachabdichtung zur Vermeidung von Durchfeuchtungen. Ggf. Erneuerung der Dachabdichtungen
Außenwände, Fassaden, Tore	<p>Gefahrenquelle Wind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung der Befestigung am Tragwerk • Stabilisierung großer Flächen wie z. B. Einfahrtstoren durch Verstreben bzw. Verstärkungen
Gerüste und Kräne	<p>Gefahrenquelle Wind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung der Verankerung im Baugrund oder an Bauwerken • Sicherung durch zusätzliche Seilabspannungen <p>(soweit Eigentum von Fremdfirmen ist eine vorherige Abstimmung erforderlich)</p>
Behälter, Tanks, Silos	<p>Gefahrenquelle Wind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verstärkung der Befestigung auf der Fundamentplatte • Versteifungen bzw. Abspannungen gegen Formänderungen bei großen Querschnitten <p>Gefahrenquelle Schnee</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutz von Schwimmdächern gegen Überlastung durch Schneelast mit Hilfe einer zusätzlichen, mobilen schrägen Abdeckung am oberen Behälterrund zur Abhaltung der Schneelast.
Türme, Maste, Schornsteine	<p>Gefahrenquelle Wind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherung durch zusätzliche Seilabspannungen

Darüber hinaus gibt es weitere Nachrüstungsmöglichkeiten, welche besonders gefährdete Anlagenteile schützen soll. **Tabelle 12** stellt für verschiedene Anlagen und Anlagenteile geeignete Nachrüstungsmöglichkeiten gegen die Gefahrenquellen dar, welche keine direkten baulichen Veränderungen an den bestehenden Anlagen darstellen.

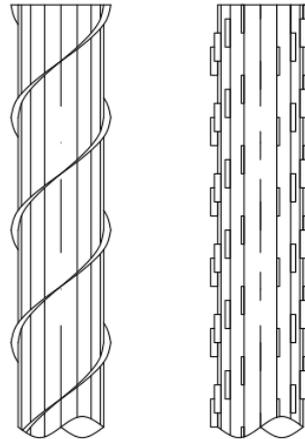
Tabelle 12: Weitere Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung des Widerstandes gegenüber Wind, Schnee- und Eislasten

Anlage oder Anlagenteil	Nachrüstungsmaßnahmen
Allgemeine Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> • Verlegung von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen unter die Erde. • Besonderer Schutz der Notstromaggregate und der dazugehörigen Energiemittel zur Vermeidung des Ausfalls der sekundären Stromversorgung. • Installation von Windsensoren und Messung der Windgeschwindigkeiten an exponierten Stellen der Anlage bei gleichzeitiger Schaffung eines Ablaufplans zur Notabschaltung von Prozessketten bei Überschreitung eines Schwellenwertes. • Installation von Schneesensoren auf den betroffenen Dächern bzw. Anlagenteilen und Schaffung eines Ablaufplans zur etwaigen Räumung dieser Bereiche bei Überschreitung eines Schwellenwertes. <p>Gefahrenquelle Tornado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgedeckte Auffangräume oder Auffangbehälter für besonders gefährliche Stoffe zur Verhinderung der Freisetzung in die Umwelt.
Nachrüstung durch Anpassung des Ablaufs	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung von Einsatzplänen für die Schneeräumung von betroffenen Anlagenbereichen • Schaffung von Einsatzplänen für die Eisentfernung bei betroffenen Kabeltrassen oder Gerüstteilen (bei Gerüsten von Fremdfirmen ist die Zustimmung des Eigentümers erforderlich) • Einrichten eines Frühwarnnetzes hinsichtlich aufkommender Extremwetterereignisse, wie zum Beispiel Winterstürme, Tornados oder extremer Schneefälle. Dieses kann durch die Einrichtung von Vernetzungen zu den umliegenden regionalen und überregionalen Wetterstationen gelingen. Einschätzung der Gefährdung obliegt dem verantwortlichen Werksleiter. Je nach Gefährdungseinschätzung sind die im jeweiligen Notfallplan vorgesehenen Maßnahmen einzuleiten. • Rechtzeitiges Entleeren von freien Tanklagern, welche aufgrund Kälte zufrieren und infolge Ausdehnung Schaden nehmen könnten.

Maßnahmen gegen winderregte Schwingungen beruhen auf dem Prinzip, die Schwingbewegungen zu verhindern oder zumindest auf ein erträgliches Maß zu reduzieren. Ausgangspunkt für die Entwicklung der Maßnahmen bildet zunächst die Analyse des Schwingungsverhaltens der betroffenen Konstruktion. Aufbauend hierauf können dann speziell für die Konstruktion ausgelegte Schwingungsdämpfungssysteme konzipiert werden. Bei den Systemen wird dabei zwischen Schwingungsdämpfern (passiv) und Schwingungstilgern (aktiv) unterschieden. Schwingungsdämpfer fungieren als Reibungsbremsen auf der Basis beweglicher Flüssigkeiten oder Reibungskörpern und haben gegenüber Schwingungstilgern den Vorteil, dass sie keine Energiezufuhr von außen benötigen.

Neben Dämpfungssystemen können aerodynamische Störelemente eine Reduzierung der Schwingbewegungen aus Wirbelerregung bewirken. Sie kommen daher typischerweise bei schlanken, turmartigen Konstruktionen zum Einsatz. Ihr Ziel ist es, die Bildung

einer durchgehenden Ablöselinie der periodisch ablösenden Wirbel zu verhindern. Als aerodynamische Maßnahmen existieren diverse Möglichkeiten, **Abbildung 18** zeigt mit dem sogenannten Scruton-Wendel sowie Störstreifen stellvertretend zwei Beispiele.



(a) Scruton-Wendel (b) Störstreifen

Abbildung 18: Aerodynamische Maßnahmen gegen wirbelerregte Querschwingungen

Zusammenfassend stehen als nachträglich zu installierende Maßnahmen gegen wind-erregte Schwingungen damit folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Passive oder aktive Unterdrückung von winderregten Schwingungen durch hydro-mechanische oder mechanische Dämpfungseinrichtungen,
2. Unterdrückung von Wirbelablösung durch aerodynamische Störelemente,
3. Abspannung von Konstruktionen zur Verhinderung von langperiodischen Schwingungen,

Bei Gerüstkonstruktionen kann ein positiver Effekt durch die Erhöhung der Steifigkeit erzielt werden. Hierdurch wird die Eigenfrequenz verringert und die Konstruktion aus dem Resonanzbereich der Erregerfrequenz geführt. Eine solche Art der „Verstimmung“ eines Tragsystems gelingt zumeist nur in Kombination mit begleitenden Messungen des Schwingverhaltens, da die Parameter, welche die Frequenz des Systems beeinflussen, bereits bei einfachen Tragsystemen oft mannigfaltig sind (z. B. Verbindungen, Auflagerpunkte, Öffnungen in Querschnitten, etc.). Ein rechnerischer Nachweis kann daher zwar zur Auslegung der Konstruktion dienen, allerdings ist die nachfolgende Messung und ggf. Verstimmung des Systems mit den heutigen zur Verfügung stehenden Methoden bei schwingungsanfälligen Konstruktionen im Zweifelsfall unabdingbar.

Eine Nachrüstung der sicherheitsrelevanten Anlagen bzw. Anlagenteile gegen möglichen Projektilflug kann durch die folgenden Maßnahmen erfolgen. Als eine erste Konsequenz der Gefahrenquellenanalyse sollte eine mögliche Projektilbildung (sowohl extern als auch intern) minimiert werden. Sollte sich aus der Gefahrenquellenanalyse ergeben, dass ein Eindringen von nicht zu vermeidenden möglichen Projektilen nicht von der ursprünglichen Tragkonstruktion (Behälterwand etc.) verhindert werden kann, so sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich. Besteht eine mögliche Gefährdung infolge Eindringen in die Außenhülle, so könnte eine Verstärkung der Außenhülle oder aber eine Schutzhülle Abhilfe schaffen. Das Eindringen durch Öffnungen in der Schutzhülle lässt

sich durch die Installation von Schutzgittern und/oder hierfür vorgesehene Verglasung realisieren. Gegen bodennahe Projektile lassen sich beispielsweise Einzäunungen des Anlagenteils realisieren.

Durch Überwachung der Wetterlage können zu erwartende extreme Wind- und Schneereignisse erkannt werden (nur bedingt bei Tornados). Bei Eintritt entsprechender Wetterlagen ist zu Beginn bereits die Alarmbereitschaft und die Sicherung der besonders gefährdeten Gebäude, Anlagen und Anlagenteile zu erhöhen. Einsatzpläne sollten aktualisiert und für den Ernstfall bereitgehalten werden. Haben sich in der Vorabanalyse bestimmte Bereiche auf dem Betriebsgelände als besonders gefährdet erwiesen, so ist die Überwachung dieser Bereiche besonders vorzubereiten.

Sind Überschreitungen der Schneelasten zu erwarten ist die Bereitschaft für die Schneeräumungsmaßnahmen herzustellen. Bezüglich der Gefahrenquelle Schneesackbildung und -verwehungen lassen sich außer baulichen Veränderungen keine besonderen Vorkehrungen zur Verhinderung treffen. Lediglich Schneeverwehungen können auf freiem Gelände durch geeignete Schutzzäune von bestimmten Stellen ferngehalten werden.

Die typische Wetterlage für Eisbildung tritt schnell und ohne besondere Vorwarnzeit ein. Daher ist eine organisatorische Vorabmaßnahme kaum durchführbar. Die besonders gefährdeten Anlagenteile sollten vorsorglich in Bezug auf die Lasteinwirkung Eis wiederkehrend überprüft werden.

Während des Wirksamwerdens der Gefahrenquelle

Während eines Sturmereignisses können an den Anlagenteilen im Regelfall keine entscheidenden Sicherungsmaßnahmen mehr durchgeführt werden. Lediglich in Sturmpausen könnten bereits beschädigte Teile entfernt und somit mögliche Projektilquellen reduziert als auch gelöste Teile provisorisch fixiert werden. Sollte es im schlimmsten Fall zu einer Tornadoeinwirkung auf Anlagenteile handeln, so kann während des Ereignisses keine Maßnahme zur Sicherung mehr durchgeführt werden.

Zeichnet sich während eines extremen Schneereignisses ab, dass die Belastung voraussichtlich für einige Anlagenteile über das in der Auslegung angesetzte Maß hinausgeht, so sollte bereits während des Ereignisses mit der Räumung der Anlagenteile begonnen werden (Gefährliche Stoffe und Personal). Hierbei ist natürlich die Sicherheit des Räumungspersonals zu berücksichtigen.

Nach dem Wirksamwerden der Gefahrenquelle

Nach dem Einwirken der Gefahrenquellen ist unter angemessenen Sicherheitsmaßnahmen zu prüfen, ob es zu Freisetzungen von gefährlichen Stoffen kam und ob diese noch andauern. Sind die Freisetzungen beendet, so sind kontaminierte Bereiche zu identifizieren, zu sperren und auf der Grundlage einer ausgearbeiteten Planung sowie unter angemessenen Sicherheitsmaßnahmen zu dekontaminieren.

Beschädigungen von Anlagen und Anlagenteilen sind zu begutachten, zu dokumentieren und die Konstruktion entsprechend wieder zu ertüchtigen. Die Schwachstelle der Konstruktion ist hierbei zu analysieren und sinnvoll zu verstärken damit ein wiederholtes Eintreten der Gefährdung für diesen Fall ausgeschlossen werden kann.

Dachkonstruktionen sind nach dem Abtauen der Schnee- und Eismassen hinsichtlich möglicher Durchfeuchtungen zu überprüfen, da dauerhafte Durchfeuchtungen die Konstruktion schädigen und zu einem späteren Versagen bei Ereignissen auch weit unterhalb der Bemessungslast führen können.

Besonders betroffene Bereiche sind auf dem Lage- und Anlagenplan zu verzeichnen und aus der Erfahrung heraus für das nächste Eintreten der Gefahrenquelle zu untersuchen.

Zu Kapitel 12 Prüfung der Schutzkonzepte

Die Verifizierung des Schutzkonzepts erfolgt auf der Basis einer Gefahrenanalyse. Dabei kommen zum Einsatz:

1. intuitive Methoden (Brainstorming)
2. induktive Methoden (z. B. Ereignisablaufanalyse)¹⁴
3. deduktive Methoden (z. B. Fehlerbaumanalyse)^{15, 16}
4. PAAG-Verfahren (Prognose, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen) mit intuitiven, induktiven und deduktiven Elementen¹⁷

Hierfür stehen zahlreiche Anleitungen, Checklisten und Erfahrungsberichte zur Verfügung, so dass darauf nicht weiter eingegangen werden muss. Soweit eine Gefahrenanalyse auf der Basis dieser Methoden bereits vorliegt, muss geprüft werden, ob diese die hier relevanten Gefahrenquellen bereits berücksichtigt oder eine Ergänzung erforderlich ist.

Zu prüfen ist, ob die aufgrund der ggf. ergänzten Gefahrenanalyse gewählten Vorkehrungen und Maßnahmen gegen die betrachteten natürlichen Gefahrenquellen die durch diese und die Betriebsbereiche verursachten Risiken auf ein akzeptiertes Maß reduzieren. Die durch die TRAS 320 vorgegebenen Mindestanforderungen sind erstens im Hinblick auf die konkrete Exposition des Betriebsbereichs gegenüber den Gefahrenquellen, z. B. aufgrund von Lage oder Bauform, zweitens im Hinblick auf die Risiken ggf. verursachter Störfälle und drittens im Hinblick auf die Risikoziele innerhalb der Unternehmenspolitik und Sicherheitskultur zu überprüfen. Aus Letzterem kann auch ein weitergehender Einbezug der möglichen Veränderungen aufgrund des Klimawandels resultieren.

Bei der Risikokommunikation ist zu beachten, dass die Schutzobjekte nicht nur den Risiken aufgrund der Betriebsbereiche ausgesetzt sind, sondern auch den Risiken durch die natürlichen Gefahrenquellen selbst. Eine Abstimmung mit den für die Kontrolle dieser direkten Risiken zuständigen Behörden ist anzuraten.

¹⁴ DIN 25419: Ereignisablaufanalyse: Verfahren, grafische Symbole und Auswertung, Normenausschuss Kerntechnik, 1995

¹⁵ DIN 25424 Fehlerbaumanalyse, Teil 1 und 2, Ausgabe 1981-09, Beuth Verlag Berlin

¹⁶ Böhnert, R.: Bauteil- und Anlagensicherheit. Vogel Verlag Würzburg 1992, ISBN 3-8023-0469-3

¹⁷ Selbmann, B.: Das PAAG-Verfahren - Methodik / Anwendung / Beispiele - Risikobegrenzung in der Chemie, Ausgabe 2000. Herausgeber: Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie, Kurfürsten Anlage 62, D-69115 Heidelberg, Deutschland

Zu Kapitel 13 Ermittlung von Szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV (Dennoch-Störfälle) und Szenarien für die Alarm- und Gefahrenabwehrplanung

Bei der Ermittlung von Störfallablaufszenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV, sogenannten „Dennoch-Störfällen“, sind zu berücksichtigen:

1. Das Versagen von störfallverhindernden Vorkehrungen,
2. Wind, Schnee- und Eislasten mit einer Intensität oberhalb der aufgrund einer probabilistischen Analyse vernünftigerweise angenommenen Jährlichkeit und
3. mit Wind, Schnee- und Eislasten verbundene Gefahrenquellen, die „vernünftigerweise“ ausgeschlossen wurden, daher in Zusammenhang mit der Verhinderung von Störfällen nicht betrachteten wurden und mit qualitativ zusätzlichen Wirkungsweisen eintreten, wie zum Beispiel die Einwirkungen durch Tornados mit Stärken bis einschließlich F4.

Darüber hinaus wurden Gefahrenquellen auf der Grundlage einer vereinfachten Gefahrenquellenanalyse als „Exzeptionelle Gefährdungen“ ausgeschlossen. Solche Gefahrenquellen sind nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand so unwahrscheinlich, dass sie auch im Rahmen der Betrachtung von „Dennoch-Störfällen“ ausgeschlossen bleiben, wie z. B. ein Tornado der Stärke F5 in Deutschland.

Für die „Dennoch-Störfall“-szenarien gemäß § 3 Absatz 3 StörfallV können z. B. die Szenarien nach **Abbildung 17** dieser Hinweise und Erläuterungen herangezogen werden:

1. Beschädigung oder Einsturz eines Bauwerkes aufgrund zu hoher Wind-, Schnee- oder Eislasten mit anschließender Stofffreisetzung, Brand oder Explosion aufgrund der Zerstörung von sicherheitsrelevanten Anlagenteilen darin.
2. Beschädigung oder Einsturz eines sonstigen Anlagenteils im Freien aufgrund zu hoher Wind-, Schnee- oder Eislasten mit anschließender Stofffreisetzung, Brand oder Explosion aufgrund des Stoffinhalts darin.
3. Beschädigung oder Einsturz eines Gebäudes oder sonstigen Anlagenteils aufgrund zu hoher Wind-, Schnee- oder Eislasten unter Einwirkung auf ein anderes, sicherheitsrelevantes Anlagenteil mit anschließender Stofffreisetzung, Brand oder Explosion.
4. Interne Projektilbildung (z. B. Leitungsabriss) mit Stofffreisetzung, Brand oder Explosion am Ort des Abrisses und/oder sonstigem Verlust der sicherheitsrelevanten Funktion.
5. Aufprall eines luftgetragenen Projektils (intern oder extern entstanden) auf ein sicherheitsrelevantes Anlagenteil mit anschließender Stofffreisetzung, Brand oder Explosion und/oder sonstigem Verlust der sicherheitsrelevanten Funktion.
6. Bodennahes Projektil (z. B. rollendes Kraftfahrzeug) mit Aufprall gegen ein sicherheitsrelevantes Anlagenteil mit anschließender Stofffreisetzung, Brand oder Explosion und/oder sonstigem Verlust der sicherheitsrelevanten Funktion.

Es ist zu prüfen, inwieweit aus derartigen, für natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen spezifischen Szenarien abgeleitete Stofffreisetzungen, Brände oder Explosionen schon durch bereits angestellte „Dennoch-Störfall“- Betrachtungen berücksichtigt sind. Bei der Analyse der zuvor beschriebenen Szenarien muss insbesondere bei den Szenarien 1 bis 3 im Einzelfall geprüft werden, ob aufgrund gleichzeitiger schädigender Einwirkung auf mehrere sicherheitsrelevante Anlagenteile mehr als die größte zusammenhängende Masse (GZM) freigesetzt werden kann.

In der TRAS 320 wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei den anzunehmenden Szenarien die Verfügbarkeit externer Kräfte und die Zugänglichkeit der Anlagen aufgrund der umgebungsbedingten Gefahrenquellen eingeschränkt sein kann und somit die Verfügbarkeit von darauf basierenden auswirkungsbegrenzenden Maßnahmen nicht gegeben ist.

Zu Kapitel 14 Festlegung von Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen

In der TRAS 320 wird eine Reihe von Maßnahmen aufgelistet, die im Einzelfall geeignet sein können, die Störfallauswirkungen zu begrenzen. Es ist zunächst zu prüfen, welche bereits entwickelten Schutzkonzepte (im Sicherheitsbericht) ohnehin die Szenarien Freisetzung von Stoffen, Brand und Explosion abdecken und ob die hier ggf. bereits vorgesehenen störfallauswirkungsbegrenzenden Maßnahmen anwendbar sind. Bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen sind folgende Schutzziele zu beachten:

1. Begrenzung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen aus ihrer Umschließung,
2. Minderung der Ausbreitung freigesetzter, gefährlicher Stoffe,
3. Begrenzung der Verdampfung von freigesetzten gefährlichen Stoffen,
4. Verhinderung der Zündfähigkeit oder Zündung gefährlicher Stoffe,
5. Verhinderung oder Minderung der Einwirkung auf sicherheitsrelevante Anlagen und Anlagenteile.

In der TRAS 320 sind zahlreiche Maßnahmen aufgelistet, die sich in die folgenden 4 Hauptpunkte gliedern:

1. Bautechnische Maßnahmen
2. Sicherheitstechnische Einrichtungen und Schutzvorkehrungen
3. Organisatorische Schutzvorkehrungen
4. Beratung der Gefahrenabwehrbehörden und Einsatzkräfte bei einem Störfall (§ 5 Absatz 2 StörfallV)

Zu den bereits in der TRAS 320 genannten Punkten werden im Folgenden einige Hinweise ergänzt:

Nach § 5 Satz Absatz 1 Nummer 1 StörfallV hat der Betreiber Maßnahmen zu treffen, „damit durch die Beschaffenheit der Fundamente und der tragenden Gebäudeteile bei Störfällen keine zusätzlichen Gefahren hervorgerufen werden können, ...“.

Fundamente und tragende Gebäudeteile müssen also so beschaffen sein, dass sie bei Störfällen möglichen Einwirkungen so widerstehen, dass eine Ausweitung des Störfalls

unter Verursachung einer Gefahr nicht möglich ist. Grundsätzlich sind hierbei alle drei Erscheinungsformen von Störfällen – Brände, Explosionen und Stofffreisetzungen – zu berücksichtigen. Für den Fall von Bränden wird die Anforderung im Baurecht und Regelwerk dahingehend konkretisiert, dass Brandwände (einschließlich Decken) und –abschlüsse einer zu unterstellenden Branddauer und Brandlast widerstehen können müssen. Im Falle von Explosionen wird die Anforderung für die Lagerung explosionsgefährlicher Stoffe dahingehend konkretisiert, dass eine Explosion in einem Anlagenteil sich nicht in anderen Anlagenteilen fortsetzen oder schädigend auf Schutzobjekte auswirken darf. Dies gilt nach StörfallV jedoch auch für andere gefährliche Stoffe und auch dahingehend, dass keine Ausweitung des Störfalls in Form von Stofffreisetzungen oder Bränden erfolgen darf. Schließlich ist auch die Stofffreisetzung als mögliche, störfallbedingte Einwirkung auf tragende Bauwerks- und Anlagenteile zu berücksichtigen. Hier kommt die korrosive Einwirkung von Stoffen - insbesondere in Verbindung mit Bränden – in Betracht.

Insofern ist zu empfehlen, vorrangig zu prüfen, inwieweit störfallbegrenzende Wirkungen aus der bereits erfolgten Umsetzung dieser Anforderung in § 5 Absatz 1 Nummer 1 StörfallV resultieren.

Auswirkungsbegrenzende Massnahmen werden auch vom Anlagenbezogenen Gewässerschutz (§§ 62f WHG) gefordert. In Abhängigkeit von Wassergefährdung und vorhandener Masse von Stoffen werden anlagenbezogene oder zentrale Auffangräume für flüssige Stoffe gefordert. In dem hier relevanten Zusammenhang ist die Dimensionierung der verschiedenen Maßnahmen zu prüfen. Weil bei den hier betrachteten umgebungsbedingten Gefahrenquellen unter Umständen mehrere Anlagenteile betroffen sein können, müssen ausreichende Auffangvolumina zur Verfügung stehen, um die freigesetzten Flüssigkeiten möglichst vollständig aufzufangen. Die Bedeutung einer ausreichenden Bemessung der Auffangräume wurde z. B. bei einem Tornado der Stärke F3 deutlich, der die Chemieanlage Complex Chemical Co., Inc. in Louisiana am 24. April 2010 stark beschädigte. Die auslaufenden Flüssigkeiten konnten weitgehend aufgefangen werden.¹⁸

In Bezug auf die Gefahrenquelle Wind ist zu beachten, dass auch Freisetzungen von festen Stoffen erfolgen können, für deren Begrenzung nur zum Teil Anforderungen im Regelwerk enthalten sind.

Die organisatorischen Maßnahmen zur Auswirkungsbegrenzung umfassen alle Maßnahmen, die auch sonst für Störfälle anzuwenden sind. Hierzu zählt auch die Beratung der Gefahrenabwehrbehörden bei der Bekämpfung der Auswirkungen von Schadstofffreisetzungen, Bränden und Explosionen.

¹⁸ <http://www.complexchemical.com/tornado.htm>

Zu Kapitel 15 **Planung für Notfälle, Ergänzung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen, Übermittlung von Informationen für die externe Alarm- und Gefahrenabwehrplanung**

Dieser Abschnitt der TRAS 320 widmet sich der Ausarbeitung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen und dem Katastrophenschutz.

Bei Betriebsbereichen mit Grundpflichten sind die Ergebnisse der obenstehenden Schritte im Rahmen der Fortschreibung von Konzepten zur Verhinderung von Störfällen und der Fortentwicklung des Sicherheitsmanagements aufgrund § 8 Absatz 3 StörfallV innerhalb der Planung für Notfälle gemäß Anhang III Nummer 3 e StörfallV zu berücksichtigen.

Bei Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten sind, wenn die Ergebnisse der obenstehenden Schritte neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Gefahren zu liefern, die Konzepte zur Verhinderung von Störfällen und Sicherheitsberichte fortzuschreiben sowie das Sicherheitsmanagement fortzuentwickeln. Da dann auch die Angaben gemäß Anhang II Teil V StörfallV fortgeschrieben werden müssen, wird i.d.R. auch das Erfordernis einer Fortschreibung der Alarm- und Gefahrenabwehrpläne gemäß § 10 StörfallV vorliegen.

Informationssammlung

In der TRAS 320 wird auf den Informationsfluss zwischen meteorologischen Dienstleistern und Betreiber hingewiesen. In Abschnitt 2 der TRAS 320 sowie in der TRAS 310 wird darauf aufmerksam gemacht, dass hinsichtlich der Beschaffung von Informationen über Gefährdungen durch umgebungsbedingte Gefahrenquellen für die Betreiber von Betriebsbereichen eine *Informationssammlungspflicht* besteht, also eine Pflicht zur Zusammenstellung andernorts oder beim Betreiber bereits vorhandener Informationen.¹⁹ *Informationsermittlungspflichten* bestehen eingeschränkt im Bereich der „erweiterten“ Pflichten der StörfallV (§§ 9 – 12 StörfallV).

Für die Sammlung von Informationen bzgl. der Gefahren Wind, Schnee- und Eislasten stehen dem Betreibern u. a. folgende Informationsquellen verschiedener Anbieter im Internet zur Verfügung:

<http://www.wettergefahren.de/> (Deutscher Wetterdienst)

Unter mobil.dwd.de (bei älteren Handy-Browsern <http://mobil.dwd.de>) erhalten die Nutzer die Warnungen und Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in einer für Ihr Mobiltelefon optimierten Darstellung. Dazu werden die wichtigsten DWD-Warninformationen für das Handy zusammengefasst.

¹⁹ Schulte, M.; Kloos, J.: Abgrenzung der Behördenpflichten gegen Betreiberpflichten gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz und Störfall-Verordnung in Bezug auf umgebungsbedingte Gefahrenquellen, Dresden 2010 (siehe Informationen und Hinweise zu dieser TRAS unter www.kas-bmu.de)

<http://www.deutscher-warndienst.de/>

Der Deutsche Wetterdienst beobachtet mit seinen über 610 Mess- und Beobachtungsstationen 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr die aktuelle Wetterlage und deren Entwicklung. Sobald ein Unwetter zu erkennen ist gibt der DWD eine Unwetterwarnung heraus. Durch das enge Mess- und Beobachtungsnetz des DWD ist es möglich, diese Unwetterwarnung für jeden Landkreis einzeln zu bestimmen und zu verteilen.

Bei den Warndiensten kann ausgewählt werden, auf welchem Endgerät (Handy, Fax-Gerät, Computer oder Pager) die Nachricht empfangen werden soll.

Weitere Internetseiten für Unwetterwarnungen werden stehen zur Verfügung, wie z. B.:

<http://www.unwetterzentrale.de/uwz/>

Auf dieser Seite werden vor allem stark regionalisierte Karten (einzelne Bundesländer) angeboten.

<http://www.unwetterwarnungen.de/>

In dieser Internetseite werden vor allem Wetterprognosen für Wolken mit Wind, Wolken mit Niederschlag und für die Windstärke in Form von Kurzfilmen präsentiert.

<http://www.wetter24.de/deutschland/unwetter-warnungen.html>

In dieser Internetseite wird alle 15 Minuten eine aktuelle Wetterradarkarte als Kurzfilm angeboten.

Informationsermittlung

Einfache lokale „Messsysteme“ können für die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten eingerichtet werden. Ein Windmessgerät auf dem Dach eines Betriebsbauwerks oder eines Anlagenteils kann helfen, das Risiko, das durch einen Sturm ausgelöst wird, besser zu beurteilen, wenn zuvor ein Maßnahmenplan entwickelt wurde, der sich an bestimmten Wind- oder Böengeschwindigkeiten orientiert.

Zur Bewertung von Schneelasten und Stauwasser werden verschiedene Sensoren angeboten. Hierbei handelt es sich um Messsysteme, die in die Dachfläche eines Bauwerks oder Anlagenteils integriert werden. Auch bestehen Möglichkeiten zur Nachrüstung derartiger Sensoren. Über einstellbare Alarm-Schwellenwerte kann, z. B. bei 50 - 60% der zulässigen Dachlast ein „Voralarm“ und z. B. bei 90% ein „Evakuierungsalarm“, ausgelöst werden.

Auch Dehnungsmessstreifen können an exponierten Stellen von Anlagen und Bauwerken installiert werden, um Lastveränderungen durch Wind, Schnee- und Eislasten frühzeitig wahrzunehmen und entsprechend Maßnahmen zu ergreifen. Dehnungsmessstreifen werden eingesetzt, um Formänderungen (Dehnungen / Stauchungen) an der Oberfläche von Bauwerken oder Anlagen zu erfassen. Sie ermöglichen die Bestimmung von mechanischen Spannungen und damit die Beanspruchung des Werkstoffs. Sie erfassen

vor allem auch Lastkombinationen, die auf unterschiedliche Weise auf ein Tragwerk oder eine Anlage wirken, wie z. B. Wind- und Schneelasten.

Insbesondere wird auf das Projekt "SAFE" (Sensor-Aktor-gestütztes Frühwarnsystem bei Extremwetter) verwiesen, das vom Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST (heute Fraunhofer-Institut für offene Kommunikationssysteme) in Kooperation mit einigen Projektpartnern, wie z. B. der Wacker Chemie AG in Burghausen, entwickelt und vom BMBF gefördert wurde.²⁰

Für dieses System wurden spezielle und kostengünstige Unwettersensoren in einem engmaschigen Netz unter anderem um einen Betriebsbereich aufgestellt. Gemeinsam mit bereits bestehenden Wetterstationen gewährleisteten sie eine lückenlose Messung aller meteorologischen Entwicklungen in der Region. Die Daten dieses Sensornetzes wurden mit überregionalen Daten, etwa von Satelliten oder Radareinrichtungen, erweitert. Ein neuartiges und auf Unwetter spezialisiertes Prognosemodell nutzte die Daten und generiert daraus orts- und zeitgenaue Vorhersagen.

Zur Interpretation der Vorhersagen wurde im Projekt „SAFE“ eine informationslogistische Plattform entwickelt, die die eingehenden Daten verarbeitet und hieraus angemessene Gefahrenabwehrprozesse einleitet.

Mit diesem System wurde folglich der oftmals schwierige Prozess der Dateninterpretation mit den daraus abzuleitenden Maßnahmen erheblich vereinfacht und beschleunigt.

Zwar wurde das Projekt in dieser Form nicht weiter geführt, dennoch wurde aus „Safe“ das Frühwarnsystem „KATWARN“ zur Verbreitung von Warnmeldungen entwickelt. Mittlerweile hat „KATWARN“ mehrere hunderttausend Nutzer und hat sich als deutschlandweit einheitliches Unwetterwarnsystem fürs Mobiltelefon etabliert. Zu den Nutzern zählen auch namhafte Industrieunternehmen.²¹

Eine Kombination von entsprechender Informationssammlung und –ermittlung kann auch unterhalb der Gefahrenschwelle sinnvoll sein, um die Planung von Betriebsabläufen an zu erwartende Witterungsbedingungen anzupassen und z. B. den Beschäftigten gefährliche Aufenthalte im Freien sowie gefährliche Tätigkeiten unter schwierigen Witterungsbedingungen zu ersparen.

Informationsauswertung und Auslösen von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr – Zusammenfassung des Standes der Technik

Im Gegensatz zu Hochwassermeldungen gibt es bei den Gefahren Wind, Sturm- und Eislasten keine Alarmstufen, die durch die Behörden festgelegt und ausgelöst werden. Daher liegt die Bewertung der zur Verfügung gestellten Informationen ausschließlich in der Verantwortung der Betreiber.

Mit Ausnahme der Bildung von Tornados liegen die Vorwarnzeiten für die Gefahrenquellen Wind und Schneelasten in der Regel bei mehreren Stunden bis Tagen. In den USA liegen die Vorwarnzeiten für Tornados im Durchschnitt bei 13 Minuten. Das Land verfügt

²⁰ Klafft, M.; et al.: SAFE: A Sensor-Actuator-based Early-warning System for Extreme Weather Situations, 2008

²¹ https://www.fokus.fraunhofer.de/de/fokus/news/katwarn_basf_2015_09

hierzu über 121 geeignete Radarmessstationen. Ein vergleichbares, für die Tornadovorwarnung geeignetes System steht in Deutschland jedoch nicht zur Verfügung.

Während die Angaben über erwartete Wind- oder Böengeschwindigkeiten gesammelt oder durch Messung ermittelt werden können, stehen Angaben über zu erwartende Eis- und Schneelasten nicht direkt zur Verfügung. Hier müssen bereits vorhanden Lasten (z. B. durch Schneelastsensoren) erfasst und aus den vorhergesagten Niederschlagshöhen zu erwartende Lastzunahmen errechnet werden. Besonders zu beachten sind Vorhersagen über Lastkombinationen z. B. hohe Windlasten gleichzeitig mit oder nach dem Eintreten hoher Schnee- oder Eislasten.

Im Folgenden wird ein einfaches Beispiel gegeben, wie in einem Alarm- und Gefahrenabwehrplan ein Entscheidungsschema für die Gefahrenquelle Schneelasten festgelegt werden kann:

1. Unwetterwarnung durch Anbieter von Warnmeldesystemen per SMS
2. Einholen von Wetterprognosen von meteorologischen Dienstleistern

Maßnahmen:

- a) Verstärkte Wetterbeobachtung
 - b) Ermittlung der aktuellen Schneelast z. B. auf dem Dach einer Produktionsanlage
 - c) Erstellung einer Prognose der zu erwartenden Schneelast (bestehende Schneelast plus Schneelast durch vorhergesagten Niederschlag)
 - d) Bei zu erwartender Überschreitung der zulässigen Dachlast: Vorbereitung der Maßnahmen 3a und 3b.
3. Beobachtung der Lastsituation durch Messung mithilfe eines zuvor installierten Schneelastmesssystemes
 - a) Maßnahme 1: ab 60 % der zulässigen Dachlast: Schneeräumung des Daches, sofern dies wetterbedingt möglich ist.
 - b) Maßnahme 2: ab 90 % der zulässigen Dachlast: Abfahren der Produktionsanlage und Verlagerung von gefährlichen Stoffen in ungefährdete Bereiche.

Auf ähnliche Weise lässt sich für die Gefahrenquellen Wind und Eislasten ein Entscheidungsschema zum Auslösen bestimmter Maßnahmen entwickeln. Bei der entsprechenden Fortschreibung der Planung für Notfälle sowie der Alarm- und Gefahrenabwehrplanung ist der Einbezug von Fremdfirmen im Betriebsbereich und Beschäftigter dieser Firmen erforderlich.

Bei dem hier dargestellten Beispiel wird die Verlagerung von gefährlichen Stoffen in ungefährdete Bereiche vorgeschlagen. Hierbei ist zu beachten, dass während eines Ereignisses potenzielle Transportwege außerhalb von Bauwerken aufgrund von Wind, Schnee oder Eis nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Daher ist im Rahmen der Gefahrenabwehrplanung auch die Verkehrssicherung des Betriebsgeländes durch

Schneeräumung oder Enteisung zu beachten. Darüber hinaus können interne und externe Hilfskräfte nur eingeschränkt zur Verfügung stehen.

Informationspflichten für die zuständigen Behörden

Nach § 10 Absatz 1 Nummer 2 StörfallV sind Betreiber von Betriebsbereichen mit erweiterten Pflichten darüber hinaus verpflichtet, den zuständigen Behörden die für die Erstellung externer Alarm- und Gefahrenabwehrpläne erforderlichen Informationen zu übermitteln. Zahlreiche, entsprechende Informationen sind vom Betreiber ohnehin für die Erstellung des Sicherheitsberichts zu erarbeiten. Für die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten ist es meist sinnvoll, eine getrennte Zusammenstellung der erforderlichen Informationen den Behörden vorzulegen. Folgende Informationen sollten enthalten sein:

1. Örtliche Lage
 - a) Lageplan mit besonderer Kennzeichnung der sicherheitsrelevanten Anlagenteile, die durch die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten gefährdet sein können
 - b) Abstände der Anlagen untereinander
 - c) Infrastruktureinrichtungen, wie z. B. Ver- und Entsorgungssysteme oder Sozialeinrichtungen
 - d) Darstellung der Zufahrtswege im Lageplan
2. Angaben über die in den gefährdeten Anlagenteilen gehandhabten Stoffe
 - a) Informationen über Art und Menge der vorhandenen Stoffe
 - b) Angaben über physikalische und toxikologische Eigenschaften der vorhandenen Stoffe
3. Angaben über Infrastruktureinrichtungen
 - a) Örtliche Lage von Löscheinrichtungen
 - b) Angaben zu Auffangräumen für Flüssigkeiten und Löschwasserrückhaltebecken (örtliche Lage, Volumen)
 - c) Absprerrmöglichkeiten von Kanalsystemen
4. Betriebliche Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen von Störfällen
 - a) Technische Maßnahmen, wie z. B.:
 - Absperrsysteme der Kanalisation
 - Rückhaltung von Flüssigkeiten in Auffangräumen
 - Wasserberieselungsanlagen
 - Löschkannonen

b) Organisatorische Maßnahmen

- Auslagerung von gefährlichen Stoffen: Angaben über sichere Evakuierungsziele, dorthin führende Verkehrswege, einzuhaltende Anforderungen für den Gefahrguttransport
- im Falle eines Notfalls einsetzbare Mitarbeiterzahl

Zu Kapitel 16 Dokumentation

Hier wird auf die in der StörfallV verankerten Dokumentationspflichten verwiesen.

Zu Kapitel 17 Erfüllung von weiteren Pflichten der StörfallV

Hierzu zählen

1. Anforderungen an die Instandhaltung von Vorkehrungen (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV)
2. Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)
3. Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (§ 5 Absatz 2 StörfallV)

Zu Abschnitt 17.1 Anforderungen an die Instandhaltung (§ 6 Absatz 1 Nummer 1, 2 StörfallV)

Nach DIN 31051 beinhaltet der Begriff der Instandhaltung folgende Einzelmaßnahmen:

1. Inspektion,
2. Wartung,
3. Instandsetzen,
4. Verbesserung.

In der Praxis hat sich die Entwicklung eines betrieblichen Instandhaltungsmanagements bewährt, das im Einzelnen folgende grundsätzliche Arten von Instandhaltungsvorgaben enthalten sollte:

Vorbeugende Instandhaltung	In-	Die Durchführung der Maßnahmen erfolgt nach einem festen Zeitraster. Es handelt sich hierbei um eine zeitabhängige präventive Maßnahmendurchführung zur Sicherstellung einer maximalen Zuverlässigkeit.
Zustandsabhängige Instandhaltung		Die Durchführung der Maßnahmen erfolgt nach Zustand und Verschleiß.
Wiederkehrende Prüfung		Die ordnungsgemäße Funktion von technischen Maßnahmen ist nach einem festen Zeitraster zu überprüfen. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn z. B. Schneelastsensoren in der Regel außer Betrieb sind.

Verbesserung Erfassung und Auswertung von Defiziten, Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen (ausgenommen wesentliche Änderungen).

Ausgeführte Maßnahmen zur Instandhaltung sind zu dokumentieren.

Der Ansatz wird von der VDI-Richtlinie 6200 „Standsicherheit von Bauwerken – Regelmäßige Überprüfung“ für bauliche Anlagenteile konkretisiert.

Im Einzelnen können beispielhaft folgende Maßnahmen zur Instandhaltung erforderlich sein:

Tabelle 13: Vorschlag für einen Begehungs- und Kontrollplans für die Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten der Autoren dieser Hinweise und Erläuterungen

Grundsätzlich	Gemäß VDI Richtlinie 6200	Intervall
	Begehung / Sichtkontrolle	1 bis 2 Jahre
	Kontrolle durch fachkundige Person	2 bis 3 Jahre
	Kontrolle durch besonders fachkundige Person	6 bis 9 Jahre
Besondere Anlagenteile	Begehung / Kontrolle	
Tragwerk, tragende Anlagenteile	Sichtkontrolle von tragenden Anlagenteilen auf Verformungen oder Beschädigungen	1 x /Jahr
Kolonnen	Sichtkontrolle von Verankerungen	1 x /Jahr
Rohrleitungsbrücken	Sichtkontrolle von Verankerungen	1 x /Jahr
Sicherheitstechnische Einrichtungen	wie <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsventile • Schnellschlussventile • Gaswarnanlagen • Auffangräume • Lösch- und Berieselungseinrichtungen • Beleuchtung • Hinweisschilder • insbesondere zugehörige Rohrleitungen und Kabel • Kontrolle hinsichtlich Einwirkungen von Wind, Schnee- und Eislasten (unabhängig hiervon Prüfung gemäß Regelwerk) 	1 x/Jahr
Begleitheizungen	Funktionskontrolle	1 x/Jahr
auf Dächern oder an Gerüsten befestigte Anlagenteile	Sichtkontrolle der Befestigungen von z. B. <ul style="list-style-type: none"> • Entlüftungsrohren und Abgaskaminen, • Staubfiltern, • Abgaswäschern, • Kühltürmen • Lampen 	2 x /Jahr
Rohrleitungen	Sichtkontrolle der Halterungen und Verschraubungen	2 x /Jahr
Kabeltrassen	Sichtkontrolle der Halterungen	2 x /Jahr

Besondere Anlagenteile	Begehung / Kontrolle	
Abdeckungen	Sichtkontrolle der Befestigung und Verschraubungen von <ul style="list-style-type: none"> • Wetterschutzhauben • Schwimmdächer • Gebäudefassaden • Gitterrosten • sowie weiteren Abdecksystemen 	2 x /Jahr
Mögliche externe Projektil	Sichtkontrolle von Bäumen, Masten, Antennen	2 x /Jahr
Wettermesssysteme	Prüfung und Kalibrierung der Messsysteme	2 x /Jahr
Kommunikationsmittel	Kontrolle der Funktion von mobilen Kommunikationsmitteln	2 x /Jahr

Entsprechend VDI-Richtlinie 6200 soll grundsätzlich eine Begehung und Kontrolle der Vorkehrungen gegen Einwirkungen von Wind, Schnee- und Eislasten mindestens ein Mal jährlich erfolgen. Für bestimmte sicherheitsrelevante Anlagenteile wird von den Autoren dieser Hinweise und Erläuterungen darüberhinausgehend eine Begehung und Kontrolle zwei Mal jährlich, wie vor und nach der Saison für Winterstürme, empfohlen.

Von den genannten Intervallen unabhängig, wird eine Begehung und zumindest Sichtkontrolle auch nach Extremereignissen empfohlen.

Zu Abschnitt 17.2 Informationen und Schulungen der Beschäftigten (§ 6 Absatz 1 Nummer 4 StörfallV)

Die Schulung des Personals (einschließlich des relevanten Personals von Subunternehmen) umfasst im Einzelnen:

1. Information über die Entstehung und Wirkung der Gefahrenquellen / Förderung des Bewusstseins über die Existenz der Gefahrenquellen
 - a) Aufzeigen der Entstehung und Wirkung der Gefahrenquellen, wenn möglich mit historischen Aufnahmen zu Wind-, Schnee- und Eisereignissen
 - b) Erläuterung der Vorkehrungen gegen die Gefahrenquellen und ihrer Grenzen
 - c) Darstellung der gefährdeten Teile des Betriebsbereiches
 - d) Erläuterungen zu den Schutzeinrichtungen
 - e) Erläuterungen der Informationsquellen (betriebseigene Sensoren, Unwetterwarndienste usw.)
 - f) Erläuterung der Organisationsstruktur im Fall des Wirksamwerdens der Gefahrenquelle
 - g) Erläuterung der Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen

2. Maßnahmen zur Instandhaltung von Vorkehrungen zum Schutz vor umgebungsbedingten Gefahrenquellen
 - a) Durchführung von jährlichen Übungen
 - b) Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen entsprechend dem betrieblichen Instandhaltungsmanagement
 - c) Prüfung der Funktionstüchtigkeit von Sicherheitssystemen
3. Verhalten vor Wirksamwerden der Gefahrenquelle (ggf. gemäß Alarm- und Gefahrenabwehrplan)
 - a) Beobachtung der Intensitäten der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten
 - b) Einholung von Informationen von meteorologischen Diensten
 - c) Durchführung der betrieblichen Sicherheitsmaßnahmen entsprechend dem Schutzkonzept, wie z. B.
 - Sicherung (Befestigung oder Räumung) von Anlagenteilen und Gebinden sowie Sicherung von temporären Einrichtungen wie Gerüste oder Baustellen (ggf. nur mit Zustimmung des Eigentümers möglich)
 - Vorbereitung von Auffangräumen, Verschließen der Kanalsysteme
 - Vermeidung von Aufenthalt im Freien
 - Abfahren der Produktionsanlagen
 - d) Informationen an die Katastrophenschutzbehörden (z. B. zum Auslagern von Stoffen)
4. Verhalten während des Wirksamwerdens der Gefahrenquelle (ggf. gemäß Alarm- und Gefahrenabwehrplan)
 - a) Beobachtung der betrieblichen Situation mit Lagebeurteilung
 - b) Informationsbeschaffung von Behörden und Internetportalen über die Entwicklung der Wettersituation
 - c) Verhalten entsprechend der Lage
 - d) Durchführung von Notfallmaßnahmen
 - e) Kommunikation mit den zuständigen Katastrophenschutzbehörden
 - f) Entscheidung über weitergehenden Maßnahmen
 - g) Verhalten bei Freisetzung von gefährlichen Stoffen
 - h) Durchführung von innerbetrieblichen Maßnahmen zur Begrenzung von Störfallauswirkungen
 - i) Rückzugslinien und Evakuierung

5. Verhalten nach Abklingen der Gefahrenquelle

- a) Vorgehensweise zur Inspektion des Betriebsbereichs auf Schäden und Stofffreisetzungen
- b) Kriterien für das Hinzuziehen von Experten (Feuerwehr, Statiker)
- c) Sicherung und Beseitigung/Entsorgung von gefährlichen Stoffen im Betriebsbereich (z. B. auf Betriebsflächen oder in Kellerräumen)
- d) Einleitung der Instandsetzung sicherheitsrelevanter Anlagenteile
- e) Schwachstellenanalyse bzgl. der technischen und organisatorischen Maßnahmen

Zu Abschnitt 17.3 Beratung von zuständigen Behörden und Einsatzkräften im Störfall (Beratungspflicht gemäß § 5 Absatz 2 StörfallV)

Der Betreiber hat dafür zu sorgen, dass in einem Störfall die für die Gefahrenabwehr zuständigen Behörden und die Einsatzkräfte unverzüglich, umfassend und sachkundig beraten werden. Dies umfasst insbesondere

1. Informationen zum Schadensfall, wie z. B.:
 - a) Freisetzung von Flüssigkeit aus einem Behälter oder Rohrleitung
 - b) Freisetzung von gasförmigen Stoffen oder festen Stoffen
 - c) Fortreißen von Behältern oder Gebinden mit dem Wind
2. Informationen über Art, Gefährlichkeit und Menge der ausgetretenen Stoffe
3. Informationen zum Emissionsweg (Kanal, Gewässer, Atmosphäre)
4. Informationen zum Verhalten der Stoffe in der Umwelt (z. B. Durchmischung mit Wasser, Ausbreitungsfahne in der Atmosphäre)
5. Abschätzung der Schadstoffkonzentrationen im Verlauf des Emissionspfades
6. Bewertung der Gefährlichkeit der ausgetretenen Stoffe auf Grundlage der abgeschätzten Schadstoffkonzentrationen
7. Beratung der Behörden über die einzuleitenden Maßnahmen im Falle des Austretens von gefährlichen Stoffen, wie z. B. beim Einsatz von Schadstoffbekämpfungsmitteln (z. B. Binde- oder Lösungsmittel)
8. Beratung bei der Beseitigung von Schäden (z. B. bei Bodenkontaminationen)

Dies muss insbesondere alle Informationen umfassen, die die Behörden benötigen, um Informationen zu verbreiten, die es der eventuell betroffenen Öffentlichkeit ermöglichen könnten, Maßnahmen zur Abwendung oder Begrenzung von Schäden zu ergreifen (§10 Absatz 5 Umweltinformationsgesetz).

Abkürzungen:

12. BImSchV	Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Störfall-Verordnung
AGAP	Alarm- und Gefahrenabwehrplan (insbesondere gemäß § 10 StörfallV)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CC 2	Klasse für Schadensfolgen (eines Tragwerksversagens) nach DIN EN 1990 Anhang B mit dem Merkmal: Mittlere Folgen für Menschenleben, beeinträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen
CC 3	Klasse für Schadensfolgen (eines Tragwerksversagens) nach DIN EN 1990 Anhang B mit dem Merkmal: Hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen
cm	Zentimeter
d. h.	das heißt
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN EN	Auf einer Europäischen Norm basierende DIN-Norm
DIN EN /NA	Nationaler Anhang zu einer DIN EN Norm

DSL 2	Überwachungsmaßnahmen bei der Planung (von Tragwerken) nach DIN EN 1990/NA Verstärkte Überwachung: Prüfung durch eine von der Planungsstelle organisatorisch unabhängige Prüfstelle, durch einen Prüfsachverständigen für Bautechnik (Fremdüberwachung)
DSL 3	Überwachungsmaßnahmen bei der Planung (von Tragwerken) nach DIN EN 1990/NA Bauaufsichtliche Überwachung: Prüfung durch die Bauaufsicht oder durch einen Prüfsachverständigen für Bautechnik als hoheitlich beliehener Unternehmer
DWD	Deutscher Wetterdienst
etc.	et cetera
F0, F1, F2, F3, F4, F5	Stärke eines Tornados gemäß der Fujita-Skala
ggf.	gegebenenfalls
GZM	Größte zusammenhängende Masse (vgl.: Abschlussbericht Schadensbegrenzung bei Dennoch-Störfällen – Empfehlungen für Kriterien zur Abgrenzung von Dennoch-Störfällen und für Vorkehrungen zur Begrenzung ihrer Auswirkungen, Störfall- Kommission SFK-GS-26, Bonn 1999)
i. d. R.	In der Regel
IL 2	Überwachungsstufen für die Herstellung und Nutzung nach DIN EN 1990/NA Verstärkte Überwachung: Überwachung der Herstellung durch unabhängige Drittstelle, durch einen Prüfsachverständigen für Bautechnik (Fremdüberwachung)
IL 3	Überwachungsstufen für die Herstellung und Nutzung nach DIN EN 1990/NA Verstärkte und wiederholende Überwachung: Überwachung der Herstellung und Überwachung während der Nutzung durch die Bauaufsicht oder durch einen Prüfsachverständigen für Bautechnik als hoheitlich beliehener Unternehmer
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
ISO	International Organization for Standardization
KAS	Kommission für Anlagensicherheit

KAS-1	„Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)“, Kommission für Anlagensicherheit, Bonn 2006
K _{FI}	Beiwert für Einwirkungen zur Differenzierung der Zuverlässigkeit von Tragwerken gemäß DIN EN 1990 Anhang B
kg/m ²	Kilogramm pro Quadratmeter
kg/m ³	Kilogramm pro Kubikmeter
kN/m ³	Kilonewton pro Kubikmeter
m	Meter
MSR-Einrichtungen	Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen
müNN	Meter über Normal-Null
o. a.	oben angegeben
o. g.	oben genannte(n)
RC 3	Zuverlässigkeitsklasse für Tragwerke nach DIN EN 1990 Anhang B entsprechend der Schadensfolgeklasse CC 3
SRA	Sicherheitsrelevante Anlagenteile (vgl. KAS-1: Abschlussbericht – Arbeitskreis „Richtwerte für sicherheitsrelevante Anlagenteile (SRA) und sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereiches (SRB)“, KAS, Bonn 2006)
SRB	Sicherheitsrelevante Teile eines Betriebsbereichs (vgl. KAS-1)
StörfallV	Störfall-Verordnung – Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
TGL	Technischen Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TRAS	Technische Regel für Anlagensicherheit
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche

v_{\max} Maximale Geschwindigkeit

z. B. zum Beispiel