

Schallschutzkonstruktionen aus hochverdichteten Strohfasern: Niederschlagsbeanspruchung und Entwicklung konstruktiver Schutzmaßnahmen

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Schöbel

Fakultät Bauwesen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur
Karl-Liebknecht-Straße 132
04277 Leipzig
marcus.schoebel@fb.htwk-leipzig.de



Abstract: Im Forschungsprojekt werden hochverdichtete Strohfasern in Form von großformatigen Quaderballen ($l * b * h = 2,40 * 1,20 * 0,85 \text{ m}^3$, $m = 480 - 520 \text{ kg}$, $\rho \sim 200 \text{ kg/m}^3$, $w = 10 - 12 \%$) untersucht. Die Materialkosten können bei etwa $10 - 20 \text{ €/m}^2$ angesetzt werden. Neben Fragestellungen zu Brandverhalten, Schallschutz, Statik und Optik spielt infolge positiv zu bewertender wirtschaftlicher Aspekte, die Dauerhaftigkeit dieses potenziellen Baustoffs eine vordergründige Rolle. Eine unbehandelte Strohballenoberfläche ist nicht ausreichend witterungsbeständig, insbesondere bei Niederschlagsbeanspruchung. Die horizontalen Wandflächen werden stärker beansprucht als die senkrechten Wandflächen oder die Fundamentflächen. Der aus dem Wassereintrag resultierende Feuchtigkeitsanstieg im Balleninneren wird nicht mehr durch Trocknung infolge Sonneneinstrahlung verhindert, das Stroh verrottet. Ausschlaggebend für die Wasseraufnahme sind die Oberflächengestalt und der Faserverlauf in den nachfolgenden tieferen Schichten des Quaderballens. Als besonders anfällig sind die Fugenbereiche bzw. die Stöße der Wand zu bewerten. Dort liegt die Wassereindringtiefe aufgrund mäßiger Ballengeometrie (Ausrundung an den Enden) höher als bei flächigen Bereichen. Durch Schutzmaßnahmen (z. B. Verschalung) wird der Wassereintrag verhindert.

1 Einleitung

Etwa zwei Drittel der Deutschen fühlen sich, laut Umweltbundesamt, im Alltag durch Straßenverkehrslärm belästigt [UBA12]. Aus Presseberichten und Amtsmittteilungen geht hervor, dass neben einer fehlenden Rechtsgrundlage oftmals die hohen Baukosten bzw. ein schlechtes Kosten - Nutzen Verhältnis zum Scheitern von Schallschutzmaßnahmen führt [LfU09, Rn12]. Im Zeitraum von 1996 - 2010 lagen die Durchschnittskosten für Schallschutzwände in den einzelnen Jahren zwischen $235,-$ und $345,- \text{ €/m}^2$, der Durchschnittspreis aller Jahre lag bei $268,- \text{ €/m}^2$ [BMVBS11]. Stroh ist eine nachwachsende, regional verfügbare, jährlich anfallende und in den Stoffkreislauf rückführbare Ressource. Sie soll als umweltschonender sowie kostengünstiger Alternativbaustoff für temporäre und permanente Schallschutzkonstruktionen genutzt werden.

2 Hintergrund

Stroh ist organisches Material und somit witterungsempfindlich. Das bedeutet durch direkten Wassereintrag (Niederschlag) und der damit verbundenen dauerhaften Erhöhung des Wassergehaltes im Strohballen entsteht ein Verrottungsprozess und das Material kompostiert. Ungeschützte horizontale Bereiche nehmen die flächenbezogene Niederschlagsmenge komplett auf. Dies bedingt eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit und bedeutet eine Standsicherheitsgefährdung der Wand. Erste Vorversuche und Messungen (Zeitraum 04/2012 - 12/2012, Tabelle 1) im und am Strohballen zeigen, dass die Luftfeuchtigkeit (rF), welche je nach Witterung aufgenommen und wieder abgegeben wird, keine Verrottung verursacht, weil kein Nässestau entsteht.

Strohballen	ungeschützt	geschützt
Zeit	< $\frac{1}{3}$ a	> $\frac{3}{4}$ a
Temperatur (°C)	> 35 (> T außen)	= T außen
rF (%)	> 95	< 74
Anmerkung	Verrottung	ohne Befund

Tabelle 1: Vorversuch Witterungsbeständigkeit (0,60 m Messtiefe)

Mittels erster Modellaufbauten (Wanddicke = 1,20 m, im Läuferverband aufgeschichtete Strohballen) konnten folgende drei kritische Zonen festgestellt werden. Die erste Zone ist die Wandkrone, welche als horizontale Fläche mit der Breite von 1,20 m dem niederschlagsbedingten Wassereintrag am stärksten bzw. komplett ausgesetzt ist. Die zweite Zone bilden die, dem Schlagregen ausgesetzten, senkrechten Wandflächen mit den unterschiedlich ausgebildeten Fugen wie z. B. vertikale Stoßfugen, horizontal verlaufende und T-förmige Fugen. Die dritte Zone ist die Aufstandsfläche (Wandfundament), welche durch aufsteigende Bodenfeuchte beansprucht wird.

3 Material und Methoden

3.1 Stand der Technik

Klein- und Großballen werden als Baustoff (überwiegend als Dämmmaterial) bisher nur für den Strohballenhausbau genutzt. Dabei wird gegen Witterungseinflüsse grundsätzlich ein äußerer Schutz angeordnet. Durch zusätzlichen inneren Schutz (z. B. Putz) ist das Material dann weitestgehend vom Raum- und Außenklima entkoppelt [Kr08, MiMa04]. In Deutschland war für einige Jahre eine Verbundkonstruktion (Tragkonstruktion aus Holz, Füllmaterial loses Stroh) in verschiedenen Ausführungsvarianten auf dem Markt erhältlich [MN08]. Es sind auch mehrere bereits erloschene Patentanmeldungen bekannt (z.B. DE19916237A1, DE19517583A1), die vereinfachte Schallschutzwände aus Strohballen zum Gegenstand haben, sowie experimentelle Versuchsaufbauten, beispielsweise in Österreich [At12]. Zu den erloschenen Patenten und Pilotprojekten sind hinsichtlich der Anforderungen von Lärmschutzeinrichtungen an Straßen, insbesondere der Witterungsbeständigkeit, keine wissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse bekannt. Organische Baustoffe, wie beispielsweise Holz, müssen gegen Feuchtigkeit geschützt

werden, damit die Dauerhaftigkeit des Bauteils gewährleistet ist. Das wird durch konstruktiven, physikalischen oder auch chemischen Holzschutz (vorrangig gegen holzerstörende Insekten und Pilze) bzw. durch Kombination von Maßnahmen erreicht [Ba09, Be08]. Anorganische Baustoffe hingegen reagieren vergleichsweise unempfindlich auf Niederschlagsbeanspruchung.

3.2 Vorbetrachtung

Es wird angenommen, dass die Porosität bzw. der Porenanteil einen Einfluss auf die Wasseraufnahmefähigkeit des Strohballens hat. Je weniger das Material verdichtet ist, desto größer das Porenvolumen und umso mehr Porenraum steht für die Wassereinlagerung zur Verfügung. Für die hochverdichteten Strohballen kann ein Porenvolumen von > 85% angesetzt werden (s. Tabelle 2).

Reindichte ρ_s	Kapillarpyknometer	Gaspyknometer	durchschnittl. Porosität
Einheit	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[-]
Mittelwert	1,46	1,39	0,85 - 0,86
Standardabweichung	0,12	0,02	-
Anmerkung	ungenauer Richtwert, hohe Abweichungen	Rechenwert, hohe Genauigkeit	$\Phi = 1 - (\rho_d/\rho_s)$ mit $\rho_{d, \text{Ballen}} = 0,2 \text{ g/cm}^3$
Regelwerk	DIN 18124 – KP:2007	DIN 66137-2:2004	-

Tabelle 2: Reindichte von Strohfasern ($w_n = 5,6\%$) und Ermittlung der Strohballen – Porosität

Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Ausbildung der Oberflächenstruktur bei der Wasseraufnahme und Eindringtiefe (kapillare Saugwirkung) eine Rolle spielt [EDIN12]. Dabei muss prinzipiell zwischen den zwei Strukturen Porenstruktur und Faserstruktur unterschieden werden. Aufgrund der Halmausrichtung im Strohballen (orthogonal zur Längsrichtung) und der gestapelten Bauweise ergibt sich für senkrechte Wandflächen eine Porenstruktur und für die Aufstandsflächen eine Faserstruktur. Zunächst wird durch Kleinversuche (Lagerung im Wasserbecken) geprüft, ob Dichte und/oder die Faserstruktur einen signifikanten Einfluss auf die Wasseraufnahmefähigkeit haben.

3.3 Untersuchungsmethoden

Testreihe 1: Bestimmung der Abhängigkeit zwischen Wasseraufnahme und Faserrichtung nach DIN EN 1609 (Simulation: Wasseraufnahme bei 24 h Regenperiode während der Bauzeit). Es wurden flache kreisförmige ($\varnothing \approx 0,24 \text{ m}$, Porenstruktur) und rechteckige Prüfkörper ($a/b \approx 0,24 \text{ m}$, Faserstruktur) verwendet. Diese wurden vollflächig ($10 \pm 2 \text{ mm}$ Eintauchtiefe) für 24 h in einem Wasserbecken gelagert. Nach zehnmütigem Abtropfen wurde der Prüfkörper gewogen und die Masse m_{24} bestimmt. Mit der Formel $W_p = (m_{24} - m_0)/A_p$, Massendifferenz im Verhältnis zur Benetzungsfläche, wurde die Wasseraufnahme W_p in kg/m² ermittelt [DIN12]. Testreihe 2: Bestimmung kritischer Wandbereiche und Prüfung von Schutzmaßnahmen in einer Beregnungsanlage. Es wurden Strohquader ($\rho_{f, \text{Einbau}} = 127 - 194 \text{ kg/m}^3$) mit folgenden Spezifikationen in eine Prüfvorrichtung aus Plexiglas ($l * b * t = 0,8 * 0,6 * 0,6 \text{ m}^3$) eingebaut - vollflächig, horizontale Fuge, vertikale Fuge, horizontal und vertikal verlaufende Fuge (T - Fuge). Die Prüffläche ($0,8 * 0,6 \text{ m}^2$) wurde einem naturnahen Regenereignis (Kostra

- Tabellen) mit der Wiederkehrzeit von $T = 10$ a und der Dauer von 0,5 h ausgesetzt. Nach weiteren 0,5 h (Abtropfzeit) wurde die Eindringtiefe rückseitig mit einer Feuchtigkeitsmesslanze (Fa. Draminski) an acht Messpunkten bestimmt. Zur Ermittlung der absoluten Wasseraufnahme wurde die Massendifferenz aus dem Gewicht der Versuchseinrichtung vor und nach der Beregnung bestimmt. Um die Eindringtiefe zu verringern bzw. zu verhindern wurde die kritischste Oberflächenausbildung (T - Fuge) mit verschiedenen Schutzvarianten ausgestattet und erneut in der Beregnungsanlage geprüft.

4 Ergebnisse

4.1 Testreihe 1: Abhängigkeit der Wasseraufnahme zur Faserrichtung

Ausschlaggebend für die Wasseraufnahme ist die Faserrichtung. Verdichtete Strohfasern orthogonal zur Wasseroberfläche nehmen deutlich mehr Feuchtigkeit auf (s. Diagramm 1). Das liegt an der Röhrenstruktur, welche die kapillare Saugfähigkeit begünstigt. Teilweise wurden nach 24 h lokale Durchfeuchtungen an der Oberkante der kreisförmigen Prüfkörper ($h = 5 - 7$ cm) festgestellt. Das bedeutet, innerhalb der 24 h waren die maximale Eindringtiefe und die damit mögliche Wasseraufnahme vermutlich noch nicht erreicht. Deshalb wurde eine weitere Versuchsserie mit höheren Strohzyklindern ($h \sim 0,2$ m) begonnen (s. Diagramm 2). Der extreme Belastungsfall einer 24 h Regenperiode während der Bauzeit ist als Maximalwert der Wasseraufnahme zu betrachten.

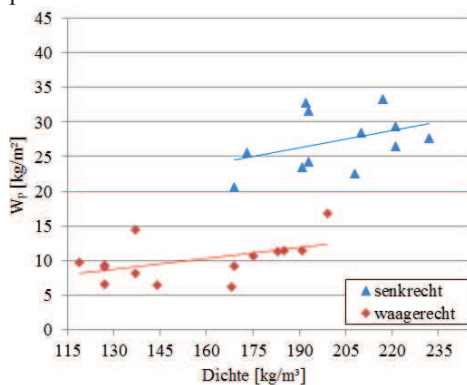


Diagramm 1: flächenspezifische Wasseraufnahme in Abhängigkeit zur Faserrichtung

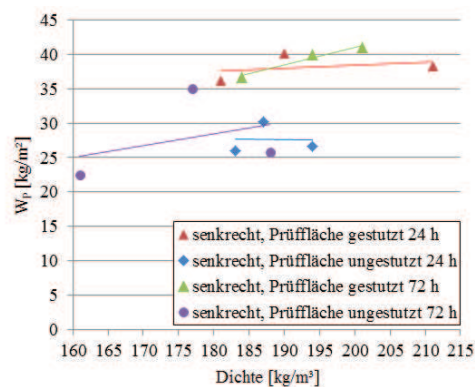


Diagramm 2: erhöhte Wasseraufnahme bei vergrößerter Prüfkörperhöhe (0,2 m)

4.2 Testreihe 2: kritische Wandbereiche und Schutzmaßnahmen

Als problematisch sind die senkrechten Flächen hinsichtlich der Wassereindringtiefe zu bewerten. Messungen an der Modellwand ergaben einen Feuchtigkeitseintrag bis in Tiefen von 0,3 m. Besonders die Fugenausbildungen (waagrecht, senkrecht und T - förmig) unterliegen einer erhöhten Regenwassereinleitung infolge von Absätzen bzw. Überständen resultierend aus Unregelmäßigkeiten der Strohballengeometrie. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch die Kurzzeitversuche in einer Beregnungsanlage (s. Tabelle 3).

Strotoberfläche	Schutz	Fugenausbildung	$\varnothing m_{\text{Wasser}} [l]$	Tiefe [cm]
unbehandelt	ohne	T - Fuge	2,13	10 - 45
unbehandelt	ohne	horizontal verlaufende Fuge	2,05	10 - 25
gestutzt (feinporig)	ohne	T - Fuge	1,83	5 - 25
gestutzt (feinporig)	ohne	ohne Fuge (vollflächig)	1,75	5 - 25
unbehandelt	ohne	ohne Fuge (vollflächig)	1,0	5 - 25
unbehandelt	MG	T - Fuge	0,80	5 - 25
unbehandelt	ohne	vertikal verlaufende Fuge	0,55	10 - 20
unbehandelt	MG + RS	T - Fuge	0,40	5 - 15
unbehandelt	RS	T - Fuge	0,30	5 - 15
unbehandelt	USB + RS	T - Fuge	0	0

Anm.: MG = Metallgitter (verzinkt), RS = Rhombusschalung (Lerche), USB = Unterspannbahn (diffusionsoffen)

Tabelle 3: Prüfvarianten Berechnungsanlage: absolute Wasseraufnahme und Wassereindringtiefe

5 Diskussion

Hinsichtlich der Wassereindringtiefe ist die langfaserige Oberfläche vorteilhafter gegenüber der gestutzten und somit feinporigen Oberfläche. Das Wasser kann aufgrund der inhomogenen Oberflächenstruktur gut ablaufen. Außerdem ist durch den richtungslosen Halmverlauf die kapillare Saugwirkung schwächer ausgeprägt. Das bestätigen auch die Kleinversuche zur Wasseraufnahme. Allerdings ist lediglich die Eindringtiefe niedriger, ein Wasserzutritt wird durch die unbehandelte Oberfläche nicht verhindert. Im Bezug zum Brandverhalten ist allerdings eine feinporige Oberfläche vorteilhaft. Die langfaserige Oberfläche ist leichter entflammbar, weil die abstehenden Halme ein rasches Aufsteigen der Flammen begünstigen [SF12]. Theoretisch sind Kombinationen aus Maßnahmen notwendig, die mehrerer Aspekte (Schall, Brand, Dauerhaftigkeit) unter optimalen Wirkungsgraden bedienen. Als kritisch und somit bautechnisch relevant sind die Fugen, vor allem der T - Stoß, zu bewerten. Dort liegt die Eindringtiefe um ein Vielfaches höher als bei den anderen Prüfflächen. Ein vollflächiger Schutz der Prüffläche unterbindet den Feuchtigkeitszutritt aus auftreffendem Schlagregen. Anhand der Ergebnisse aus Testreihe 1 und 2 sowie den Messungen an der Modellwand wird Folgendes deutlich. Ein konstruktiver Schutz gegen Durchfeuchtung ist für horizontale und senkrechte Flächen, insbesondere der Fugenbereiche, eindeutig notwendig.

6 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse führten zu folgenden konstruktiven Umsetzungen (Prinziplösungen) an der Modellwand. Die Wandkrone wird durch eine Dachkonstruktion in Leichtbauweise (abgespannte Holz - Folienkonstruktion, Material ca. 15 €/lfdm) gegen Schlagregen geschützt. Im Vergleich zur ungeschützten Aufbauvariante, die bereits nach wenigen Monaten infolge Feuchtigkeitszunahme und einhergehender Rotte erhebliche Substanzschädigungen aufwies, ist die Dauerhaftigkeit (im Augenblick > 1,5 a) durch diese Maßnahme stark verbessert. Ein Kiespolster als Gründungselement für temporäre Wandkonstruktionen ist prinzipiell ausreichend, um die Unterseite des Strohballens gegen aufsteigende Feuchtigkeit zu schützen. Für permanente Konstruktionen ist eine

Entkopplung zwischen Stroh und Untergrund vorzusehen, beispielsweise durch ein Streifenfundament aus Beton. Eine teilflächige Verschalung (Material ca. 100 €/m²) der senkrechten Wandflächen wird als prinzipielle Lösungsidee bevorzugt, weil einerseits der Wassereintrag verringert bzw. bei zusätzlicher Unterspannbahn verhindert wird und eine Schaltoffenheit zur Gewährleistung der Schallabsorptionsfähigkeit der verdichteten Strohfaser (ohne Schutzmaßnahme geprüft für Bauteildicke = 0,25 m, $DL_a = 16,7$ dB - hochabsorbierend) gegeben ist. Ergebnisoffen ist die Höhe der Schallreflexion (Schalldämmung), die Reduzierung der Schallabsorptionsfähigkeit und ob ein Schutz vor Entflammbarkeit durch die Rhombusfassade als Vorsatzschale erreicht wird. Neben einer festgestellten Veränderung des Farbtones der Strotoberfläche sind andere Auswirkungen von UV-Strahlung auf das Stroh noch zu untersuchen und ob diese ggf. durch eine Vorsatzschale verhindert werden können.

Literaturverzeichnis

- [At12] http://www.hallo-zeitung.at/ausgaben/137/46_laermschutz_aus_stroh/;
<http://www.feketitsch.at/projekt06.html>; jeweiliger Zugriff: 03.12.2012.
- [Ba09] Bablick, M.: Holz und Holzwerkstoffe, Oberflächenbehandlung und Schutz, deutsche Verlags - Anstalt, München, 2009, S. 106ff.
- [Be08] Benedix, R.: Bauchemie, Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2008, S. 475ff.
- [BMVBS11] Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2010, Bonn: BMVBS, 01.09.2011; S. 18ff.
- [DIN12] DIN EN 1609: Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisem Eintauchen, 07.2012.
- [EDIN12] E DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 01.2012, S. 19-22.
- [Kr08] Krick, B.: Untersuchung von Strohbällen und Strohbällenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der Bauweise, Dissertation, kassel university press GmbH, Kassel, 2008, S. 111-121.
- [LfU09] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Die Verhältnismäßigkeit der Kosten von Schallschutzanlagen an Straßen und Schienenwegen, Kurzbericht über eine Untersuchung, BayLfU - Ref. 27, Stand: 08.2007, S. 2ff.
- [MiMa04] Minke, G.; Mahlke, F.: Der Strohbällenbau: Ein Konstruktionshandbuch, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2004, S. 53ff.
- [MN08] <http://www.main-netz.de/nachrichten/region/alzenau/alzenau/art3981,483104>;
Zugriff: 03.12.2012.
- [Rn12] <http://www.ruhrnachrichten.de/lokales/werne/Laermschutzwand-fuer-einzelne-Gehoeft-zu-teuer;art942,1762760>; Zugriff: 03.12.2012.
- [SF12] Schöbel, M.; Fuhrmann, M.: Entwicklung von Schallschutzkonstruktionen aus Stroh: Brandverhalten von hochverdichtetem Stroh und Möglichkeiten der Oberflächenmodifizierung. In (Honekamp, W.; Schindler, P., Hrsg.): Tagungsband / 13. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz mitteldeutscher Fachhochschulen, Hochschule Zittau/Görlitz, in Görlitz am 19.04.2012, Re Di Roma-Verlag, Remscheid, 2012, S 83-88.
- [UBA12] <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2451>; Zugriff: 03.12.2012.