

Versagens- und Schadensfälle bei Nagelbrett- und Nagelplattenbindern – ein Erfahrungsbericht

B. Dressel

*Ingenieurbüro Prof. Dressel
D-01109 Dresden, Tichystr. 11
E-Mail: info@sv-dressel.de*

S. Kraus

*Ingenieurbüro Kraus + Liedert
D-01187 Dresden, Hübnerstr. 27
E-Mail: info@kraus-liedert.de*

Zusammenfassung

Bei der Auswertung repräsentativer Schadensfälle zeigt sich, dass die Gefährdung der Standsicherheit von Dachkonstruktionen aus Nagelbrett- und Nagelplattenbindern hauptsächlich auf ein Stabilitätsversagen senkrecht zur Binderebene zurückzuführen ist. Ursache dafür sind unzureichende Aussteifungsmaßnahmen in Gebäudelängsrichtung. Neben Fehlern und Mängeln in der Bauausführung treten bereits bei der Planung der stabilisierenden Bauteile systematische Fehler auf, von unzureichender Robustheit über unsichere Annahmen zur aussteifenden Wirkung bis hin zu Verstößen gegen die maßgebenden Bemessungsregeln der DIN 1052. Abschließend werden Empfehlungen für eine ausreichend zuverlässige Ausbildung der Aussteifungskonstruktionen gegeben. Die Verbesserung des Stabilitätsverhaltens des Dachtragwerkes wirkt sich auch günstig auf den Brandschutz aus, da dann nicht mehr zu befürchten ist, dass ein lokales Brandereignis zum Einsturz der gesamten Dachkonstruktion führt.

Abstract

The analysis of representative damages shows, that the failure of roof structures made of nail board and nail plate trusses typically is caused by the loss of stability vertical to the trusses plane. The reasons are insufficient bracing constructions in the length direction. Apart from faults and deficiencies during the construction process several systematic errors already happen in the planning of bracing constructions, e.g. insufficient robustness, uncertain assumptions of bracing effects and paying no attention to the standard rules of DIN 1052. Concluding are given some recommendations for a reliable design of bracing constructions. The improvement of stability behaviour has also a positive effect on the fire protection. It can be expected, that a local fire incident doesn't cause the total collaps of the roof.

1 Einführung

Der jüngste Versagensfall einer Dachkonstruktion aus Nagelplattenbindern in Falkensee (Abb. 1) ist auf Grund seines spektakulären Charakters in der Öffentlichkeit noch weitgehend bekannt. Von den weniger spektakulären Fällen dagegen haben meistens nur die unmittelbar Betroffenen Kenntnis. Es erscheint daher zweckmäßig, einige repräsentative Schadensfälle auszuwerten und Schlussfolgerungen für die Planung und Ausführung sowie ggf. für die Sanierung schlanker Holzbinder zu ziehen.



Abb. 1 Einsturz der Dachkonstruktion einer Kaufhalle in Falkensee im Jahr 2009

Zu den stabilitätsgefährdeten Holzbindern zählen neben den heute viel verwendeten Nagelplattenbindern auch die in den 50-er Jahren in der DDR als Typenprojekt entwickelten Nagelbrettbinder, die in Bestandsbauten häufig zu finden sind.

Bei beiden Binderarten handelt es sich um außerordentlich schlanke Holzkonstruktionen, die nur dann die notwendige Stabilität aufweisen, wenn sie senkrecht zur Binderebene ausreichend ausgesteift sind. Darauf wurde unter anderem in [1] und [2] ausdrücklich hingewiesen. In dem Aufsatz von KOFENT und KREBS in der Bauzeitung des Jahres 1971 [1] wird beispielsweise darauf verwiesen, dass das Typenprojekt Nagelbrettbinder grundsätzlich mit einer Dacheindeckung konzipiert worden war, die den Binderobergurt gegen seitliches Ausweichen aussteift. Vielfach wurde jedoch bei der Bauausführung dagegen verstoßen. Beispielsweise wurden häufig Dacheindeckungen mit Wellasbesttafeln gewählt. Dadurch sind bei diesem Bindertyp eine Vielzahl von Schäden bzw. Versagensfällen aufgetreten. Hinzu kamen Holzfehler (Risse und Äste der 24 mm dicken Bretter), fehlerhafte Nagelverbindungen und bauphysikalische Mängel, die bei den extrem schlanken Bindern zu vielen Schäden führten.

In [2] wurde der Einsturz der Dachkonstruktion des Einkaufsmarktes in Falkensee im Jahr 2009 genauer untersucht. Als maßgebende Ursache des Einsturzes wurde von PRIETZ die unzureichende Längsaussteifung der knickgefährdeten horizontalen Zwischengurte festgestellt. Darüber hinaus gab es jedoch noch eine Vielzahl von Verstößen gegen die Planungsunterlagen und die maßgebenden technischen Regeln.

Im Hinblick auf die erforderliche Robustheit wird im Folgenden kurz auch das Tragverhalten im Brandfall betrachtet. Ein robustes Bauwerk sollte unter anderem die in DIN 1055-100 [3] gestellte Forderung erfüllen, dass das Versagen eines Bauteils nicht zum Versagen der gesamten Tragkonstruktion führt. Wie brandschutztechnische Untersuchungen in [4] jedoch gezeigt haben, ist gerade das nicht gesichert. Trotz eines lokal begrenzten Brandherdes war in mehreren Fällen nach kurzer Zeit der Totaleinsturz der aus Nagelplattenbindern bestehenden Dachkonstruktionen von Markthallen zu beklagen. HELM berichtet in [4], dass allein in Deutschland seit dem Jahr 2000 mindestens 15 Supermarktbrände mit schlagartigem Einsturz des Daches aufgetreten sind. Häufig seien die Einsatzkräfte der Feuerwehr nur durch pures Glück vor schweren oder gar tödlichen Verletzungen bewahrt worden.

Um den vorgegebenen Rahmen nicht zu sprengen, werden im Folgenden nur statisch relevante Fehler, Mängel und Schäden behandelt, die zu einer Gefährdung der Standsicherheit führen. Vielfach handelt es sich dabei um systematische Planungsmängel, von unzureichender Robustheit über unsichere Annahmen zur aussteifenden Wirkung, beispielsweise von Dachlatten und Windrispenbändern, bis hin zu Verstößen gegen die Festlegungen der DIN 1052 ([5] bzw. [6]).

Anhand der Analyse repräsentativer Schadensfälle werden Schlussfolgerungen für die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Robustheit von Nagelbrett- und Nagelplattenbindern gezogen. Zur praktischen Umsetzung werden entsprechende Empfehlungen gegeben, die auch bei Sicherheitsdefiziten von Bestandsbauten angewendet werden können. Auf die zur Zeit bundesweit laufende bauaufsichtliche Überprüfung von Markthallen mit Nagelplattenbindern wird in diesem Zusammenhang verwiesen.

2 Repräsentative Beispiele

Bei den nachfolgenden Beispielen handelt es sich um Versagens- und Schadensfälle, mit denen die Autoren in ihrer Tätigkeit als Prüfenieur bzw. Sachverständiger in der letzten Zeit zu tun hatten. Da hierbei ebenso wie bei dem in [2] ausgewerteten Einsturz in Falkensee systematische Fehler und Mängel zu Tage traten, werden vier typische Fälle vorgestellt, an denen sich die Probleme anschaulich darstellen lassen. Aus Datenschutzgründen werden die Beispiele anonymisiert dargelegt.

2.1 Schadensfall Kaufhalle in Berlin

Die aus Nagelplattenbindern bestehende Dachkonstruktion hat, wie in Abb. 3 ersichtlich, eine Spannweite von 21,85 m. Die 41,25 m lange Halle wird von 34 Bindern im Abstand von 1,25 m überspannt. Außer den in Dachebene liegenden Windverbänden an den Giebeln ist noch ein als Parallelbinder bezeichneter Fachwerkverband in Hallenmitte angeordnet. Zur Rückhängung der Firstpunkte der drei Parallelbinder sind je Dachseite zwei Paar diagonale Windrispenbänder angeordnet.

Zur Aussteifung der 60 mm breiten und 260 mm hohen Binderobergurte stehen nur die auf eine Konterlattung aufgenagelten Dachlatten (60 mm breit, 40 mm hoch) zur Verfügung (Abb. 2). Die im Ursprungsprojekt vorgesehenen Firstpfetten wurden nicht eingebaut.

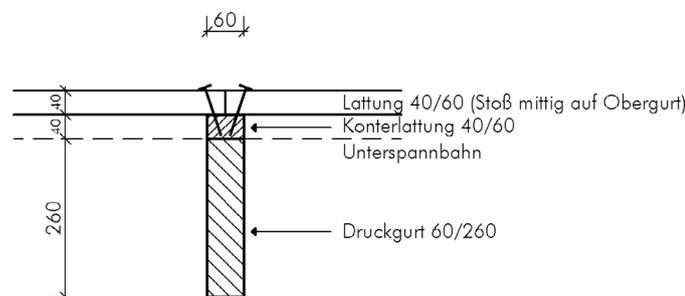


Abb. 2 Anschluss der Dachlatten an den Obergurt

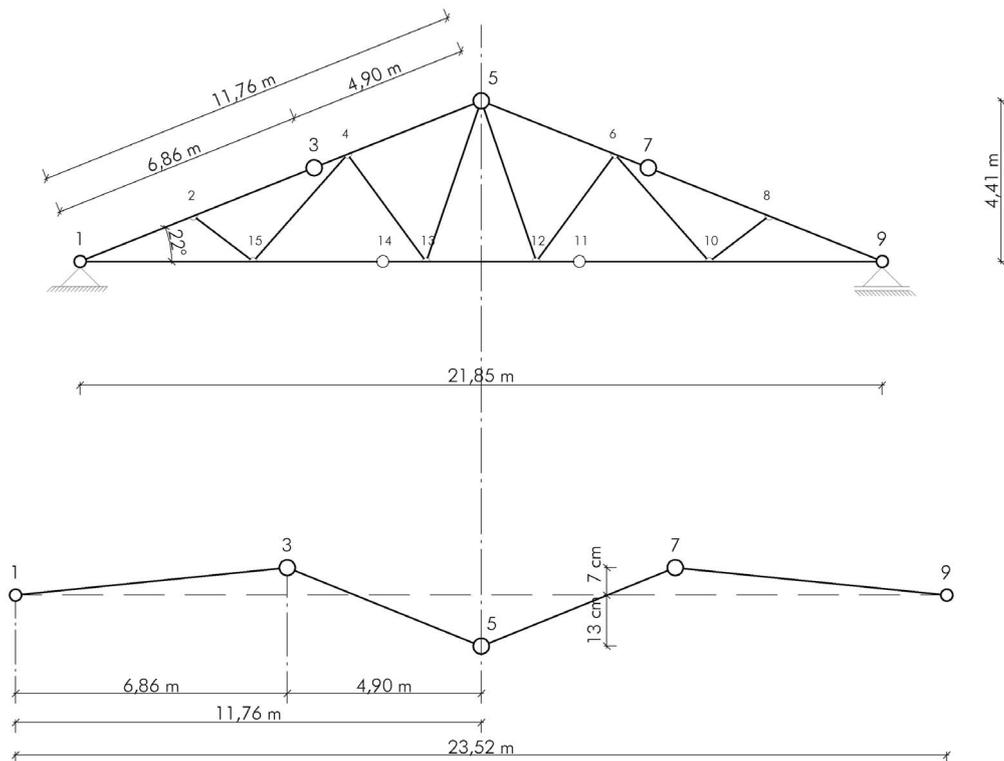


Abb. 3 Schadensfall Kaufhalle in Berlin, Bindergeometrie und Verformungsfigur des Obergurtes

In Spannrichtung stellt der Nagelplattenbinder einen Dreiecksbinder mit teilweise durchlaufenden Ober- und Untergurten dar (Abb. 3). Die Stoßpunkte 3, 5, 7, 11 und 14 wurden, wie alle übrigen Stabverbindungen, mit Nagelplatten so überdeckt, dass in Binderebene eine normgemäße Knotenpunktausbildung erfolgte.

Senkrecht zur Binderebene fehlte allerdings die sowohl in der alten wie in der neuen DIN 1052 ([5] und [6]) geforderte biegesteife Stoßdeckung der Druckstäbe (Knoten 3, 5 und 7). Die biegesteife Stoßdeckung darf nur entfallen, wenn der Knotenpunkt senkrecht zur Binderebene unverschieblich gehalten ist. Das war hier nicht der Fall. Die Nagelplatten sind für die Biegebeanspruchungen senkrecht zur Blechebene nicht zugelassen. Aussteifende Pfetten waren in den genannten Knotenpunkten nicht vorhanden.

Die dargestellte Verformungsfigur des Obergurtes wurde vor Ort aufgenommen und als maßgebende Knickfigur dem Sanierungsprojekt zu Grunde gelegt. Die Größe der Verformungen ist zweifellos darauf zurückzuführen, dass während der Ausbauarbeiten zwei Windrispenbänder beim Einbau von Rauchabzugsschächten als störend herausgeschnitten wurden.

2.2 Schadensfall Kaufhalle mit Dreiecksbindern in Dresden

Auffällig wurde die Dachkonstruktion der Kaufhalle, als sich vermutlich nach einem stärkeren Sturm ein Giebel deutlich sichtbar nach außen wölbte. Bei der Besichtigung des Dachtragwerkes stellte sich heraus, dass der horizontale Druckstab des zweiteiligen Dreieckbinders (Zwischengurt, Stab 3 – 7) seitlich ausgeknickt war. Die Verformung senkrecht zur Binderebene betrug maximal 30 cm (Abb. 4).

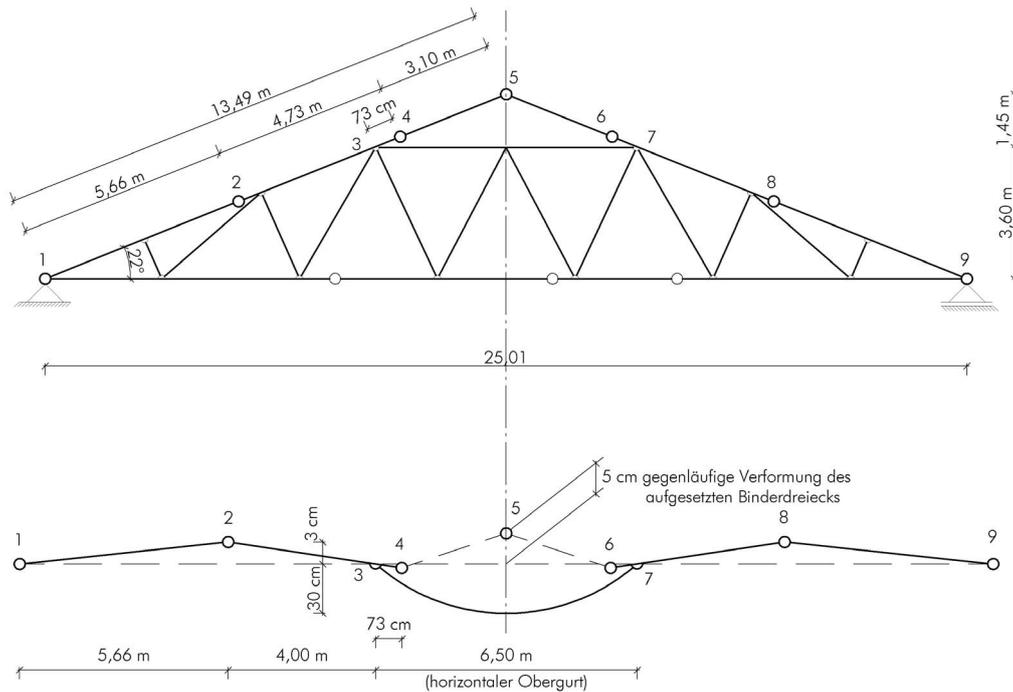


Abb. 4 Schadensfall Kaufhalle in Dresden, Geometrie des Dreieckbinders und Verformungsfigur des Druckgurtes

Auf dem Zwischengurt waren zwar Längshölzer aufgenagelt, es fehlten aber aussteifende Verbände. Das führte dazu, dass sich alle Zwischengurte gleichsinnig verformten und sogar noch die Giebelwände ausgebeult wurden. Die Parallelbinder liefen in Dachebene von der Traufe bis zum First durch. Pfetten zur Aussteifung des Obergurtes waren nicht vorhanden, auch nicht an den Stoßstellen des Druckgurtes. Die Dachlatten waren auf der Konterlattung aufgenagelt.

Da der Zwischengurt beträchtliche Druckkräfte aufwies, führte die seitliche Verformung von maximal 30 cm zu einer starken zusätzlichen Biegebeanspruchung, in deren Ergebnis die Grenztragfähigkeit erreicht wurde und der Bruch der Zwischengurte nur eine Frage der Zeit war. Glücklicherweise kam es nicht wie in Falkensee zum Einsturz.

Auch bei diesem Schadensfall traten an den Stoßstellen des Obergurtes Stabverdrehungen auf (Abb. 4).

2.3 Planungsmängel an Trapezbindern einer Kaufhalle in Dresden

Hier zeigte sich im Obergurt wieder der gleiche Fehler wie bei den beiden vorgenannten Fällen. Der im mittleren Drittel liegende Druckstoß war senkrecht zur Binderebene nicht gesichert, weder durch biegesteife Laschen, noch durch unverschiebliche Pfetten. Im Ergebnis der Prüfung der statischen Berechnung entschied sich der Tragwerksplaner, an den Stoßstellen Pfetten anzuordnen und diese durch Zugdiagonalen an die Traufe zurückzuhängen.

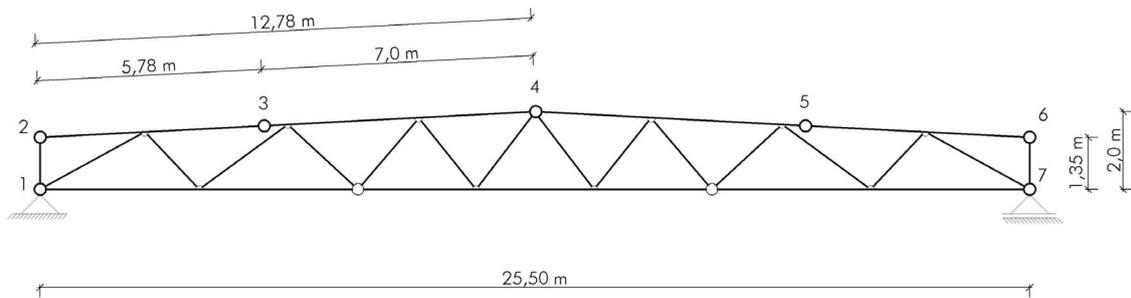


Abb. 5 Geometrie des Trapezbinders einer Kaufhalle in Dresden

In Abb. 5 ist die Geometrie des Trapezbinders dargestellt. Die Dachdeckung besteht aus einer Brettschalung mit Bitumeneindeckung. Die Pfetten (beidseitig des Knotens 4 je eine Firstpfette, jeweils eine Pfette an den Stoßstellen der Knoten 3 und 5) wurden an der Unterseite des Obergurtes befestigt.

Zur Bemessung der stabilisierenden Bauteile (Parallelbinder, Pfetten, Zugdiagonalen, Längsverband in der Achse der Traufe) wurden alle nach DIN 1052 [6] erforderlichen Ersatzimperfektionen angesetzt:

- die Vorkrümmungen der einzelnen, durch Stöße getrennten Stäbe des Obergurtes und
- die Vorverdrehungen der einzelnen Stäbe jeweils an den Stößen bzw. Stabenden.

Wenn die ungünstigsten Vorverdrehungen angesetzt werden, ähnelt die Knickfigur der Verformungsfigur des Dreiecksbinders der Berliner Kaufhalle (Abb. 3).

2.4 Schadensfall Nagelbrettbinder in Freiberg

Bei mehreren Institutsgebäuden in Freiberg besteht die Dachkonstruktion aus Nagelbrettbindern des in Abb. 6 gezeigten Bindertyps. Die seitliche Verformung des Obergurtes der Parallelbinder war zum Teil so groß, dass die Dachlatten am verblendeten Ortgang sichtbar wurden. Die Horizontalverschiebung betrug maximal 20 cm. Die Binderobergurte waren jedoch teilweise regelrecht ausgeknickt.

Die wenigen, zum großen Teil schadhaften Längsaussteifungen aus gekreuzten Diagonalen in Ebene der Fachwerkpfosten waren nicht in der Lage, die Obergurte ausreichend zu stabilisieren. Um einen drohenden Einsturz zu verhindern, wurde am kritischen Dach zunächst die Ziegeleindeckung durch eine leichte, provisorische Eindeckung mit Wellbitumenpappe ersetzt.

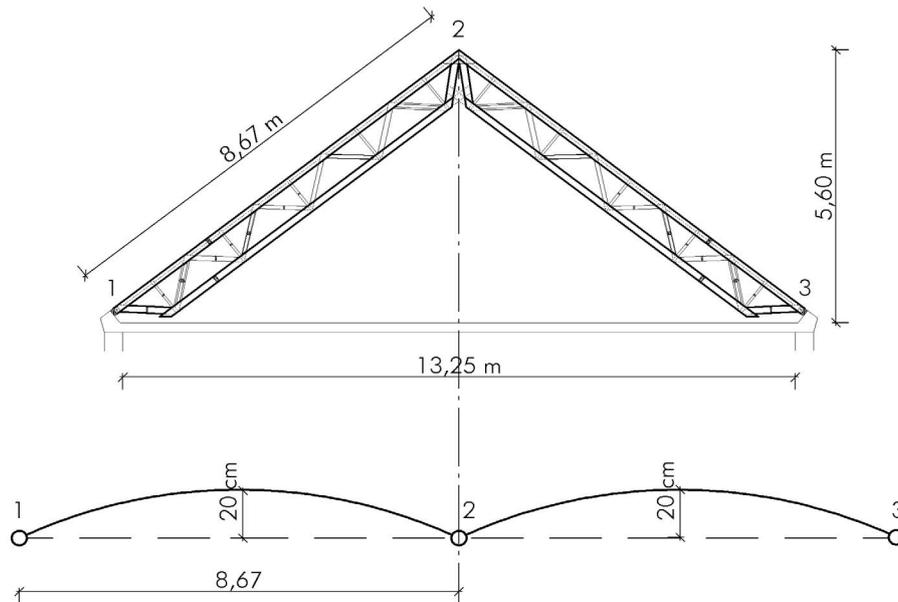


Abb. 6 Schadensfall Nagelbrettbinder in Freiberg, Bindergeometrie und Verformungsfigur des Obergurtes



Abb. 7 Ausknicken des Obergurtes des Nagelbrettbinders

Da es nicht möglich war, die beispielhaft in Abb. 7 gezeigte große seitliche Verschiebung der Obergurte zurück zu ziehen, wurde entschieden, die Dachkonstruktion des Gebäudes mit den größten Verformungen abbrechen. In den übrigen Fällen, in denen die seitliche Auslenkung kleiner war, wurde eine Sanierung der Dachstühle durchgeführt.

Dabei wurden, ähnlich wie bei den Nagelplattenbindern, zunächst in Dachebene in angemessenem Abstand Parallelbinder aus Stahlfachwerken eingebaut, welche die Stabilisierungskräfte mehrerer Obergurte aufnehmen und in die Trauf- und Firstpunkte ableiten können. Zur Abtragung der Stabilisierungskräfte im First wurde ein aus Firstpfette und lotrechten Stielen mit Diagonalauskreuzungen bestehender mehrfeldriger Rahmen ausgebildet, der die Stabilisierungskräfte in die vorhandene Stahlbetondachdecke einleitet.



Abb. 8 Stabilisierung des Firstpunktes durch Firstpfette, Stiele und Diagonalauskreuzungen

3 Versagensursachen

Neben vielen handwerklichen Fehlern und Mängeln, über die unter anderem auch in [1], [2] und [7] berichtet wurde, spielen Fehler in der Planung, insbesondere in der Tragwerksplanung, die entscheidende Rolle beim Stabilitätsversagen von Nagelbrett- und Nagelplattenbindern. Sowohl beim Einsturz der Kaufhalle in Falkensee als auch bei den hier aufgeführten Beispielen ist die unzureichende Aussteifung der Tragkonstruktion senkrecht zur Binderebene ursächlich für die Gefährdung der Standsicherheit.

Werden die Versagensursachen differenzierter betrachtet, dann stellen sich folgende Schwerpunkte heraus.

3.1 Unzureichende Robustheit

In vielen Fällen ist der Abstand der die Obergurte stabilisierenden Parallelbinder zu groß, bei der Kaufhalle in Berlin z.B. ca. 20 m. Dazwischen erfolgt die Abstützung des Obergurtes durch Dachlatten. Die Diagonalauskreuzung mit teilweise durchhängenden Windrispenbändern war bei dieser Kaufhalle nur an den 3 Parallelbindern und den Traufpunkten befestigt. Die geplanten Firstpfetten fehlten. Das heißt, die im Firstpunkt der Dreieckbinder auftretenden Abtriebskräfte können nicht aufgenommen werden, da die auf Konterlattung genagelten Dachlatten dazu nicht in der Lage sind. Das gesamte System der Längsaussteifung ist viel zu nachgiebig. Wenn dann noch, wie bei der unter Pkt. 2.1 behandelten Kaufhalle geschehen, von Handwerkern der Ausbaugewerke einzelne Windrispenbänder herausgeschnitten werden, dann ist Einsturzgefahr gegeben.

Ausreichende Robustheit setzt in Gebäudelängsrichtung ausreichend steife, stabilisierende Bauteile voraus, die über entsprechende Redundanz verfügen, so dass bei Ausfall eines

Bauteils nicht das Gesamtsystem versagt. Das gilt sowohl für Nagelplatten- als auch für Nagelbrettbinder.

3.2 Unsichere Annahmen bei der Tragwerksplanung

Bereits in der Planungsphase werden hinsichtlich der aussteifenden Wirkung der Dachlatten und der Windrispenbänder unsichere Annahmen getroffen. Hinsichtlich der Biegesteifigkeit der Nagelplatten des Druckstoßes im Obergurt senkrecht zur Binderebene wird häufig sogar gegen eindeutige Festlegungen der DIN 1052 verstoßen.

Die Befestigung der Dachlatten auf der Konterlattung, wie sie beispielhaft in [2] und [7] dokumentiert und in Abb. 2 dargestellt ist, widerspricht den Anforderungen an normgemäße Nagelverbindungen. Details der Tragwerksplanung für eine normkonforme Befestigung, die in der Bauausführung aufwändig, aber von grundlegender Bedeutung ist, gibt es in der Regel nicht.

Bei den Windrispenbändern aus Stahlblech ist sehr häufig festzustellen, dass sie nicht gespannt sind, sondern durchhängen, so dass die stabilisierende Wirkung erst nach beträchtlichen Verschiebungen der Tragkonstruktion eintritt. Darüber hinaus liegen sie normalerweise im Kaltdachbereich und sind erheblichen Temperaturänderungen mit entsprechenden Längenänderungen ausgesetzt. LISSNER, RUG und STEINMETZ haben in [7] bei einem 18 m langen Rispenband eine Längenänderung von ca. 33 mm ermittelt. Dabei ist der Durchhang noch gar nicht berücksichtigt.

Die im Allgemeinen zur Bemessung der Parallelbinder angesetzte parabelförmige Vorkrümmung der Binderobergurte von der Traufe bis zum First setzt eine über die Stablänge konstante Biegesteifigkeit senkrecht zur Binderebene voraus. Die Verbindung des bei weiter gespannten Bindern üblichen Druckstoßes allein mit Nagelplatten ist dazu völlig unzureichend. Nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind die Nagelplatten nicht für Biegebeanspruchungen senkrecht zur Blechebene geeignet. Eine derartige Ausbildung stellt senkrecht zur Binderebene ein Gelenk dar und widerspricht den Festlegungen der DIN 1052 zur Ausbildung eines Druckstoßes.

3.3 Fehlerhafte Nachweise der Stabilisierung in Gebäudelängsrichtung

Im Allgemeinen wird die Bemessung der Nagelplattenbinder mit entsprechenden Rechenprogrammen durchgeführt, die auch sämtliche Nagelplattenverbindungen ausweisen. Senkrecht zur Binderebene werden die Parallelbinder mit den anteiligen Windkräften und einer konstanten Ersatzlast, die aus der Vorkrümmung resultiert, belastet und bemessen. Die Auflagerkraft der Parallelbinder wird der Bemessung der Windrispenbänder zugrunde gelegt.

Bei diesem Verfahren fehlen entscheidende Teile der Stabilisierungskräfte. Wird vorausgesetzt, dass der Druckstoß biegesteif ausgebildet ist, sind gemäß DIN 1052 folgende Ersatzimperfektionen und daraus resultierende Stabilisierungskräfte anzusetzen:

1. Vorkrümmung des Obergurtes mit konstanter Ersatzlast
2. Vorverdrehung des Obergurtes entsprechend dem Ansatz einer Auslenkung des Firstpunktes um ein Maß, das sich aus der Schrägstellung des Binders um $\varphi = 1/70$ ergibt (vgl. [7]), mit daraus resultierender Ersatzlast im First aus
 - dem Anteil der äußeren Belastung des Obergurtes und
 - dem Anteil aus der Übertragung der Druckkraft des Obergurtes im Firstgelenk.

Ist der Druckstoß nicht biegesteif, kommen die Einflüsse aus Stabvorverdrehung an dem dann als Gelenk zu betrachtenden Stoß hinzu.

3.4 Ausführungsmängel

Neben den aus einer ungenügenden Planung resultierenden Schadensursachen ist oftmals auch eine mangelhafte Bauausführung bzw. Bauleitung die Ursache für eine ungenügende Standsicherheit von Dachtragwerken aus Nagelbrett- bzw. Nagelplattenbindern.

Zum einen sei diesbezüglich auf Ausführungsfehler verwiesen, die auf eine unzureichende Koordinierung aufeinander folgender und z.T. von unterschiedlichen Firmen zu erbringenden Arbeiten an der Dachkonstruktion zurückzuführen sind. Hier können bei Dachkonstruktionen aus Nagelbrettbindern die Verwendung von Dacheindeckungen mit Wellasbesttafeln anstelle von Dacheindeckungen, die den Binderobergurt gegen seitliches Ausweichen aussteifen, genannt werden (vgl. Pkt. 1). Vom Grundsatz her ähnlich zu bewerten sind ungenügende Anschlüsse von Dachlatten an die Binderobergurte beim Einsatz von Nagelplattenbindern (vgl. Pkt. 2.1 und Abb. 2). Letztendlich beruhen diese Unzulänglichkeiten jedoch auf ungenauen Planungsvorgaben. Weiterhin können hier während der Ausbauarbeiten als störend herausgeschnittene Windrispenbänder als Folge einer ungenügenden Kontrolle der Bauausführung angeführt werden.

Zum anderen können Ausführungsmängel auch auf einer unsachgemäßen Montage der Binder beruhen. Durch die geringe Steifigkeit von Nagelplattenbindern in Binderquerrichtung können unplanmäßige Beanspruchungen während der Montage zu einer Vorschädigung der mit Nagelplatten ausgeführten Binderknoten führen.

Weiterhin können bauphysikalische Mängel, z.B. Durchfeuchtungen, bei den extrem schlanken Bindern zu Verformungen und Schäden führen.

4 Sanierungsmaßnahmen

Aus der Analyse der hier behandelten Schadensfälle lassen sich die notwendigen Sanierungsmaßnahmen zur Ertüchtigung von derart betroffenen Dachkonstruktionen ableiten.

Die aufgetretenen Schäden sind im Wesentlichen auf eine fehlende oder unzureichende räumliche Aussteifung der Tragwerke zurückzuführen. Deshalb ist es notwendig, im Zuge der Sanierung neue oder zusätzliche Stabilisierungsverbände in den auszusteifenden Gurtebenen der Dachkonstruktion einzubauen (Abb. 8). Hinweise zur konstruktiven Gestaltung von solchen zusätzlichen Stabilisierungselementen zur Ertüchtigung gibt z.B. BROX in [8].

Eine Rückstellung der eingetretenen Systemverformungen kann erfolgen, wenn dies ohne Eintragung größerer Zwangskräfte in die Dachkonstruktion möglich ist. Auch eine teilweise Rückstellung kann ggf. sinnvoll sein.

Bei der Bemessung der Aussteifungskonstruktionen sind die Abtriebskräfte infolge der verbleibenden Tragwerksverformungen senkrecht zu den Bindern zu berücksichtigen. Hinzu kommen die Stabilisierungskräfte infolge der äußeren Belastungen senkrecht zur Binderebene (anteilige Windkräfte) und aus allen maßgebenden Ersatzimperfectionen (vgl. Pkt. 3.3). Die Ableitung aller Stabilisierungskräfte in die tragenden bzw. lotrecht aussteifenden Bauteile des Gebäudes (Dachdecke, Ringanker, Stützen, Wandscheiben) ist zu gewährleisten und entsprechend nachzuweisen.

Die Sanierungsmaßnahmen sind ingenieurmäßig zu planen. Eine Kontrolle der Bauausführung durch den Tragwerksplaner, den Fachbauleiter und den Prüfenieur ist notwendig und unerlässlich.

5 Schlussfolgerungen

Nachfolgend werden aus den behandelten Beispielen von Schäden bzw. Mängeln an Dachkonstruktionen aus Nagelbrett- und Nagelplattenbindern Schlussfolgerungen für die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Robustheit von derartigen Konstruktionen gezogen. Es werden aus Sicht der Verfasser geeignete Empfehlungen zur praktischen Umsetzung gegeben, die auch bei Sicherheitsdefiziten von Bestandsbauten angewendet werden können.

In [9] weist DRESSEL auf die Notwendigkeit eines vereinheitlichten risikobezogenen Sicherheitskonzeptes zur vorbeugenden Gefahrenabwehr im Bauordnungsrecht hin. Das darin vorgestellte Konzept beruht auf drei Gefährungsklassen mit der Einstufung von Bauwerken hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials und den möglichen Versagensfolgen. Die vorgestellten Gefährungsklassen stellen auf die in der europäischen Norm EN 1990 enthaltenen Schadensfolge- bzw. Zuverlässigkeitsklassen ab. Gemäß [9] können die hier auch behandelten Einkaufsmärkte mit Nagelplattenbindern der Gefährungsklasse 2 (mittleres Gefährdungspotential) zugeordnet werden, für die in dem Beitrag eine bauaufsichtliche Prüfung der Standsicherheit und des Brandschutzes gefordert wird.

Nach Maßgabe des derzeit geltenden Kriterienkataloges zur Sächsischen Bauordnung sind die Standsicherheitsnachweise für Dachkonstruktionen aus Nagelplattenbindern ebenfalls prüfpflichtig, da es sich um Tragwerke mit aussteifenden Verbänden handelt, für die ein Nachweis der Stabilisierung zu führen ist. Das gilt im gleichen Maß auch für die Sanierung von Konstruktionen aus Nagelbrettbindern. Insofern sind die statische Berechnung und die Konstruktionszeichnungen für den Neubau und die ggf. erforderlichen Sanierungsmaßnahmen der hier behandelten Dachkonstruktionen zu prüfen. Die bautechnische Prüfung umfasst auch die Überwachung der Bauausführung bezüglich des geprüften Standsicherheitsnachweises durch den Prüfenieur.

In der ingenieurmäßigen Planung ist der Nachweis der Tragglieder zur Längsaussteifung einschließlich aller Anschlüsse nach DIN 1052 unter Ansatz der maßgebenden Ersatzimperfectionen zu führen. Die Druckstöße im Obergurt senkrecht zur Binderebene müssen entweder gemäß DIN 1052 biegesteif ausgebildet, z.B. durch Beilage von Laschen, oder ausreichend ausgesteift werden. Nachgiebige Aussteifungen, wie nicht ausreichend steife

Windrispen oder Dachlatten auf Konterlattung, müssen vermieden werden. Die Kontrolle der Bauausführung durch den Entwurfsverfasser, den Tragwerksplaner und den Prüfenieur für Standsicherheit ist unabdingbar.

Folgende Empfehlungen für die Verbesserung der Zuverlässigkeit und Robustheit von Dachkonstruktionen aus Nagelbrett- und Nagelplattenbindern können in Auswertung der behandelten Beispiele gegeben werden:

- biegesteife Ausbildung der Druckstöße senkrecht zur Binderebene mit seitlichen Laschen über den Nagelplatten,
- Längsaussteifung der Binderobergurte durch Pfetten (Empfehlung für den Pfettenabstand: 1 m, $\lambda \leq 60$) und durch in der Dachebene liegende Verbände (Parallelbinder) in einem angemessenem Abstand (in Anlehnung an Anlage E in DIN 1052, die einen Abstand von 10 m vorgibt, wird aller 10 Binder ein Parallelbinder als sinnvoll erachtet),
- Rückhängung der Firstpfetten durch Diagonalen aus zug- und druckfesten Bohlen (Verbesserung der Redundanz),
- Aussteifung der knickgefährdeten Druckstäbe durch Längsstäbe und Fachwerkverbände in der Achse der Parallelbinder,
- Verbände in Untergurtebene in der Achse der Parallelbinder zur Abtragung der horizontalen Aussteifungskräfte.

Bei einem sachgemäßen Ansatz der Ersatzimperfektionen (Vorkrümmung, Vorverdrehungen) ist es ausreichend, das Dachtragwerk in zwei Schritten mittels ebener Fachwerke zu berechnen:

1. Berechnung und Nachweis der Binder für die abzutragenden Belastungen in der Binderebene und
2. Berechnung und Nachweis der Aussteifungselemente in Gebäudelängsrichtung für die Belastungen senkrecht zur Binderebene sowie für die Beanspruchungen aus den Ersatzimperfektionen und aus ggf. verbleibenden Systemverformungen.

Eine Berechnung als räumliches System ist nicht zwingend notwendig.

Es sind vollständige Ausführungszeichnungen für die gesamte Holzkonstruktion einschließlich aller stabilisierenden Bauteile und Verbindungsmittel zu erstellen, auf deren Grundlage die Bauausführung erfolgen muss. Bei den Dächern aus Nagelbrett- bzw. Nagelplattenbindern handelt es sich um Tragkonstruktionen des Ingenieurholzbaus.

Eine gemäß den o.g. Empfehlungen ausgeführte und der DIN 1052 entsprechende Tragkonstruktion aus Nagelplattenbindern erfüllt die gestellten Anforderungen an die Robustheit. Das gilt insbesondere auch im Brandfall, da ein lokales Brandereignis dann auch nur lokale Folgen für das Tragwerk hat.

Abschließend kann festgestellt werden, dass bei einer normgemäßen Ausbildung von Dachkonstruktionen aus Nagelbrett- und Nagelplattenbindern die gestellten Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Robustheit von Tragwerken erfüllt werden und Tragkonstruktionen aus Nagelplattenbindern eine sehr wirtschaftliche Bauweise darstellen.

Literatur

- [1] Kofent, W.; Krebs, G. *Kontrolle und Sanierung von Dachkonstruktionen aus Holz*, Bauzeitung, 1971, Heft 3, 147–150
- [2] Prietz, F. *Einsturz der Dachkonstruktion eines Einkaufsmarktes bei Berlin*, Bautechnik, 2010, Heft 4, 228–233
- [3] DIN 1055-100: *Einwirkungen auf Tragwerke Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*, März 2001
- [4] Helm, J. *Schwachpunkt Nagelplatten-Dachkonstruktionen*, Deutsche Feuerwehrzeitung Brandschutz, 2007, Heft 4, 273–280
- [5] DIN 1052: *Holzbauwerke, Teil 1: Berechnung und Ausführung*, April 1988
- [6] DIN 1052: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken*, Dezember 2008
- [7] Lißner, K.; Rug, W.; Steinmetz, D. *DIN 1052:2008-12 Neue Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerkene, Teile 5(1) und 5(2): Aussteifung von Holztragwerken*, Bautechnik, 2009, Heft 7, 388–403 und Heft 8, 490–505
- [8] Brox, M. *Stabilitätsgefährdung von Dächern mit weitgespannten Nagelbrett- und Nagelplattenbindern*, Symposium zu Gefährdungen der Standsicherheit und des Brandschutzes, Ingenieurbüro für Bautechnik Prof. Dressel & Partner, 2007, 55–60
- [9] Dressel, B. *Die Rolle des Prüflingenieurs im System der vorbeugenden Gefahrenabwehr*, Stahlbau, 2009, Heft 3, 214–220