



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Stabilität der Aussenwände, Einwirkung von Dachlast und Wind

[urn:nbn:de:hbz:466:1-76966](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-76966)

Der Schub, der in solcher Art durch die oberen Teile der Seitengewölbe übertragen wird, trifft die oberen Teile der Aussenwand und muss durch deren Standfähigkeit u. s. w. genügend sicher aufgenommen werden können (siehe vorn S. 340).

Will man sich auf die Steifigkeit des Gewölbes allein nicht verlassen, so bleibt wieder eine beschwerende oder versteifende Uebermauerung des Gurtes übrig (Fig. 353, 354).

Die Beschwerung des Gurtes kann sehr weit getrieben werden, da es für die Stabilität des Pfeilers günstig ist, dass der Schub des tiefer liegenden Seitenschiffes grösser ist als der des höheren Mittelschiffes; je tiefer das Seitengewölbe herabrückt, um so grösser ist sein Schub zu machen. Es ist in den meisten Fällen sehr wohl angingig, eine volle Querwand auf den Gurt zu setzen, die bis zum Scheitel oder darüber hinaus geführt wird, sie kann horizontal abgeglichen sein oder sich schräg gegen das Mittelschiff erheben. Wird sie zu schwer, so ist sie zu durchbrechen (Fig. 888 u. 355).

Der Verlauf des Druckes ist etwa derselbe, wie er in Fig. 401 für eine einfache Basilika angegeben ist. Wäre der Gesamtschub des Seitenschiffes gerade gleich dem des Mittelschiffes, so würde der Druck im Pfeiler in der Höhe zwischen *I* und *II* senkrecht herablaufen; würde der Seitenschub kleiner sein, so würde der Druck sich nach aussen schieben; würde er grösser sein, so würde der Druck, wie in der Zeichnung, nach innen gelenkt werden. Letzteres führt zu einer mehr zentralen Lage des Druckes unten im Pfeiler und ist daher gewöhnlich am günstigsten. Die Gurtübermauerung wird sich als zu gross erweisen, wenn selbst bei Annahme einer steilen Druckkurve in ihr (vgl. *II* in Fig. 871) der Pfeilerdruck unten zu sehr gegen das Mittelschiff rückt; sie wird zu leicht sein, wenn selbst bei flacher Lage der Drucklinie (vgl. *III* in Fig. 871) der Pfeilerdruck zu sehr gegen das Seitenschiff sich bewegt. Als ungefähren Anhalt kann man annehmen, dass die Grösse der Schübe sich umgekehrt verhalten soll, wie ihr Höhenabstand über dem Sockel. Diese Regel trifft etwa zu, wenn sich die Lasten alle möglichst zentral über dem Pfeiler aufbauen, durch ein Ueberkragen der Lasten nach rechts oder links wird die Stabilität wesentlich beeinflusst, und zwar im günstigsten Sinne, wenn die Massen sich möglichst dem Druckverlauf anschmiegen.

Bei Schubschwankungen durch Wind u. s. f. (s. Näheres nachstehend) muss für die Grenzfälle immer noch Gleichgewicht möglich sein, es ist dieses noch als vorhanden zu betrachten, wenn irgend eine, je nach Bedürfnis flachere oder steilere Drucklinie einen ungezwungenen Ausgleich der Kräfte oberhalb des Mittelpfeilers in soweit ermöglicht, dass letzterer nicht über Gebühr in Mitleidenschaft gezogen wird; gerade für diese Fälle bewähren sich nicht zu schwere aber steife Gurtübermauerungen oder bei grösseren Höhen Strebebögen.

Stabilität der Aussenwände, Einwirkung von Dachlast und Wind.

Die Standfähigkeit der Wand mit ihren Strebepfeilern muss zunächst genügen bei alleiniger Wirkung der Wölbschübe und sodann auch bei gleichzeitigem Hinzutreten von Dachlast und Wind. Zunächst sei der Wölbschub in Betracht gezogen.

Es ist vorhin gezeigt, wie die Stärken von Mittelpfeiler und Aussenwand in gewissen Grenzen für einander eintreten können. Ist der Mittelpfeiler so stark, dass er den Unterschied der Wölbschübe selbst aufnehmen kann, so wird der Aussenwand nur der Schub des Seitenschiffes zufallen; übernimmt der Mittelpfeiler einen Teil der Schubdifferenz, so wird der Rest der Aussenwand zugeführt werden, deren Schub dann zwischen dem des Seitenschiffes und dem des Mittelschiffes steht. Wird dagegen der Mittelpfeiler ganz von Schüben frei gehalten, so wird bei richtiger Konstruktion die Wand einen Schub zu erwarten haben, der etwa dem des Mittelschiffes entspricht, und zwar wird er bei gestelzten Seitengewölben im allgemeinen etwas geringer ausfallen (s. S. 372), während er bei tief ansetzenden Seitengewölben den Schub des Mittelschiffes übertreffen kann (s. oben S. 373).

Standfähigkeit gegen Wölldruck.

Weiter oben war für die in Fig. 394—395 dargestellte Hallenkirche für zwei verschiedene Fälle der Mittelpfeiler berechnet, der nach den dortigen Annahmen keine Dachlast, sondern nur Scheidebögen und Gewölbe zu tragen hatte. Im ersten Falle (Beispiel I, S. 154) war der Pfeiler gerade stark genug, den Unterschied der beiden Wölbschübe zu tragen, es würde daher für die Aussenwand nur der Schub des Seitenschiffes in Rechnung zu stellen sein. Im zweiten Fall (Beispiel II, S. 157), wo es sich darum handelte, den Mittelpfeiler auf ein minimales Mass zu bringen, erhielt die Aussenwand einen Schub ($H_2 + H_3 = 2160 + 1186$), der fast genau dem Schub des Mittelschiffes entsprach ($H_1 = 3240$). Für diese Schübe würde die Aussenwand genau so zu berechnen sein, wie die Aussenwand der einschiffigen Kirche (vgl. Beispiel S. 336).

Bezüglich der Dachlast und auch des Windschubes, der innig mit jener zusammenhängt, ist zunächst die Auflagerung der Dachbalken von grossem Wert. Am klarsten liegen die Verhältnisse, wenn das Dachgerüst nur auf den Aussenwänden ruht, während die Pfeiler bez. die Scheidebögen ganz leer ausgehen. Man kann dann zwar auch nicht völlig bestimmt angeben, wie sich der horizontale Winddruck auf die beiden Auflager verteilt, immerhin ist aber das Gesamtbild viel durchsichtiger, als wenn eine grössere Zahl von Auflagerpunkten vorliegt.

Wenn das Dach gleichzeitig auf den Aussenwänden und den Mittelpfeilern ruht, so würde der ungünstigste Fall entstehen, wenn ein durchgehender, das ganze Dachgerüst tragender Balken fehlt und ausserdem keine versteifende Verbindung zwischen den Pfeilern bez. deren Scheidebögen unter einander und den Aussenmauern vorhanden ist. Es hängt dann ganz von der Eigenart des Dachwerkes und den beim Richten hineingetragenen Spannungen ab, wie sich die Kräfte auf die einzelnen Punkte verteilen.

Es kann sich fügen, dass in solchen Fällen ein unvorteilhaftes Dachwerk schon an sich Schübe ausübt, ganz abgesehen von der Windwirkung, die bei ihrer grossen Höhe einen Stützpunkt, sei es die Wand oder den Pfeiler, sehr ungünstig beanspruchen können; es ist gar nicht sehr unwahrscheinlich, dass dann bei Eintritt von Wind der gleiche, schon stark überbürdete Stützpunkt auch noch den grössten Teil des gegen die (bei Hallenkirchen meist grosse) Dachfläche stossenden Windes aufzunehmen hat. Handelt es sich um die Aussenwand, so wird sie bei unzulänglicher Stärke bald Risse und Verdrückungen zeigen, die sich besonders nach grösseren Stürmen erweitern; handelt es sich um einen seiner Inanspruchnahme nicht gewachsenen Pfeiler, so wird er sich verdrücken und die Gewölbe, soweit dieses möglich ist, in Querspannung versetzen, um somit einen Teil der Ueberlastung den benachbarten Stützen zu übertragen, die ihrerseits natürlich genügend stark sein müssen. Es ist dann von grossem Nutzen, wenn wenigstens starke Scheidebogenübermauerungen vorhanden sind, damit sie, ohne auszubauchen, die Seitenkräfte den Wölbscheiteln überweisen können, die sie so gut wie möglich weitertragen werden. Mässige Seitenkräfte können in dieser Weise sehr wohl durch die Wölbscheitel übertragen werden, sehr grosse Windkräfte aber erfordern dabei ein jedesmaliges bedeutendes Umsetzen der Spannungen, was bei so empfindlichen Mauerteilen wie den Wölbungen zu nachteiligen Lockerungen des Gefüges führen kann. Besser greift man auch hier wieder, wie wir sehen werden, zu versteiften Gurten.

Dachgerüste auf durchgehenden unteren Balken, die bei gleich hohen Schiffen meist anwendbar sind (Fig. 876), beseitigen die beregten Uebelstände fast vollständig. Sie beheben die Schübe der Dachhölzer und machen es auch unmöglich, dass der Winddruck gegen das Dach direkt einzelnen Stützpunkten zugeführt wird. Die ganze Windwirkung wird auf den Balken getragen und sucht diesen als Ganzes in seiner Längsrichtung zu verschieben. Der Balken seinerseits sucht alle unter ihm befindlichen Stützen umzudrängen, und zwar werden die schwächeren Stützen dabei geringeren Schub erhalten, da sie rascher geneigt sind zu weichen (vgl. Fig. 838 a), die kräftigen Stützen werden sich dagegen der Verschiebung nachhaltiger widersetzen und demzufolge den grössten Anteil des Schubes auf sich nehmen. Das ist aber äusserst

Einfluss des
Dachwerks.

Versteifung
durch die
Dachbalken.

günstig: man kann bei durchgehenden Balken darauf rechnen, dass der Windschub gegen das Dach sich auf die Stützen (Pfeiler und Wände) ungefähr proportional zu deren Standfähigkeit verteilt. Der Wind gegen das Dach kann dem Bauwerk nicht schaden, wenn die Standfähigkeit der Stützen in Summe mit genügender Sicherheit gewahrt ist.

Der Klarheit wegen ist soeben nur von dem Winde gegen das Dach und noch nicht von dem auf die Aussenwand kommenden Winddruck gesprochen, letzterer erzeugt gleichfalls ein Umsturmmoment (Druck mal mittlere Angriffshöhe), das auch noch mit Sicherheit aufgenommen werden muss. Dieser Winddruck, der dem Wölbschub entgegengesetzt gerichtet ist, kann meist schon von der getroffenen Wand aufgenommen werden; wo solches aber nicht möglich ist, muss ein Teil auf den nächsten Mittelpfeiler oder auch über alle 3 Schiffe hinweg auf die entgegengesetzte Aussenwand geführt werden, was durch die Wölbscheitel oder steifen Gurtbögen, weniger gut auch durch die Dachbalken zu erreichen ist.

Eine versteifende Uebermauerung der Gurten ist das zuverlässigste und monumentalste Mittel, eine beliebige Schubübertragung zu ermöglichen, sie ist besonders da am Platze, wo durchgehende Dachbalken fehlen; von den Alten ist sie sehr oft zur Verwendung gebracht. Braucht nur die Wand mit den benachbarten Mittelpfeilern

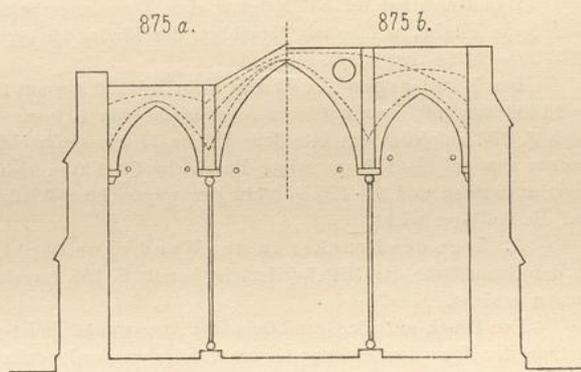
verstrebt zu werden, so genügt eine alleinige Uebermauerung der Seitengurten; soll sich dagegen ein wesentlicher Schubausgleich über die ganze Breite ermöglichen lassen, so sind auch die Mittelschiffgurte zu versteifen. Auf letzteren sind die Uebermauerungen möglichst leicht zu machen, um den Schub des Mittelschiffes nicht unnötig zu vermehren, sie können daher schräg gegen den Scheitel ansteigen (Fig. 875 a)

oder durchbrochen werden (Fig. 875 b, 413). Die Dicke der Uebermauerung genügt mit $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{30}$ der Spannweite, bei Ziegelstein braucht sie selten über 1 oder $1\frac{1}{2}$ Stein hinauszugehen.

Soche Versteifungen, die mannigfaltig verschiedene Drucklinien in sich aufnehmen können, werden noch besser wie durchgehende Dachbalken erwirken, dass sich die Seitenkräfte auf die Stützen proportional zu deren Leistungsfähigkeit verteilen. Ganz besonders kann man sie bei richtiger Massenverteilung dazu verwenden, die Mittelpfeiler gänzlich von Seitenschüben frei zu halten, so dass sie nur mit Hilfe ihrer Druck- bez. Knickfestigkeit die senkrechten Lasten zu tragen brauchen und daher auch bei ungleichen Schiffsbreiten recht dünn gemacht werden können. Man würde sie sogar durch Eisenstützen ersetzen können, welche oben und unten in Gelenken stehen (Fig. 875), oder, was etwa auf dasselbe hinausläuft, durch schlanke Granitpfosten, die oben und unten so versetzt sind, dass die Kanten keine Pressung erhalten können.

Die Untersuchung der Windbeanspruchung kann, gleichviel ob nur gedrückte oder auch geschobene Pfeiler angenommen sind, graphisch, einfacher aber noch durch Rechnung erfolgen. Nach

Versteifung
durch die
Gurtbögen.



der letzten Spalte der Tabelle auf S. 163 findet man die Grösse des auf das Dach wirkenden Windschubes auf alle Auflager zusammen, diese multipliziert man mit der Höhe über der zu untersuchenden Grundfläche und hat damit das Umsturzmoment, dem zu begegnen ist. Dazu kommt das Umsturzmoment, das der Winddruck gegen die Wand erzeugt. Man hat nun zu berechnen, welches Umsturzmoment jede einzelne Stütze (Pfeiler oder Wand) noch aufnehmen kann. Zu diesem Zweck berechnet man die Lage des Druckes in der Grundfläche bei alleinigem Vorhandensein der Wölbchübe und senkrechten Lasten (vgl. S. 155 u. 336) und sieht nun zu, um welches Stück sich der Druck noch in der Richtung des Windes bewegen darf, ohne zu nahe an die Aussenkante zu kommen. Dieses Stück, multipliziert mit der ganzen senkrechten Last, welche auf der Grundfläche ruht, giebt dasjenige Umsturzmoment, welches die Stütze noch aufnehmen kann. Die Summe dieser von den einzelnen Stützen noch aufnehmbaren Momente muss grösser sein als das thatsächlich wirkende Umsturzmoment.

Beispiel I. Für die in Figur 394 dargestellte Hallenkirche, deren Pfeiler nach Ausweis der Rechnung auf S. 155 stark genug sind, die Schubdifferenz der Gewölbe aufzunehmen, soll die Standfähigkeit der Aussenwände mit und ohne Winddruck untersucht werden.

Die 20 m hohe, glatte Aussenwand von 1,70 m Stärke mit einem 30 qm grossen Fenster in jedem Joch soll aus lagerhaftem Sandbruchstein von 2300 kgr Gewicht auf 1 cbm errichtet sein; ein Wandfeld hat demnach $(20,0 \cdot 6,0 - 30) \cdot 1,70 = 153$ cbm Inhalt und wiegt $153 \cdot 2300 = 351900$ kgr oder abgerundet: $Q = 352000$ kgr.

Die Schübe der (ohne Gurtversteifung hergestellten) Gewölbe sind S. 154 angegeben, es kommt für die Aussenwand als senkrechte Kraft $V_2 = 6840$ oder rund = 7000 kgr und als Schubkraft $H_2 = 2160$, die aber mit Rücksicht auf die nicht ausgeschlossene Kraftübertragung vom Mittelschiff her auf 2500 kgr erhöht werden soll; sie liege 13,2 m über dem Boden.

Das Dach hat bei 55° Neigung eine 20 m lange Schräge, also über jedem Joch $2 \cdot 20,0 \cdot 6,0 = 240$ qm Fläche, welche mit Einschluss der Binder 90 kgr auf 1 qm (vgl. S. 162) also im ganzen $240 \cdot 90 = 21600$ kgr wiegt.

Der Wind gegen die Wand giebt bei 120 kgr auf 1 qm eine Seitenkraft von $20,0 \cdot 6,0 \cdot 120 = 14400$ kgr, mit einer mittleren Angriffshöhe von 10,0 m. Der Wind gegen das Dach erzeugt nach S. 163 auf jeden qm getroffene Fläche 57 kgr senkrechten und 81 kgr wagerechten Druck, im ganzen also auf die 120 qm grosse Dachfläche $57 \cdot 120 = 6840$ kgr senkrechten Druck auf alle Auflager zusammen und $81 \cdot 120 = 9720$ kgr wagerechten Windschub, der 20 m hoch über dem Boden auf die Auflager wirkt.

A. Lage des Druckes in der Wand ohne Dachlast und Wind. Die Lage des Druckes in der Grundfläche des Mittelpfeilers ist bereits S. 155 berechnet, er liegt 20 cm von der Mitte nach aussen gerückt.

Den Druck auf die Grundfläche der Aussenwand findet man nach S. 140 (Fig. 371) durch Aufstellung der Momentengleichung für den x Meter von der Innenkante entfernten unbekanntem Druckpunkt:

$$V_2 \cdot x + Q \left(x - \frac{1,70}{2} \right) = H \cdot 13,2$$

oder: $7000 \cdot x + 352000 (x - 0,85) = 2500 \cdot 13,2$;
folglich: $x = 0,93$ m

Der Druck trifft demnach die Grundfläche in einem Abstand von 93 cm von der Innenkante oder 77 cm von der Aussenkante, er ist also nur um 8 cm vor der Mitte fortgerückt nach aussen. Die grösste Kantenpressung aussen lässt sich angenähert nach der Tabelle auf S. 145, genauer nach der Formel 5 auf S. 143 bestimmen, sie berechnet sich nach dieser zu:

$$P_1 = \frac{352000 + 7000}{600 \cdot 170} + \frac{(352000 + 7000) \cdot 8 \cdot 85}{12 \cdot 600 \cdot 170 \cdot 170} = 4,5 \text{ kgr auf 1 qcm.}$$

Somit liegt der Druck für gewöhnlich an sehr günstiger Stelle und erzeugt nur eine mässige Kantenpressung, die auch dann, wenn man mit Rücksicht auf die Fensterdurchbrechung nicht die volle Wandlänge von 600 cm als tragend in Rechnung stellen würde, sehr gering bliebe. Das Hinzutreten des Dachgewichtes ohne Wind ändert das Ergebnis kaum merklich.

B. Lage des Druckes bei heftiger Windwirkung (120 kgr auf 1 qm). Der Wind gegen die Wand liefert ein Umsturzmoment $14400 \cdot 10$, dem sich ein Stabilitätsmoment $y \cdot (352000 + 7000)$ entgegenstellen muss, woraus sich berechnet: $y \cdot 359000 = 144000$, also: $y = 0,40$ m.

D. h. der Druck rückt um 40 cm in der Richtung des Windes weiter, so dass er statt 93 cm nur noch 53 cm von der Innenkante entfernt ist. Es wird jetzt die Innenkante die grössere Pressung bekommen, und zwar, da der Druck ausserhalb des Kernes liegt, nach Formel 6 auf S. 144:

$$d_1 = \frac{2(352000 + 7000)}{3 \cdot 600 \cdot 53} = 7,5 \text{ kgr auf 1 qcm.}$$

Die Wand kann somit den auf sie fallenden Wind sehr gut allein bewältigen, sie kann sogar noch einen Teil des Windschubes vom Dach übernehmen.

Der Wind gegen das Dach erzeugt das gewaltige Umsturzmoment von $9\,720 \cdot 20 = 194\,400$. Dasselbe kann aufgenommen werden durch die Aussenwände und den Mittelpfeiler an der Windseite, da bei diesem Wind und Wölbschub einander entgegenwirken. Für den Mittelpfeiler, der bei mässigem Zuschlag für die Dachlast 75 000 kgr wiegt, möge nur eine Druckverschiebung um 35 cm angenommen werden, er kann dann $75\,000 \cdot 0,35 = 26\,250$ vom Umsturzmoment aufnehmen, das in seinem Rest von 168 150 Meterkilogramm von den Aussenwänden zu tragen ist. Wird jedem Wandgewicht ein durchschnittlicher, aber knapper Zuschlag für die Dachlast von 5 000 kgr zugefügt, so ist seine Gesamtlast: $352\,000 + 7\,000 + 5\,000 = 364\,000$ kgr. Die von den Wänden noch zu leistenden Stabilitätsmomente müssen gleich dem Umsturzmoment sein, also: $364\,000 \cdot y_1 + 364\,000 \cdot y_2 = 168\,150$. Daraus ergibt sich: $y_1 + y_2 = 0,46$.

In beiden Wänden muss sich also der Druck um 46 cm in der Windrichtung verschieben; wird davon auf die getroffene Wand 11, auf die andere 35 gerechnet, so ist erreicht, dass in beiden der Druck gleich dicht an die Kante rückt, nämlich bis auf $(77 - 35)$ oder $(53 - 11) = 42$ cm. Die Kantenpressung würde dann nach Formel 6 auf S. 144 sein:

$$d_1 = \frac{2 \cdot 364\,000}{3 \cdot 600 \cdot 42} = 9,6 \text{ kgr auf 1 qcm.}$$

Diese Beanspruchung erscheint für gutes lagerhaftes Bruchsteinmauerwerk nicht zu gross, wenn man bedenkt, dass eine derartige Windwirkung äusserst selten, vielleicht während des Bestandes des Bauwerkes überhaupt nicht eintreffen wird.*) Die geringe Entfernung des Druckes aus dem Kern ist unter diesen Umständen gleichfalls durchaus unbedenklich. Auch eine weniger gleichmässige Schubverteilung auf die Wände würde nicht viel ausmachen.

Beispiel II. Bei derselben Hallenkirche sind nach den Ausführungen von S. 157 sehr dünne Mittelpfeiler und übermauerte Gurte angewandt.

Die Rechnung, welche hier nicht weiter Platz finden soll, ist der vorigen ganz entsprechend, nur ist der Wölbschub auf die Aussenwand grösser, und der Wind ist allein von den Aussenmauern ohne Mithilfe der Pfeiler aufzunehmen. Es erweisen sich die vorhin angenommenen Mauerdicken auch für diesen Fall noch als ausreichend. Wenn das Dachwerk auf 4 Stützpunkten (Pfeilern und Wänden) ruht, von denen nur 2, die Wände, den Windschub aufnehmen sollen, so kann eine leichte Verankerung mit letzteren am Platze sein, besonders bei sehr steilen Dächern.

Der Einfachheit wegen ist aussen eine glatte Wand bei diesen Beispielen vorausgesetzt; würde eine Mauer mit Absätzen und Strebepfeilern vorliegen, so würde die Untersuchung im ganzen die gleiche sein, wie ein Einblick in die entsprechenden Berechnungen einer einschiffigen Kirche (S. 337) darthut.

Das Dach der Hallenkirchen.

Sowie die Anlage der Gewölbe für das Innere, so ist diejenige des Daches für das Aeussere der Hallenkirche entscheidend. Beide Anlagen stehen aber zu einander in Beziehung und üben eine gewisse Wechselwirkung auf einander aus.

Nehmen wir eine wenigstens annäherungsweise gleiche Höhe der verschiedenen Gewölbeseitel an, so würde die in Fig. 876 dargestellte Anlage der Kirche zu

*) Die statischen Nachweise, wie sie die Polizeibehörden für Hochbaukonstruktionen verlangen, pflegten bisher bei Mauerwerk die Windwirkung, wie überhaupt exzentrische Druckrichtungen, meist zu vernachlässigen, es wäre daher am Platze, wo diese Momente genau berücksichtigt sind, die Grenzen für die zulässige Beanspruchung zu erweitern. Vielleicht könnte es sich empfehlen, zwei Grenzen zu setzen, die eine für dauernde Lasten, die andere für selten eintretende und vielleicht auch für erst nach völliger Erhärtung des Mörtels zu erwartende Inanspruchnahmen.