Stützenversagen bei der Kita [1]
- eine vereinfachte Darstellung -

Jochen Ebel

10. Februar 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkung

Die Stabilität eines Neubaus muß sowohl bei ungünstigen Beanspruchungen als auch über dessen Lebensdauer garantiert werden. Dazu wird eine Statik aufgestellt, um die Bauteile für diese Forderungen ausreichend zu dimensionieren. In Einzelfällen ist die Stabilität eines vorhandenen Baus zu überprüfen - wie in dem vorliegenden Fall.

2. Konstruktionsbeschreibung

Abb. 1 zeigt die Gesamtansicht der Kita. Die tragende Konstruktion der Kita besteht aus Stützen und Querverbindungen, ähnlich einem Skelett. Deswegen spricht man auch von einem Skelettbau. Ein Skelett ähnlich der Kita zeigt Abb. 2. Die Gesamtheit von Stütze und waagerechtem Holzbalken werden von den Statikern als Halbrahmen bezeichnet - siehe Abb. 8.

Diese Skelettkonstruktion soll die übrige Konstruktion der Kita genau so halten, wie die Knochen des menschlichen Skeletts den Rest des menschlichen Körpers halten. Wenn Knochen oder Knochenverbindungen überlastet werden, brechen sie und deren stützende Funktion ist weg. Genau dasselbe passiert, falls die Stützen der Kita versagen. Die Frage ist: kann das passieren oder nicht? Für Einige ist die Frage schon beantwortet: Da die Kita noch steht, kann das nicht passieren. Aber ist so ein Standpunkt wirklich ausreichend?

Abbildung 1: Kita-Gesamtansicht

Abbildung 2: Skelett - ähnlich dem Kitaskelett

3. Begriffe

In exakten statischen Berechnungen tauchen Begriffe auf, die vielen nicht geläufig sind. Deswegen werden hier Begriffe vermieden, wie Knicklänge oder Angaben zur Verformung der Stütze selbst.

Aber auch ohne Verwendung dieser Begriffe kann verständlich gemacht werden (und sogar nachgewiesen werden), daß die Stütze bei entsprechenden Wetterbedingungen versagen muß. Obwohl der Sachverhalt des Versagens der Stütze nach entsprechender Erklärung sehr einfach ist, scheint dieser Sachverhalt sogar viele Fachleute anfangs zu überfordern und deswegen wird die Aussage des Autors, daß diese Gefahr besteht, angezweifelt. Um diese Zweifel auszuräumen, wird versucht, den Vorgang des Versagens verständlich darzustellen. Vielleicht sind viele Fachleute nur deswegen überfordert, weil dieser Sachverhalt so selten auftritt, bzw. so selten relevant ist, wie in diesem Fall.

Wenn man die Zweifel ausräumen will, reicht ja die Behauptung, daß es passieren kann, nicht aus - es muß nachvollziehbar rechnerisch nachgewiesen werden. (**Und zwar bevor der Fall tatsächlich eintritt**.) Um das zu machen, werden nur allgemein bekannte Begriffe verwendet. Dazu gehören auch zwei Begriffe, die fast allen prinzipiell bekannt sind, aber selten gebraucht werden. Deshalb werden diese Begriffe (Drehmoment und Drehfedersteifigkeit) erläutert:

- Viele wissen vom Radwechsel, daß man eine festsitzende Radmutter mit einem großen Radmutternschlüssel lösen muß. Wenn die Länge nicht ausreicht wird eine Verlängerung aufgesteckt und bei gleicher Kraft an dem langen Hebel löst sich die Mutter dann doch. Wenn man Kraft und Hebellänge multipliziert, so ist das Ergebnis der Multiplikation im zweiten Falle wegen des längeren Hebels größer. Dieses Ergebnis der Multiplikation wird als **Drehmoment** (Formelbuchstabe: M) bezeichnet [2], S. 25 oder [3], S. 32. Noch eine Anmerkung dazu: Wenn am Hebel nicht in Drehrichtung gedrückt wird, sondern in Richtung zum Drehpunkt (was in der Praxis niemand machen wird), wird gar nichts passieren - das Drehmoment ist Null. Wenn schräg gedrückt wird ist das Drehmoment zwischen den beiden Extremwerten[1)].

- Wenn ein dünner und ein dicker Baum durch Drücken in gleicher Höhe um den gleichen Winkel gekippt werden (besser Drehwinkel), so wird beim dicken Baum eine größere Kraft (d.h. ein größeres Drehmoment) gebraucht. Die Konstante die den Zusammenhang zwischen dem erforderlichen Drehmoment M und dem gewählten Kippwinkel (Drehwinkel) φ beschreibt, wird **Drehfedersteifigkeit** genannt und wird in der Regel mit dem Buchstaben C bezeichnet.

Der Autor hält die weiteren Erklärung für verständlicher, wenn der Text mit einigen Gleichungen ergänzt wird. Zum einfachen Nachschlagen für den Fall der Fälle sind die verwendeten Formelbuchstaben mit ihren Werten im Anhang aufgelistet.

Für Moment und Drehfedersteifigkeit z.B. sehen die Gleichungen wie folgt aus:

$$\text{Moment} = \text{Kraft} * \text{Hebellänge} = H * h = M$$
$$\text{Drehfedersteifigkeit} * \text{Drehwinkel} = C * \varphi = M = \text{Moment (ebenfalls)}$$

1) den Wert des Drehmoments erhält man dabei, wenn als Hebellänge der kleinste Abstand zwischen Drehpunkt (hier die Radmutter) und Kraftrichtung genommen wird (siehe Abb. 3). Bei der Kita z.B. ist der kleinste Abstand die Verschiebung des oberen Endes der Stützen.

4. Schneelast

Die mögliche Schneelast wird in der DIN 1055 aufgeführt. Nach der Karte liegt Borkheide in der Schneelastzone III und die Kita liegt nicht höher als 200 m über NN (höchste Erhebung des Fläming 201 m über NN). Die Dachfläche hat eine Neigung von unter 30° und deswegen ist nach Punkt 3.1.1. eine Regelschneelast nach Punkt 4. anzunehmen. Nach Punkt 4. ist der Wert aus Tabelle 2 abzulesen und ist $0,75\ \frac{kN}{m^2}$ 2).

Nun ist der Anteil der Dachfläche zu bestimmen, dessen Schneelast von einer Stütze getragen wird. Die äußeren Stützen stehen auf einem Radius von 22,05 m. Dazu kommen 0,44 m Dachüberstand, so daß der äußere Dachradius 22,49 m ist. Die Innenstützen stehen auf einem Radius von ca. 10 m. Daraus ergibt sich die angegeben Länge des Balkens [1] S. 109 von 11,59 m. Die gesamte Schneelast verteilt sich auf beide Stützen, so das für eine Stütze nur die halbe Länge (5,80 m) zu berücksichtigen ist, d.h. also nur bis zu einem Radius von 16,25 m ($= 22,05\ m - 5,80\ m$). Der Vollkreis wird gleichmäßig in 16 Sektoren geteilt. In jedem Sektor steht eine Stütze, so daß die Fläche F für jede Stütze nur $\frac{1}{16}$ des gesamten Kreisringes ist (Differenz zweier Kreisflächen). Damit wird:

$$F = \pi * \frac{R^2 - r^2}{16} = \pi * \frac{22,49^2 - 16,25^2}{16}\ m^2 = 47,4\ m^2$$

Diese Fläche ist mit der Schneelast zu multiplizieren um die Schneebelastung auf die einzelne Stütze zu erhalten:

$$N_S = 47,4\ m^2 * 0,75\ \frac{kN}{m^2} = 35,5\ kN$$

Da in der Statik für die Gesamtlast auf die Stütze 121 kN angegeben ist ([1] S. 120), ist die Stützenbelastung ohne Schnee 85 kN.

5. Stützenbeschreibung

Nun werden die Stützen selbst betrachtet. Da alle Stützen ähnlich sind, reicht es, eine Stütze zu betrachten. Die Befestigungen der Stütze oben und unten sind zwar ziemlich fest, aber infolge der Art der Befestigung trotzdem elastisch beweglich. Diese Elastizitäten wirken jeweils als Drehfeder. Die untere Drehfeder (Steifigkeit C_u) ist die Verbindung Holzstütze ./. Stützenschuh (der aus Stahl ist) mittels Stabdübel (ebenfalls aus Stahl - Abb. 5). Genau genommen ist an jeder Stütze ist ein Stützenschuhpaar, das Paar steht sich an den Schmalseiten der Stützen gegenüber.

Der Stützenschuh besteht aus einer Fußplatte, an die weitere Stahlteile angeschweißt sind (Abb. 4):

- jeweils nach unten ein I(Doppel-T)-Profil, welches im Fundament einbetoniert ist (Schubdübel - Abb. 7). Diese Verbindung ist ausreichend starr.

2) kN bzw. N ist die gesetzliche Maßeinheit der Kraft. Früher war als Krafteinheit das kp üblich. Umrechnung etwa 10 N = 1 kp und das ist das Gewicht von 1 l Wasser. $0,75\ \frac{kN}{m^2}$ entspricht also etwa einer Wasserhöhe von 75 mm. Eis bzw. Schnee ist höher, bei lockerem Schnee sind das etwa 25 cm.

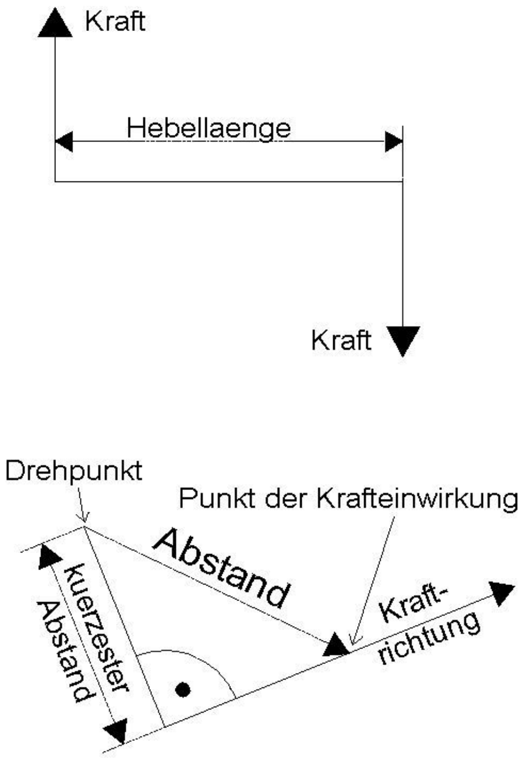


Abbildung 3: Drehmoment

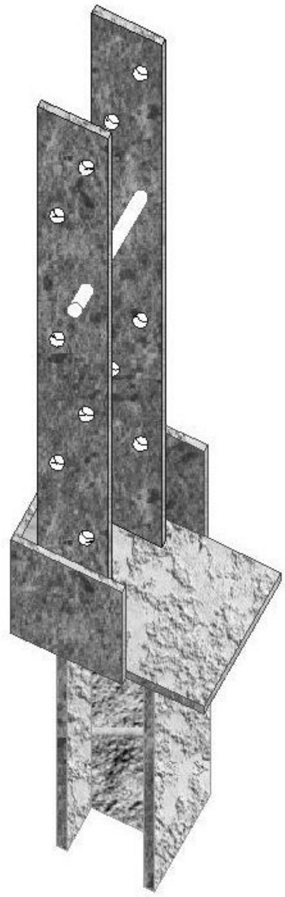


Abbildung 4: Stützenschuh mit einem Dübel

- nach oben zwei Laschen (auch Schwerter genannt), die in die Schlitze der Holzstütze reichen
- eine U-förmige Einfassung.

Die kraftschlüssige Verbindung Lasche ./. Holzstütze geschieht durch Stabdübel aus Stahl, die durch Bohrungen von Lasche zu Lasche durch das Holz der Stütze gehen (siehe Abb. 6).

Oben ist an die Stütze ein waagerechter Holzbalken angeleimt (Stütze und waagerechten Holzbalken bezeichnen die Statiker als Halbrahmen - siehe Abb. 8), der zur Mitte der Kita zeigt. Dieser waagerechte Holzbalken wirkt als obere Drehfeder (Steifigkeit C_o).

6. Kräfte auf die Stütze

Welche Kräfte wirken nun auf die Stütze ein:

1. die Last aus dem Eigengewicht (der Eigenlast) des Daches und dem - bei entsprechender Witterung - Gewicht von Schnee und Eis darauf.

Abbildung 5: untere Befestigung der Stütze

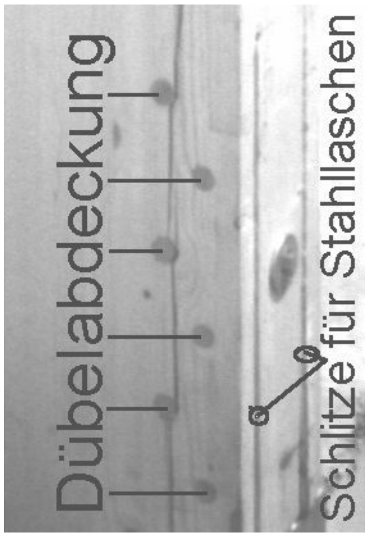


Abbildung 6: Dübel und Schwertschlitze

Abbildung 7: Einzelheit vor Pflasterung

Abbildung 8: Halbrahmen als Teil des Skeletts

2. die Horizontalkraft, wenn Wind gegen die Kita bläst und die Stützen aus ihrer senkrechten Lage um einen Winkel φ verdreht.

7. Gleichgewicht

Nun wird das Gleichgewicht am Fußdrehpunkt betrachtet. Jeder wird einsehen, daß der Winddruck H (der am oberen Ende der Stütze einwirkt) die Stütze aus ihrer Solllage etwas kippt (verdreht) - man denke nur daran, wie sich die Bäume bei Wind verbiegen. Bei einer kleinen Auslenkung aus der senkrechten Lage geht die Richtung der Krafteinwirkung N der Dachlasten nicht mehr direkt in den Stützenfuß, sondern gering daneben[3] - und das hat auch ein Drehmoment zur Folge (siehe

3) Verschiebung $= h * \varphi$

Seite 3 Fußnote[1]). Dieses Drehmoment addiert sich zu dem Drehmoment aus der Windkraft.

Die beiden Befestigungen (oben und unten) sollen verhindern, daß die einwirkenden Drehmomente die Stütze kippen. Je steifer die Befestigungen sind, um so kleiner ist der Kippwinkel. Dabei wirken die beiden Befestigungen als Drehfedern: Die obere Drehfeder vermindert das Drehmoment und die Steifigkeit der unteren Drehfeder erzeugt das Gegenmoment. Gleichungsmäßig sieht das so aus:

Drehmoment der unteren Feder =
Moment aus Wind+
Moment aus Auflast und Verschiebung des oberen Stützendes−
Drehmoment der oberen Feder

Oder das Gleiche mit Formelbuchstaben:

$$C_u * \varphi = H * h + h * \varphi * N - C_o * \varphi$$

Diese Gleichung ist nach φ umzustellen und ergibt:

$$\varphi = \frac{H * h}{C_u + C_o - h * N}$$

Wenn der Nenner (der Ausdruck unter dem Bruchstrich) in vorstehender Gleichung im Vergleich zum Zähler sehr groß und positiv wäre, wäre der Drehwinkel φ klein und somit die Stabilität der Stütze und damit der Kita gewährleistet. Die Statik des Ing.-Büros Hansen nimmt für C_u unzutreffenderweise den Wert unendlich an[4] - und berücksichtigt demzufolge den wirklichen Wert nicht. Mit dieser unzutreffenden Annahme würde φ zu 0 - und nicht weiter interessieren.

8. Stützenversagen

Leider hat C_u einen erheblich kleineren Wert. Dadurch ist der Nenner der vorigen Formel kleiner und die Kippung wird größer. Bei der Lastangabe in Hansen-Statik [1] S. 120 wird er sogar negativ[5]:

$$C_u + C_o - h * N = 173\ kNm + 69\ kNm - 2,70\ m * 121\ kN = -84,7\ kNm$$

Bei normaler Witterung ist die Last N, die sich aus der Konstruktion und der Schneelast zusammensetzt, erheblich kleiner. Bis zu einem Wert von

$$\text{Aus} \qquad C_u + C_o - h * N = 0 \qquad \text{folgt} \qquad N = \frac{C_u + C_o}{h} = 89,6...\ kN$$

4) Der Statikbegriff dafür ist Kragstütze

5) bei der ausführlichen Rechnung mit Winkelfunktionen gibt es zwar keine negativen Werte, aber trotzdem unzulässig große Verdrehungen - auch bei H = 0:

$$C_u * \varphi = H * h * \cos(\varphi) + h * \sin(\varphi) * N - C_o * \varphi \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\sin(\varphi)}{\varphi} = \frac{C_u + C_o - H * h * \cos(\varphi)}{h * N} \leq 0,72$$

$$Aus\ \frac{\sin(\varphi)}{\varphi} \leq 0,72 \qquad folgt \qquad \varphi \geq 1,35\ oder\ 77^o$$

ist der Nenner positiv. Die Last ist fast immer ausreichend gering, weil selten Schnee auf dem Dach liegt. Ohne Schnee wird die Stütze nur mit 85 kN (siehe Abschnitt 4) belastet - also ist ohne Schnee die Stabilität der Kita gewährleistet und hat auch noch Reserven für etwas Schnee, besonders wenn noch die ungeplante Aussteifung durch die Fensterflächen berücksichtigt wird.

Allerdings wird aber mit zunehmender Schneelast der Nenner immer kleiner und schließlich Null. Wenn so viel Schnee auf dem Dach liegt, daß der Nenner Null wird (und das ist der Fall noch bevor Schneemengen erreicht werden, die auch in unserem Gebiet auftreten können), reicht der kleinste Windhauch um die Stütze auf beliebig große Winkel zu drehen, d.h. die Stütze knickt um[6]. Es wird aber zu Recht verlangt, daß die Konstruktion auch bei noch mehr Schnee nicht versagt - nämlich, daß auch die von Hansen [1] genannten 121 kN erreicht werden dürfen.

Bei einer Belastung, bei welcher der Nenner rechnerisch negativ wird, hat dementsprechend die Konstruktion schon längst versagt.

9. Die Drehfedersteifigkeit

Wenn die untere Drehfeder ganz steif wäre, interessiert die Steifigkeit der oberen Drehfeder nicht und wurde deshalb auch nicht berechnet. Aber die Steifigkeit der oberen Feder zu berechnen ist kein Problem und wurde schon im Schreiben vom 23.08.99 genannt und wird hier wiederholt:

9.1. obere Drehfeder

Für die Drehfedersteifigkeit eines Balkens ist in [4], S. 4.38 folgende Formel angegeben:

$$C_o = \frac{G * I_T}{l}$$

I_T wird nach [4], S. 431 bestimmt. Dazu ist zunächst das Verhältnis $\frac{d}{b} = 4$ zu bestimmen. Das ergibt eine Hilfskonstante $\alpha = 0,281$. Damit wird I_T (Torsionsmoment):

$$I_T = \alpha * b^3 * d = 0,281 * (0,2\ m)^3 * 0,8\ m = 0,0018\ m^4$$

Damit wird C_o bei $l = 13\ m$:

$$C_o = \frac{G * I_T}{l} = \frac{500000 * 0,0018}{13}\ kNm = 69\ kNm$$

9.2. untere Drehfeder

Die Probleme gibt es mit der unteren Drehfeder. Für diese ungewöhnliche Konstruktion gibt es keine Hinweise zur Berechnung der Steifigkeit in der DIN. Es gibt zwei Möglichkeiten diese Steifigkeit zu ermitteln:

1. die Messung dieser Steifigkeit

6) In der Schule: teile nie durch Null

2. die Berechnung der Steifigkeit

Für die erste Möglichkeit wird die Messung von 1999 verwendet[7] (verteilte Aktennotiz vom 23.08.99). Zum Erhalt der Steifigkeit wird die Gleichung:

$$\varphi = \frac{H * h}{C_u + C_o - h * N}$$

umgestellt (statt h wird L geschrieben, weil nicht in der Höhe h sondern der Höhe L - 1,20 m - gedrückt wurde und statt H wird K geschrieben, weil die Kraft eben nicht H, sondern die Muskelkraft K - 330 N[8] - war). Außerdem ist zu berücksichtigen, daß sich das Moment auf 5 Stützen verteilte (die Dachkonstruktion des I. und II. Bauabschnitts war noch nicht verbunden), die wegen der verbindenden Balken (Querriegel) gemeinsam bewegt wurden. Auf jede Stütze entfällt damit $\frac{1}{5}$. Für φ ergibt sich 0,00033 ($\frac{1\ mm}{3\ m}$). Außerdem war das Dach noch nicht vorhanden, so daß die Auflast N sehr klein war - sie wird der Einfachheit halber gleich 0 angenommen:

$$C_u = \frac{K * L}{\varphi} - C_o = \frac{0,33\ kN * 1,20\ m}{5 * 0,00033} - 69\ kNm = 169\ kNm$$

10. Federsteifigkeit - Abschätzung nach DIN 1052-2

Die zweite Möglichkeit der Bestimmung der Drehfedersteifigkeit ist als grobe Abschätzung oder mit höherer Mathematik möglich. Die genaue Rechnung ergibt 173 kNm.

Dieser Wert liegt im Wert der nachfolgenden sehr groben Abschätzung nach der Holzbau-DIN 1052.

Auf Seite 125 der Hansen-Statik sind die zulässigen Belastungen der Dübel nach der DIN 1052-2 als zweischnittige Verbindung[9] mit einer Wirkungslänge von 0,13 m[10] für das Mittelholz als BSH[11] nach den Gleichungen (3) und (4) in der genannten DIN in Verbindung mit Tabelle 10 und Punkt 5.10 zu 29,3 kN zutreffend berechnet worden.

10.1. Holzverformung

Zur Veranschaulischung der Kräfte dienen die Abbildungen 9 und 10. Wirkt auf Holz eine Kraft ein, so verformt sich das Holz. Umgedreht zeigt eine Verformung des Holzes, das eine Kraft einwirkt. Um so größer die Verformung, um so größer die Kraft. Eine Anmerkung zur Darstellung: In den Abb. sind jeweils zwei Dübel gezeichnet. Der rechteckförmig gezeichnete Dübel wäre die Dübellage, wenn der Dübel nicht durch die Laschen fixiert wäre. Durch die Fixierung mittels der Laschen müssen sich Holz und Dübel in der angegebene Weise verformen.

7) zur Meßqualität siehe Ende Abschnitt 9
8) in der Aktennotiz steht 500 kN, eine Überprüfung mit einer Waage zeigte, daß ich nur ca. 330 N stark war
9) Die Zahl der Schnitte gibt die Anzahl Scherfugen zwischen verbundenen Teilen an, wo der Dübel abgeschert werden könnte
10) Abstand der beiden Stahllaschen, durch die jeder Dübel geht
11) Brettschichtholz - verleimte Bretter

Bei der Druckbelastung biegen sich Dübel und Holz bogenförmig (Abb. 9). Bei kurzen Dübeln verformt sich der Dübel selbst wenig und das Holz wird an jeder Stelle des wirkenden Querschnitts fast gleich verformt, weshalb die zulässige Belastung proportional der Dübellänge ist (Gleichung (3) der DIN 1052-2). Bei längeren Dübeln verformt sich durch die Holzkräfte der Dübel selbst im Bereich der Mitte in der Art, daß dort kaum noch eine Verformung des Holzes stattfindet. Deshalb trägt der mittlere Bereich nichts mehr zur zulässigen Belastung bei und die zulässige Belastung ist von der Dübellänge unabhängig (Gleichung (4) der DIN 1052-2).

Die maximal zulässige Belastung ist erreicht, wenn die maximale Verformung 1,4 mm erreicht (DIN 1052-2 Tabelle 13 Zeile 4). Erreicht wird die maximale Verformung des Holzes unmittelbar neben den Laschen.

Abbildung 9: Druck am Dübel

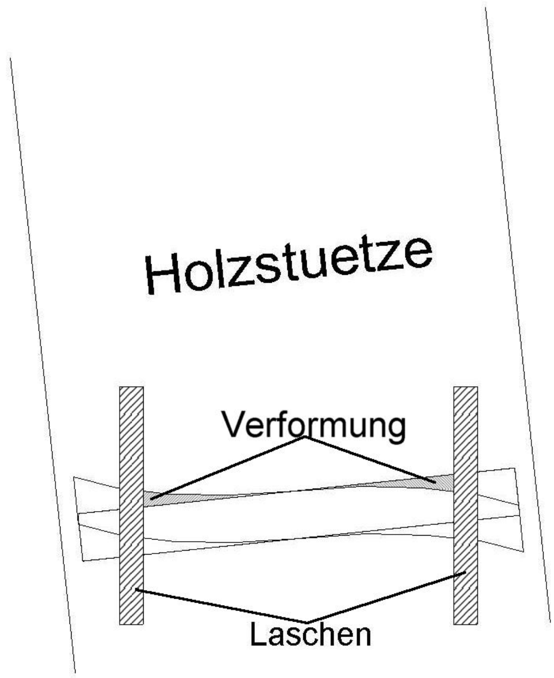


Abbildung 10: Knickung am Dübel

Wird das Mittelholz gekippt (gedreht), so entsteht eine ganz andere Verformung des Holzes durch den Dübel (siehe Abb. 10). Zwar ist die maximale Verformung weiterhin an den Laschen, aber an der einen Lasche nach oben, an der anderen Lasche nach unten. In der Mitte ist - unabhängig von der Dübellänge - fast keine Verformung. Bei kurzen Dübeln ist die Holzverformung längs des Dübels annähernd linear verlaufend.

Noch etwas ist zu sehen. Trotz gleicher maximaler Verformung des Holzes bei Druck und Kippung ist die Verformungsfläche bei Kippung geringer. Das läßt Rückschlüsse auf die Kräfte zu.

10.2. Abschätzung der Steifigkeit

Zur Abschätzung wird bei Kippung zunächst (unzutreffend) eine relativ gleichmäßige Holzverformung bis zur Holzmitte angenommen, wie sie bei einer einschnittigen Verbindung vorliegen würde. Damit ist die Wirkungsbreite nicht mehr der ganze Laschenabstand, sondern nur noch der Halbe, d.h. 6,5 cm[12)]. Für die einschnittige Verbindung ergibt die Gleichung (3) der DIN 1052-2:

$$zulN_{st,b} = 4,0 * 20 * 65 * 1,25 * 1,15N = 7475N = 7,5\ kN$$

Nach der DIN 1052-2 Tabelle 13 Zeile 4 ist bei der Maximalbelastung eine Verformung des Holzes um 1,4 mm zulässig. Aus diesen Angaben folgen Drehmoment (Kraft mal Hebelarm) und Verdrehung und aus Beiden eine Drehfedersteifigkeit:

$$M = 7,5\ kN * 0,13\ m = 0,98\ kNm$$

$$\varphi = \frac{1,4\ mm * 2}{13cm} = \frac{0,0014\ m * 2}{0,13\ m} = 0,022$$

$$C = \frac{M}{\varphi} = \frac{0,98\ kNm}{0,022} = 44\ kNm$$

Da 14 Dübel vorhanden sind (2 Laschenpaare mit je 7 Dübeln pro Stütze) wäre die Gesamtsteifigkeit 14 mal so hoch, also 616 kNm ($14 * 44\ kNm$).

Diese Steifigkeit ist eindeutig zu hoch abgeschätzt. Oben stand ja schon, daß die Verformung des Holzes zunächst zu groß angenommen wurde. Bei der Bestimmung von $zulN_{st,b}$ wurde so getan, als ob ab der Mitte sofort die volle Verformung einsetzt, wie es bei einer tatsächlich einschnittigen Verbindung auf Druck (nicht Kippung) wäre. Tatsächlich ist aber die Verformung von der Mitte linear ansteigend bis zum Maximalwert, der am Ort der Laschen erreicht wird. Die mittlere Kraft einer linear ansteigenden Kraftkurve ist aber nur die Hälfte der Maximalkraft. Dazu kommt, daß ein Moment immer das Produkt aus Kraft mal Abstand des Kraftpaares ist. Die Verformungskräfte im Bereich der Mitte haben aber einen sehr kleinen Abstand und tragen deshalb wenig zum Moment bei. Eine Rechnung unter dieser Voraussetzung liefert deshalb statt des Faktors $\frac{1}{2}$ nur den Faktor $\frac{1}{3}$[13)]

Damit werden aus den zu großen 616 kNm nur noch 205 kNm. Eine genaue Rechnung[14)] ergibt noch geringere Verformungen und damit wird der Faktor noch kleiner, so daß sich schließlich 173 kNm ergeben. Die hohe Übereinstimmung von Messung (169 kNm) und Rechnung (173 kNm) muß bei den Unsicherheiten (Holzqualität usw.) zwar als Zufall angesehen werden - aber die tatsächliche Steifigkeit liegt zumindest nahe bei 171 kNm.

Anmerkung: Nur wenige Stützen haben je Laschenpaar 7 Dübel. Viele Stützen haben weniger Dübel, so daß die Steifigkeit geringer als hier angegeben ist.

12) Ganz abgesehen davon, daß die zulässige Gesamtkraft der zweischnittigen Verbindung mit etwa gleicher Verformung über die ganze Breite jeweils etwa zur Hälfte von jedem Schnitt aufgebracht wird

13) für Mathematiker: linear ansteigend ist proportional x, multipliziert mit linear ansteigendem Abstand liefert noch ein x, also insgesamt x^2 und das Integral über x^2 liefert $\frac{x^3}{3}$. - Daher stammt die 3.

14) für Mathematiker: es muß eine Differentialgleichung der Verformung aufgestellt werden

11. Andere Berechnungen

Die Rechnungen, die nachwiesen, daß in der Statik [1] ein Fehler vorlag, wollte das Ingenieurbüro Hansen dadurch widerlegen, daß im Gesamtskelett ausreichend aussteifende Bestandteile vorhanden wären und nur in der Statik [1] vergessen worden wären. Deshalb wurde die gesamte Konstruktion als Einheit in einen Rechner eingegeben. Nach Beseitigung von Eingabefehlern ergab sich das zu erwartende Ergebnis: Die Konstruktion versagt bei Belastungen, die im Gebiet von Borkheide bei ungünstigen Wetterverhältnissen auftreten können. Diese Wetterverhältnisse sind in der geltenden DIN 1055 genannt. Um die Stabilität der Kita auch bei ungünstigen Wetterverhältnissen zu gewährleisten wurde eine aussteifende Schrägstütze vereinbart, die die Bewegung des oberen Stützenendes verhindert.

12. Neue DIN 1052 [10]

Im August 2004 ist einen neue DIN 1052 [10] erschienen, die die DIN 1052-1 [5] und DIN 1052-2 [6] ersetzt.

Tabelle G.7 — Charakteristischer Wert R_k pro Scherfuge für Seitenteile aus dünnem Stahlblech ($t \leq 0{,}5 \cdot d$) (der kleinere Wert ist maßgebend)

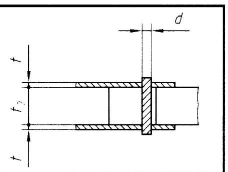
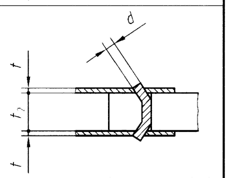
$R_k = 0{,}5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$ $\gamma_M = 1{,}3$	(G.19)	
$R_k = \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}$ $\gamma_M = 1{,}1$	(G.20)	

Abbildung 11: Kopie der Tabelle G.7 der DIN [10]

Abb. 11 zeigt einen Ausschnitt aus Seite 213 der DIN. Die Gleichungen (G.19) und (G.20) der neuen DIN 1052 ersetzen die Gleichungen (3) und (4) der alten DIN 1052-2. Die Rechenwerte und deren Definition unterscheiden sich etwas von der alten DIN. Mit den ähnlichsten Werten zwischen alter und neuer DIN ergibt sich Rk zu 14,7 kN. Da der Paßdübel über 2 Scherfugen reicht (in Abb. 11 oben und unten, Abb. 9 links und rechts), ist die Gesamtkraft 29,4 kN ($= 2 * 14,7\ kN$). Das unterscheidet sich wenig von den 29,3 kN der alten DIN. Lediglich die Nachgiebigkeit wäre größer. Es wären mit ca. 2 mm (neue DIN) zu rechnen statt der alten ca. 1,4 mm.

Aber die ausführlicheren Zeichnungen in der neuen DIN ermöglichen einen Vergleich. Man betrachte die Verformungen des Dübels in den Abb. 11 und 9. Dabei ist Abb. 11 stärker schematisiert.

Aber - es ist auch in der neuen DIN keine Betrachtung der ungewöhnlichen Beanspruchung der Dübelanordnung. Da aber auch bei der Zugbeanspruchung fast gleiche Ergebnisse sind[15)] ist keine

15) denn alte und neue DIN fassen „nur“ den realen Sachverhalt in vereinfachte mathematische Form

Neuberechnung der Dübelsteifigkeit erforderlich.

13. Fazit

Selbst die grobe Abschätzung hat gezeigt, daß ab einer bestimmten Schneehöhe auf dem Dach (die aber noch deutlich unterhalb der Schneelasten, die die DIN für unser Gebiet angibt) die Stützen zwangsläufig versagen müssen, da keine aussteifenden Konstruktionselemente[16)] vorhanden sind, die eine Verschiebung der oberen Enden der Stützen verhindern könnten. Die Fensterflächen setzen natürlich der Verformung auch Widerstand entgegen, so daß das Versagen der Stützen erst bei etwas höheren Schneelasten (aber noch unterhalb der DIN-Schneelasten) zu erwarten ist. Mit oder vor dem Versagen der Stützen kommt es auch zum Zerplatzen der Fensterflächen. Schon allein die zerplatzenden Fensterscheiben können gefährliche Schnittverletzungen verursachen.

Da die Fensterflächen nicht für die Aufgabe der Stabilisierung der Konstruktion ausgelegt sind, kann nichts über die mögliche Grenzbelastung ausgesagt werden, so daß bei größerer Schneebelastung akute Lebensgefahr für Personen besteht, die sich zu diesem Zeitpunkt in der Kita aufhalten.

Literatur

[1] Hansen, A.: Statische Berechnung - Kindertagesstätte Beelitzer Str. 62 - 64, 14822 Borkheide

[2] Batram, B. u.a.: Tabellenbuch Bau. 11. Auflage. Handwerk und Technik. Hamburg 1997

[3] Mende, D. u.a.: Physik - Gleichungen und Tabellen. Fachbuchverlag Leipzig 1970

[4] Schneider, K.-J.: Bautabellen für Ingenieure. Werner Verlag Gmbh & C. KG. Düsseldorf 2001

[5] DIN 1052-1: Holzbauwerke - Berechnung und Ausführung. Beuth Verlag GmbH, Berlin April 1988

[6] DIN 1052-2: Holzbauwerke - Mechanische Verbindungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin April 1988

[7] DIN 1055-4: Einwirkungen auf Tragwerke - Windlasten. Beuth Verlag GmbH, Berlin August 1986

[8] DIN 1055-5: Einwirkungen auf Tragwerke - Schnee- und Eislasten. Beuth Verlag GmbH, Berlin Juni 1975

[9] DIN 1055-100: Einwirkungen auf Tragwerke - Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Beuth Verlag GmbH, Berlin März 2001.

16) auch das Dach kann diese Aufgabe nicht übernehmen, da zwar das Dach als Ganzes in sich Starr ist, sich aber als Ganzes verdrehen kann

[10] DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Beuth Verlag GmbH, Berlin August 2004

A. Anhang: Formelbuchstaben und deren Werte

R :	äußerer Dachradius - 22,49 m siehe Abschnitt 4
r :	innerer Dachradius - 16,25 m siehe Abschnitt 4
RF :	Dachflächenanteil für eine Stütze - $47,4\ m^2$ siehe Abschnitt 4
N :	Kraft - speziell die Kraft von oben (senkrechte Last - in der Hansen-Statik [1] S. 120: 121 kN)
N_S :	Schneelast - 35,5 kN siehe Abschnitt 4
N_o :	Belastung der Stütze ohne Schnee 85 kN
H :	Horizontalkraft, z.B. die Windwirkung (in der Hansen-Statik [1] S. 120: 6 kN)
φ :	Drehwinkel, z.B. die Verdrehung der Stütze aus ihrer senkrechten Lage u.a. durch die horizontale Windkraft
h :	Höhe der Stütze - (in der Hansen-Statik [1] S. 120: 2,70 m)
M :	Drehmoment
G :	Schubmodul - 500 $\frac{MN}{m^2}$ aus [4], Tabelle 1 bzw. in der Hansen-Statik [1] S. 110: 500000 $\frac{kN}{m^2}$
b :	Balkenbreite (in der Hansen-Statik [1] S. 109: 20 cm)
d :	Balkenhöhe (in der Hansen-Statik [1] S. 109: 80 cm)
l :	Balkenlänge (in der Hansen-Statik [1] S. 110, Stab 1: 11,59 m) andere Balken bis zu 18 m, mehrere $\approx 13\ m$
C_o :	Drehfedersteifigkeit obere Feder - 69 kNm siehe Abschnitt 9
C_u :	Drehfedersteifigkeit untere Feder - 173 kNm siehe Abschnitt 9