

Landwirtschaftliches Bauen mit Holz – vorbeugender chemischer Holzschutz zwangsläufig notwendig?

Philipp Dietsch
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München



Yuan Jiang
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München



Stefan Winter
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Technische Universität München



Diese Seite leer lassen!

Landwirtschaftliches Bauen mit Holz – vorbeugender chemischer Holzschutz zwangsläufig notwendig?

1. Einleitung

Holz spielt im landwirtschaftlichen Bauwesen eine wichtige Rolle. Gerade im ländlichen Raum steht der natürliche und nachwachsende Rohstoff Holz vermehrt zur Verfügung. Als Baustoff wird er von vielen Landwirten bevorzugt, da sie selbst Waldbesitzer sind und Holz für vielfältige Konstruktionen und Gebäudenutzungen einsetzbar ist. Als organisches Material muss Holz allerdings vor Schadorganismen (Pilzen, Insekten) geschützt werden. Um die Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit landwirtschaftlicher Nutzgebäude aus Holz zu gewährleisten, ist ein wirksamer Holzschutz von großer Bedeutung.

In Deutschland wird der Holzschutz über die im Jahr 2012 novellierte Normenreihe DIN 68800 geregelt [1-3]. Diese ordnet Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen entsprechend ihrer Einbausituation sogenannten Gebrauchsklassen (GK) zu. Für die Zuordnung zu einer Gebrauchsklasse sind die Holzfeuchte im Gebrauchszustand und die allgemeinen Gebrauchsbedingungen entscheidend, siehe Abbildung 1. Zur Besiedlung des Holzes durch bestimmte Pilze ist ein minimaler Feuchtegehalt von etwa 20 % erforderlich [4]. Holz zerstörende Pilze benötigen allerdings eine Holzfeuchte oberhalb des Fasersättigungspunktes (etwa 30 %), um auf Holz zu wachsen und die verholzte Zellwand enzymatisch abzubauen. Dementsprechend können Holzbauteile laut DIN 68800-1 [1] der GK 0 zugeordnet werden, bei denen das Risiko einer unzutraglichen Veränderung des Feuchtegehaltes (Holzfeuchte ständig $\leq 20\%$) und Insektenbefall vermieden wird. Es handelt sich dabei um Bauteile in Räumen mit üblichem Wohnklima (mittlere relative Luftfeuchte bis 85 %) oder vergleichbaren Räumen, bei denen die grundsätzlichen und, soweit erforderlich, die besonderen baulichen Maßnahmen nach DIN 68800-2 [2] erfüllt werden.

Insekten können zwar auch Holzbauteile mit geringerer Holzfeuchte befallen, bei den heutzutage zumeist verwendeten, technisch getrockneten Hölzern ist die Gefahr eines derartigen Befalls laut DIN 68800-1 jedoch als unbedeutend einzustufen.

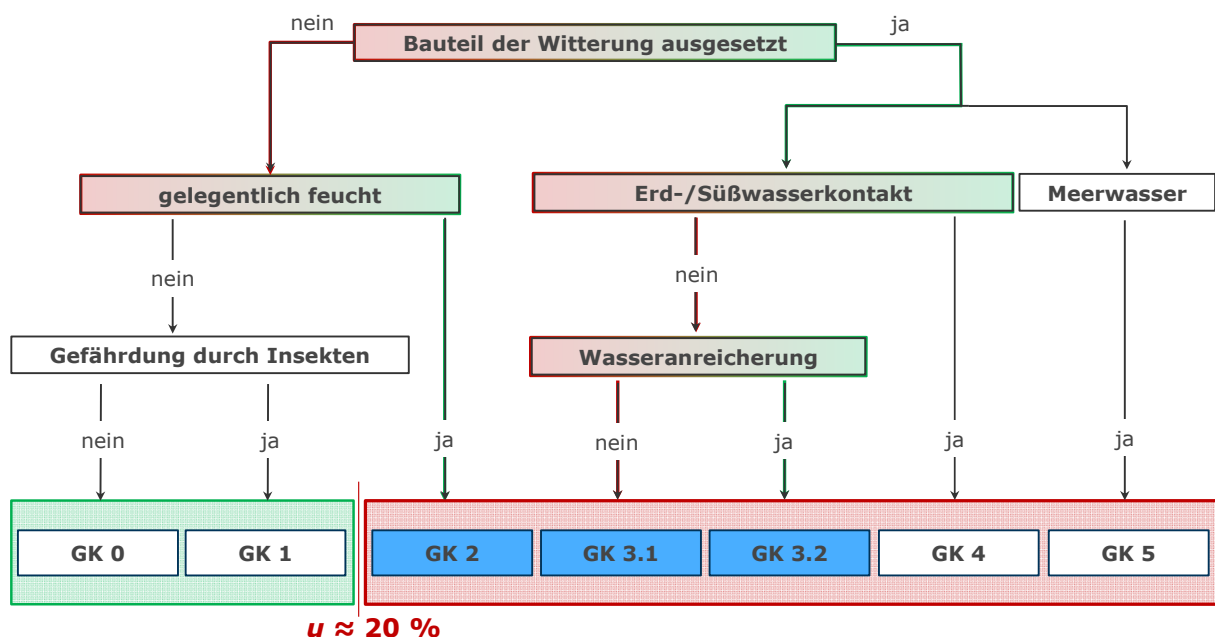


Abbildung 1: Entscheidungsabfolge zur Zuordnung von Holzbauteilen zu einer Gebrauchsklasse und Einordnung von landwirtschaftlichen Nutzgebäuden basierend auf bisherigen Erkenntnissen

Vor dem Hintergrund von hohen relativen Luftfeuchten aus der Tierhaltung, Restfeuchten aus Lagerstoffen und einem insgesamt hohen biologischen Befallsdruck würden Holzbauteile in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden typischerweise der GK 2 oder GK 3.1 zugeordnet, siehe Abbildung 1. Die Fichte, eine der im landwirtschaftlichen Bauen hauptsächlich verwendeten Holzarten, ist für den Einsatz in der GK 1 oder höher, gem. DIN 68800-1 jedoch nicht ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen geeignet, siehe Tabelle 1. Die zusätzlichen Holzschutzmaßnahmen reichen vom konstruktiven Holzschutz bis hin zum vorbeugend chemischen Holzschutz. Das Basisprinzip ist dabei vorbeugende Holzschutzmaßnahmen mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800-3 [3] erst dann vorzunehmen, wenn der Schutzerfolg durch die natürliche Dauerhaftigkeit der hierfür vorgesehenen Holzarten (siehe Tabelle 1) und die bauliche Maßnahmen nach DIN 68800-2 allein nicht sichergestellt werden kann. Für landwirtschaftliche Nutzgebäude sind in DIN 68800-2 bislang keine Angaben zu den sog. "besonderen baulichen Maßnahmen" enthalten, d.h. konstruktiven Maßnahmen zum Holzschutz, welche eine Einordnung der Holzbauteile in die GK 0 erlauben. Vorbeugende chemische Holzschutzmaßnahmen sind zwar möglich, aber die Verwendung von chemischen Holzschutzmitteln wird im unmittelbaren Kontaktbereich mit Tieren ausgeschlossen. Auch in der Bauberatungspraxis wird im Hinblick auf eine mögliche Anreicherung gesundheitsgefährdender Substanzen in der Nahrungsmittelkette von vorbeugend chemischen Holzschutzmaßnahmen abgeraten. Der Widerspruch, keinen vorbeugend chemischen Holzschutz im Umfeld der Nahrungsmittelkette einsetzen zu wollen, andererseits aber auch keine klaren normativen Regeln für die Bestimmung der Gebrauchsklasse landwirtschaftlicher Nutzgebäude bzw. Maßnahmen zur Einstufung dieser in einer niedrigeren Gebrauchsklasse zur Verfügung zu haben, stellt Bauherren, Planer und Prüfengeure derzeit vor eine schwierig zu beurteilende Situation.

Tabelle 1: Natürliche Dauerhaftigkeit ausgewählter Nadelholzarten nach DIN EN 350:2016 [5] und Gebrauchsklassen nach DIN EN 68800-1 [1], in denen die Holzarten ohne zusätzliche Holzschutzmaßnahmen verwendet werden dürfen

Holzart	Dauerhaftigkeit von Kernholz		Gebrauchsklasse	
	Pilze	Insekten	Splintholz	Kernholz
Fichte (<i>Picea abies</i>)	4 - wenig dauerhaft	nicht dauerhaft	0	0
Tanne (<i>Abies alba</i>)	4 - wenig dauerhaft	nicht dauerhaft	0	0
Lärche (<i>Larix decidus</i>)	3 bis 4 - mäßig bis wenig dauerhaft	Kernholz dauerhaft	0	0, 1, 2, 3.1
Douglasie (<i>P. menziesii</i>)	3 bis 4 - mäßig bis wenig dauerhaft	Kernholz dauerhaft	0	0, 1, 2, 3.1
Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)	3 bis 4 - mäßig bis wenig dauerhaft	Kernholz dauerhaft	0	0, 1, 2

2. Methodik – Monitoring

Mit dem Ziel der Eingrenzung der tatsächlich in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden vorliegenden Umgebungsbedingungen und daraus resultierenden Holzfeuchten wurden im Rahmen des durch die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) geförderten Forschungsprojekts „Landwirtschaftliche Nutzgebäude in GK 0“ die Gebrauchsbedingungen in landwirtschaftlichen Nutzgebäuden mit typischen Anwendungsfällen mittels eines Klima- und Holzfeuchte-Monitorings systematisch erfasst und ausgewertet [6].

Bei der Auswahl geeigneter landwirtschaftlicher Betriebe wurde darauf geachtet, eine möglichst große Vielfalt an landwirtschaftlichen Nutzungen zusammenzustellen, um einen Überblick über unterschiedliche klimatische Beanspruchungen in typischen Gebäudenutzungen im landwirtschaftlichen Bauwesen zu ermitteln. Für die Langzeitmessungen wurden insgesamt dreizehn Nutzgebäude in zwölf Betrieben aus den Bereichen Stallanlagen und Lagerhallen untersucht, siehe Abbildung 2. Für eine Beschreibung der einzelnen Objekte (Gebäudeinformationsblatt) incl. nutzungsspezifischer Randbedingungen wird auf den Schlussbericht zum Forschungsvorhaben verwiesen [6]. In Abhängigkeit der Größe, der inneren Einteilung und der Nutzung des Gebäudes wurde das Monitoring-Konzept für jedes Gebäude individuell erstellt. Dabei wurden auch über die Hallenfläche hinweg

variierende Bedingungen erfasst. Dies sind z. B. Stellen mit außergewöhnlichen Klimabelastungen durch lokalen Feuchteintrag oder der erschwerten Abführung feuchter Luft. Als Messverfahren wurde das Widerstandsmessverfahren gewählt. Hierfür wurde das bereits in früheren Forschungsvorhaben [7] erfolgreich angewendete Messsystem konfiguriert, siehe Abbildung 3. Je nach Situation umfasste die Messtechnik zwei bis vier Messstellen, an denen die Holzfeuchte und die Materialtemperatur stündlich in mehreren Tiefen gemessen wurden. Das Aufzeichnen des Hallenklimas erfolgte mit einem externen Klimasensor. Zusätzlich wurde jeweils eine Wetterstation in der Nähe der Messobjekte installiert. Für eine ausführliche Beschreibung der Messtechnik und Maßnahmen zum Schutz und Instandsetzung dieser wird auf [6] verwiesen.

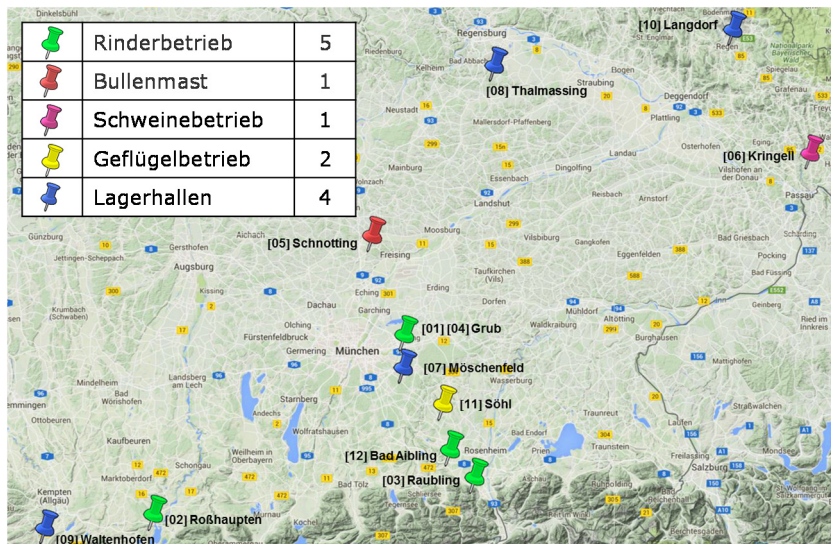


Abbildung 2: Gebäudestandorte aller ausgewählten Messobjekte

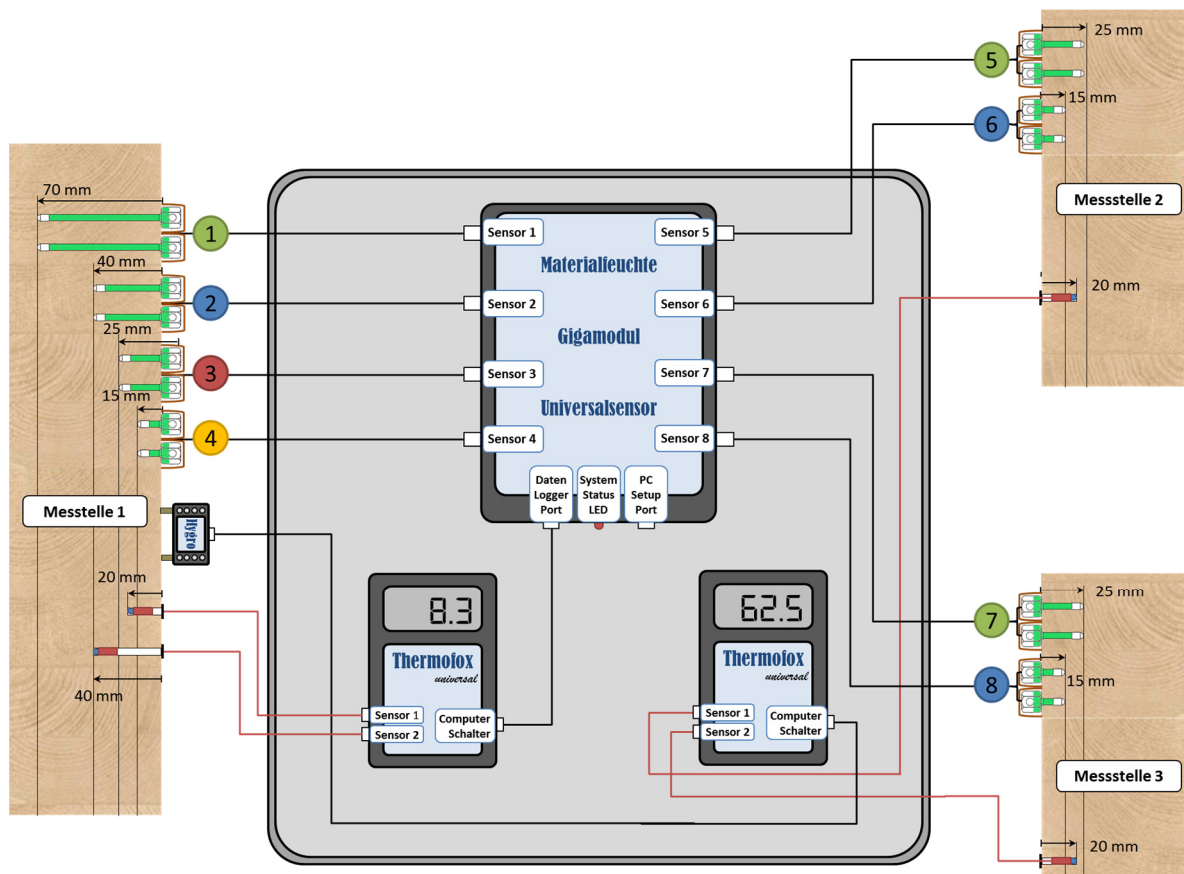


Abbildung 3: Darstellung des Messsystems in der Variante mit drei Messstellen

3. Ergebnisse

3.1. Allgemeines

Die Messtechnik wurde im Zeitraum von Dezember 2014 bis Dezember 2015 installiert. Bis März 2018 wurden im Rahmen des Forschungsprojektes über 15 Millionen Messwerte erfasst, für alle Messobjekte liegen Ergebnisse für einen Zeitraum von mehr als zwei Jahren vor.

In Abbildung 4 ist das Innenraumklima (Mittelwerte über zwei Jahre) in den untersuchten Objekten zusammenfassend dargestellt. Dem gegenübergestellt sind die Außenklimata. Es lässt sich gut erkennen, dass sich die Objekte je nach Nutzung und baulicher Ausführung in ihren klimatischen Bedingungen teilweise wenig, teilweise aber auch deutlich unterscheiden. Zudem ist die Grenzlinie der relativen Luftfeuchte nach DIN 68800-1 angegeben. Diese besagt, dass Holz bei mittlerer relativer Luftfeuchte bis etwa 85 % und keiner anderweitige Feuchtebeanspruchung Gleichgewichtsfeuchten unterhalb 20 % aufweist. Bei ausschließlicher Betrachtung des durchschnittlichen Hallenklimas ist nach DIN 68800-1 das Risiko von Schäden durch Holz zerstörende Pilze im gedämmten bzw. klimatisierten Bereich der Kartoffellagerhalle nicht auszuschließen.

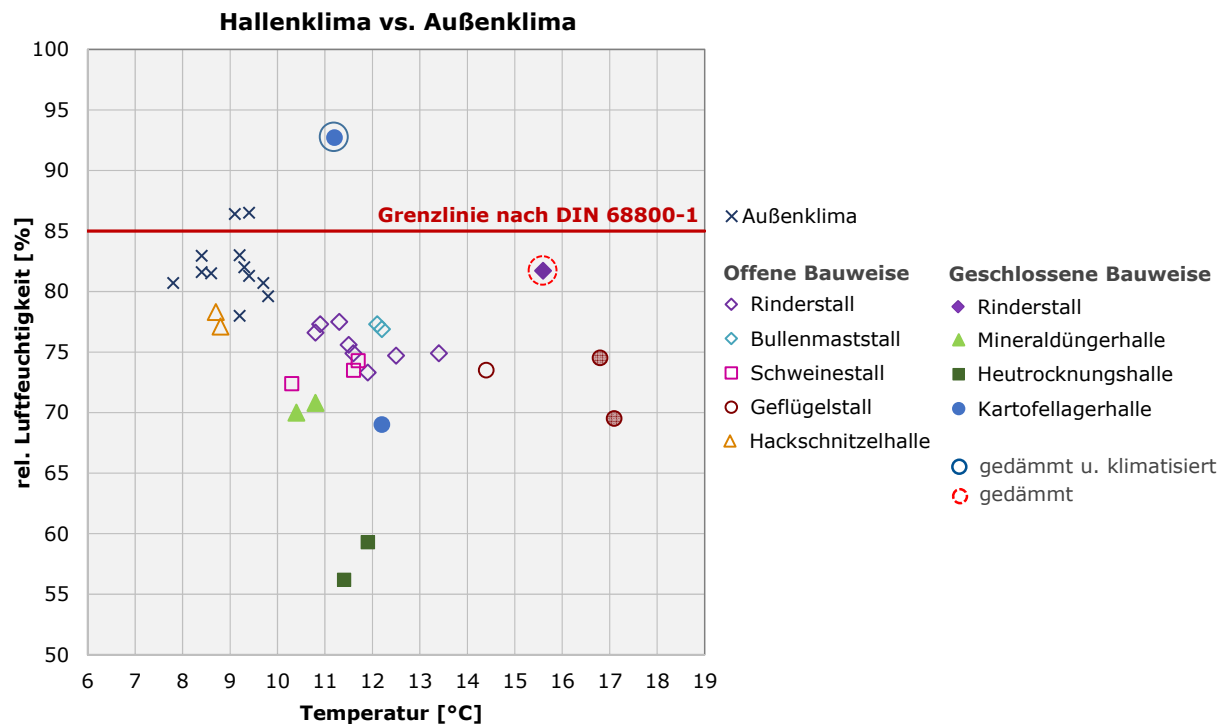


Abbildung 4: Klimabedingungen (Mittelwerte) in den untersuchten Objekten im Vergleich zum Außenklima

3.2. Ställe

Die untersuchten Rinder- und Bullenmastställe liegen in den Temperaturen oberhalb und in den Luftfeuchten unterhalb der Werte des Aussenklimas. Unter den üblichen Gebrauchsbedingungen ergaben sich mittlere Holzfeuchten von 15 % bis 18 %, nur im Falle besonderer lokaler Bedingungen (hier: durch die Nutzer eingebrachte Feuchte) wurden auch über längere Zeiträume Werte über 20 % gemessen, siehe Abschnitt 4.1. Höhere mittlere Temperaturen und Luftfeuchten als die Kaltställe weist der untersuchte Warmstall mit Anbindehaltung auf (in Abbildung 4 mit Kreis markiert), hier wurden Holzfeuchten von im Mittel knapp über 20 % gemessen. Anbindeställe, in denen sich die Tiere nicht frei bewegen können, waren bis in die 1970er Jahre weit verbreitet und zeichnen sich durch die im Prinzip geschlossene Bauweise aus. Jüngere Untersuchungen zu Leistung und Tierwohl von Milchkühen priorisieren Freilaufställe mit einer guten Durchlüftung durch eine offene Bauweise [8].

Bei Schweineställen kommt der Baustoff Holz vor allem im Bereich der Dachkonstruktion vor. Tragende Außenwände werden in der Regel massiv ausgeführt. Die Be- und Entlüftung erfolgt über Fenster, von den Tieren bewegte Auslaufklappen, offene Firste sowie Kaminentlüftung mit direkter mechanischer Unterstützung. Die Luftfeuchten in der Dachkonstruktion der Schweineställe liegt leicht unter denen der Rinderställe, die mittleren Holzfeuchten lagen zwischen 14 % und 18 %, nur im Fall besonderer lokaler Bedingungen (hier: Mikroklima im engen Traufbereich) wurden zeitweise Werte über 20 % gemessen. Die Geflügelhallen sind im Vergleich zu den andern Stallanlagen etwas wärmer. In der Geflügelzucht wird die Lüftung meistens durch ein entsprechendes Lüftungssystem realisiert. Die geringere Temperatur an einem Messpunkt ergibt sich aus der Messstelle des Klimasensors am offenen Stallfenster. Die mittleren Holzfeuchten lagen zwischen 14 % und 17 %. An Zeitpunkten, in denen die Ställe mit Hochdruckreiniger gereinigt werden, ergaben sich oberflächige Holzfeuchten von über 20 %, die jedoch nach ca. 10 Tagen wieder auf die o.g. Holzfeuchten absanken.

3.3. Lagerhallen

In der zumeist geschlossenen Lagerhalle für Mineraldünger ist es etwas trockener als in den Viehställen, da es sich beim Lagergut um ein stark hygroskopisches Material handelt, das Feuchte aus der Luft aufnehmen kann. Aus den Umgebungsbedingungen resultierten mittlere Holzfeuchten, die knapp über 14 % betragen. Oberflächennah wurden ebenfalls keine hohen Holzfeuchten gemessen.

In der Heutrocknungshalle herrschen zum Zeitpunkt der Trocknung hohe Temperaturen von ca. 30° C und relative Luftfeuchten von ca. 80 %. In den übrigen Betriebszeiten hingegen ist die Temperatur stark von der Außentemperatur abhängig, d.h. im Mittel vergleichsweise niedrig. Auch die Luftfeuchten liegen im Mittel unter den Luftfeuchten anderer Lagerhallen. Die daraus resultierenden Holzfeuchten waren relativ konstant und lagen im Bereich der Heutrocknungshalle im Schnitt bei ca. 12 % und am Tor bei ca. 14 %.

In der Lagerhalle für Hackschnitzel herrscht aufgrund der offenen Bauweise fast Außenklima mit etwas reduzierten Luftfeuchten. Die mittleren Holzfeuchten lagen zwischen 16 % und 19 %. Holzfeuchten von über 20 % wurden vor allem in den Bauteilen gemessen, die mit den nass eingelagerten Hackschnitzeln in direktem Kontakt standen. Durch eine Brett- abdeckung konnte die Holzfeuchte solcher Bauteile auf einem geringeren Niveau gehalten werden.

Ein interessantes Objekt ist die Kartoffellagerhalle. In dieser wurden im ungedämmten, durch eine Zwischendecke vom Lagerraum konstruktiv abgetrennten Dachbereich erwartbare Temperaturen und relativ niedrige relative Luftfeuchten gemessen. Im geschlossen und konstruktiv gedämmt ausgeführten Lagerraum wurden jedoch im Mittel 25 % höhere relative Luftfeuchten erfasst, siehe Abbildung 4. Dies liegt an den für Kartoffeln notwendigen kühlen und feuchten Lagerbedingungen und der damit notwendigen Klimatisierung des Hallenraumes. Insbesondere mit Beginn der Erntezeit im Herbst, herrscht im geschlossen und konstruktiv gedämmt ausgeführten Lagerraum eine sehr hohe relative Luftfeuchte von bis zu 100 %. Die Temperatur schwankte dann um ein Mittel von ca. 7 °C. Mit einer mittleren Holzfeuchte von ca. 21 % waren die Holzbauteile im Lagerraum sehr feucht. Oberflächennah ($t = 15 \text{ mm}$) lagen die Holzfeuchten bei 20 bis 25 %. Bei ausschließlicher Betrachtung des durchschnittlichen Hallenklimas ist nach DIN 68800-1 das Risiko von Schäden durch Holz zerstörende Pilze im gedämmten bzw. klimatisierten Bereich der Kartoffellagerhalle nicht auszuschließen.

4. Bewertung des Gefährdungspotentials durch Holz zerstörende Pilze

4.1. Bewertung der gemessenen Holzfeuchten gemäß DIN 68800

Die gemessenen Holzfeuchten spiegeln meist recht gut das erfasste Hallenklima wieder. In allen Ställen mit Ausnahme des Warmstalls wurden an der Mehrzahl der Messstellen dauerhaft Holzfeuchten unter 20 % festgestellt. Holzfeuchten über 20 % treten vorwiegend im Bereich lokaler Besonderheiten auf (z. B. unter offenem First, über Mistbereich oder unmittelbar im Melkstand). Auch in den Lagerhallen wurden zumeist Holzfeuchten

unter 20 % gemessen, im Mittel liegen diese leicht unter den in den Ställen gemessenen Holzfeuchten. Ausnahmen bilden die Bauteile im Lagerbereich der Kartoffelhalle und Bauteile im Hackschnitzellager im direkten Kontakt mit den Hackschnitzeln.

Bei 51 von insgesamt 78 Messstellen lagen die gemessenen Holzfeuchten dauerhaft unter 20 %. Von den restlichen 27 Messstellen, siehe Tabelle 2, betrug der Zeitraum der Überschreitung des Grenzwertes bei 15 Messstellen weniger als 80 Tage (ca. 10 % der gesamten Messdauer); bei 8 der verbleibenden 12 Messstellen lag dieser Zeitraum bei 15 bis 35 % der Messdauer; bei den 4 verbleibenden Messstellen wurden über mehr als 70 % der Messdauer Holzfeuchten über 20 % festgestellt.

Tabelle 2: Holzfeuchten in den Objekten und Zeiträume mit Holzfeuchten über 20 %

Objekt	Holzfeuchten [%]	HF (<i>u</i>) > 20 [d]	
		MST	Wert
01 Milchviehstall Grub	16 – 26	MST 3.1	217
		MST 3.2	730
02 Milchviehstall Roßhaupten	14 – 20	-	-
03 Milchviehstall Raubling	14 – 22	MST 1.2	141
04 Kälberstall Grub	12 – 21	MST 1.1	76
		MST 1.2	67
		MST 1.3	56
05 Bullenmast Schnotting	14 – 22	MST 1.1	29
		MST 1.2	38
		MST 1.3	27
		MST 2.1	58
		MST 2.2	39
		MST 2.3	36
06 Schweinestall Kringell	10 – 22	MST 2.4	181
		MST 2.4	113
07 Mineraldüngerhalle Möschenfeld	12 – 19	-	-
08 Kartoffellagerhalle Thalmassing	8 – 27	MST 2.1	695
		MST 2.2	562
09 Heutrocknungshalle Waltenhofen	10 – 18	-	-
10 Hackschnitzellagerhalle Langdorf	12 – 22	MST 1.1	60
		MST 1.3	164
		MST 2.1	136
		MST 2.2	256
		MST 3.3	73
11 Geflügelhallen Söhl	12 – 20	-	-
12 Milchviehstall Bad Aibling	17 – 23	MST 1.1	494

4.2. Bauwerksaufnahme

Aufgrund der oben beschriebenen Feststellungen wurde im Rahmen des Forschungsprojektes zusätzlich eine komplette Bauwerksaufnahme aller untersuchter Objekte vorgenommen [9]. In den Ortsterminen wurden zusätzlich Befragungen unter den Gebäudenutzern durchgeführt. Das Ergebnis war, dass an keinem Bauteil Insektenbefall oder Pilzwachstum während der Dauer des Forschungsvorhabens oder zu einem früheren Zeitpunkt festgestellt werden konnte. Um dieses positive, aber im Hinblick auf die Messstellen mit Holzfeuchten ≥ 20 % über längere Zeiträume nicht gleich schlüssige Ergebnis aufzuklären, wurde auf das von Viitanen und Ritschkoff [10] aus umfangreichen Laborversuchen abgeleitete und von Kehl [11] zusammenfassend dargestellte Holzzerstörungsmodell zurückgegriffen.

4.3. Holzerstörungsmodell

Das Holzerstörungsmodell von Viitanen und Ritschkoff [10] berücksichtigt, dass ein Pilzbefall und Pilzwachstum - neben der Höhe der Holzfeuchte - auch von der Dauer der umgebenden Luftfeuchte und der Temperatur abhängig ist. Das Holzerstörungsmodell ist hierbei in zwei Abschnitte aufgeteilt. Zum einen ist zu untersuchen welche Umgebungsbedingungen über welche Zeitdauer vorliegen müssen, damit die Pilzsporen überhaupt „aktiviert“ werden. Als zweites wird das „Starten“ des Pilzwachstums bzw. der Beginn des Holzabbaus betrachtet. Auch hierfür sind bestimmte Klimabedingungen notwendig, die notwendige Zeitdauer ist wiederum von den Umgebungsbedingungen abhängig. Im Beispiel der Kartoffellagerhalle müssten die o.g. Klimabedingungen über einen Zeitraum von knapp 90 Tagen vorliegen, bis das Pilzwachstum starten kann (vgl. Abbildung 5, rechts). Bei einer Reduktion der relativen Luftfeuchte auf 90 % ($T = 20^{\circ}\text{C}$) würde sich die Zeitdauer auf mehr als 12 Monate verlängern.

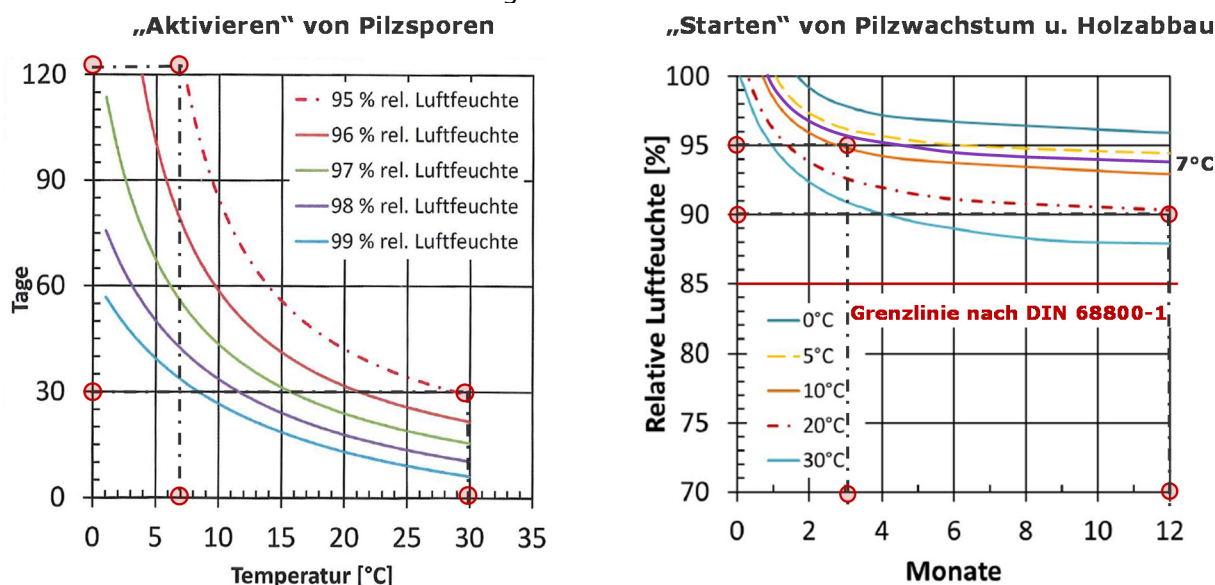


Abbildung 5: Holzerstörungsmodell, in Anlehnung an Kehl [11]

Aus dem detaillierten Modell wurde von Kehl [12] ein vereinfachter ingenieurmäßiger Ansatz abgeleitet, wobei die Grenze so gelegt wurde, dass unterhalb dieser auch nach 12 Monaten kein Holzabbau stattfindet. Diese temperaturabhängige Grenzlinie der relativen Luftfeuchte wurde mittels der Sorptionsisotherme auf die Holzfeuchte übertragen. Grafisch dargestellt ergibt sich, im Unterschied zur Grenzlinie nach DIN 68800, eine temperaturabhängige Grenzkurve für die maximal zulässige Holzfeuchte, unterhalb derer Pilzbefall vermieden werden kann, vgl. Abbildung 6 (links). Der graue Bereich stellt die Schwankungsbreite dar, wobei die sich bei Absorption und Desorption einstellenden, unterschiedlichen Holzfeuchten mitberücksichtigt wurden. Diesem Modell folgend, wurde zur Bewertung des Gefährdungspotentials bei allen Bauteilen mit Holzfeuchten über 20 % eine genauere Untersuchung der gekoppelten Einflüsse Holzfeuchte und umgebende Temperatur vorgenommen. Hierfür wurden die im Forschungsvorhaben gemessenen Holzfeuchten mit den zugehörigen Temperaturen als Punktwolke in das aus dem Holzerstörungsmodell abgeleitete Diagramm aufgetragen, siehe Abbildung 6 (Mitte). Diese Werte werden mit der temperaturabhängigen Grenzlinie verglichen.

Beispielhaft ist dies in Abbildung 6 für einen Milchviehstall dargestellt. Die Messstelle lag an einem Dachträger, der sich ca. 4 m über dem Mistbereich befindet. Bei alleiniger Betrachtung der Grenzlinie nach DIN 68800 liegt eine nicht unerhebliche Anzahl an Messpunkten oberhalb der dort angegebenen Grenze für eine Einstufung in GK 0 oder 1, vgl. Abbildung 6 (Mitte). Insgesamt wurden an dieser Messstelle an 141 Tagen (knapp 20 % der Messdauer, in den Wintermonaten) Holzfeuchten über 20 % gemessen, vgl. Summenlinie in Abbildung 6 (rechts). Vergleicht man diese Ergebnisse nun mit dem Holzerstörungsmodell unter Berücksichtigung der Temperatur, liegt keiner der Tagesmittelwerte innerhalb des grauen Schwankungsbereiches, d.h. ein Pilzwachstum am untersuchten Bauteil kann ausgeschlossen werden.

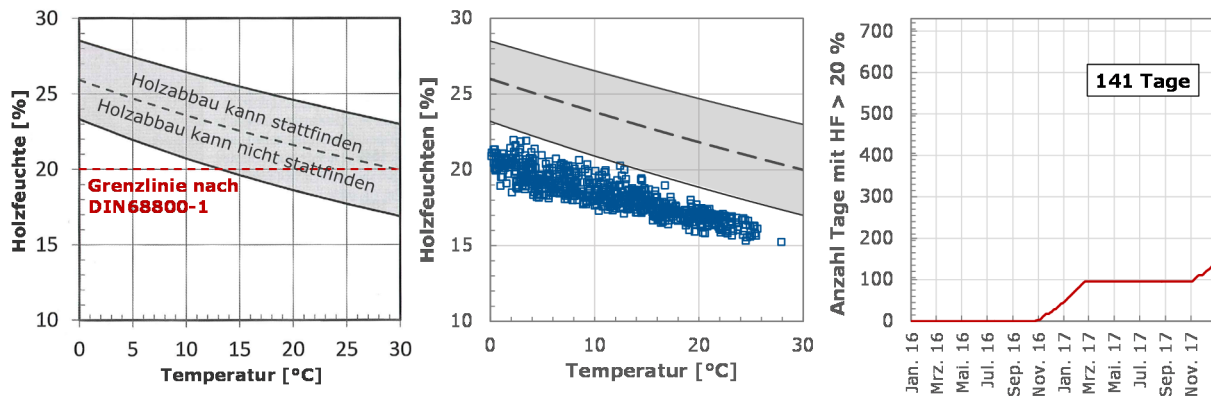


Abbildung 6: Temperaturabhängige Grenzlinie zur Bewertung des Gefährdungspotentials in Anlehnung an Kehl [12] (links), Punktwolke (Mitte) und Summenlinie einer beispielhaften Messstelle (rechts)

4.4. Anmerkungen zu beispielhaften Objekten

4.4.1 Milchviehstall

Im Folgenden werden zwei beispielhafte Messstellen mittels des vorab erläuterten Ansatzes näher betrachtet und diskutiert. Im ersten Beispiel, einem Milchviehstall, wurden Messungen an insgesamt zwei Stützen vorgenommen, welche im Bereich des Melkstandes liegen und deshalb sehr häufig mit Wasserstrahl gereinigt werden. Die oberflächlich an der dem Melkstand nächsten Stütze gemessenen Holzfeuchten liegen konstant über 20 %, siehe Abbildung 7. Auch in Kombination mit dem Temperatureinfluss fallen alle Tagesmittelwerte der Holzfeuchte in den Bereich, in dem die Gefahr von Pilzwachstum gegeben ist. Der Grund, dass trotzdem kein Pilzbefall am Bauteil festgestellt wurde, könnte daran liegen, dass ein „Aktivieren“ der Pilzsporen nicht stattgefunden hat, da die dafür notwendige Luftfeuchte von mindestens 95 % nicht erreicht wurde. Zudem ist ein möglicher „Auswascheffekt“ infolge des Reinigungsprozesses vorstellbar.

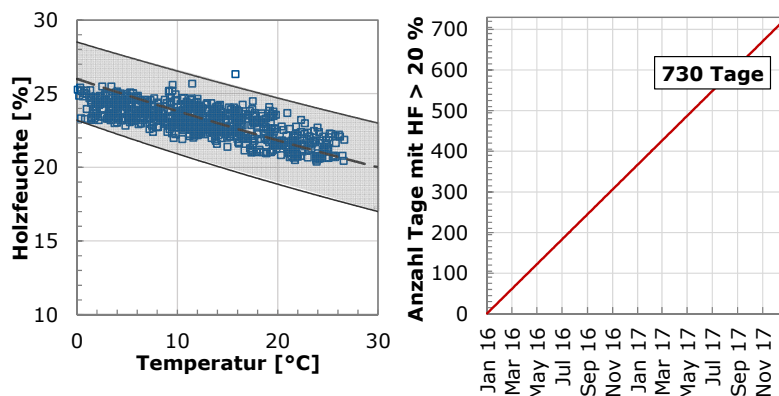


Abbildung 7: Punktwolke mit temperaturabhängiger Grenzlinie (links) sowie Summenlinie (Tage mit HF > 20 %) für Messstelle im Bereich des Melkstandes eines Milchviehstalls.

Für den Fall lokal hoher Feuchten, hier in Form von durch die Nutzer eingebrachter Feuchte, bietet sich die Ausführung einer lokal ausgerichteten, konstruktiven Holzschutzmaßnahme gegen die unzuträgliche Feuchtebeanspruchung an. Dementsprechend wurden im Forschungsprojekt hinterlüftete Bretterschalungen an die zwei Stützen angebracht (im Abstand von 15 mm zur Stütze 3.1, im Abstand von 10 mm zur Stütze 3.2). Für eine genaue Beschreibung dieser Maßnahme wird auf den Schlussbericht zum Forschungsvorhaben verwiesen [6]. Die vor und nach der Installation kontinuierlich gemessenen Holzfeuchten zeigen, dass die Bretterschalung einen positiven Effekt erbracht hat. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden die Mittelwerte der in 15 mm gemessenen Holzfeuchten bei der Messstelle 3.1 um 2 % und der Messstelle 3.2 um 1 % reduziert. Die Schwankungen der Holzfeuchte im oberflächennahen Bereich wurden deutlich abgemindert. Bei der Messstelle 3.1 wurde nach der Installation der Bretterschalung an keinen einzigen Tag Holzfeuchten

über 20 % gemessen. Die etwas langsamere Rücktrocknung der Stütze mit Messstelle 3.2 war auf die im Vergleich zur anderen Stütze deutlich stärkere Feuchtebeanspruchung und den dort reduzierten Abstand zwischen Schalungsbrettern und Stützenoberflächen zurückzuführen.

Im Zuge der kompletten Bauwerksaufnahme wurden auch Kontrollen der Holzfeuchte in den Bauteilen vorgenommen, die nicht mittels Langzeitmessungen überwacht wurden. Hierbei wurden an einigen Stützen in den Liegeboxen der Kühe einseitig hohe Holzfeuchten von bis zu 30 % erfasst. Diese Ergebnisse waren überraschend, weil bei vergleichbaren Messungen zu Beginn des Forschungsprojektes keine Auffälligkeiten festgestellt wurden. Grund war ein neues Einstreugemisch in den Liegeboxen, welchem eine erhebliche Menge Wasser beigemischt wird (Mischungsverhältnis Kalk:Stroh:Wasser = 3:1:4 Gewichtsanteile). Zur besseren Durchlüftung sind mehrere Ventilatoren im Dachbereich installiert, so dass die Ventilatorluft die Feuchtigkeit aus dem Einstreugemisch aufnahm und sich diese an den ventilatorzugewandten Seiten der Stützen niederschlug.

4.4.2 Kartoffellagerhalle

Im Lagerbereich der Kartoffellagerhalle ergaben sich während der Lagerung über lange Zeit Holzfeuchten über 20 %. Beinahe alle Messpunkte fallen in den Bereich, in dem Pilzwachstum möglich ist, vgl. Abbildung 8. Allerdings wurde auch hier kein Pilzbefall am Bauteil festgestellt. Bei genauerer Betrachtung herrschten in der Kartoffellagerhalle ab Ende November bis Anfang April ca. 7 °C und 95 % relative Luftfeuchte. Danach fiel die relative Luftfeuchte auf ca. 90 % und blieb auf diesem Niveau für die anschließenden 4 bis 5 Monate, wobei die Temperaturen zwischen 7 °C und 15 °C lagen. Dies lässt sich die Schlussfolgerung zu, dass trotz einer eventuell schon gegebenen „Aktivierung“ der Pilzsporen, die nach dem Auskeimen für das „Starten“ des Pilzwachstums notwendigen Klimabedingungen nicht über eine ausreichende Zeitdauer gegeben waren.

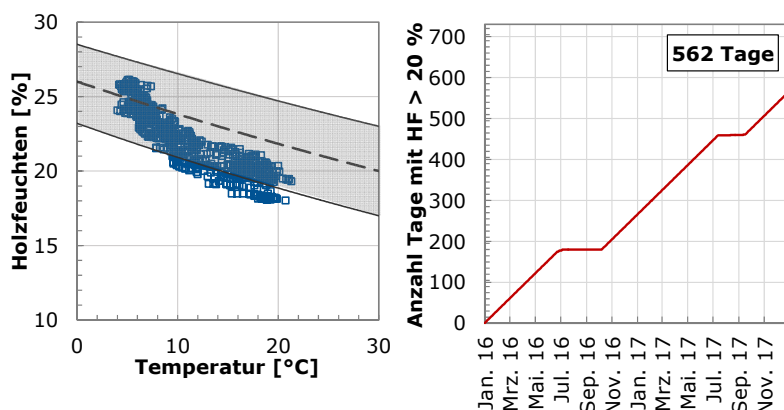


Abbildung 8: Punktwolke mit temperaturabhängiger Grenzwertlinie (links) sowie Summenlinie (Tage mit HF > 20 %) für Messstelle im Bereich Lagerbereich einer Kartoffellagerhalle.

5. Schlussfolgerungen und Vorschläge für die Praxis

Bis Anfang März 2018 wurden im Rahmen des Forschungsprojekts insgesamt über 15 Millionen Messwerte erfasst und ausgewertet. Bei 27 von insgesamt 78 Messstellen wurden Holzfeuchten über 20 %, jedoch unter dem Fasersättigungspunkt, gemessen. Bei Berücksichtigung des präziseren Holzzerstörungsmodells nach Viitanen und Ritschkoff [10] zeigte sich, dass das Potential einer Feuchteanreicherung bis zum Fasersättigungspunkt bei lediglich 5 der 27 Messstellen nicht auszuschließen ist. Bei einer zusätzlichen Bauwerksaufnahme aller Bauteile und Befragung der Gebäudenutzer konnte jedoch in keinem Objekt jetzt oder zu einem früheren Zeitpunkt Pilzbefall festgestellt werden.

Das positive Ergebnis dieser Untersuchungen bedeutet jedoch nicht, dass für die beschriebenen Grenzfälle keine spezifischen Maßnahmen zum Holzschutz ratsam sind. Bei der Planung konstruktiver Maßnahmen sollte man unterscheiden zwischen lokalen Einflüssen, die nur lokale Maßnahmen verlangen, und globalen Einflüssen, für die globale Lösungen notwendig sind. Die Beispiele für lokale Einflüsse sind zurückzuführen auf zusätzliche vom Nutzer ins Gebäude eingebrachte Feuchte (Feuchte aus der Nutzung).

Im Forschungsprojekt waren dies zum einen Holzstützen im Reinigungsbereich des Melkstandes bzw. die Stützen, an welche Luft mit hoher Luftfeuchte aufgrund des feuchten Einstreus durch Ventilatoren gegen eine Stützenseite geblasen wird. Die hierfür vorgeschlagene Lösung wäre ein Schutz vor direkter Befeuchtung mittels hinterlüfteter Bekleidung aus Brettern oder Edelstahl. Im Forschungsprojekt wurde eine solche Maßnahme im Reinigungsbereich eines Melkstands realisiert, die Messergebnisse zeigen den positiven Effekt der Bekleidung. Für den Neubau wird – neben o.g. Maßnahme – empfohlen, im direkten Melkbereich dauerhafte Holzarten einzusetzen (GK 3.1) oder bis zu einer Höhe von z. B. 1,5 m auf Stahlbetonteile auszuweichen.

Ein Beispiel für globale Einflüsse ist die Klimatisierung der Kartoffelhalle. Hier käme der Einsatz von Holzarten höherer Dauerhaftigkeit, wie z. B. Lärche und Douglasie Kernholz in Betracht.

Neben den vorgenannten spezifischen Maßnahmen (vor allem zum Schutz vor Feuchte aus der Nutzung) sind selbstverständlich die grundsätzlichen baulichen Maßnahmen nach DIN 68800-2 (Angaben aus DIN 68800 *kursiv* dargestellt) zu beachten, darunter:

- *Die Einbaufeuchte der Hölzer darf in den Gebrauchsklassen GK 0 - GK 3.1 nicht höher als 20 % liegen;*
- *Niederschläge sind vom Holz und den Anschlussbereichen durch einen dauerhaft wirksamen Wetterschutz fernzuhalten oder sie sind so schnell abzuleiten, dass keine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehaltes eintritt.* Nach Auffassung der Autoren dürfen auch hinterlüftet montierte, verschiebbare (z. B. Stegplatten), drehbare (z. B. Lamellen) oder wickelbare Windschutzsysteme (z. B. Curtains) als Sicherung gegen Schlagregen angesehen werden. Dabei gehen die Autoren davon aus, dass die Betreiber bei aufkommenden Schlechtwetterlagen zum Schutz der angrenzenden Funktionsbereiche (z. B. Liege- und Futtervorlageflächen) die flexibel verstellbaren Systeme verschließen. Ein Anstrichsystem ist dauerhaft nicht als wirksamer Wetterschutz anzusehen.
- *Spritzwasserschutz ist zu gewährleisten (Abstand Holzbauteile zum Bodenbelag ≥ 30 cm);*
- *Ein andauernder Feuchteintrag in Holzbauteile aus angrenzenden Stoffen sowie eine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehaltes durch Tauwasser sind zu verhindern.* Vor diesem Hintergrund ist nach Auffassung der Autoren von einschaligen Dachaufbauten abzuraten.

In nicht allen landwirtschaftlichen Nutzgebäuden ist das durchgängige Fernhalten von Niederschlägen durch Realisierung ausreichender Dachüberstände (30°-Regel) erreichbar, insbesondere bei Gebäuden mit Pultdächern z. B. Geräteschuppen. Laut DIN 68800-2 können bewitterte Bauteile ohne Erdkontakt in die GK 0 eingestuft werden, wenn folgende Maßnahmen zur Holzfeuchtebegrenzung durchgeführt werden:

- *Begrenzung der Rissbildung durch Beschränkung der Querschnittsmaße (16 cm x 16 cm bei Vollholz; 20 cm x 20 cm bei BSH) und durch kerngetrennten Einschnitt bei Vollholz; gehobelte Oberflächen;*
- *Verwendung von Brettschichtholz und technisch getrocknetem Vollholz;*
- *Niederschlagswasser muss direkt abgeführt werden;*
- *Stauwasser in den Anschlüssen muss verhindert werden;*
- *Hirnholz muss abgedeckt werden;*
- *Nicht vertikal stehende Bauteile sind oberseitig abzudecken;*
- *Senkrecht stehende Bauteile aus Brettschichtholz mit Querschnittsmaßen ≤ 20 cm x 20 cm oder Vollhölzern mit Querschnittsmaßen ≤ 16 cm x 16 cm.* Nach Auffassung der Autoren kann von dieser Regelkonstruktion in begründeten Fällen abgewichen werden (d.h. BSH-Stützen mit Abmessungen ≤ 20 cm x ≥ 20 cm), sofern die Stütze nicht auf der Wetterseite steht, hauptsächlich einseitig bewittert wird und die bewitterte Stützenseite (≤ 20 cm) keine Klebefugen enthält.

Die nach Auffassung der Autoren am besten geeignete bauliche Maßnahme zur Vermeidung eines Bauschadens durch holzerstörende Insekten ist der Einsatz von *Brettschichtholz, Brettsperrholz, technisch getrocknetem Bauholz oder Holzwerkstoffen mit einer Holzfeuchte ≤ 20 % im Gebrauchszustand.* Kann dies nicht erreicht werden ist das Holz *offen anzuordnen, so dass es kontrollierbar ist und an sichtbar bleibender Stelle dauerhaft*

ein Hinweis auf die Notwendigkeit einer regelmäßigen Kontrolle angebracht wird. Eine Dokumentation dieser Kontrollen wird empfohlen.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeiteten und getesteten Maßnahmen werden in einen Leitfaden mit Bauteilkatalog aufgenommen mit dem Ziel durch bauliche Maßnahmen eine Einstufung in die Gebrauchsklasse 0 zu erreichen bzw. in spezifischen Fälle über die Kombination aus baulichen Maßnahmen und Holzarten erhöhter Resistenz auf chemischen Holzschutz verzichten zu können. In Abstimmung mit dem Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr und nachfolgend mit der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU, wird als nächster Schritt angestrebt, derartige „Besondere bauliche Maßnahmen“ in Anlehnung an DIN 68800-2 baurechtlich verwendbar zu machen.

6. Danksagung

Das Forschungsvorhaben wurde aus Mitteln der Bayerischen Forstverwaltung gefördert. Partner in diesem Projekt waren die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Herr Dipl.-Ing. Architekt Jochen Simon und Herr Dipl.-Ing. (FH) Ferdinand Oberhardt.

An dieser Stelle sei allen Objektbesitzern und zuständigen Personen dafür gedankt, dass sie ihr Gebäude für die Langzeitmessungen zur Verfügung gestellt haben.

Den wissenschaftlichen Hilfskräften Maximilian Ernst, Sebastian Rodemeier, Benedikt Behounek, Andreas Reischenbeck, Benjamin Ostermaier, Michael S. Müller und Timothy Reichl sei für ihre Hilfe bei der Installation der Messtechnik, Bestandsaufnahme und Befragung sowie ihre Zuarbeit beim Auslesen und Auswerten der Messdaten gedankt.

Des Weiteren danken die Autoren Herrn Dipl.-Ing. Borimir Radović und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Florian Scharmacher M.Sc. für die guten Diskussionen über die Ergebnisse und daraus abgeleiteten Vorschläge.

7. Literatur

- [1] DIN 68800-1:2011-10, Holzschutz - Teil 1: Allgemeines. Beuth-Verlag, Berlin.
- [2] DIN 68800-2:2012-02, Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Beuth-Verlag, Berlin.
- [3] DIN 68800-3:2012-02, Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln. Beuth-Verlag, Berlin.
- [4] Grosser, D. Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschildlinge. DRW-Verlag Weinbrenner, Leinfelden-Echterdingen, 1985.
- [5] DIN EN 350:2016-12, Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff. Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] Jiang, Y., Dietsch, P. et al., Landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz (Gebrauchsklasse 0 (GK 0)) - Besondere bauliche Maßnahmen in Anlehnung an DIN 68800. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, 2018.
- [7] Gamper, A., Dietsch, P., Merk, M., Winter, S., Gebäudeklima - Langzeitmessung zur Bestimmung der Auswirkung auf Feuchtegradienten in Holzbauteilen. Bautechnik 90 (8), 2013, S. 508 – 519.
- [8] Haidn, B., Heidenreich, T., Simon, J., Hitzestress im Milchviehstall. LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2008.
- [9] Müller, M.S., Auswirkungen baulicher und konstruktiver Ausführung sowie der Gebäudenutzung auf das Innenraumklima landwirtschaftlicher Nutzbauten in Holzbauweise, Masterarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München, 2017.
- [10] Viitanen, H., Ritschkoff, A.C., Brown rot decay in wooden constructions: Effect of temperature, humidity and moisture. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report no. 222, Uppsala, 1991.
- [11] Kehl, D., Pilzmodelle - Ist der Befall vorhersehbar? Oder: Wann geht Holz kaputt? HOLZBAU - die neue Quadriga, 1/2011, S. 23-26.
- [12] Kehl, D., Feuchtetechnische Bemessung von Holzkonstruktionen nach WTA. HOLZBAU - die neue Quadriga, 6/2013, S. 24-28.