

Entwicklung eines nachhaltigen Fußbodenaufbaus mit biogenen Füllstoffen als Kohlenstoffsenke (CircularBioFloor)

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 8/2025

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Kontakt zur Mission „Klimaneutrale Stadt“: DIⁱⁿ (FH) Katrin Bolovich

Kontakt zu „Technologien und Innovationen für die klimaneutrale Stadt“: DIⁱⁿ (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

Georg Breitenberger, Dr. Gregor Metzler, Dr. Kilian Rießbeck (ParaStruct GmbH)

Wien, 2025. Stand: 27. Februar 2026

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von ParaStruct GmbH erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem FTI-Schwerpunkt „Klimaneutrale Stadt“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) und Klima- und Energiefonds (KLIEN). Im Rahmen dieses Schwerpunkts werden Forschung, Entwicklung und Demonstration von Technologien und Innovationen gefördert, mit dem Ziel, einen essentiellen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität in Gebäuden, Quartieren und Städten zu liefern. Gleichzeitig wird dazu beigetragen, die Lebens- und Aufenthaltsqualität sowie die wirtschaftliche Standortattraktivität in Österreich zu erhöhen. Hierfür sind die Forschungsprojekte angehalten, einen gesamtheitlichen Ansatz zu verfolgen und im Sinne einer integrierten Planung – wie auch der Berücksichtigung aller relevanten Bereiche wie Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung, Berücksichtigung von gebauter Infrastruktur, Mobilität und Digitalisierung – angewandte und bedarfsorientierte Fragestellungen zu adressieren.

Um die Wirkung des FTI-Schwerpunkts „Klimaneutrale Stadt“ zu erhöhen, ist die Verfügbarkeit und Verbreitung von Projektergebnissen ein elementarer Baustein. Durch Begleitmaßnahmen zu den Projekten – wie Kommunikation und Stakeholdermanagement – wird es ermöglicht, dass Projektergebnisse skaliert, multipliziert und „Von der Forschung in die Umsetzung“ begleitet werden. Daher werden alle Projekte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at frei zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhalt

Rechtlicher Hinweis	3
Vorbemerkung.....	4
1 Kurzfassung.....	7
2 Abstract	10
3 Projektinhalt	13
3.1 Projektziele und Lösungsansätze.....	15
3.1.1 Lösungsansätze	16
3.1.2 Innovationsgehalt.....	18
3.1.3 State of the Art	18
3.1.4 Zugrundeliegende Kompetenzen	19
3.2 Methodenkritik und Trouble-shooting.....	20
4 Ergebnisse	22
4.1 Mischungsserie mit Buchenmehl.....	23
4.2 Serie mit Buchenmehl und alternativem Bindemittel	26
4.3 Mischungen mit Großgebinden	27
4.4 Mischungen mit Sandbeimengungen	30
4.5 Mischungen mit Fichtenspänen.....	33
4.6 Alternative Füllstoffe	38
4.6.1 Hanf.....	39
4.6.2 Korkmehl	41
4.6.3 Andere Füllstoffe	43
4.7 Messungen der Härte des Estrichs	46
4.8 Behaglichkeit.....	50
4.9 3D-gedruckter Estrich	51
4.10 Recycling - Bindemittelreaktivierung.....	52
4.11 Wettbewerbsanalyse	54
4.12 Einpassung in den Schwerpunkt „Klimaneutrale Stadt“	58
5 Schlussfolgerungen.....	60
6 Ausblick und Empfehlungen.....	63
Anhang	65
Abbildungsverzeichnis.....	66
Literaturverzeichnis	68

Abkürzungen.....	69
-------------------------	-----------

1 Kurzfassung

Der Bausektor steht angesichts des fortschreitenden Klimawandels und der zunehmenden Ressourcenverknappung vor einem grundlegenden Wandel. Gebäude und ihre Materialien verursachen einen erheblichen Anteil der globalen Treibhausgasemissionen sowie des Rohstoffverbrauchs. Vor diesem Hintergrund steigt der Bedarf an innovativen, nachhaltigen und zirkulären Baustoffen, die sowohl den ökologischen Fußabdruck reduzieren als auch eine hochwertige, langlebige Bauweise ermöglichen. Insbesondere im Bereich der Bodenaufbauten eröffnet die Entwicklung neuer materialeffizienter Lösungen ein großes Potenzial, um den Klima- und Ressourcenschutzzielen gerecht zu werden.



Abbildung 1: Handmuster des von ParaStruct entwickelten mehrschichtigen Fußbodenaufbaus.

Konventionelle Fußbodenaufbauten bestehen heute überwiegend aus mehrschichtigen Estrichsystemen, die eine auf der Rohdecke liegende Trennschicht, wärme- und trittschalldämmende Materialien auf Basis von Kunststoffen oder Holzfasern, einen Zement- bzw. Calciumsulfatestrich sowie einen abschließenden Bodenbelag umfassen. Insbesondere Nassestriche auf Zement- oder Anhydritbasis weisen mehrere technische und ökologische Nachteile auf: Sie bringen erhebliche Feuchtemengen in das Gebäude ein, erfordern lange Trocknungszeiten und sind daher nur eingeschränkt mit der modernen Holzbauweise kompatibel. Darüber hinaus sind sowohl ihre CO₂-Bilanz als auch jene der häufig eingesetzten polymerbasierten Dämm-, Trenn- und Belagsschichten ungünstig,

wodurch der gesamte Bodenaufbau zu den ökologisch belastendsten Bauteilen im Hochbau zählt.

Trockenestrichsysteme stellen eine mögliche Alternative dar, sind jedoch oftmals mit Einschränkungen verbunden. Sie gelten als aufwändig in der Verarbeitung, weisen eine geringere mechanische Belastbarkeit auf, reagieren empfindlich auf Feuchtigkeit und sind nicht mit allen gängigen Fußbodenheizungssystemen kombinierbar. Zudem bestehen viele Trockenestrichelemente aus wenig nachhaltigen Materialien, was die Rückbau- und Recyclingfähigkeit deutlich limitiert.

Historisch wurden neben dem heute allgegenwärtigen Zement etliche weitere mineralische Bindemittel eingesetzt, die aufgrund fehlerhafter Rezepturen, unsachgemäßer Ausführung und des erforderlichen Spezialwissens weitgehend vom Markt verdrängt wurden. Vor dem Hintergrund des stark zunehmenden Anteils an Projekten in Holzbauweise, wo Zementestrich nicht nur nicht nachhaltig ist, sondern als Stilbruch gesehen wird, eröffnet sich jedoch das Potenzial für eine Renaissance dieser Baustoffe. Die Weiterentwicklung und Modernisierung von nicht-zementären Estrichsystemen stellt daher einen vielversprechenden Ansatz dar, ökologische und bauphysikalische Defizite bestehender Bodenaufbauten zu adressieren.

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines vollständig recycelbaren Fußbodenaufbaus sowohl in Form einer lose einbringbaren Schüttmasse als auch als additiv gefertigtes Systemelement. Durch den Einsatz mineralischer Low-Carbon-Binder und biogener Reststoffe wurden neuartige, ökologische und zugleich kostengünstige Produkte geschaffen, die konventionelle Zementestriche hinsichtlich Umweltwirkung, Ressourcenschonung und Wirtschaftlichkeit übertreffen können. Die entwickelten Lösungen ermöglichen eine deutliche Reduktion des Material- und Energieeinsatzes, nutzen Abfallströme und tragen durch ihre Kreislauffähigkeit zur Minimierung des ökologischen Fußabdrucks im Hochbau bei. Gleichzeitig wurden die Produkte so ausgelegt, dass sie breit einsetzbar sind und nachhaltiges Bauen einer größeren Bevölkerungsgruppe zugänglich machen. Durch natürliche Baustoffe, verbesserte Innenraumqualitäten und materialeffiziente Fertigungsmethoden kann zudem der Lebensstandard in urbanen Gebäuden erhöht werden.

Die methodische Umsetzung umfasste zunächst die systematische Analyse und Bewertung der industriellen Verarbeitbarkeit der neu entwickelten Baustoffe – von der Rohstoffgewinnung über Lagerung und Mischung bis hin zur Verarbeitung im industriellen

Maßstab. Darauf aufbauend wurden mechanische Festigkeits- und Materialkennwerte ermittelt, um die Leistungsfähigkeit der Produkte zu charakterisieren und mit konventionellen Zementestrichen zu vergleichen. Parallel dazu erfolgte die ökologische Bewertung mittels Produktfußabdruck, um die Vorteile der Low-Carbon-Binder, der biogenen Reststoffe und der Wiederverwertbarkeit des Materials quantifizierbar zu machen. Eine kalkulierbare Kostenbasis wurde durch techno-ökonomische Analysen geschaffen. Für das Systemelement wurde zusätzlich die additive Fertigungstechnologie adaptiert und optimiert, um durch geometrische Anpassungen weitere Material- und Ressourceneinsparungen zu erzielen. Abschließend wurden Konzepte zur Kreislaufführung ausgearbeitet, um vollständige Rezyklierbarkeit und Wiederverwendbarkeit sicherzustellen.

Das Projekt lieferte wesentliche Erkenntnisse zur Entwicklung eines recyclingfähigen Estrichsystems und stärkte maßgeblich die technische Kompetenz des Projektteams. Die Untersuchungen bestätigten, dass sich der entwickelte Estrich grundsätzlich erfolgreich herstellen lässt und die erforderlichen normativen Prüfungen zum überwiegenden Teil erfüllt. Gleichzeitig zeigte sich, dass niedrige Verarbeitungstemperaturen die Festigkeitsentwicklung des Bindemittels beeinträchtigen – ein erwartbares, aber nun empirisch belegtes Verhalten, für das geeignete Gegenmaßnahmen definiert wurden. Die additive Fertigung erwies sich hingegen noch nicht als ausreichend leistungsfähig, um die notwendige Festigkeit für ein normgerechtes Systemelement zu erreichen; die daraus entwickelte Alternative zeigt jedoch, dass durch CNC-basierte Verfahren bereits praxistaugliche Lösungen möglich sind. Die gewonnenen Materialerkenntnisse, insbesondere zur guten Fräsbarkeit, ebnen den Weg für zukünftige Produktvarianten. Auf Basis der Projektergebnisse können nun Verkaufsunterlagen, ein systematisches Qualitätsmanagement und weiterführende technische Auswertungen erstellt werden. Darüber hinaus wurden wichtige Impulse für die Markteinführung gesetzt: Die dokumentierten Nachhaltigkeitsvorteile bilden ein starkes Alleinstellungsmerkmal, das sowohl für Endkund:innen als auch für Planer:innen und potenzielle Lizenznehmer:innen relevant ist. Zugleich wurden normative und regulatorische Herausforderungen identifiziert, insbesondere hinsichtlich alternativer biogener Füllstoffe, deren Einsatz weitere Entwicklungen in der Normung sowie zusätzliche Leistungsnachweise erfordert. Künftige Arbeiten werden sich daher sowohl auf die Weiterentwicklung des Endbelags als auch auf die Validierung der Materialeigenschaften für unterschiedliche Anwendungsfälle konzentrieren, um das Produktportfolio zu vervollständigen und die Marktreife weiter voranzutreiben.

2 Abstract

The construction sector is undergoing a fundamental transformation in light of accelerating climate change and increasing resource scarcity. Buildings and the materials used in them account for a significant share of global greenhouse gas emissions and raw material consumption. Against this background, the demand for innovative, sustainable, and circular building materials is rising—materials that reduce the ecological footprint while enabling high-quality and durable construction. In the field of floor systems in particular, the development of new, material-efficient solutions offers considerable potential to meet climate and resource protection goals.

Conventional floor assemblies today typically consist of multi-layer screed systems that include a separation layer on the structural slab, thermal and impact sound insulation made of plastics or wood fibers, a cement- or calcium-sulfate-based screed, and a final floor covering. Especially wet screeds based on cement or anhydrite present several technical and ecological drawbacks: they introduce substantial moisture into the building, require long drying times, and are therefore only partially compatible with modern timber construction. Moreover, their CO₂ footprint—as well as that of the commonly used polymer-based insulation, separation, and covering layers—is unfavorable, making floor assemblies one of the most environmentally burdensome components in building construction.

Dry screed systems offer a potential alternative but are often associated with limitations. They tend to be labor-intensive to install, exhibit lower mechanical load capacity, are sensitive to moisture, and are not compatible with all common underfloor heating systems. In addition, many dry screed elements are made from materials with low sustainability, significantly limiting their ease of disassembly and recycling potential.

Historically, a number of mineral binders were used in addition to today's ubiquitous cement, but they were largely pushed out of the market due to faulty formulations, improper execution, and the specialized expertise required. In light of the rapidly growing number of timber-construction projects—where cement-based screeds are not only unsustainable but also regarded as aesthetically incompatible—there is renewed potential for a revival of these materials. The advancement and modernization of non-cementitious screed systems therefore represents a promising approach to addressing the ecological and

building-physics shortcomings of current floor constructions. The aim of the project was to develop a fully recyclable floor system, both as a loose-fill screed material and as an additively manufactured system element. The use of mineral low-carbon binders and biogenic residual materials enabled the creation of novel, ecological, and cost-effective products that can surpass conventional cement screeds in terms of environmental performance, resource efficiency, and economic viability. The solutions developed enable a significant reduction in material and energy consumption, make use of waste streams, and—through their circular design—contribute to minimizing the ecological footprint in construction. At the same time, the products were designed to be widely applicable, making sustainable construction accessible to a broader population. Natural materials, improved indoor environmental quality, and material-efficient manufacturing methods can further enhance the standard of living in urban buildings.

The methodological approach began with a systematic analysis and evaluation of industrial processability of the newly developed materials—from raw material procurement to storage, mixing, and large-scale processing. Subsequently, mechanical strength properties and material parameters were determined to characterize product performance and compare it with conventional cement screeds. In parallel, an ecological assessment was conducted using product footprint methodologies to quantify the advantages of low-carbon binders, biogenic residuals, and recyclability. A calculable cost basis was established through techno-economic analyses. For the system element, additive manufacturing technologies were adapted and optimized to achieve further material and resource savings through geometric design. Finally, circularity concepts were developed to ensure complete recyclability and reusability.

The project generated important insights into the development of a recyclable screed system and significantly enhanced the technical expertise of the project team. The investigations confirmed that the developed screed can be successfully produced and that the required normative tests were largely fulfilled. At the same time, it became evident that low processing temperatures negatively affect the strength development of the binder—an expected but now empirically verified behavior for which appropriate mitigation strategies were defined. Additive manufacturing, however, did not yet achieve the necessary strengths for a normative system element; nevertheless, the CNC-based alternative developed within the project demonstrates that practicable solutions are already feasible. The gained material insights, particularly regarding good machinability, pave the way for future product variants. Based on the project results, sales materials, a systematic quality management framework, and further technical evaluations can now be developed. In

addition, the project provided important momentum for market introduction: the documented sustainability advantages constitute a key unique selling point relevant to end customers, planners, and potential licensees. At the same time, normative and regulatory challenges were identified, particularly concerning alternative biogenic fillers whose use will require further standardization developments and additional performance verification. Future work will therefore focus on the development of the final floor covering as well as on validating material performance for different applications in order to complete the product portfolio and further advance market readiness.

3 Projekthinhalt

Die Bauindustrie ist einer der größten CO₂-Emittenten und ist in Österreich verantwortlich für 75 % der Abfallmenge.^[1] Allein die Zementherstellung ist verantwortlich für ca. 8% der CO₂-Emissionen.^[2] Viele sehen im Holzbau die Rettung. Aber wie oft in der jüngeren Geschichte waren bereits die Wälder Mitteleuropas abgeholzt? Das letzte Mal war das zu Zeiten der industriellen Revolution der Fall. Bei der Herstellung von Holzprodukten können je nach Produkt sehr große Mengen an Verschnitt anfallen, bei Möbelstücken aus Massivholz bis zu 50-60%. In Österreich fallen pro Jahr 1,2 Mio. Tonnen an Holzabfällen an was 1,95 Mio. Tonnen in Festmetern Holz entspricht. Über 40% werden einer thermischen Verwertung zugeführt, wobei 10- 20%, sprich 200.000 t wieder aus feinsten Stäuben oder Rinden, Schwarten bestehen, die in der Herstellung von Spanplatten nicht nutzbar sind. 70% des Holzes wird in Europa nur 2 Jahre genutzt, bevor es verbrannt oder entsorgt wird.^[3] Viele Spanplatten bestehen aus synthetischen Klebern, die ein Recycling nicht möglich machen. Die thermische Verwertung organischer Materialien zur Energiegewinnung hat einen geringen Wirkungsgrad und sollte nur bei ansonsten nicht mehr verwertbaren Abfallholz eingesetzt werden. Das Unternehmen ParaStruct GmbH aus Innsbruck hat im Rahmen einer Sondierung mehrere biobasierte Materialien hergestellt und eine Stakeholder Befragung durchgeführt bei der sich herausstellte, dass die Verwendung biobasierter Materialien in der Bauindustrie als nachhaltige und umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Baumaterialien zunehmend an Bedeutung gewinnt. Da Fußbodenaufbauten meist eine sehr schlechte Ökobilanz haben, wurde von Planer:innen der Einsatz nachhaltiger Materialien in diesem Bereich als wichtiges Ziel zukünftiger Baustoffentwicklung genannt. Von der Holzindustrie kam der Wunsch nach einem Fußbodenaufbau der einen hohen Brandschutz bietet und trocken einbaubar ist. ParaStruct setzt seine biobasierten Materialien in konventionellen Fertigungsverfahren als Schütt- und Gussmassen sowie in der digitalen Fertigung (3D-Druck) ein. Durch das Projekt sollen je ein konventionell gefertigtes und ein 3D-gedrucktes Minimum Viable Product (MVP) entwickelt werden, um Fertigungsparameter zu gewinnen und um mit dem MVP Markttests durchführen zu können. Die beiden MVP sollen dabei den gängigen Normen für Fußbodenaufbauten genügen. Nach seiner Lebenszeit wird der von ParaStruct entwickelte Fußboden rückgebaut (3D-gedruckter Systemboden) oder recycelt und erneut als Sekundärrohstoff eingesetzt. Biobasierte Materialien werden aus erneuerbaren Ressourcen wie Holz und schnellwachsenden Pflanzen oder Pflanzenresten aus der Landwirtschaft gewonnen und bieten eine Reihe von Vorteilen in Bezug auf geringere

Umweltauswirkungen und Ressourcenschonung, denn in vielen Gebieten Europas ist z.B. Sand bereits eine knappe Ressource. Durch den Einsatz unterschiedlicher Holzarten und landwirtschaftlicher Abfälle ergibt sich eine sehr breite Materialpalette mit welcher gezielt verschiedene Produkte mit unterschiedlichen Eigenschaften erzeugt werden können.

Das Projekt leistet einen substantiellen Beitrag zu den strategischen Zielen der Ausschreibung, insbesondere zur Dekarbonisierung und zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bausektor. Zudem unterstützt es wesentliche operative Zielsetzungen, indem technologische und innovative Lösungen entwickelt werden, die die Umsetzung klimaneutraler Städte, Quartiere und Gebäude ermöglichen. Damit ordnet sich das Vorhaben klar in die Transformationsagenda einer nachhaltigen, kreislaforientierten Bauwirtschaft ein.

ParaStruct entwickelt technologische Ansätze, die explizit auf Ressourcenschonung und Dekarbonisierung in der Bauindustrie ausgerichtet sind und damit dem Bereich der Urbanen Technologien zugeordnet werden können. Für seine innovativen Beiträge zur zirkulären Wertschöpfung wurde das Unternehmen bereits mit dem EIT Circular Economy Prize ausgezeichnet. Darüber hinaus arbeitet ParaStruct in einem international vernetzten Umfeld: Das Unternehmen kooperiert mit Partner:innen aus Industrie und Forschung in Deutschland, Italien und der Schweiz und wird regelmäßig von führenden US-Universitäten wie dem MIT und der Arizona State University zu Wettbewerben und Vorträgen eingeladen. ParaStruct ist zudem aktives Mitglied im EIT Climate-KIC sowie in der New European Bauhaus Initiative und trägt damit zur Weiterentwicklung europäischer Nachhaltigkeits- und Innovationsstrategien bei.

Mit der beantragten Förderung sollen ein weiteres marktreifes Produkt entwickelt und die Aktivitäten am Standort Österreich gezielt ausgebaut werden. Dies umfasst sowohl die technologische Weiterentwicklung als auch die Stärkung regionaler Wertschöpfung, um langfristig einen nachhaltigen Beitrag zur ökologischen Transformation der Bauwirtschaft zu leisten.

3.1 Projektziele und Lösungsansätze

Die Projektziele lassen sich folgendermaßen gliedern:

Materielle Ziele:

- Entwicklung eines vollkommen recyclingfähigen Fußbodenaufbaues als Schüttmasse und als 3D gedrucktes Systemelement/ Fertigteil
- Beurteilung der industriellen Verarbeitbarkeit (Rohmaterialengewinnung, Lagern, Mischen, Verarbeiten)
- Festigkeitskennwerte, Materialkennwerte
- Produktfußabdruck im Vergleich zu Zementestrichen

Wirtschaftliche Ziele:

- Einhalten des kalkulierten Kostenrahmens des Projekts
- Kalkulierbare Kostenbasis der Produkte

Genderspezifische Themen:

- mindestens 2 der Personen die am Projekt mitarbeiten sind Frauen. Diese arbeiten in wichtigen Führungspositionen im Projekt mit.

Nachhaltigkeitsziele:

- Aufgrund unseres Impacts wurden wir in den EIT (European Institute of Innovation & Technology) Climate KIC aufgenommen und sind somit dem 1,5 Grad Ziel des Pariser Abkommens in allen unseren Prozessen verpflichtet.
- Ressourcenschonung durch Verwendung von biogenen Produktionsrestmassen oder Abfällen, dies schont die Biodiversität, da der Holzeinschlag verringert wird.

- Verwendung von recycelbaren, mineralischen Low-Carbon-Bindern gegenüber Zement und synthetischen Klebern. Energieeinsparung bei der Bindemittelherstellung und Wiederverwendbarkeit der Bindemittel.
- Verwertung von Abfallstoffen die ansonsten deponiert oder einer thermischen Verwertung zugeführt werden.
- Herstellung kreislauffähiger Bauteile, da das Bindemittel recyclingfähig bzw. wieder verwertbar ist.
- Verbesserung des Lebensstandards in städtischen Gebäuden durch natürliche Baustoffe
- Durch die Implementierung von additiver Fertigung kann eine Materialersparnis gegenüber konventionell gefertigten Bauteilen erzielt werden.

3.1.1 Lösungsansätze

Die Tür für das biogene Material als Estrichmaterial öffnet die ÖNORM B 7232, die Verfahrensnorm für Estricharbeiten, in der organische Zuschläge und Füllstoffe gelistet sind wie etwa Späne oder Mehl von verschiedenen Nadelhölzern und zudem Schrot oder Mehl von Kork, Leder und Papier.^[5]

Dies ermöglicht den Einsatz von Holzspänen, wobei eine Referenzmischung mit Fichtenholzspänen geplant wird und eine mit Buchenholz als Alternative und eine weitere, in welcher die feine Fraktion aus Hanfschäben bzw. Kork hergestellt wird.

Klarerweise muss im Nachgang dieser Studie eine ergänzende Normänderung angestrebt werden, wenn die gefundenen Kombinationen von Bindern und Füllstoffen über die bisher in der Norm geregelten Materialien hinausgehen. Alternativ bzw. schneller durchführbar ist eine Aufnahme ins Bauproduktebuch und in jedem Fall die Zustimmung im Einzelfall.

Für schwimmende Estriche, welche die am weitesten verbreiteten Estriche sind geben die B 3732 und die B 7232 eine Festigkeit von 4 N/mm² auf Biegezug und 20 N/mm²

Druckfestigkeit für Erst- und Güteprüfungen an Prismen an. Diese werden gemäß der ÖNORM EN 13813 hergestellt und geprüft. Neben der Festigkeit nach 28 Tagen wird die Festigkeit nach 7 Tagen ermittelt, um die Eigenüberwachung zu verbessern. [4,5,6]

3.1.1.1 Härte:

Neben der Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit wird in der ÖNORM B 7232 die Härte als relevante Größe für Estriche angeführt. Sie wird über den Eindruck einer Kugel ermittelt und es werden Mindesthärten von 30 N/mm² angegeben.^[5]

Dabei ist fraglich, ob das biogene Material die Anforderungen erfüllt oder wie in der Literatur angegeben mit Sand als anorganischen Füllstoff unterstützt werden muss.

Sollte die Härte entsprechend ausfallen könnte der Einsatz als Deckschicht offenstehen. Dort wird eine höhere Härte (40 bzw. 50 N/mm²) gefordert und zusätzlich muss der Verschleiß nachgewiesen werden.

Doch interessanter als Eigenschaft ist das Wärmeleitungsvermögen des Fußbodens wo durch die biogenen Materialien mit außerordentlich niedrigen Leitfähigkeiten zu rechnen ist und dadurch ein gutes Dämmvermögen erzielt werden kann. Nachteilig ist dies beim Einsatz einer Fußbodenheizung, welche eine gewisse Leitfähigkeit benötigt.

3.1.1.2 Trockenestrichmodul:

Neben dem Estrich als Vergussmasse die vor Ort eingebracht wird, kommt häufig der Wunsch nach trockenen Systemen auf, um Baufeuchten so gering wie möglich zu halten. Hier soll ein Modul entwickelt werden, welches einen solchen trockenen Estrich darstellt. Das Modul muss tragbar sein und sollte nach dem Einsatz wieder aus dem Bauwerk herausgelöst werden können. Optional könnte man schon die Leitungsführungen für eine Fußbodenheizung vorsehen, wenn die ermittelte Wärmeleitfähigkeit eine solche Lösung erlaubt.

3.1.1.3 3D-Druck:

Neben dem konventionellen Ansatz der Herstellung mittels Mischungen, werden auch moderne additive Methoden erprobt. Hier wurde eine Anlage gebaut die Prismen für die Eignungsprüfung herstellen kann. Hier soll erprobt werden, inwieweit diese

Herstellungsmethode für Trockenbauelemente geeignet ist. Dies würde eine wesentliche Erleichterung im Mischungsprozess darstellen und könnte skaliert werden.

3.1.2 Innovationsgehalt

ParaStruct leistet einen Beitrag zur Waste Valorisation und zur Nutzung lokaler Ressourcen. Durch unsere Technologie werden biogene Produktionsreststoffe sowie andere ungenützte Rohstoffe nutzbar, indem wir daraus recyclingfähige Bauteile herstellen. In diesem Projekt soll Zement- und Anhydrit-Estrich durch mineralisch gebundenes biogenes Material bestehend aus einem AAM-Binder und Holzabfällen sowie faserigen landwirtschaftlichen Abfällen ersetzt werden.

Um dies zu erreichen wird eine Schüttung entwickelt die als Unterboden geeignet ist und die normgerechten Eigenschaften erreicht. Zudem soll eine für den Rückbau geeignete 3D-gedruckte Unterbodensystembauplatte entwickelt werden, in der die Aussparungen für die Leitungsführung hineingedruckt werden können. Die in diesem Projekt zu entwickelnden Systeme bieten diverse Vorteile gegenüber bekannten Nassestrichen und Trockenestrichen.

3.1.3 State of the Art

Estriche sind heutzutage mehrschichtige Systeme bestehend aus einer Trennschicht die auf der Rohboden-Rohdecke aufliegt, einer Wärme- und Trittschalldämmung aus Kunststoff oder Holzfasern, einen Zement- oder Anhydrit-Estrich und einem Bodenbelag. Nassestriche aus Zement und Anhydrit bringen Feuchtigkeit ins Gebäude und widersprechen dem Grundgedanken der Holzbauweise. Die Trocknungszeit ist sehr lange und der Feuchteintrag kann erheblich sein. Zudem ist ihre CO₂-Bilanz sehr schlecht. Kombiniert wird der Nassestrich meistens mit Kunststoffdämmschichten, Kunststofftrennschichten sowie bisweilen einem Kunststoffbelag. Dadurch ist der Fußbodenaufbau meistens das Bauteil mit der schlechtesten Ökobilanz. Trockenestrichsysteme haben meistens den Nachteil, dass sie aufwändig zu verarbeiten sind, geringere Belastungsfähigkeit haben, feuchtigkeitsempfindlich sind und nicht mit allen Fußbodenheizungssystemen kompatibel sind. Trockenestrichsysteme bestehen oft aus wenig nachhaltigen Materialien und können nicht rückgebaut werden.

Früher wurde eine Vielzahl mineralischer Bindemittel neben dem heute allgegenwärtigen Zement verwendet. Darunter auch solche, die eine gute Kompatibilität mit organischen

Füllstoffen aufweisen und auch im Holzbau wie zum Beispiel oberhalb von Holzbalkendecken problemlos eingesetzt werden können. Leider wurde diese Materialien durch Anwendungsfehler und fehlerhafte Rezepturen sowie das notwendigerweise erforderliche Expert:innenwissen durch Zement vom Markt verdrängt. Durch die aufstrebende Holzbauweise könnte jetzt aber die Zeit gekommen sein, die Palette der eingesetzten Bindersysteme wieder zu erweitern. Wir wollen Estriche mit alternativen mineralischen Bindemitteln in verbesserten Produkten wieder auf dem Markt bringen.

3.1.4 Zugrundeliegende Kompetenzen

3.1.4.1 Materialplattform

Unsere Expertise liegt im Umgang mit Geopolymeren und alkalisch aktivierten Materialien (AAM). Diese Bindemittel werden inzwischen erfolgreich eingesetzt und haben viele Vorteile gegenüber Portlandzement. Von großer technologischer Bedeutung ist, dass diese alternativen Bindemittel teilweise die Zuschlagstoffe wie Holzspäne und Holzmehl usw. allseitig fest umschließen können. Dies ist bei der klassischen Zementerhärtung nicht der Fall. Die Zuschläge wie Holzmehl, Sägespäne oder Quarzsand sollen im fertigen Mörtel raumfüllend wirken und beeinflussen außerdem maßgeblich die Eigenschaften des erhärteten Mörtels wie Festigkeit, Erhärtungszeit und Wärmeleitzahl. Dadurch ist es möglich unterschiedliche Rezepturen zu entwickeln, die dann vorteilhafte statische und bauphysikalische Eigenschaften haben können.

Vorteile alternatives Bindemittel:

- Mineralische Low-Carbon-Bindemittel sind umweltfreundlicher als synthetische Bindemittel sowie günstiger. Die Brenntemperatur ist mit 600-800°C wesentlich niedriger als die von Zement. Dadurch werden ca. 25-30% an Energie im Brennvorgang eingespart. Sie besitzen wesentlich bessere Festigkeitseigenschaften in der Anwendung mit feinkörnigen Fraktionen als andere organische und mineralische Bindemittel derselben Preisklasse. Die geringe Dichte von 650- 1500 kg/m³ hat eine Baumassenreduzierung zur Folge. Aufgrund der hohen Biegezugfestigkeit der Materialien kann Armierung oder Bauhöhe eingespart werden.
- Eine Vielzahl an Oberflächeneigenschaften (Glatt, rau, porös) mit unterschiedlichster Haptik sind möglich. Farben werden identisch wiedergegeben.

- Besonders vorteilhaft ist der Binder im Verbund mit dem konventionellen Holzbau wegen Verbundwirkung durch Klebeeigenschaften, Konservierung des Holzes, Erhöhung der Biegezugfestigkeit in einer Verbundbauweise sowie der Brandbeständigkeit.

3.1.4.2 Fertigungstechnologie

Einsatz von 3D-Drucktechnologie: Es gab und gibt oft Anwendungsfehler im Umgang mit Geopolymeren und AAM, da Herstellung und Einsatz eines solchen Materials besondere Erfahrung und Wissen erfordern. Diesen Anwendungsfehlern haben wir durch den Einsatz digitaler Fertigungstechnologien wie 3D-Pulverdruck entgegengewirkt. Durch digitale Fertigungsverfahren in einer kontrollierten Umgebung (Halle) können menschliche Fehler und Fehler hervorgerufen durch Witterungsverhältnisse ausgeschlossen werden. Durch 3D-Pulverdruck wollen wir die 3D-gedruckte Estrichsystembauplatte als rückbaubares Fertigteil herstellen. Jedes Fertigteil kann dabei individuelle Aussparungen, Kabelführungen enthalten. Die von uns verwendeten Bindemittel eignen sich hervorragend in Kombination mit dem 3D-Druckverfahren Selective Binder Activation, welches wir zur Marktreife entwickelt haben und wo wir derzeit eine Pilotanlage aufbauen und das Verfahren auch auf Voxeljet Druckern anwenden werden.

In Situ auf der Baustelle: Für die Fertigung von Estrichen auf der Baustelle unter kontrollierten Umgebungsbedingungen werden wir mit Maschinenbaupartnern angepasste Lösungen entwickeln wie Anpassung der Durchlaufmischer auf die Aktivierungsflüssigkeit oder genau abgepackte Zwei-Komponentenmischung.

Auf dieser Basis soll die Entwicklung laufen. Es werden Mischungen erstellt und Probekörper hergestellt. Nach 7- bzw. 28 Tagen werden diese dann an der Universität Innsbruck auf ihre Eigenschaften hin untersucht. Dabei stellen die normativen Grenzen das Entwicklungsziel dar, welches angestrebt wird.

3.2 Methodenkritik und Trouble-shooting

Die angewendeten Methoden haben sich in der Umsetzung fast alle bewährt. Es wurde eine Vielzahl an Mischungen erstellt und es konnte erfolgreich eine Palette von Schüttmaterialien entwickelt werden. Eine große Menge an getesteten Füllstoffen konnte erfolgreich in Estrichmaterialien umgesetzt werden und so das BioScreed Material als

Produkt entwickelt werden. Es steht ein Unterboden zur Verfügung, welcher alle normativen Vorgaben erfüllt. Probleme gab es mit der Temperatur beim Gießen, wenn es zu kalt war, war Sand erforderlich, um die Festigkeiten zu erreichen. Daraus ergibt sich eine gewisse Anforderung an das Klima beim Herstellen von BioScreed-Böden. Dies deckt sich mit der Literatur und wurde erwartet. Ansonsten wurden bei den Schüttmassen keine Probleme festgestellt und es konnten schon erste Testflächen erstellt werden. Des Weiteren wurde eine Vielzahl an Mustern hergestellt um das BioScreed-Produkt vorstellen zu können.

Probleme gab es mit der Festigkeit bei den 3D-gedruckten Bauteilen, wie in den Resultaten angeführt wird. Weder die Biegezug- noch die Druckfestigkeit konnten erreicht werden. Mit einer großen Menge Sand würden sie diese erreichen lassen, doch wurde von dieser Lösung aus ökonomischen und ökologischen Gründen abgesehen. Stattdessen wurde eine konventionell gegossene Platte mit CNC-Fräsungen für die Fußboden-Heizungsrohre entwickelt, welche die Anforderungen an eine trockene Estrichplatte erfüllt. Damit wurde ein fast gleichwertiger Ersatz für die 3D-Druck Variante geschaffen, welche den Wünschen der Planer:innen nachkommt.

4 Ergebnisse

Bei der Entwicklung des Fußbodenaufbaus, insbesondere des Estrichs, wurde eine intensive Literaturrecherche als Basis durchgeführt. An diese Literatur wurde angeknüpft und es wurden erste Mischungen nach den Vorgaben der Quellen erstellt. Das neue an diesen Mischungen ist, dass im Gegensatz zu Zementestrich, mit einer alkalischen Aktivierungsflüssigkeit gemischt wird. Das bedeutet, es wird eine Salzlösung mit gewisser Konzentration hergestellt, die anstatt von reinem Wasser der Mischung zugegeben wird. Dadurch erhärtet der Binder und wird zu einer festen Masse. Die Herausforderung sind die saugenden Füllstoffe, welche eine Menge Aktivierungsflüssigkeit aufnehmen und so hohe Zugaben der Aktivierungsflüssigkeit erforderlich machen. Damit wurde einige Zeit verbracht und es wurden Mischungen mit dem Volumenverhältnis zwischen Binder und Füllstoffen von 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:2,5 und 1:3 hergestellt. Von den Mischungen wurden Normprüfkörper hergestellt, welche an der Universität Innsbruck auf ihre Biegezug- und Druckfestigkeit untersucht wurden. Laut ÖNORM B 3732 muss ein schwimmender Estrich bzw. einer auf Trennlagen eine Biegezugfestigkeit von 4 N/mm² aufweisen und eine Druckfestigkeit von 20 N/mm². Diese Werte gilt es zu erreichen, wobei immer 3 Prismen in einem Satz geprüft werden und jede einzelne die Werte erreichen muss.^[4]



Abbildung 2: Normprüfkörper verschiedener Mischungen bereit für die Festigkeitstests.

4.1 Mischungsserie mit Buchenmehl

In den folgenden Abbildungen sind die Werte der Serie mit Buchenholz (rM#4) dargestellt. Die erste Abbildung gibt die Mischungen welche im Verhältnis 1:1, 1:1,5 und 1:2 mit einer Konzentration der Aktivierungsflüssigkeit von 27°Bé gemischt wurden. Die zweite Abbildung gibt jene Werte von Mischungen die mit einer Konzentration der Aktivierungsflüssigkeit von 23°Bé und einem Mischungsverhältnis von 1:2, 1:2,5 und 1:3 hergestellt wurden.

An den Rohdichten der Proben kann das Mischungsverhältnis abgelesen werden. Liegt die Rohdichte der 1:1 Mischungen bei rund 1530 kg/m³, so liegt sie bei der leichten 1:3 Mischung nur noch bei rund 1050 kg/m³.

Die 1:1 Mischung hält im Mittel nach 28 Tagen 11,8 N/mm² auf Biegezug und 44,6 N/mm² auf Druck. Wobei nach 7 Tagen bereits 95% der Festigkeit erreicht werden. Die 1:1,5 Mischung hält 9,6 N/mm² auf Biegezug und 40,6 N/mm² auf Druck, wobei hier die Biegezugfestigkeit nach 7 Tagen höher lag als nach 28 Tagen. Die 1:2 Mischung hält im Mittel nach 28 Tagen 10,5 N/mm² auf Biegezug und 35,7 N/mm² auf Druck. Wobei hier die Mischung mit dem KO-Bindemittel sogar 13,3 N/mm² im Mittel auf Biegezug erreicht.

Die Mischungen mit geringem Füllstoffanteil und damit der 27°Bé Aktivierungsflüssigkeit zeigen hohe Festigkeiten, weit höher als sie laut Norm für einen Fußboden sein müssen. Diese Mischungen wurden daher nicht weiterverfolgt.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigk eit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
	Buche rM#4 3.Serie 27°Bé								
133-1	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 7d	1,0	1539,5	7	10,8	11,1	42,5	41,6	42,3
133-2	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 7d	1,0	1535,9	7	11,7		41,5	41,9	
133-3	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 7d	1,0	1527,0	7	10,9		43,0	43,4	
134-1	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 28d	1,0	1543,4	28	10,9	11,8	44,5	44,9	44,6
134-2	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 28d	1,0	1539,8	28	11,9	94,6%	43,8	43,6	94,8%
134-3	sM: D rM#4 (1:1), M#38 27°Bé, 28d	1,0	1547,7	28	12,5		45,6	45,4	
137-1	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 7d	1,5	1369,1	7	10,4	10,5	36,9	35,8	36,1
137-2	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 7d	1,5	1352,0	7	9,6		36,3	35,4	
137-3	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 7d	1,5	1355,5	7	11,4		36,3	35,9	
138-1	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 28d	1,5	1356,6	28	10,1	9,6	42,0	40,1	40,6
138-2	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 28d	1,5	1353,5	28	9,0	109,0%	40,6	40,5	88,9%
138-3	sM: D rM#4 (1:1.5), 27°Bé, 28d	1,5	1362,5	28	9,7		38,6	41,5	
153-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1320,3	7	9,0	8,7	25,6	27,6	26,9
153-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1321,9	7	8,6		26,9	26,8	
153-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1304,3	7	8,4		27,3	27,0	
153-4	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1295,3	28	12,3	13,3	29,4	32,4	33,8
153-5	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1307,0	28	13,6	65,2%	34,6	34,8	79,5%
153-6	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 27°Bé 2.50, 7,28d, KO	2,0	1328,1	28	14,0		36,0	35,6	
135-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 7d	2,0	1294,9	7	10,2	10,0	31,1	30,3	30,8
135-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 7d	2,0	1288,7	7	10,0		30,1	31,0	
135-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 7d	2,0	1304,3	7	9,7		30,3	32,0	
136-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 28d	2,0	1293,0	28	10,7	10,5	34,5	36,3	35,7
136-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 28d	2,0	1282,0	28	10,8	94,9%	35,9	35,3	86,2%
136-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35 27°Bé, 28d	2,0	1288,7	28	10,0		36,0	36,4	

Abbildung 3 Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit 27°Bé Aktivierungsflüssigkeit.

Die 1:2 Mischung mit der 23°Bé Aktivierungsflüssigkeit zeigt im Mittel 9,5 N/mm² auf Biegezug und 31,5 N/mm² auf Druck. Wobei auch hier die Mischung mit dem KO-Bindemittel 13,3 N/mm² auf Biegezug nach 28 Tagen hält. Die Mischungen mit der niedrigen gradierten Aktivierungsflüssigkeit zeigen weniger Festigkeit.

Bei der 1:2,5 Mischung wurde der Gehalt an Aktivierungsflüssigkeit variiert und so 3 Mischungen hergestellt. Diese zeigen auf Biegezug zwischen 9,6 N/mm² und 11 N/mm², wobei die trockenste Mischung die besten Werte zeigt. Die Druckfestigkeit liegt zwischen 27,2 N/mm² und 29,0 N/mm², wobei auch hier die trockenste Mischung die besten Werte zeigt.

Auch von den 1:3 Mischungen wurden 2 verschiedene erstellt. Eine mit einem Konzentrationsverhältnis von 1:2.12 (Mischung 140) und eine im Verhältnis 1:2.5 (Mischung 142). Mischung 142 ist dabei sehr trocken und an der Grenze der Verarbeitbarkeit. Mischung 140 ist nasser aber verbraucht zu viel Lösung. Die Mischung 140 hält nach 28 Tagen 8,8 N/mm² auf Biegezug und 24,4 N/mm² auf Druck. Die Mischung 142 hält im Mittel nach 28 Tagen 8,4 N/mm² auf Biegezug und 17,6 N/mm² auf Druck. Es zeigt sich das die trockenere 1:3 Mischung die erforderlichen 20 N/mm² an Druckfestigkeit nicht erreicht.

Die Mischungen mit der 23°Bé Aktivierungsflüssigkeit sind im relevanten Bereich der Festigkeiten. Die Biegezugfestigkeit von 4 N/mm² wird immer erreicht. Das ist der Grund, warum der Boden fugenlos verlegt werden kann. Die 20 N/mm² die als Druckfestigkeit erreicht werden müssen, sind eine Herausforderung und werden nur knapp erreicht bzw. werden sie von der verarbeitbaren 1:3 Mischung nicht mehr erreicht.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestig keit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²	N/m m ²	N/mm ²	
	Buche rM#4 3.Serie 23°Bé								
139-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d	2,0	1283,6	7	7,9	8,4	23,9	23,6	24,0
139-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d	2,0	1280,9	7	8,5		24,0	22,8	
139-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d	2,0	1275,4	7	8,9		26,8	22,9	
139-5	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d	2,0	1289,5	28	9,4	9,5	31,1	31,5	31,5
139-6	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d	2,0	1304,7	28	9,6	88,8%	32,5	31,0	76,0%
154-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1217,2	7	7,2	6,8	21,6	20,6	21,5
154-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1245,3	7	6,3		21,4	21,8	
154-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1254,3	7	6,9		21,9	21,6	
154-4	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1222,7	28	12,8	13,3	31,3	30,0	30,5
154-5	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1215,6	28	13,5	51,0%	30,3	29,8	70,5%
154-6	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.90), 23°Bé 2.60, 7,28d, K0	2,0	1210,9	28	13,7		31,3	30,4	
143-1	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1236,7	7	7,5	8,1	21,6	21,9	21,9
143-2	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1228,1	7	8,0		22,4	20,5	
143-3	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1218,0	7	8,9		22,1	22,9	
143-4	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1193,8	28	10,5	10,7	25,6	25,8	27,6
143-5	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1194,9	28	10,7	75,8%	28,6	26,5	79,4%
143-6	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.9), 23°Bé 2.6, 7,28d	2,5	1199,2	28	11,0		28,1	30,8	
141-1	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1224,2	7	7,6	7,3	21,3	20,4	19,9
141-2	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1210,2	7	7,0		20,4	19,1	
141-3	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1228,1	7	7,3		19,1	19,3	
141-4	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1198,8	28	9,3	9,6	28,1	26,9	27,2
141-5	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1194,1	28	9,7	75,8%	26,0	25,9	73,3%
141-6	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	2,5	1210,9	28	9,9		28,3	27,9	
144-1	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1229,7	7	8,1	7,3	18,0	20,9	20,1
144-2	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1203,1	7	6,8		19,6	20,4	
144-3	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1204,3	7	7,0		20,9	21,0	
144-4	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1198,4	28		11,0	29,4	29,0	29,0
144-5	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1205,5	28	11,0	66,4%	30,4	28,9	69,5%
144-6	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.97), 23°Bé 2.4, 7,28d	2,5	1208,2	28	11,0		26,3	29,9	
140-1	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1194,9	7	6,3	6,5	18,1	16,5	17,2
140-2	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1177,0	7	6,2		16,0	16,6	
140-3	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1173,8	7	6,9		17,8	18,3	
140-4	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1164,5	28	8,6	8,8	25,1	25,0	24,4
140-5	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1172,3	28	8,9	73,8%	24,4	25,3	70,4%
140-6	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d	3,0	1164,5	28	8,8		23,4	23,5	
142-1	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1096,1	7	6,1	6,0	15,6	12,5	14,3
142-2	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1123,4	7	5,5		15,1	14,0	
142-3	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1129,7	7	6,5		14,3	14,0	
142-4	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1053,1	28	8,3	8,4	16,3	17,3	17,6
142-5	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1054,3	28	8,0	71,8%	18,3	18,3	80,8%
142-6	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d	3,0	1077,3	28	8,9		17,9	18,0	

Abbildung 4: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit 23°Bé Aktivierungsflüssigkeit.

4.2 Serie mit Buchenmehl und alternativem Bindemittel

Die Mischungsserie im Verhältnis 1:2, 1:2,5 und 1:3 wurden zweimal mit dem neuen QT-Binder wiederholt. Dieser Binder ist speziell für Fußböden vorgesehen und wird künftig eingesetzt werden.

In dieser Serie erreicht die 1:2 Mischung nach 28 Tagen 11,2 N/mm² auf Biegezug und 34,2 N/mm² auf Druck und somit mehr als in der Serie mit dem SM-Binder. Die 1:2,5 Mischung hält nach einem Monat 9,5 N/mm² auf Biegezug und 24,0 N/mm² auf Druck, das ist etwas weniger als mit dem ersten untersuchten Binder. Die 1:3 Mischung hält nach 28 Tagen 8,1 N/mm² auf Biegezug und im Mittel 19,5 N/mm² auf Druck. Nur ein Einzelwert liegt über den geforderten 20 N/mm² bei der verarbeitbaren Mischung.

Eine weitere Serie wurde an einem kalten Tag mit im Mittel 14°C gemischt. Dadurch sinken die Festigkeiten beträchtlich und nur die 1:2 Mischung erreicht die 20 N/mm² an Druckfestigkeit. Bei der 1:2,5 Mischung erreichen nur drei der sechs Einzelwerte die 20 N/mm² und somit wird ein Mittelwert von 19,9 N/mm² erreicht.

Die Wiederholungen der Mischungen zeigen, dass bei kaltem Wetter besser auf die 1:2 Mischung zurückgegriffen wird, um die erforderlichen Druckfestigkeiten zu erreichen. Das neue QT-Bindemittel scheint vergleichbar mit dem SM-Binder zu sein.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigk eit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
	Buche rM#4 4.Serie Binder QT								
145-1	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1272,3	7	8,3	7,9	24,1	27,0	24,8
145-2	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1253,1	7	7,7		23,8	24,4	
145-3	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1279,7	7	7,7		25,5	23,9	
145-4	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1286,7	28	11,4	11,2	34,3	33,4	34,2
145-5	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1278,1	28	11,2	70,3%	34,4	32,9	72,5%
145-6	sM: D rM#4 (1:2), M#35(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, S2	2,0	1274,2	28	11,1		34,1	36,1	
148-1	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1200,4	7	6,9	7,2	18,0	20,0	19,1
148-2	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1206,6	7	7,4		19,4	18,6	
148-3	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1220,3	7	7,4		19,6	18,9	
148-4	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1195,3	28	10,0	9,5	23,8	28,0	24,0
148-5	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1172,3	28	10,0	76,0%	22,6	24,3	79,4%
148-6	sM: D rM#4 (1:2.5), (0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	2,5	1173,4	28	8,6		22,6	23,0	
146-1	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1139,1	7	4,6	4,9	13,3	12,6	13,3
146-2	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1133,6	7	4,5		12,8	12,6	
146-3	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1169,9	7	5,7		14,6	14,1	
146-4	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1132,4	28	9,1	8,1	19,4	21,1	19,5
146-5	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1102,7	28	7,7	60,9%	18,0	18,9	68,4%
146-6	sM: D rM#4 (1:3), M#36(1.1), 23°Bé 2.12, 7,28d, S2	3,0	1119,9	28	7,6		19,3	20,4	
147-1	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	3,0	1010,9	7	4,1	3,8	9,4	8,8	9,3
147-2	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	3,0	1014,1	7	3,8	67,9%	9,4	9,3	51,5%
147-3	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	3,0	1029,7	7	3,5		9,0	9,9	
147-4	sM: D rM#4 (1:3), M#36(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, S2	3,0	980,5	28	5,6	5,6	18,1	17,9	18,0
	Buche rM#4 5.Serie Binder QT								
187-1	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1195,7	7	7,8	7,6	19,1	20,3	19,4
187-2	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1210,5	7	7,8		17,6	19,8	
187-3	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1233,6	7	7,1		19,9	19,6	
187-4	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1162,1	28	9,3	9,6	23,5	22,6	24,3
187-5	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1193,0	28	9,3	79,1%	21,6	23,5	79,8%
187-6	FM: rM#4, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1218,4	28	10,1		26,5	28,0	
188-1	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1152,7	7	5,3	5,3	13,4	13,8	13,4
188-2	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1139,8	7	5,3		13,9	13,1	
188-3	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1130,9	7	5,2		12,8	13,4	
188-4	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1112,1	28	8,2	8,8	18,8	19,4	19,9
188-5	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1121,1	28	9,1	60,1%	20,5	18,6	67,2%
188-6	FM: rM#4, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	1111,7	28	9,0		20,3	22,0	
189-1	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	985,9	7	4,1	3,6	9,0	9,4	8,6
189-2	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	1000,4	7	3,6		7,8	8,5	
189-3	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	968,8	7	3,1		8,3	8,8	
189-4	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	993,0	28	6,5	5,9	14,4	14,3	13,8
189-5	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	957,0	28	4,9	60,7%	13,8	11,6	62,2%
189-6	FM: rM#4, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	1012,9	28	6,4		13,6	15,4	

Abbildung 5: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit QT-Binder.

4.3 Mischungen mit Großgebinden

Die bisherigen Mischungen wurde mit Buchenmehl des Typs 1 (rM#4) gemischt. Diese ist nur in kleinen Gebinden bis zu drei Kilogramm erhältlich, deshalb wurden neue Füllstoffe gesucht, welche zumindest in 15 kg Säcken erhältlich sind. Dies sind rM#38 Buchenspäne des Typ HB 500/1000, rM#16 Buchenspäne des Typs7 und rM#3 das sind grobe Buchenspäne des Typs B5/10.

Die Buchenspäne rM#38 schaffen in allen drei Mischungsverhältnissen die 4 N/mm² welche für den Biegezug gefordert werden. Bei der Druckfestigkeit schaut es mit diesem Füllstoff aber schlecht aus nur die 1:2 Mischung erreicht im Mittel nach 28 Tagen die 20 N/mm² wobei ein Einzelwert mit 15,0 N/mm² die Mischung durchfallen lässt. Es hatte bei dieser Mischung im Mittel 22,0°C an Temperatur.

Bei den Mischungen mit rM#16 konnten die geforderten Biegezugfestigkeiten leicht erreicht werden und auch die geforderte Druckfestigkeit wurde bei der 1:2 und 1:2,5 Mischung erreicht. Nur die 1:3 Mischung zeigt mit im Mittel 18,8 N/mm² eine zu geringe Festigkeit für den Einsatz als Estrich.

Bei der Mischung zwischen rM#16 und rM#3 wurden die feineren Buchenspäne mit gröberen Spänen gestreckt. Hier erreichen wieder alle Mischungen die geforderte Biegezugfestigkeit nur bei der Druckfestigkeit wird die geforderte Festigkeit nur von der 1:2 Mischung erreicht. Die 1:2,5 Mischung erreicht zwar einen Mittelwert von 20,8 N/mm², doch ein Einzelwert mit 19,8 N/mm² lässt die Mischung durchfallen.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
Buche rM#38 1.Serie Binder OT									
208-1	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1180,1	28	8,8	9,3	15,0	21,0
208-2	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1148,8	28	9,5		20,8	21,9
208-3	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1162,5	28	9,5		20,9	20,8
208-4	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1133,6	7	7,1	6,5	16,5	16,3
208-5	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1139,5	7	6,0	70,1%	16,3	15,1
208-6	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1143,4	7	6,4		16,8	16,9
209-1	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	1043,0	28	7,5	7,5	15,8	15,1
209-2	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	1046,5	28	7,5		15,0	15,3
209-3	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	1038,7	28	7,6		14,4	14,6
209-4	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	984,4	7	5,3	5,0	11,0	10,8
209-5	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	980,1	7	4,4	65,9%	10,3	10,6
209-6	FM: rM#38, B:FS 1:2,5, M#185(0.85), 23°Be 2.75, 7,28d, QT		2,5	1027,7	7	5,2		12,6	12,1
210-1	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	946,9	28	5,5	5,6	12,5	13,0
210-2	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	927,3	28	5,5		12,5	11,3
210-3	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	924,6	28	5,9		11,8	11,4
210-4	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	883,2	7	4,0	4,1	8,8	7,9
210-5	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	885,5	7	4,0	72,2%	7,8	8,0
210-6	FM: rM#38, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	894,9	7	4,2		8,1	8,4
Buche rM#16 23°Be									
190-1	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1191,0	7	7,9	8,3	18,9	18,3
190-2	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1230,5	7	8,2		19,8	20,0
190-3	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1213,3	7	8,8		19,4	18,0
190-4	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1174,6	28	12,2	12,2	25,8	27,3
190-5	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1194,5	28	12,5	67,8%	25,1	26,0
190-6	FM: rM#16, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1194,1	28	12,0		26,5	28,1
191-1	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1148,0	7	7,1	7,6	17,8	17,0
191-2	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1119,9	7	7,6		17,3	17,4
191-3	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1115,6	7	8,0		18,1	18,3
191-4	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1072,3	29	10,8	10,1	24,4	22,9
191-5	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1070,7	29	9,9	74,7%	24,6	24,3
191-6	FM: rM#16, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1064,8	29	9,7		22,1	23,8
192-1	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	984,0	7	6,2	6,0	11,5	12,6
192-2	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1011,7	7	6,4		11,6	12,0
192-3	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1012,9	7	5,3		11,9	11,8
192-4	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1025,8	29	10,5	9,6	19,4	19,3
192-5	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1008,6	29	8,6	62,4%	19,0	18,1
192-6	FM: rM#16, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1012,9	29	9,6		18,5	18,3
Buche rM#16+3 1:1, 23°Be									
196-1	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1126,6	8	7,7	7,8	20,5	20,4
196-2	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1159,0	8	7,6		19,8	19,6
196-3	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1172,7	8	8,2		20,1	19,9
196-4	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1137,9	28	10,0	10,0	24,0	24,9
196-5	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1142,6	28	10,0	78,1%	25,1	24,3
196-6	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Be 3.06, 7,28d, QT		2,0	1125,0	28	10,1		25,5	24,6
197-1	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1118,8	8	7,6	7,2	15,9	14,8
197-2	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1136,3	8	6,7		15,6	15,3
197-3	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1108,6	8	7,2		16,0	16,1
197-4	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1078,9	28	8,6	8,9	20,0	20,5
197-5	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1100,8	28	9,5	80,8%	20,6	22,0
197-6	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:2,5, M#148(0.94), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		2,5	1074,2	28	8,5		19,8	22,0
198-1	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	972,3	8	5,5	5,4	10,9	10,6
198-2	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	964,5	8	5,2		9,8	11,0
198-3	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1003,1	8	5,5		11,1	11,5
198-4	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1013,3	28	7,4	7,4	16,0	15,6
198-5	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	952,0	28	7,3	73,3%	13,9	14,1
198-6	FM: rM#16+3 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23°Be 2.5, 7,28d, QT		3,0	1000,8	28	7,4		15,8	16,1

Abbildung 6: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Füllstoffe in Großgebinden.

Es zeigt sich, dass die 1:2 Mischung mit rM#16 auf der sicheren Seite liegt und mit dieser die geforderten Festigkeiten erreicht werden. Die 1:2,5 Mischung liegt genau an der Grenze der geforderten Festigkeit und es kommt auf gute Bedingungen beim Mischen und Aushärten an, um die Festigkeiten zu erreichen. Es zeigt sich, dass auch mit größeren Gebinden gearbeitet werden kann.

4.4 Mischungen mit Sandbeimengungen

Eine Möglichkeit die Druckfestigkeit zu erhöhen ist es Sand beizumischen. Dies wurde für die Füllstoffmischung aus feiner und grober Buchenspäne (rM#4+rM#3) und für die große Sackware in Buchenspäne (rM#38) gemacht. Für Erstere wurden 1:2,5 Mischungen gewählt. Für Zweitere wurden eine Referenz aus 1:2 und 1:2,5 und zwei Mischungen mit mehr und weniger Sand gewählt.

Die Proben mit Sand zeigen eine leicht erhöhte Rohdichte.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestig keit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²	N/m ²	N/mm ²	
175-0	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT				0,7	8,1			23,5
175-1	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1412,1	7	5,6	5,5	15,4	14,6	15,3
175-2	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1423,0	7	5,5	0,0	15,0	15,6	0,3
175-3	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1397,7	7	5,5	68,03%	15,8	15,6	65,13%
175-4	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1403,5	28	8,0	8,1	24,0	21,8	23,5
175-5	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1401,2	28	8,4	0,2	23,5	23,4	0,6
175-6	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:1.25, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1378,1	28	8,0		23,4	25,3	
176-0	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT				0,7	7,9			21,6
176-1	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1330,1	7	5,4	5,8	15,8	16,5	15,1
176-2	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1311,7	7	6,2	0,3	14,1	14,6	0,7
176-3	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1342,6	7	5,9	73,53%	15,0	14,9	70,17%
176-4	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1286,7	28	8,3	7,9	21,9	21,5	21,6
176-5	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1293,0	28	7,8	0,3	21,5	21,8	0,1
176-6	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,625, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1289,1	28	7,7		21,1	21,8	
177-0	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 23°Bé 2.5, 7,28d, QT				0,6	8,6			19,7
177-1	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1141,4	7	5,5	5,5	12,6	12,9	12,9
177-2	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1133,6	7	5,7	0,2	12,9	12,5	0,3
177-3	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1125,8	7	5,3	64,20%	12,6	13,9	65,50%
177-4	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1096,9	28	7,9	8,6	17,9	20,0	19,7
177-5	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1114,1	28	8,0	0,9	19,5	22,0	0,8
177-6	FM: DC rM# 4+3+18, FSM 1.25:1.25:0,000, B:FS 1:2.5, M#46(0,94), 2	2,5	1125,0	28	9,8		18,8	20,0	

Abbildung 7: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Sandbeimengung.

Die obige Tabelle gibt die Werte für die Prüfriegel der Mischung aus groben und feinen Spänen. Die Referenzmischung (1:2,5) hält nach 28 Tagen im Mittel 8,6 N/mm² auf Biegezug und 19,7 N/mm² auf Druck. 3 Einzelwerte unterschreiten die 20 N/mm² Grenze.

Die Mischung mit 0,625 Raumteilen Sand hält im Mittel nach 28 Tagen mit 7,9 N/mm² Biegezug etwas weniger als die Referenz doch zeigt die Druckfestigkeit einen Mittelwert von 21,6 N/mm² und jeder Einzelwert hält die 20 N/mm² Grenze ein.

Die Mischung mit noch mehr Sand (1,25 Teile) zeigt eine mittlere Biegezugfestigkeit von 8,1 N/mm² nach 28 Tagen, fast gleich wie die Referenz, aber eine Druckfestigkeit von im Mittel 23,5 N/mm² nach einem Monat.

Bei der Füllstoffmischung (rM#4+rM#3) zeigt die Sandbeimengung Erfolg. Durch die Beimischung kann schon bei geringen Mengen die Druckfestigkeit ausreichend gesteigert werden, um die Vorgaben der Norm zu erfüllen.

Die 1. Mischung mit den Sackware Buchenspänen (rM#38) wurde bei ca. 15,0°C gemischt, bei der zweiten Mischungsserie wurde bei 11,2°C gestartet. Die Referenzmischung 1:2 hält beim ersten Mal nach 28 Tagen 11,6 N/mm² auf Biegezug und 26,8 N/mm² auf Druck. Die 1:2,5 Mischung hält im Mittel nach 28 Tagen 10,2 N/mm² auf Biegezug und 21,4 N/mm² auf Druck.

Durch die Sandbeimengung kann die Druckfestigkeit mit wenig Sand (0,5 Teile) auf im Mittel nach 28 Tagen 26,5 N/mm² gesteigert werden. Durch noch mehr Sand (0,8 Teile) wird eine mittlere Druckfestigkeit von 28,7 N/mm² erreicht. Die Biegezugfestigkeit leidet nur geringfügig unter der Sandbeigabe und erreicht immer noch leicht die Normvorgabe von 4 N/mm².

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestig keit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
Buche mit Sand									
228-0	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT				0,7	11,6			26,8
228-1	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1237,5	28	11,7	11,6	25,6	28,9	26,8
228-2	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1232,4	28	11,7	0,2	27,0	26,6	0,4
228-3	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1236,7	28	11,3	74,64%	26,6	25,9	77,90%
228-4	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1199,2	7	8,3	8,6	19,9	20,5	20,9
228-5	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1214,5	7	8,3	0,5	20,0	20,1	1,0
228-6	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1169,1	7	9,3		22,1	22,5	
229-0	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,7	10,2			21,4
229-1	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1137,9	28	9,4	10,2	20,3	21,3	21,4
229-2	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1150,0	28	10,6	0,6	20,5	22,9	0,4
229-3	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1154,7	28	10,7	70,03%	22,1	21,3	71,64%
229-4	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1121,9	7	7,5	7,2	16,5	15,4	15,3
229-5	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1115,2	7	7,3	0,3	15,1	14,9	0,4
229-6	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1086,3	7	6,7		16,0	14,0	
230-0	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,8	9,2			28,7
230-1	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1500,0	28	9,5	9,2	30,4	29,9	28,7
230-2	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1484,0	28	8,9	0,2	28,3	29,0	1,1
230-3	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1446,1	28	9,2	82,25%	27,1	27,8	84,63%
230-4	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1484,0	7	6,8	7,6	23,8	24,5	24,3
230-5	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1496,1	7	7,8	0,6	23,5	23,8	0,7
230-6	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1474,6	7	8,1		24,3	26,1	
231-0	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,8	10,3			26,5
231-1	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1386,3	28	10,4	10,3	27,6	28,4	26,5
231-2	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1351,2	28	10,4	0,1	25,3	25,4	1,1
231-3	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1383,2	28	10,2	80,00%	26,8	25,6	84,28%
231-4	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1400,8	7	8,4	8,3	21,6	21,5	22,3
231-5	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1372,3	7	7,7	0,4	22,4	22,5	0,6
231-6	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1382,8	7	8,7		23,3	22,8	
Buche mit Sand Wiederholung									
245-0	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT				0,7	9,0			21,3
245-1	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1179,7	7	6,9	6,6	16,3	16,6	15,3
245-2	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1157,0	7	6,5	0,2	14,4	15,0	0,8
245-3	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1154,7	7	6,4	73,61%	15,1	14,6	72,16%
245-4	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1072,7	28	8,2	9,0	19,1	17,9	21,3
245-5	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1153,1	28	9,6	0,6	24,0	23,4	2,1
245-6	FM: rM#38, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1113,3	28	9,1		21,8	21,4	
246-0	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,7	6,9			15,5
246-1	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1046,1	7	5,0	4,5	10,4	10,4	10,4
246-2	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1060,9	7	4,9	0,7	10,8	11,0	0,4
246-3	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1033,6	7	3,5	65,05%	9,9	10,1	67,20%
246-4	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	975,8	28	7,0	6,9	16,0	14,9	15,5
246-5	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	979,3	28	6,8	0,1	14,6	14,8	0,7
246-6	FM: rM#38, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1005,5	28	6,8		16,3	16,5	
247-0	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,4	8,1			25,5
247-1	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1409,8	7	5,0	3,3	15,6	15,9	15,9
247-2	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1387,9	7	4,9	2,3	15,5	15,3	0,4
247-3	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1407,0	7	0,0	40,91%	16,9	16,0	62,07%
247-4	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1439,8	28	8,4	8,1	26,3	25,9	25,5
247-5	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1389,1	28	7,6	0,3	24,9	24,5	0,6
247-6	FM: rM#38+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1399,6	28	8,2		25,6	26,1	
248-0	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,5	6,4			22,5
248-1	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1265,6	7	0,0	3,4	12,4	14,1	12,6
248-2	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1262,9	7	5,2	2,4	12,6	12,0	0,4
248-3	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1241,8	7	5,1	53,65%	13,0	11,8	56,20%
248-4	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1268,8	28	7,6	6,4	21,5	22,0	22,5
248-5	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1281,6	28	7,9	1,9	24,0	21,9	0,5
248-6	FM: rM#38+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1252,7	28	3,7		23,9	21,8	

Abbildung 8: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Sandbeimengung.

Die Mischungen, die bei kalter Witterung gemischt wurden, erreichen alle die 4 N/mm² Grenze für den Biegezug. Die 1:2 Mischung erreicht bei der Druckfestigkeit zwar einen 28 Tage Mittelwert von 21,3 N/mm², doch erreichen zwei Einzelwerte die 20 N/mm² Grenze nicht. Die 1:2,5 Mischung erreicht die Grenze mit keinem einzigen Einzelwert und erreicht nur einen Mittelwert von 15,5 N/mm². Durch die Zugabe von wenig Sand (0,5 Teile) kann die mittlere Druckfestigkeit nach 28 Tagen auf 22,5 N/mm² gesteigert werden. Durch mehr Sand (0,8 Teile) kann die mittlere Druckfestigkeit auf 25,5 N/mm² gesteigert werden.

Auch bei der Sackware stellt die Zugabe von Sand eine Möglichkeit dar, um die Druckfestigkeiten in den normativen Bereich zu bringen. Es kann sogar die Festigkeitsklasse C25 erreicht werden, welche bei erhöhten Beanspruchungen gefordert wird.

Auch für kalte Witterung stellt die Zugabe von Sand eine Möglichkeit dar, die Festigkeiten der Norm zu erreichen.

4.5 Mischungen mit Fichtenspänen

Aufgrund der starken Verbreitung von Fichten und daraus hergestellten Produkten im DACH-Raum und dem damit einhergehenden Vorhandensein der entsprechenden Späne und Mehle, wurden Fichtenspäne organisiert und Mischungen mit diesen angefertigt. Die Fichtenspäne wurden in 15 kg Säcken geliefert.

Es wurden wieder Prüfriegel im Mischungsverhältnis 1:2 und 1:2,5 hergestellt und ebenfalls Prüfkörper mit Sand. Die folgende Abbildung gibt das Ergebnis der ersten Serie welche bei einer Starttemperatur von 15,8°C gemischt wurde.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
	Fichte OT								
241-0	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT				0,6	9,8			19,8
241-1	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1109,0	28	10,2	9,8	21,4	21,0	19,8
241-2	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1081,3	28	10,1	0,5	19,4	19,6	1,0
241-3	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1070,3	28	9,0	63,82%	19,0	18,5	55,10%
241-4	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1093,8	7	6,0	6,2	9,4	10,9	10,9
241-5	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1075,8	7	6,4	0,2	11,4	11,3	0,6
241-6	FM: rMH52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1102,7	7	6,3		11,4	11,3	
242-0	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT				0,4	9,2			17,3
242-1	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	997,3	28	8,5	9,2	17,1	17,4	17,3
242-2	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1052,7	28	10,0	0,6	19,1	17,4	0,8
242-3	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1036,7	28	9,1	44,93%	16,6	16,0	44,27%
242-4	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1059,4	7	4,2	4,1	8,3	8,0	7,6
242-5	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	991,8	7	4,1	0,0	7,6	6,9	0,4
242-6	FM: rMH52, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1003,5	7	4,1		6,6	8,5	
243-0	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT				0,6	8,6			22,6
243-1	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1326,2	28	8,4	8,6	22,4	22,9	22,6
243-2	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1343,8	28	9,2	0,4	22,5	22,9	0,1
243-3	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1353,5	28	8,2	62,40%	22,9	22,1	59,45%
243-4	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1378,1	7	5,6	5,4	15,6	13,8	13,4
243-5	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1393,4	7	5,3	0,2	13,1	12,5	0,9
243-6	FM: rMH52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1396,5	7	5,2		13,0	12,6	
244-0	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT				0,6	8,2			18,8
244-1	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	135,5	28	7,7	8,2	20,0	18,5	18,8
244-2	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1176,6	28	8,3	0,3	18,5	17,6	0,5
244-3	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1193,8	28	8,5	62,45%	19,1	18,8	59,56%
244-4	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1249,2	7	5,2	5,1	10,9	11,3	11,2
244-5	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1283,2	7	5,1	0,1	11,0	11,0	0,2
244-6	FM: rMH52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1248,8	7	5,0		11,6	11,3	

Abbildung 9: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen.

Alle Mischungen erreichen die Biegezuggrenze, die in der Norm gefordert wird. Nur bei der Druckfestigkeit erreicht nur die Mischung mit 0,8 Teilen Sand einen 28 Tage Mittelwert von 22,6 N/mm².

Aus diesem Grund wurden die Mischungen bei beheizten Bedingungen (Starttemperatur 21,2°C) wiederholt. Wieder stellt die Biegezugfestigkeit kein Problem dar und es werden Werte von 8,8 bis 12,3 N/mm² erreicht. Bei der Druckfestigkeit fällt nur die 1:2,5 Mischung durch, die Referenz in 1:2 hält im Mittel nach 28 Tagen 24,4 N/mm² und die Proben mit viel Sand erreichen gar 30,9 N/mm² im 28 Tagemittel.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²	N/m m ²	N/mm ²	
Fichte QT Wiederholung									
265-0	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT				0,6	12,3			24,4
265-1	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1036,3	28	11,8	12,3	25,5	21,8	24,4
265-2	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1046,1	28	12,6	0,3	27,5	25,0	1,3
265-3	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1031,6	28	12,4	63,86%	24,0	22,5	60,94%
265-4	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1006,6	7	8,2	7,8	15,5	15,3	14,9
265-5	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	971,1	7	7,4	0,3	14,1	14,1	0,5
265-6	FM: rM#52, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1019,9	7	7,9		14,6	15,5	
266-0	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,7	8,8			17,2
266-1	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	932,0	28	8,6	8,8	18,6	17,3	17,2
266-2	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	929,7	28	10,2	1,0	16,6	19,6	1,2
266-3	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	889,8	28	7,7	70,19%	16,8	14,1	68,81%
266-4	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	888,3	7	6,8	6,2	16,3	11,6	11,8
266-5	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	879,7	7	5,9	0,4	11,1	9,9	1,5
266-6	FM: rM#52, B:FS 1:2.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	891,4	7	5,9		11,4	10,6	
267-0	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,6	11,5			30,9
267-1	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1369,1	28	11,1	11,5	30,1	29,1	30,9
267-2	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1394,5	28	12,3	0,6	32,4	32,8	1,2
267-3	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1388,3	28	11,0	60,17%	29,0	31,9	67,34%
267-4	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1378,1	7	6,8	6,9	22,4	21,1	20,8
267-5	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1405,9	7	7,3	0,3	20,1	21,4	0,8
267-6	FM: rM#52+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1399,2	7	6,6		19,8	20,0	
268-0	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,7	12,3			28,0
268-1	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1272,3	28	12,2	12,3	27,4	30,8	28,0
268-2	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1288,3	28	12,9	0,5	27,0	30,0	1,2
268-3	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1273,4	28	11,8	66,94%	25,9	26,9	64,48%
268-4	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1237,1	7	9,2	8,2	19,9	18,3	18,0
268-5	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1196,5	7	7,8	0,7	17,4	15,6	1,1
268-6	FM: rM#52+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1249,2	7	7,7		17,4	19,8	

Abbildung 10: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen (Wiederholungsmischungen).

Die Sackware ist etwas zu grob und es fehlt der Feinteilanteil im Füllstoff. Deshalb wurden die Sägespäne im „Grinder“ gemahlen und eine 2 Teile grobe und 1 Teil feine Späne Mischung hergestellt. Wieder wurden 1:2 und 1:2,5 Mischungen mit dem Bindemittel hergestellt. Weiters wurde eine Mischung mit mehr (0,82 Teile) und eine mit weniger (0,5 Teile) Sand hergestellt.

Beim Biegezug werden nach 35 Tagen Werte zwischen 11,3 und 14,6 N/mm² erreicht, weit über der 4 N/mm² Grenze. Bei der Druckfestigkeit sind die Werte zwischen 26,6 und 32,8 N/mm².

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
Fichte grob und fein 2:1 QT									
255-0	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT				0,7	14,6			31,4
255-1	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1148,0	35	14,6	14,6	30,3	29,8	31,4
255-2	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1147,3	35	>15	0,0	32,6	31,9	1,0
255-3	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1150,0	35	>15	74,43%	32,8	31,3	70,56%
255-4	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1174,2	7	11,4	10,9	20,5	23,8	22,2
255-5	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1176,6	7	10,1	0,6	21,6	20,5	0,9
255-6	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1211,7	7	11,1		22,1	24,5	
256-0	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT				0,6	13,7			26,6
256-1	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1100,8	35	13,7	13,7	27,3	25,9	26,6
256-2	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1066,4	35	12,8	0,7	28,0	26,3	0,4
256-3	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1104,3	35	14,6	57,91%	26,3	26,3	52,07%
256-4	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1048,0	7	8,7	7,9	14,9	14,9	13,9
256-5	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1033,2	7	7,9	0,6	13,1	14,5	0,8
256-6	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,8	1017,6	7	7,2		13,3	12,6	
257-0	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,8	11,3			32,8
257-1	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1447,3	35	11,1	11,3	34,4	34,9	32,8
257-2	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1391,0	35	11,4	0,1	33,4	27,5	1,8
257-3	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1417,6	35	11,4	75,81%	34,1	32,6	70,48%
257-4	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1440,2	7	8,7	8,6	22,8	24,3	23,1
257-5	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1419,5	7	8,2	0,3	23,0	22,8	0,3
257-6	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1448,0	7	8,8		22,5	23,5	
258-0	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT				0,7	14,1			32,6
258-1	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1333,6	35	13,2	14,1	32,3	31,8	32,6
258-2	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1343,0	35	14,6	0,6	31,0	34,4	0,5
258-3	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1331,3	35	14,4	67,06%	32,5	33,8	68,50%
258-4	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1350,8	7	10,0	9,4	23,0	23,6	22,3
258-5	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1309,8	7	9,5	0,5	21,5	22,0	0,7
258-6	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1320,7	7	8,8		22,4	21,5	

Abbildung 11: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, nach 7- und 35 Tagen.

Nach 28 Tagen liegt die Biegezugfestigkeit zwischen 11,1 und 14,3 N/mm² und die Druckfestigkeit der 1:2,5 Mischung liegt im Mittel nach 28 Tagen bei 28,5 N/mm². Jene der 1:2 Mischung erreicht gar 30,2 N/mm² im Mittel aus sechs Proben. Die Mischungen mit Sand halt auf Druck im Mittel 30,6 und 31,4 N/mm².

Prüfserie	Kurzbeschreibung	Binder: Füllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
Fichtegrob und fein 2:1 QT 28 Tage									
269-0	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT					0,7	14,3		30,2
269-1	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1149,2	28	13,6	14,3	29,1	30,1	30,2
269-2	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1153,5	28	14,6	0,5	32,6	27,8	0,5
269-3	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1161,3	28	14,6	68,69%	30,3	31,3	70,19%
269-4	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1150,8	7	10,7	9,8	20,6	21,3	21,2
269-5	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1116,4	7	8,5	0,9	20,5	18,5	1,5
269-6	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1186,7	7	10,2		23,3	23,0	
270-0	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT					0,6	14,1		28,5
270-1	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1117,2	28	13,9	14,1	29,9	27,1	28,5
270-2	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1089,8	28	14,4	0,2	29,0	26,3	0,7
270-3	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1126,6	28	14,0	57,21%	28,6	30,1	60,75%
270-4	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1066,0	7	8,2	8,1	18,3	18,1	17,3
270-5	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1032,0	7	7,9	0,1	17,4	15,8	0,7
270-6	FM: rM#52+53, B: FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1068,4	7	8,1		18,5	15,9	
271-0	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT					0,6	11,1		31,4
271-1	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1391,4	28	10,7	11,1	30,9	31,5	31,4
271-2	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1394,9	28	11,6	0,4	31,1	30,6	0,6
271-3	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1448,8	28	11,1	64,97%	31,9	32,5	74,60%
271-4	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1444,5	7	7,1	7,2	24,9	23,8	23,4
271-5	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1409,8	7	7,5	0,2	22,3	22,9	0,7
271-6	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1439,5	7	7,1		23,4	23,5	
272-0	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT					0,6	12,7		30,6
272-1	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1318,0	28	12,3	12,7	29,4	29,9	30,6
272-2	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1320,3	28	13,2	0,4	30,4	31,5	0,7
272-3	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1360,9	28	12,7	63,35%	31,4	30,9	69,30%
272-4	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1286,7	7	8,8	8,1	20,5	22,1	21,2
272-5	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1299,2	7	7,5	0,5	20,8	20,4	0,5
272-6	FM: rM#52+53+18, B: FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1321,5	7	7,9		21,9	21,5	

Abbildung 12: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, nach 7- und 28 Tagen.

Neben dem QT-Bindemittel wurden noch Mischungen mit dem alternativen LF-Bindemittel durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 7666 angeführt. Es zeigt vergleichbare Werte wie das Standardbindemittel und ist für den Einsatz als Estrichbinder geeignet.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	
	Fichte grob und fein 2:1 LF-Binder								
259-0	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, LF-Binder				0,8	13,3			33,0
259-1	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1088,7	28	12,2	13,3	32,8	32,3	33,0
259-2	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1082,4	28	13,8	0,8	32,8	33,3	0,4
259-3	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1102,7	28	13,9	75,94%	33,4	33,5	60,08%
259-4	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1141,4	7	10,3	10,1	19,1	21,3	19,8
259-5	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1135,5	7	9,8	0,2	19,4	19,5	0,3
259-6	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.33:0.67 (1:2), M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d	2,0	1120,7	7	10,2		18,3	21,4	
260-0	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d, LF-Binder				0,7	11,7			28,9
260-1	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1015,2	28	10,4	11,7	26,4	28,1	28,9
260-2	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1046,5	28	11,8	1,0	28,4	30,8	1,2
260-3	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1057,0	28	12,9	73,22%	29,1	30,5	58,59%
260-4	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1093,4	7	9,1	8,6	18,1	17,5	16,9
260-5	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1075,0	7	7,4	0,8	16,5	15,9	0,7
260-6	FM: rM#52+53, B:FS 1:1.67:0.83 (1:2.5), M#185(0.94), 23*Bé 2.50, 7,28d	2,5	1059,4	7	9,2		16,0	17,5	
261-0	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, LF-Binder				0,7	9,5			30,8
261-1	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1371,9	28	10,0	9,5	32,8	32,6	30,8
261-2	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1294,1	28	9,5	0,4	31,8	28,6	1,4
261-3	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1282,4	28	9,1	72,03%	29,0	29,8	62,74%
261-4	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1334,8	7	7,0	6,9	18,9	19,4	19,3
261-5	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1362,9	7	6,4	0,3	19,1	18,0	0,7
261-6	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.12:0.56:0.82, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1369,5	7	7,2		20,0	20,4	
262-0	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, LF-Binder				0,6	10,5			28,6
262-1	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1178,9	28	10,3	10,5	28,0	29,1	28,6
262-2	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1229,3	28	10,9	0,3	29,1	29,6	0,6
262-3	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1202,3	28	10,3	57,78%	27,8	28,0	58,78%
262-4	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1185,9	7	6,1	6,1	17,6	17,3	16,8
262-5	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1203,5	7	5,8	0,2	16,6	15,6	0,5
262-6	FM: rM#52+53+18, B:FS 1:1.33:0.67:0.5, M#185(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d	2,5	1207,0	7	6,3		16,9	16,9	

Abbildung 13: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, mit dem LF-Bindemittel.

Die Fichtenspäne sind für den Einsatz als Füllstoff geeignet und dies konnte nachgewiesen werden. Durch das Mahlen und Ergänzen der Sieblinie, können die Festigkeiten gesteigert bzw. der Füllstoffanteil erhöht werden.

4.6 Alternative Füllstoffe

Neben den Füllstoffen aus Buche und Fichte wurden auch Mischungen mit Hanf, Kork und weiteren Füllstoffmöglichkeiten hergestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

4.6.1 Hanf

Eine eigene Serie wurde dem Füllstoff Hanf gewidmet. rM#21 sind Hanfschäben gemahlen und unter 1 mm gesiebt. rM#49 sind Hanfschäben grob gemahlen und rM#18 ist Quarzsand.

Die gesiebten Hanfschäben halten in der 1:2,5 Mischung 8,1 N/mm² auf Biegezug und 18,5 N/mm² auf Druck. Die 1:1 Mischung aus groben und feinen Schäben im Verhältnis 1:2,5 auf das Bindemittel hält nach 28 Tagen 9,1 N/mm² auf Biegezug und 18,0 N/mm² auf Druck.

Die 1:2,5 Mischung mit den groben Schäben (rM#49) wurde zweimal gemischt und hält im Mittel nach 28 Tagen 8,0 bzw 8,3 N/mm² auf Biegezug und 15,0 N/mm² auf Druck.

Die 1:2 Mischung aus groben Schäben rM#49 hält auf Biegezug 8,8 N/mm² und 17,6 N/mm² auf Druck, nach 28 Tagen.

Auch die Sandbeimengung bringt die Druckfestigkeit nicht über 20 N/mm². Leider erreicht folglich der Hanf als alleiniger organischer Füllstoff die geforderten Festigkeiten nicht.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigk eit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
Hanf									
234-1	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1196,1	28	8,9	8,1	18,8	19,8	18,5
234-2	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1152,7	28	7,0	0,8	17,6	16,4	1,1
234-3	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1182,0	28	8,3	58,68%	18,4	20,3	58,49%
234-4	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1195,3	7	5,0	4,7	12,0	11,4	10,8
234-5	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1178,1	7	4,6	0,2	9,9	10,3	0,7
234-6	rM#21, B:FS 1:2.5 M#72(0,87), 23°Bé 2.68, 7,28d, QT	2,5	1164,5	7	4,6		10,8	10,8	
235-1	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1163,7	28	9,6	9,1	18,6	17,5	18,0
235-2	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1164,5	28	9,2	0,5	18,5	18,1	0,2
235-3	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1152,7	28	8,5	64,10%	17,6	17,9	62,01%
235-4	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1144,5	7	5,8	5,8	11,4	10,8	11,2
235-5	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1157,4	7	5,8	0,0	11,1	11,0	0,2
235-6	rM#21+49, FSM 1:1, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1179,3	7	5,9		11,4	11,5	
236-1	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1062,5	28	8,9	8,0	15,0	15,6	15,0
236-2	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1025,4	28	7,3	0,7	14,8	15,0	0,2
236-3	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1059,4	28	7,8	70,42%	14,6	15,1	61,30%
236-4	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1094,5	7	6,2	5,6	10,0	9,8	9,2
236-5	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1052,0	7	5,4	0,4	8,5	9,8	0,5
236-6	rM#49, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1019,5	7	5,3		8,9	8,4	
237-1	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1104,3	28	9,4	8,8	17,3	17,6	17,6
237-2	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1110,2	28	8,8	0,5	17,6	17,9	0,1
237-3	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1097,7	28	8,2	70,45%	18,1	17,1	65,56%
237-4	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1148,0	7	5,9	6,2	11,1	11,5	11,5
237-5	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1114,1	7	5,8	0,5	11,6	11,4	0,2
237-6	FM: rM#49, B:FS 1:2, M#145(0.84), 23°Bé 2.78, 7,28d, QT	2,0	1094,5	7	6,9		11,8	11,9	
238-1	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1039,1	28	8,4	8,3	14,8	14,6	15,0
238-2	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1017,2	28	8,2	0,1	15,1	14,1	0,4
238-3	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1035,5	28	8,4	64,80%	16,0	15,1	57,52%
238-4	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1052,0	7	5,4	5,4	8,6	8,6	8,6
238-5	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1029,3	7	5,0	0,3	8,3	8,4	0,2
238-6	FM: rM#49, B:FS 1:2.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1046,1	7	5,8		8,5	9,3	
239-1	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1364,1	28	7,7	7,9	19,1	19,3	19,3
239-2	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1339,8	28	7,6	0,4	19,3	19,0	0,3
239-3	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1332,8	28	8,4	62,87%	20,0	19,4	62,28%
239-4	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1402,0	7	5,2	5,0	11,9	12,4	12,0
239-5	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1402,3	7	5,2	0,3	11,3	11,8	0,4
239-6	FM: rM#49+18, B:FS 1:1.7:0.8, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1426,2	7	4,5		12,1	12,9	
240-1	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1248,0	28	8,4	8,0	17,3	17,8	17,0
240-2	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1248,0	28	7,9	0,3	17,0	16,6	0,3
240-3	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1252,3	28	7,7	62,08%	16,4	17,1	60,47%
240-4	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1320,7	7	5,2	5,0	10,4	10,1	10,3
240-5	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1291,0	7	4,8	0,2	10,4	10,5	0,1
240-6	FM: rM#49+18, B:FS 1:2.0:0.5, M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1284,4	7	4,9		10,1	10,3	

Abbildung 14: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Hanf.

Neben den Prüfriegeln mit Hanf allein wurden auch welche im Mischungsverhältnis 1:1 mit groben Buchenspänen (rM#3) hergestellt. Es wurden wieder die Mischungsverhältnisse 1:2,1:2,5 und 1:3 gemischt und nach 7 und 28 Tagen geprüft.

Die Mischungen zeigen Festigkeiten im relevanten Bereich und wären für einen Estrich einsetzbar.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigk eit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
	rM#21+3, FSM 1:1								
84-2	FM: DC - rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, 23°Bé, vergl. rM M#83	2,0	1311,7	7	8,9	8,6	21,4	20,5	21,4
84-3	FM: DC - rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, 23°Bé, vergl. rM M#83	2,0	1309,0	7	8,3		22,1	21,6	
86-2	FM: DC - rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, 23°Bé, vergl. rM M#85	3,0	1159,8	7	7,1	7,2	15,9	14,4	15,2
86-3	FM: DC - rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, 23°Bé, vergl. rM M#85	3,0	1163,7	7	7,3		14,9	15,5	
156-1	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1262,9	7	9,7	9,6	23,3	24,9	23,8
156-2	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1274,2	7	8,8		23,9	23,8	
156-3	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1287,5	7	10,4		22,6	24,3	
156-4	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1261,3	28	12,5	12,4	29,1	27,6	28,8
156-5	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1264,8	28	12,4	77,7%	29,5	30,1	82,5%
156-6	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2, M#84(0.77), 23°Bé 3.02, 7,28d	2,0	1242,2	28	12,3		28,9	27,6	
158-1	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1211,3	7	8,3	8,4	18,5	18,4	18,9
158-2	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1189,8	7	8,1		18,3	18,6	
158-3	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1218,8	7	8,8		20,1	19,3	
158-4	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1204,7	28	12,4	12,2	25,4	26,5	25,9
158-5	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1199,2	28	12,5	68,9%	25,5	26,1	72,8%
158-6	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:2.5, M#86(0,85), 23°Bé 2.75, 7,2d	2,5	1189,1	28	11,7		26,0	25,9	
157-1	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1162,9	7	7,2	7,1	15,1	15,6	15,4
157-2	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1150,8	7	7,3		15,3	15,4	
157-3	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1165,6	7	6,8		16,3	15,0	
157-4	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1070,7	28	9,8	10,3	19,5	15,5	19,4
157-5	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1125,8	28	10,9	68,9%	20,9	20,5	79,8%
157-6	FM: DC rM# 21+3, FSM 1:1, B:FS 1:3, M#86(0,93), 23°Bé 2.50, 7,28d	3,0	1119,9	28	10,2		19,0	20,8	

Abbildung 15: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Hanf als feinen Füllstoff und Buche als Grobzuschlag.

4.6.2 Korkmehl

Es wurden aus Korkgranulat (rM#39), einer 1:1 Mischung aus Korkmehl und Korkgranulat und Korkmehl (rM#40) Prüfriegel hergestellt und im Verhältnis 1:2, 1:2,5 und 1:3 mit dem Bindemittel gemischt.

Das Korkgranulat hält zwischen 3,0 und 4,1 N/mm² auf Biegezug nach 28 Tagen und auf Druck können zwischen 5,1 und 8,1 N/mm² aufgenommen werden.

Die Mischung aus Granulat und Mehl hält im Mittel nach 28 Tagen zwischen 4,1 und 5,0 N/mm² auf Biegezug und zwischen 8,6 und 13,0 N/mm² auf Druck.

Das Korkmehl (rM#40) allein hält nach 28 Tagen im Mittel auf Biegezug zwischen 2,7 und 5,7 N/mm² und auf Druck zwischen 8,9 und 15,0 N/mm²

Die Biegezugfestigkeiten von 4 N/mm² werden zum Teil erreicht aber die geforderte Druckfestigkeit von 20 N/mm² wird von keiner einzigen Probe erreicht. Kork allein scheidet daher als Füllstoff für einen modernen Estrich aus.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestigk eit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²	N/m m ²	N/mm ²	
	rM#39	Korkgranulat							
199-1	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	900,8	7	3,5	3,5	8,3	6,9	7,7
199-2	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	922,3	7	3,4		8,4	7,8	
199-3	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	877,7	7	3,6		7,0	8,1	
199-4	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	900,0	28	4,2	4,2	8,0	8,6	8,1
199-5	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	855,9	28	4,1	82,7%	6,0	9,5	95,1%
199-6	FM: rM#39, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	887,9	28	4,4		9,6	7,0	
200-1	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	766,4	7	3,0	2,8	3,8	5,6	4,5
200-2	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	785,9	7	2,9		5,8	3,9	
200-3	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	705,5	7	2,4		4,3	3,6	
200-4	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	729,7	28	3,1	3,5	6,5	6,3	6,0
200-5	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	740,2	28	3,9	79,0%	6,4	7,0	75,2%
200-6	FM: rM#39, B:FS 1:2.5, M#148(0.94), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	2,5	752,0	28	3,5		5,6	4,0	
201-1	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	646,9	7	1,7	2,0	2,1	3,6	3,4
201-2	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	739,1	7	2,4		4,8	3,4	
201-3	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	694,9	7	1,8		3,8	2,8	
201-4	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	804,3	28	2,7	3,0	5,5	5,0	5,1
201-5	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	821,1	28	2,9	65,6%	5,4	4,5	66,0%
201-6	FM: rM#39, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	724,2	28	3,4		5,8	4,8	
	rM#39+40	Korkgranulat und Mehl							
202-1	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	981,6	7	3,3	3,2	9,5	10,3	10,3
202-2	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	973,4	7	3,0		10,4	11,1	
202-3	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	941,4	7	3,3		9,9	10,4	
202-4	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	994,9	36	5,2	5,0	13,8	12,8	13,0
202-5	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	982,4	36	4,9	64,0%	12,6	13,1	79,0%
202-6	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	973,4	36	4,9		12,8	12,9	
203-1	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	907,0	7	2,9	2,9	8,0	8,1	8,0
203-2	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	907,4	7	2,9		8,0	7,5	
203-3	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	918,0	7	2,8		8,1	8,0	
203-4	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	914,1	36	4,4	4,3	10,8	10,4	10,4
203-5	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	896,1	36	4,3	66,2%	10,5	9,9	76,6%
203-6	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	925,4	36	4,3		10,6	10,3	
204-1	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	885,5	7	2,7	2,7	6,5	6,5	6,6
204-2	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	890,6	7	2,7		6,4	6,9	
204-3	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	866,8	7	2,7		6,6	6,6	
204-4	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	860,9	36	3,7	4,1	8,4	8,3	8,6
204-5	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	874,2	36	4,3	66,4%	8,9	9,1	76,5%
204-6	FM: rM#39+40 1:1, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	888,3	36	4,2		8,9	8,1	
	rM#40	Korkmehl							
205-1	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1055,9	8	3,1	3,0	10,8	11,9	11,8
205-2	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1053,5	8	3,0		11,8	12,0	
205-3	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1060,5	8	2,9		11,8	12,4	
205-4	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1054,7	29	5,6	5,7	15,0	14,5	15,0
205-5	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1059,4	29	5,6	52,6%	14,6	15,5	78,6%
205-6	FM: rM#40, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23*Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1056,6	29	5,9		15,3	14,9	
206-1	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	999,6	8	3,0	3,0	9,3	8,8	9,1
206-2	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1004,3	8	3,0		9,0	8,9	
206-3	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1009,0	8	2,9		9,3	9,3	
206-4	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	996,5	29	4,1	4,3	11,8	12,0	11,7
206-5	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	986,3	29	4,4	69,5%	11,5	11,4	77,3%
206-6	FM: rM#40, B:FS 1:2.5, M#148(0.85), 23*Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	989,8	29	4,3		11,6	12,1	
207-1	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	933,2	8	2,6	2,7	5,6	6,5	6,1
207-2	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	929,7	8	2,7		5,3	6,5	
207-3	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	950,0	8	2,7		6,4	6,3	
207-4	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	925,8	29	3,8	3,8	8,4	8,9	8,9
207-5	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	938,7	29	3,7	69,6%	8,9	8,5	68,1%
207-6	FM: rM#40, B:FS 1:3, M#147(0.93), 23*Bé 2.5, 7,28d, QT	3,0	956,6	29	4,0		10,0	9,0	

Abbildung 16: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Korkmehl und Korkgranulat.

4.6.3 Andere Füllstoffe

Neben den Füllstoffen Hanf und Kork wurden noch andere Füllstoffe auf Holzbasis wie Birke Typ 7 und Typ 3, Buche Typ 1 und Typ 7 und Apfel Typ 3 und Typ 7 untersucht. Weiters wurde ein Holz-Sand-Mehl, fein und grob gemahlene Buchweizenhülsen, Geldschnipsel, gemahlene Reisspelzen und gehäckseltes Schilf zu Mischungen verarbeitet.

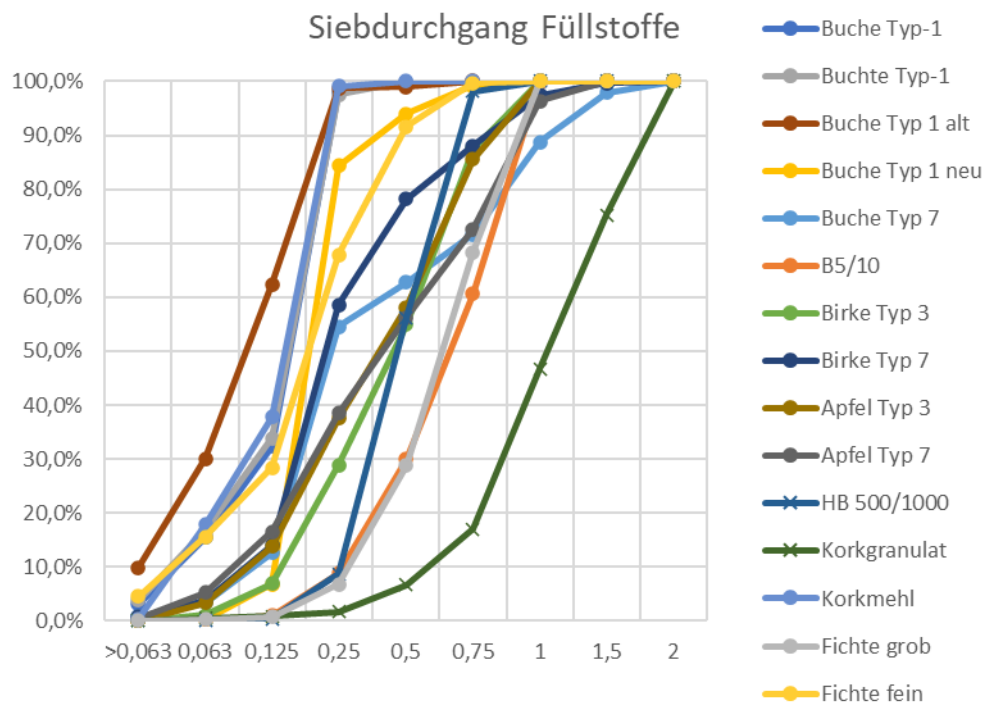


Abbildung 17: Sieblinien der Füllstoffe, gewonnen durch Siebanalyse.

Von den Füllstoffen wurden Sieblinien erstellt, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen.

Was die Festigkeit betrifft: Alle Holzproben erreichen die 4 N/mm² an Biegezug, welche die Norm fordert. Bei der Druckfestigkeit erreichen nur Apfel Typ 3 und Buche Typ 1 alt die geforderten Festigkeiten nicht.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1	DF-2	Mittelwerte Druckfestig keit
		-	kg/m³	d	N/mm²	N/mm²	N/m m²	N/mm ²	
178-0	Birke Typ 7				0,7	9,8			24,6
178-1	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1117,2	7	7,1	7,1	17,6	14,5	16,7
178-2	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1137,1	7	7,3		16,3	17,4	
178-3	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1153,5	7	7,0		17,3	17,1	
178-4	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1128,1	42	10,0	9,8	25,1	25,8	24,6
178-5	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1111,3	42	10,1	72,8%	23,6	24,3	67,7%
178-6	FM: DC rM# 14, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1119,5	42	9,3		24,5	24,6	
179-0	Birke Typ 3				0,8	8,1			20,4
179-1	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1109,0	7	5,7	6,2	14,8	15,1	14,2
179-2	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1096,9	7	5,9		13,8	13,0	
179-3	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1065,6	7	6,9		14,4	14,4	
179-4	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1085,5	42	8,2	8,1	22,3	15,5	20,4
179-5	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1088,7	42	7,4	76,4%	22,4	20,6	69,8%
179-6	FM: DC rM# 13, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,2	1078,9	42	8,6		19,8	21,9	
180-0	Buche Typ 1				0,7	8,5			20,1
180-1	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1143,8	7	6,0	6,1	13,6	15,4	15,0
180-2	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1154,7	7	6,4		15,6	15,9	
180-3	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1165,6	7	6,0		14,5	15,1	
180-4	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1115,6	42	9,3	8,5	21,5	20,4	20,1
180-5	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1088,3	42	7,9	72,4%	19,4	19,9	74,7%
180-6	FM: DC rM# 4, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1109,4	42	8,2		19,5	20,0	
181-0	Apfel Typ 3				0,7	6,7			18,0
181-1	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1040,2	7	4,7	4,9	10,9	12,0	11,5
181-2	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1082,0	7	4,7		12,0	11,4	
181-3	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1076,2	7	5,4		11,6	11,4	
181-4	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1046,1	42	6,3	6,7	17,6	18,1	18,0
181-5	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1056,6	42	6,6	73,3%	17,5	18,6	64,2%
181-6	FM: DC rM# 12, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1059,8	42	7,3		17,9	18,1	
182-0	Apfel Typ 7				0,7	9,6			21,2
182-1	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1115,6	7	7,5	7,1	13,5	14,3	14,2
182-2	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1121,9	7	6,6		14,6	13,8	
182-3	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1127,7	7	7,1		14,6	14,5	
182-4	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1079,3	42	9,6	9,6	21,6	21,5	21,2
182-5	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1104,3	42	9,9	73,4%	20,6	21,3	67,0%
182-6	FM: DC rM# 7, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1110,2	42	9,4		22,0	20,3	
183-0	Buche Typ 7				0,7	11,1			25,1
183-1	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1218,4	7	8,1	7,6	17,8	18,0	18,1
183-2	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1206,6	7	7,5		17,9	18,5	
183-3	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1205,5	7	7,2		18,1	18,5	
183-4	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1151,2	42	10,9	11,1	24,8	25,5	25,1
183-5	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1154,3	42	11,7	68,3%	25,5	24,4	72,2%
183-6	FM: DC rM# 16, B:FS 1:2.39, M#46(0,89), 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1131,6	42	10,8		25,0	25,5	
193-0	Buche Typ 1 Neu WH				0,7	10,2			24,1
193-1	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1164,8	7	7,9	7,1	18,4	17,3	17,7
193-2	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1178,9	7	6,7		18,4	17,4	
193-3	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1184,4	7	6,7		16,8	18,0	
193-4	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1141,4	28	10,2	10,2	24,0	23,4	24,1
193-5	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1143,4	28	9,9	69,6%	25,1	23,8	73,3%
193-6	FM: rM#4 Neu, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1143,4	28	10,5		23,3	25,3	
194-0	Buche Typ 1 Alt				0,7	7,9			19,9
194-1	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1105,5	7	5,5	5,4	13,1	12,6	13,0
194-2	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1122,3	7	5,2		13,0	12,3	
194-3	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1153,1	7	5,6		13,9	13,3	
194-4	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1085,2	28	7,2	7,9	19,8	20,0	19,9
194-5	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1078,9	28	7,7	68,8%	19,6	20,1	65,5%
194-6	FM: rM#4 Alt, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,4	1116,8	28	8,8		19,8	20,0	
195-0	Buche Typ 7 WH				0,8	10,4			25,5
195-1	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1147,7	7	9,0	8,2	20,3	20,1	19,8
195-2	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1162,9	7	8,0		20,6	19,0	
195-3	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1158,2	7	7,6		19,6	19,3	
195-4	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1110,2	28	10,7	10,4	25,4	25,8	25,5
195-5	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1107,4	28	10,4	78,8%	25,6	25,8	77,6%
195-6	FM: rM#16, 500 Gramm, 23°Bé 2.62, 7,28d, QT	2,1	1088,7	28	10,1		25,5	25,1	

Abbildung 18: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit alternativen Holzfüllstoffen.

Auch das Holz-Sand-Mehl erreicht nach 28 Tagen die geforderte Festigkeit.

Die Buchweizenhülsen, Geldschnipsel und Reisspelzen erreichen die geforderte Biegezugfestigkeit, nicht aber die geforderte Druckfestigkeit.

Das gehäckselte Schilf, welches nach 56 Tagen geprüft wurde, erreicht 13,0 N/mm² auf Biegezug und 31,5 N/mm² auf Druck.

Prüfriegel	Kurzbeschreibung	Binder:F üllstoffe (RT)	Rohdichte Versuch	Alter	Biegezug	Mittelwerte Biegezug	DF-1 N/m m ²	DF-2 N/mm ²	Mittelwerte Druckfestigkeit
		-	kg/m ³	d	N/mm ²	N/mm ²			
221-0	Holz Sand Mehl				0,8	6,4			24,8
221-1	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	2,0	1201,6	28	6,4	6,4	23,9	24,4	24,8
221-2	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	2,0	1241,4	28	6,0		23,8	25,8	
221-3	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	2,0	1206,6	28	6,9		26,3	24,9	
221-4	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	2,0	1276,2	7	4,8	5,0	15,4	18,1	16,9
221-5	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	2,0	1287,5	7	5,4	77,2%	16,1	17,3	68,1%
221-6	rM#45, B:FS 1:2 M#145(1,04), 23°Bé 2.25, 7,28d, QT	6,0	1237,5	7	4,7		17,0	17,5	
222-0					0,5	5,7			16,0
222-1	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1137,9	28	5,9	5,7	15,9	16,6	16,0
222-2	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1129,7	28	5,0		14,9	15,4	
222-3	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1164,5	28	6,3		16,5	16,6	
222-4	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1072,3	7	2,7	3,0	6,6	6,1	7,2
222-5	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1104,3	7	3,4	52,3%	7,3	8,6	45,1%
222-6	rM#45, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1076,2	7	2,9		7,9	6,8	
223-0	Buchweizenhülsen gemahlen fein				0,7	5,6			19,5
223-1	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1200,4	28	5,5	5,6	19,0	20,9	19,5
223-2	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1196,1	28	5,4		18,5	18,8	
223-3	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1228,9	28	5,9		20,1	19,8	
223-4	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1162,9	7	3,5	3,7	10,9	11,0	11,2
223-5	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1153,1	7	3,5	66,1%	10,1	12,3	57,4%
223-6	rM#44, B:FS 1:2.5 M#147(0.93), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1171,1	7	4,1		11,4	11,5	
227-0	Buchweizenhülsen gemahlen grob				0,6	6,7			16,2
227-1	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1106,3	27	7,0	6,7	14,6	17,0	16,2
227-2	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1099,6	27	6,1		16,0	14,5	
227-3	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1160,5	27	6,9		17,8	17,1	
227-4	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1120,3	7	3,7	4,1	11,8	12,5	11,9
227-5	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1106,3	7	4,0	61,0%	11,6	12,3	73,7%
227-6	rM#48, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1109,8	7	4,5		11,0	12,4	
224-0	Geldschnipsel				0,8	7,0			15,1
224-1	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1428,1	28	8,5	7,0	14,9	14,1	15,1
224-2	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1419,1	28	7,2		17,0	14,8	
224-3	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1414,1	28	5,2		15,0	14,6	
224-4	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1394,5	7	5,9	5,9	10,6	11,8	11,2
224-5	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0				84,7%			74,3%
224-6	rM#46, B:FS 1:2 M#145(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0							
225-0	Reisspelzen gemahlen				0,6	7,0			14,3
225-1	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1067,2	28	6,9	7,0	14,1	13,3	14,3
225-2	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1060,5	28	7,0		13,5	14,3	
225-3	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1082,4	28	7,2		15,0	15,5	
225-4	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1052,0	7	4,6	4,5	9,4	10,3	10,6
225-5	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1052,7	7	3,8	64,0%	10,9	10,1	74,2%
225-6	rM#47, B:FS 1:2 M#145(0.85), 23°Bé 2.75, 7,28d, QT	2,5	1073,0	7	5,1		11,4	11,5	
226-0					0,6	7,7			18,5
226-1	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1166,0	27	7,5	7,7	19,6	17,0	18,5
226-2	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1144,9	27	7,8		17,4	19,9	
226-3	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1167,6	27	7,7		19,0	18,1	
226-4	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1117,6	7	4,7	4,9	12,4	11,5	12,2
226-5	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1102,7	7	5,0	64,3%	11,5	12,6	65,9%
226-6	rM#47, B:FS 1:2.5 M#185(0.94), 23°Bé 2.50, 7,28d, QT	2,5	1117,6	7	5,1		13,1	12,0	
281-0	Schilf gehäckelt				0,0	13,0			31,5
281-1	FM: rM#57, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1270,7	56	11,8	13,0	33,1	32,6	31,5
281-2	FM: rM#57, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1297,7	56	12,3		32,8	23,6	
281-4	FM: rM#57, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1326,6	56	14,5		34,1	30,1	
281-5	FM: rM#57, B:FS 1:2, M#41(0.76), 23°Bé 3.06, 7,28d, QT	2,0	1285,5	56	13,3		32,9	33,1	

Abbildung 19: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit alternativen Füllstoffen, wie Buchweizenhülsen oder Reisspelzen.

Unter den Alternativen zu Buche und Fichte sind geeignete Mischungen gefunden worden. Diese könnten ebenfalls in einem Estrich eingesetzt werden.

4.7 Messungen der Härte des Estrichs

Neben der Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit wurde noch die Härte nach prEN 13892-6 bestimmt. Dabei wird eine Kugel für eine gewisse Zeit in die Oberfläche gedrückt und die bleibende Verformung gemessen. Daraus errechnet sich die Härte des Belags und diese wurden nach der ÖNorm EN 13813:2002 klassifiziert.^[7, 6]

Die erste Mischung, die geprüft wurde, ist eine mit Buchenspänen (rM#38). Es wurden 1:2 und 1:2,5 Mischungen hergestellt und Mischungen mit 0,8 bzw. 0,5 Teilen Sand.

Die 1:2 Mischung zeigt eine mittlere Härte von 39,9 N/mm² und die Festigkeitsklasse SH30. Die 1:2,5 Mischung zeigt eine zu geringe Härte, um einer Festigkeitsklasse zu entsprechen. Quer zur Oberfläche erreicht die Mischung SH30. Die Mischung mit 0,8 Teilen Sand erreicht eine mittlere Härte von 60,8 N/mm², das ist die Klasse SH50. Die Mischung mit 0,5 Teilen Sand erreicht 49,0 N/mm² als mittlere Härte und somit Klasse SH40.

$SH = \frac{F}{d * \pi * t}$			Härte	[N/mm ²]		Mittelwert		Oberflächenhärteklassen
B:FS	245	4	33,14	36,86	48,20	39,4	39,9	SH30
1:2	245	5	29,64	44,41	49,61	41,2		
	245	6	28,80	43,98	44,47	39,1		
B:FS	246	4	23,09	22,54	15,23	20,3	21,2	-
1:2,5	246	5	21,40	16,52	17,25	18,4		
	246	6	23,89	19,16	31,88	25,0		
	246	6 quer	38,70	35,09	42,08	38,6	38,6	SH30
B:FS	247	4	50,65	88,32	68,78	69,3	60,8	SH50
1:1,7:0,8	247	5	50,65	70,39	54,52	58,5		
	247	6	47,10	57,94	59,17	54,7		
B:FS	248	4	33,16	50,95	37,93	40,7	49,0	SH40
1:2:0,5	248	5	74,79	46,65	53,09	58,2		
	248	6	37,93	53,75	52,72	48,1		

Abbildung 20: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit Buchenspänen (rM#38).

Die zweite Serie wurde mit der Mischung 2:1 aus grober und feiner Fichte mit dem LF-Binder hergestellt. Die 1:2 Mischung hält dabei im Mittel 42,2 N/mm² und zeigt die Härteklasse SH40. Die 1:2,5 Mischung erreicht an der normalen Oberfläche eine mittlere Härte von 35,7 N/mm² und somit SH30. Die Mischungen mit Sand zeigen eine Härte von 46,1 bzw. 47,5 N/mm² und somit beide die Klasse SH40.

$SH = \frac{F}{d * \pi * t}$			Härte	[N/mm ²]		Mittelwert		Oberflächenhärteklassen
B:FS	259	1	36,72	35,65	42,66	38,3	42,2	SH40
1:1.33:0.67	259	2	45,00	35,34	50,19	43,5		
	259	3	38,44	37,85	58,34	44,9		
B:FS	260	1	33,14	36,39	42,54	37,4	35,7	SH30
1:1.67:0.83	260	2	34,31	33,80	33,26	33,8		
	260	3	31,53	42,57	34,12	36,1		
	260	1 quer	33,96	45,00	32,86	37,3	37,3	SH30
B:FS	261	1	40,20	48,57	50,95	46,6	47,5	SH40
1:1.12:0.56:0.82	261	2	41,89	40,31	60,40	47,5		
	261	3	45,88	55,28	44,33	48,5		
	261	1 quer	31,23	47,84	45,32	41,5	41,5	SH40
B:FS	262	1	49,78	42,74	48,64	47,1	46,1	SH40
1:1.33:0.67:0.5	262	2	45,47	58,38	42,22	48,7		
	262	3	37,63	48,10	41,78	42,5		

Abbildung 21: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit groben und feinen Fichtenspänen und dem LF-Bindemittel.

Die dritte Serie an Härtemessungen wurden an Mischungen mit Fichtenspänen (rM#38) und dem QT-Binder durchgeführt. Die Mischung 1:2 und 1:3 zeigen beide zu geringe mittlere Härten (16,4 bzw. 19,7 N/mm²) um einer Härteklasse zugewiesen zu werden. Die Mischungen mit Sand hingegen erreichen mit viel Sand 48,9 N/mm² und mit wenig Sand einen Mittelwert von 40,2 N/mm². Somit fallen beide Mischungen mit Sand in die Klasse SH40.

$SH = \frac{F}{d * \pi * t}$			Härte	[N/mm²]		Mittelwert		Oberflächenhärteklassen
B:FS	265	1	19,76	16,86	18,01	18,2	19,7	-
1:2	265	2	22,18	15,10	22,57	20,0		
	265	3	18,87	21,66	21,95	20,8		
B:FS	266	1	16,01	15,56	17,82	16,5	16,4	-
1:2,5	266	2	12,05	25,65	16,51	18,1		
	266	3	14,85	17,47	12,00	14,8		
B:FS	267	1	56,06	58,97	48,61	54,5	48,9	SH40
1:1,7:0,8	267	2	48,57	34,38	43,25	42,1		
	267	3	45,62	47,74	56,72	50,0		
B:FS	268	1	41,16	37,81	38,45	39,1	40,2	SH40
1:2:0,5	268	2	36,84	47,40	45,04	43,1		
	268	3	34,62	29,97	50,57	38,4		

Abbildung 22: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit Fichtenspänen (rM#38) und dem QT-Bindemittel.

Die vierte Serie an Härtemessungen wurden wieder am Gemisch 2:1 aus groben und feinen Fichtenspänen durchgeführt, doch dieses Mal mit dem QT-Binder. Die 1:2 Mischung zeigt eine mittlere Härte von 34,7 N/mm² und somit die Härteklasse SH30. Die 1:2,5 Mischung zeigt nur eine Härte von 29,6 N/mm² und ergibt daher keine Härteklasse. Die Mischungen mit Sand zeigen Härten von im Mittel 54,6 und 60,5 N/mm² und somit beide die Härteklasse SH50.

$SH = \frac{F}{d * \pi * t}$			Härte	[N/mm²]		Mittelwert		Oberflächenhärteklassen
B:FS	269	1	38,29	41,05	22,41	33,9	34,7	SH30
1:1.33:0.67	269	2	32,23	39,11	42,69	38,0		
	269	3	21,97	34,20	40,38	32,2		
B:FS	270	1	32,31	28,36	33,60	31,4	29,6	-
1:1.67:0.83	270	2	23,09	22,08	43,24	29,5		
	270	3	28,76	29,68	25,31	27,9		
B:FS	271	1	57,00	63,36	62,00	60,8	60,5	SH50
1:1.12:0.56:0.82	271	2	55,49	69,84	57,87	61,1		
	271	3	45,00	65,58	68,01	59,5		
B:FS	272	1	42,58	54,06	50,77	49,1	54,6	SH50
1:1.33:0.67:0.5	272	2	52,54	71,66	78,91	67,7		
	272	3	44,78	48,49	47,78	47,0		

Abbildung 23: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit groben und feinen Fichtenspänen und dem QT-Bindemittel.

Die gemessenen Proben zeigen zum Teil zu geringe Härten um in die Klassifizierung nach der Norm aufgenommen zu werden. Das betrifft vor allem die 1:2,5 Mischungen. Mit den 1:2 Mischungen kann schon eine Härte von SH30 bzw. SH40 aufgenommen werden. Durch

die Beimengung von Sand, kann die Härte gesteigert werden und bis SH50 erreicht werden. Die Härte wird nur für Beläge mit direkter Nutzung benötigt, daher empfiehlt sich in diesen Fällen ein zweischichtiger Aufbau mit einer Abschlussschicht mit Sand.

4.8 Behaglichkeit

Vergleichende Messungen mit einer Wärmebildkamera zeigen den Vorteil von BioScreed im Vergleich zu einem konventionellen Betonboden hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit, die sich in der Behaglichkeit widerspiegelt. Wie Abbildung 24 zeigt, erwärmt sich durch die geringe Wärmeleitfähigkeit von BioScreed nur der Bereich direkt unter dem Fuß und es fließt kaum Wärme an die Umgebung ab, was zu einem fußwarmen Gefühl führt.

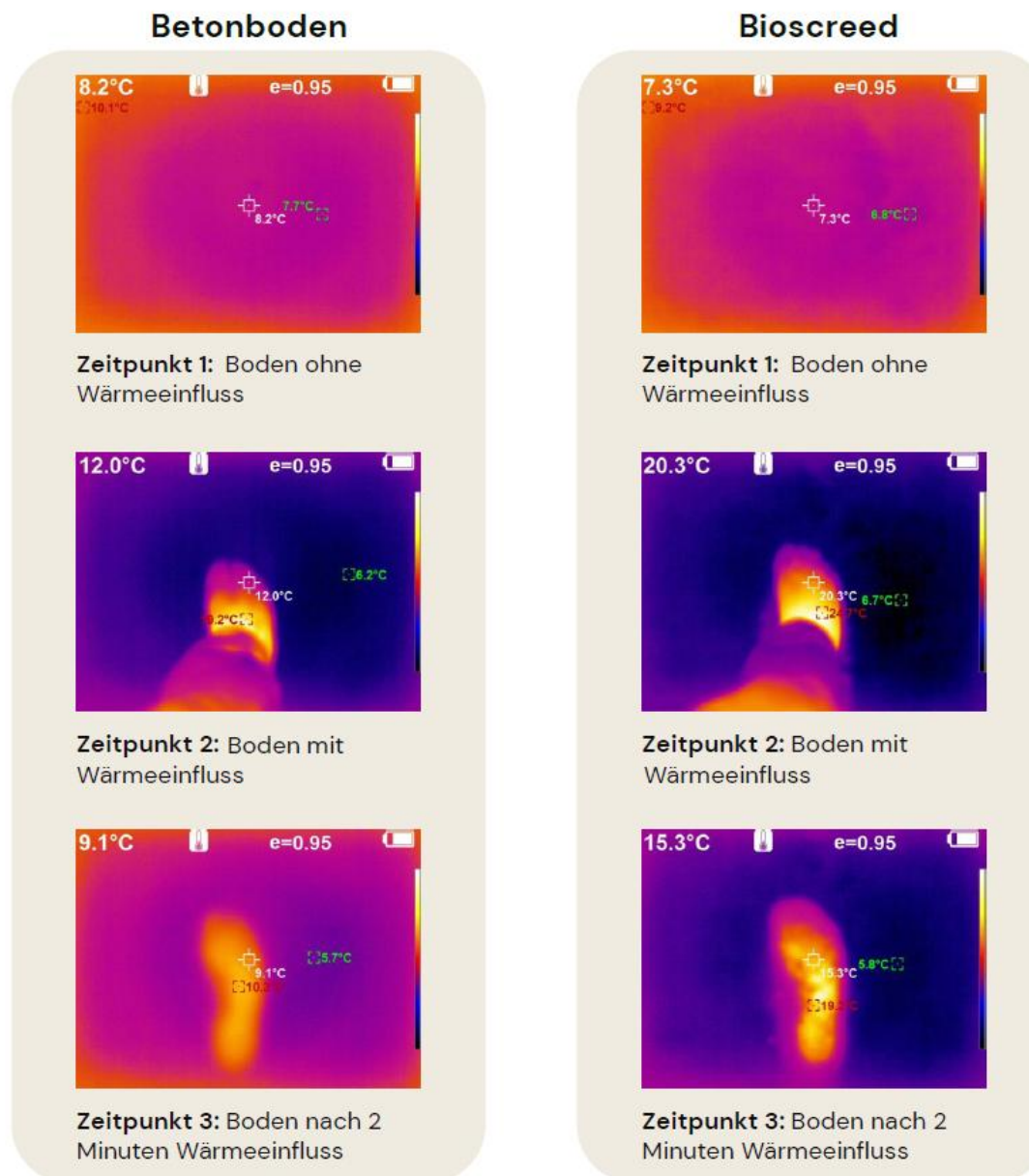


Abbildung 24 Vergleich der Oberflächentemperatur von einem Betonboden und BioScreed vor während und nach dem Betreten mit einem menschlichen Fuß.

4.9 3D-gedruckter Estrich

Neben dem Estrich als Gussmasse wurden auch Prüfkörper mit dem 3D-Drucker hergestellt.



Abbildung 25 3D-Druck eines Prüfkörpers aus Estrichmaterial.

Diese wurden auf Biegezug und Druckfestigkeit untersucht. Die ersten 8 Proben waren etwas zu groß, warum sie nicht in die Biegezugprüfmaschine passten. Somit wurde von diesen Proben nur die Druckfestigkeit ermittelt. Die Werte liegen zwischen 10,44 und 11,50 N/mm².

Eine zweite Serie (H-1 bis H-4) wurde etwas kleiner gedruckt und es konnten Biegezugwerte zwischen 3,4 und 4,1 N/mm² erreicht werden. Die Druckfestigkeit dieser Proben lag zwischen 7,06 und 7,88 N/mm².

			Biegezug	Druckfestigkeit		
	Masse	Rohdichte	BZ	DF-1	DF-2	DF-mean
	g	kg/m ³	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1 =	289,1	1129		10,75	10,5	10,63
2 =	293,9	1148		11,125	11	11,06
3	295	1152		10,75	11,625	11,19
4	287,3	1122		11,375	11,625	11,50
5 =	293,3	1146		10,375	10,5	10,44
6 =	292,8	1144		10,5	10,75	10,63
7	295,1	1153		11,5	11,375	11,44
8	294,4	1150		10,875	10,875	10,88
H-1 Gedreht	221,5	851	3,4	7,125	7	7,06
H-2 Gedreht	228,8	879	3,6	6,875	7,25	7,06
H-3	220	866	4	7,875	8	7,94
H-4	226,7	828	4,1	7,75	8	7,88

Abbildung 26: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die 3D-gedruckten Probekörper.

Die 3D-gedruckten Prüfkörper zeigen zu geringe Druckfestigkeiten um als Estrich eingesetzt zu werden. Es werden weitere Entwicklungen benötigt, um den Estrich druckbar zu machen.

Anstelle eines 3D-gedruckten Trockenbaumoduls wurde in wiederverwendbaren Schalungen ein konventionell gefertigtes Produkt entwickelt, in welchem die Kanäle für die Fußbodenheizung mittels CNC-Fräse eingefräst werden. Dadurch konnten die Festigkeiten für das Trockenbaumodul erreicht werden und trotzdem eine wieder lösbare Variante geschaffen werden.

4.10 Recycling - Bindemittelreaktivierung

Um die Recyclingfähigkeit des entwickelten Fußbodenaufbaus zu gewährleisten wurden an verschiedenen Materialmischungen Versuche zur Rekalzinierung durchgeführt. Dabei wurde die mechanische Vorbehandlung, Temperatur und Haltezeit der thermischen Behandlung und die mechanische Nachbereitung betrachtet.

Es konnte belegt werden, dass die vollständige Reaktivierbarkeit des mineralischen Bindemittels wie wir sie in Voruntersuchungen gezeigt haben (Innovationsscheck), auch für die Materialmischungen mit biogenen Füllstoffen erhalten bleibt, da insbesondere keine hochschmelzenden oder nicht im üblichen Recyclingprozess pyrolysierbaren Phasen gebildet werden.



Abbildung 27 Bruchstücke von Normprüfkörpern nach der Rekalzination.

Durch das Einbringen von Füllstoffen wie Korkgranulat oder Holzmehl wird der Energiebedarf im ersten mechanischen Prozessschritt reduziert, bei der thermischen Reaktivierung des Bindemittels kann dann der biogene Füllstoff je nach enthaltener Feuchte auch einen energetischen Beitrag liefern. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt allerdings noch entscheidend von der Batchgröße und der gewählten Ofenbauart ab. Anstatt des im Labormaßstab verwendeten diskontinuierlich beschickten Muffelofens böte sich im industriellen Maßstab ein kontinuierlich betriebener Drehrohrofen an.

Unsere Untersuchungen zeigen den Vorteil leichter (schnellerer bzw. bei niedrigerer Temperatur durchführbarer) Rekalzination bei Verwendung von Füllstoffen. Insbesondere sind biogene Stoffe hier besonders geeignet, da sie einen Beitrag zur benötigten thermischen Energie liefern. Zudem resultiert aus der geringeren Restfestigkeit von Produkten mit Füllstoffen, z.B. Holz, auch nach dem Rekalzinieren ein geringerer Energiebedarf beim anschließenden Aufmahlen.

Um den Eintrag von CO_2 in die Umgebungsluft zu verhindern wurde eine Abgasaufbereitungsanlage verwendet.



Abbildung 28 Labortest eines möglichen Aufbaus zur Abgasaufbereitung für den Rekalzinierofen.

Ein erhöhter Kohlenstoffgehalt, wie er in recycelten Materialmischungen beobachtet wurde, insbesondere bei einer höheren Generationenzahl durch energetisch optimierte Rekalzination erzeugter Mischungen, stört ersten Untersuchungen zufolge nicht die Phasenbildung im Produkt. Die Beschaffung eines eigenen Ofens sowie einer Mühle wird es uns hier erlauben, mit größeren Batches eine höhere Zyklenzahl zu erreichen, um den Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die Festigkeit der Produkte höherer Generationen zu untersuchen.

4.11 Wettbewerbsanalyse

BioScreed unterscheidet sich in nahezu allen relevanten Kategorien deutlich von klassischen Estrichsystemen wie Zementestrich, Calciumsulfatestrich (CAF), Kunstharzestrich sowie Gipsfaser-Segmentplatten. Besonders stark zeigt sich der Unterschied in ökologischen Kennzahlen, der Kreislauffähigkeit, der schnellen Begehrbarkeit und der Zukunftssicherheit

in einem Markt, der zunehmend unter Druck durch CO₂-Kosten und Ressourcenknappheit steht.

Kosten & Verarbeitung

Mit rund 150 €/m³ liegt BioScreed preislich im gleichen Bereich wie klassischer Zementestrich, ist jedoch günstiger als CAF-Estrich und deutlich preiswerter als Kunstharzestriche oder Gipsfaserplatten, die als Trockenbodensysteme meist erheblich teurer ausfallen. Während Zementestrich eine eher standardmäßige Verarbeitung bietet, überzeugt BioScreed durch eine sehr gute, leicht handhabbare Verarbeitbarkeit. Kunstharzestriche bieten ebenfalls eine sehr gute Verarbeitbarkeit, benötigen jedoch spezielle Techniken und Fachpersonal. Trockenestrichplatten wiederum sind in der Montage relativ aufwendig und erfordern oftmals zusätzliche Systemkomponenten.

Trocknungs- und Begehrbarkeit

Ein entscheidender Vorteil von BioScreed liegt in der extrem schnellen Begehrbarkeit bereits nach 24 Stunden. Dies ist vergleichbar mit Kunstharz- und CAF-Estrichen aber deutlich schneller als bei Zementestrichen, die mindestens drei Tage benötigen. Gipsfaser-Segmentplatten sind theoretisch sofort belastbar, allerdings hängt dies stark vom gesamten Systemaufbau ab.

Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Ressourcen

BioScreed setzt konsequent auf Sekundärrohstoffe und ist vollständig kreislauffähig – ein zentraler Unterschied zu allen Vergleichsprodukten. Klassische mineralische Estriche basieren auf Primärrohstoffen, die energieintensiv gefördert und verarbeitet werden. Auch Kunstharzestriche sind fossilbasiert und bieten keinerlei Kreislaufoption. Gipsfaserplatten beinhalten zwar geringe Sekundäranteile, bleiben aber ebenfalls weitgehend ein Linearprodukte ohne echte Recyclingfähigkeit.

CO₂-Emissionen

Hier zeigt sich der außergewöhnlichste Vorteil von BioScreed: Mit **–350 kg CO₂ pro m³** weist das Material eine deutlich negative Klimabilanz auf. Es speichert mehr CO₂, als bei der Herstellung entsteht. Alle herkömmlichen Systeme weisen hingegen positive Emissionen auf:

- Zementestrich: ca. 476 kg CO₂/m³
- CAF-Estrich (ohne Zementzugabe): ca. 216 kg CO₂/m³
- Kunstharzestrich: ca. 625 kg CO₂/m³
- Gipsfaserplatten: ca. 4 kg/m² (bezogen auf Plattenstärken von 12,5 mm, aber ohne Kreislaufoption)

BioScreed bietet damit einen massiven Vorteil für Bauherr:innen und Bauunternehmen, die Emissionen reduzieren müssen und steigende CO₂-Preise zu tragen haben.

Energieaufwand der Herstellung

Der Energieaufwand zur Herstellung ist bei BioScreed signifikant geringer als bei allen Vergleichsmaterialien. Während BioScreed rund 886 MJ/m³ benötigt, liegen CAF (2102 MJ/m³), Zementestrich (3547 MJ/m³) und insbesondere Kunstharzestriche (12.533 MJ/m³) weit darüber. Selbst Gipsfaserplatten liegen um ein Vielfaches höher (163 MJ/m² bei 2,5 cm Stärke).

Bautechnische Eigenschaften

In der Anwendung überzeugt BioScreed mit mehreren Vorteilen:

- **Fußbodenheizung:** geeignet
- **Feuchtraum:** geeignet
- **Baufeuchte:** kaum vorhanden
- **Fugenlos einsetzbar:** ja

Zementestrich weist hingegen hohe Baufeuchte auf und benötigt lange Austrocknungszeiten. CAF ist feuchteempfindlich und für Nassräume nur eingeschränkt geeignet. Kunstharzestriche sind zwar robust, aber kostenintensiv. Trockenestrichplatten sind für Feuchträume meist ungeeignet.

Verfügbarkeit

Während BioScreed momentan primär in D-A-CH eingeführt wird, sind die anderen Systeme bereits breit im Markt vertreten. Allerdings bietet BioScreed aufgrund seiner Rohstoffbasis und des geringen Energiebedarfs eine hohe Skalierbarkeit, die langfristig eine ähnliche

Marktdurchdringung ermöglichen kann – bei gleichzeitig deutlich besseren Umweltkennzahlen.



Abbildung 29: BioScreed Großmuster für Versuche

Fazit: Wo BioScreed im Wettbewerb steht

BioScreed stellt eine neue Kategorie nachhaltiger Bodensysteme dar. Im direkten Vergleich zeigt sich:

- **Ökologisch** ist BioScreed allen anderen Systemen überlegen – sowohl in CO₂-Bilanz als auch in Kreislauffähigkeit und Energieverbrauch.
- **Technisch** kann es mit allen konventionellen Estrichen mithalten oder sie übertreffen (Verarbeitung, Begehbarkeit, Feuchtraumeignung, geringe Baufeuchte).
- **Kostenmäßig** liegt es auf dem Niveau herkömmlicher Estrichsysteme, ist jedoch deutlich günstiger als hochpreisige Spezialprodukte wie Kunstharz- oder Trockenestrichsysteme.
- **Zukunftssicherheit** ist durch die CO₂-negative Herstellung und den Einsatz von Sekundärrohstoffen extrem hoch.

Damit positioniert sich BioScreed als *die* nachhaltige Alternative im Estrichmarkt – wirtschaftlich konkurrenzfähig, ökologisch überlegen und technisch vollwertig.



Abbildung 30: Rückbaubarer Segmentboden mit eingefräster Rohrführung

4.12 Einpassung in den Schwerpunkt „Klimaneutrale Stadt“

Wie schon gesagt leistet das Projekt einen Beitrag zu folgenden strategischen Zielen der Ausschreibung: Dekarbonisierung, Steigerung der Ressourceneffizienz. Beitrag zu folgenden operativen Zielen: Entwicklung von technologischen und innovativen Lösungen zur Umsetzung von klimaneutralen Städten, Quartieren und Gebäuden.

Das Produkt BioScreed kann durch mehrere Punkte zu den Gesamtzielen des Schwerpunkts „Klimaneutrale Stadt“ beitragen:

- **Ressourceneffizienz:** Durch die Verwendung von BioScreed werden nicht nachwachsende Ressourcen geschont und durch nachwachsende Ressourcen ersetzt. Dies leistet einen wichtigen Beitrag zur Ressourceneffizienz. Weiters kann die übliche

Nutzungsdauer von Holz, von 2-3 Jahren auf bis zu 100 Jahre und mehr erhöht werden. Dadurch kann das gebundene Kohlendioxid viel länger vom atmosphärischen Kreislauf ferngehalten werden.

- **Dekarbonisierung:** BioScreed ist mit seinen **–565 kg CO₂ pro m³** eine ausgewiesene Kohlenstoffsенке. Das Produkt kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten den CO₂-Fußabdruck von Fußbodenaufbauten zu verbessern. Mit BioScreed lassen sich die Beiträge zu einer „Klimaneutralen Stadt“ leisten und es können erhebliche Mengen an CO₂-eingelagert werden. Dies kann dazu beitragen die Klimaziele zu erreichen.
- **Kreislauffähigkeit:** Durch das entdeckte Verfahren zur Wiedergewinnung des Bindemittels, konnte die volle Kreislauffähigkeit des Produktes hergestellt werden. Es kann nach seiner Lebensdauer in neuen Binder übergeführt werden. Dadurch werden wertvolle Primärressourcen gespart. Daneben bietet das Trockenbaumodul die Möglichkeit der Wiederverwendung nach seinem ersten Einsatz. In neuen Bauwerken können die zurückgewonnenen Module erneut verlegt werden.

Durch die erfolgreiche Entwicklung der MVPs, konnte ein Beitrag zum Erreichen der Ziele der Klimaneutralen Stadt geleistet werden. Jetzt kommt es darauf an, dass das Produkt auch angewandt wird, um die positive Wirkung als Kohlenstoffsенке auch voll nutzen zu können.

5 Schlussfolgerungen

Die vom Projektteam gewonnenen Erkenntnisse sind mannigfaltig und bereichern den Erfahrungsschatz des jungen Unternehmens ParaStruct. Zum einen wurde festgestellt, wie und mit welchen Kombinationen aus Bindemittel und biogenem Füllstoff ein nachhaltiger Estrich erfolgreich hergestellt werden kann. Es wurden die erforderlichen Prüfungen nach Norm durchgeführt und zum großen Teil erfolgreich bestanden. Es ist so nun möglich gezielt für verschiedene Anwendungen, die geeignete Materialkombination auszuwählen. Außerdem ist nun klar auf welche biogenen Reststoffe in Zukunft aufgrund ihrer vorteilhaften Festigkeitseigenschaften der Fokus gelegt werden soll. Zudem stellte sich heraus, dass zu kalte Witterung zu Einbußen bei der Festigkeit führt. Ist es zu kalt, kann das volle Potential des Binders nicht entwickelt werden. Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus der Literatur und wurde erwartet. Dennoch konnte dieses Verhalten auch bestätigt werden und eine Strategie entwickelt werden, um mit dem Problem umzugehen. Einen Rückschlag gab es bei der additiven Fertigung, damit konnten die erforderlichen Festigkeiten nicht erreicht werden, um ein normgerechtes MVP herzustellen. Es wurde eine Alternative entwickelt, welche die Erfordernisse der Norm erfüllen kann. Eine wertvolle Erkenntnis, dass der 3D-Druck mit biogenen Füllstoffen noch weitere Entwicklungen erfordert, bevor er für Estriche eingesetzt werden kann. Eine nützliche Erkenntnis, die gewonnen wurde, ist, dass sich das Material gut fräßen lässt. Dadurch ist die Alternative erst möglich und es erfolgt doch ein Einsatz von computergestützten Methoden mittels CNC.

Der nächste Schritt für das Projektteam ist es zum einen Verkaufsunterlagen zu erstellen, die die gewonnenen Ergebnisse enthalten und entsprechend darstellen. Zum anderen können mit den Ergebnissen weitere Auswertungen durchgeführt werden. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse lässt sich ein Qualitätsmanagement aufbauen, um ein qualitativ hochwertiges Produkt anbieten zu können. Außerdem wurde das Tor für weitere



Abbildung 31 Transportables Modell eines beispielhaften Fußbodenaufbaus in der Größe eine Europalette.

Entwicklungen geöffnet. So steht das Thema des Endbelags noch an, welches zusätzliche Entwicklungsarbeit benötigt.

Zum einen sind die Ergebnisse für uns selbst interessant, zum anderen können potenzielle Kunden damit geworben werden. Die Verkaufsargumente in Bezug auf die Nachhaltigkeit stellen ein Alleinstellungsmerkmal dar, das mit der Zeit an Relevanz gewinnen wird. Zusammen mit den erstellten Mustern kann auf Messen damit geworben werden, was schon ausgiebig erfolgt. Neben den Kund:innen selbst, stellen Planer:innen und potenzielle Lizenznehmer:innen eine Zielgruppe dar. Mit den technischen Details können Kund:innen eher wenig anfangen, doch sind sie für die Planer:innen von höchster Bedeutung, um das Produkt einsetzen zu können. Potenzielle Lizenznehmer:innen, die das Produkt in Realität umsetzen sollen, können auf Basis der Entwicklung über die Relevanz für ihr Unternehmen entscheiden und es können Verhandlungen begonnen werden.

Rechtliche Hürden bestehen mit den alternativen Bindemitteln und Füllstoffen, welche in der Norm nicht explizit genannt werden. Hier braucht es noch Entwicklungen bei der Norm um neue sinnvolle Materialkombinationen zu ergänzen, bzw. können diese bis dahin von Kund:innen oder Planer:innen explizit gewünscht werden. Ebenso eine Aufnahme ins Bauproduktebuch kann einen schnelleren Einbau ermöglichen. Für den Einsatz als

Deckschicht sind noch weitere Untersuchungen erforderlich, um die Performance des entsprechenden Belags nachweisen zu können.

6 Ausblick und Empfehlungen

Auf Basis der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ergeben sich mehrere vielversprechende Entwicklungsrichtungen, die für eine erfolgreiche Weiterführung und breitere Einsetzbarkeit des innovativen Estrichsystems maßgeblich sind. Ein zentraler Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten sollte auf der Weiterentwicklung von Deckschichten auf Basis alternativer, zementfreier Bindemittel in Kombination mit biogenen Füllstoffen liegen. Ihr Potenzial hinsichtlich Ökobilanz, Materialeffizienz und Recyclingfähigkeit ist hoch, jedoch bedarf es weiterer Forschung, um mechanische Leistungsfähigkeit, Beständigkeit sowie bauphysikalische Eigenschaften verlässlich nachzuweisen.

Darüber hinaus zeigte sich im Projektverlauf deutlich, dass die Festigkeitsentwicklung stark von der Sieblinie und Kornverteilung unterschiedlicher Füllstoffe abhängig ist. Für die Optimierung des Materialsystems empfiehlt sich daher ein vertieftes Forschungsprogramm, das systematisch untersucht, wie sich verschiedene Korngrößenverteilungen, Mischungsstrategien und Vorbehandlungen auf die mechanischen Kennwerte, die Verarbeitbarkeit und die Homogenität des Endproduktes auswirken. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine industriell skalierbare Herstellung von hoher Relevanz.

Ein weiterer wichtiger Entwicklungsstrang betrifft die Quantifizierung des geringen Baufeuchteintrags. Obwohl im Projekt qualitative Vorteile des Systems gegenüber klassischen Nassestrichen bestätigt wurden, fehlt bislang eine robuste Datengrundlage, die Baufeuchte, Trocknungszeiten sowie die Auswirkungen auf die Holzbauweise numerisch belegt. Eine präzise messtechnische Erfassung ist notwendig, um die Positionierung im Markt zu stärken, bauphysikalische Modelle zu validieren und Planer:innen klare, belastbare Kennwerte zur Verfügung zu stellen.

Ergänzend wird empfohlen, die normativen und regulatorischen Rahmenbedingungen frühzeitig weiter zu adressieren, insbesondere im Hinblick auf alternative Füllstoffe, deren Zulassung gegenwärtig begrenzt ist. Pilotprojekte, Anwendungsversuche in realen Bauvorhaben sowie Kooperationen mit Prüfanstalten können die Akzeptanz der neuen Materialklasse deutlich erhöhen.

Abschließend bestehen wesentliche Chancen in der Weiterentwicklung des additiv gefertigten Systemelements, insbesondere durch Optimierung der Druckgeometrien, der

Prozessparameter und der Materialrezepturen für eine gesteigerte Festigkeit. Ebenso sollte die CNC-basierte Alternative weiter industrialisiert und hinsichtlich Produktionskosten und Fertigungstoleranzen vertieft untersucht werden.

Insgesamt zeigen die bisherigen Ergebnisse, dass das entwickelte System über erhebliches Potenzial verfügt, den Markt für nachhaltige Bodenaufbauten grundlegend zu erweitern. Die empfohlenen Forschungsschritte bilden die Basis, um die Technologie zu vervollkommen und ihre ökologische sowie wirtschaftliche Leistungsfähigkeit weiter zu steigern.

Die erarbeiteten Erkenntnisse bieten eine optimale Grundlage für die anstehenden Demonstrationsvorhaben in verschiedenen Bauprojekten mit sowohl gewerblicher als auch privater Nutzung. Eine breite Palette an zu den Festigkeitsanforderungen passenden biogenen Füllstoffen bietet die Möglichkeit je nach Projektstandort gezielt lokale Partner:innen zu gewinnen bei denen einer der Füllstoffe als Abfallstrom anfällt um Regionalität und kurze Transportwege gewährleisten zu können.

Risiken für die Umsetzung bestehen in der bislang noch geringeren Akzeptanz von Materialien unter Verwendung von Abfall- und Reststoffen. Hier muss noch Aufklärungsarbeit geleistet werden, wobei insbesondere bei homogenen Stoffströmen wie Holzmehl die Gleichwertigkeit von gezielt erzeugten zu als Abfallstoff anfallenden Partikeln leicht ersichtlich sein sollte. Unterstützt wird das durch die ständige Kontrolle der Festigkeitskennwerte die eine gleichbleibend hohe Qualität gewährleistet und damit die Zuverlässigkeit belegt.

Anhang

Im Anhang sollen ergänzende Informationen und Produkte angeführt werden, die im Sinne der Vollständigkeit des Berichts und der Darstellung der Projektergebnisse erforderlich sind, aber wegen ihres Umfangs nicht innerhalb des Berichts dargestellt werden, zum Beispiel Leitfäden oder Schulungsunterlagen.

Im Ergebnisbericht nur Dokumente und Produkte anführen, die gemeinsam mit dem Bericht auf der Website nachhaltigwirtschaften.at bzw. klimaneutralestadt.at zum Download zur Verfügung gestellt werden können bzw. die an anderen Orten zur Einsicht zur Verfügung stehen.

7 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Handmuster des von ParaStruct entwickelten mehrschichtigen Fußbodenaufbaus.....	7
Abbildung 2: Normprüfkörper verschiedener Mischungen bereit für die Festigkeitstests.	22
Abbildung 3 Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit 27°Bé Aktivierungsflüssigkeit.	24
Abbildung 4: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit 23°Bé Aktivierungsflüssigkeit.	25
Abbildung 5: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für den Füllstoff Buche rM#4 mit QT-Binder.	27
Abbildung 6: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Füllstoffe in Großbinden.....	29
Abbildung 7: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Sandbeimengung.	30
Abbildung 8: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Sandbeimengung.	32
Abbildung 9: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen.....	34
Abbildung 10: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen (Wiederholungsmischungen).	35
Abbildung 11: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, nach 7- und 35 Tagen.	36
Abbildung 12: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, nach 7- und 28 Tagen.	37
Abbildung 13: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Fichtenspänen grob und fein, mit dem LF-Bindemittel.	38
Abbildung 14: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Hanf.....	40
Abbildung 15: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Hanf als feinen Füllstoff und Buche als Grobzuschlag.	41

Abbildung 16: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit Korkmehl und Korkgranulat.	42
Abbildung 17: Sieblinien der Füllstoffe, gewonnen durch Siebanalyse.	43
Abbildung 18: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit alternativen Holzfüllstoffen.	44
Abbildung 19: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die Mischungen mit alternativen Füllstoffen, wie Buchweizenhülsen oder Reisspelzen.....	45
Abbildung 20: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit Buchenspänen (rM#38).....	46
Abbildung 21: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit groben und feinen Fichtenspänen und dem LF-Bindemittel.	47
Abbildung 22: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit Fichtenspänen (rM#38) und dem QT-Bindemittel.....	48
Abbildung 23: Ergebnisse der Härteprüfung an Proben aus Mischungen mit groben und feinen Fichtenspänen und dem QT-Bindemittel.	48
Abbildung 24 Vergleich der Oberflächentemperatur von einem Betonboden und BioScreed vor während und nach dem Betreten mit einem menschlichen Fuß.	50
Abbildung 25 3D-Druck eines Prüfkörpers aus Estrichmaterial.	51
Abbildung 26: Ergebnisse der Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung für die 3D-gedruckten Probekörper.	52
Abbildung 27 Bruchstücke von Normprüfkörpern nach der Rekalzination.	53
Abbildung 28 Labortest eines möglichen Aufbaus zur Abgasaufbereitung für den Rekalzinierofen.....	54
Abbildung 29: BioScreed Großmuster für Versuche	57
Abbildung 30: Rückbaubarer Segmentboden mit eingefräster Rohrführung.....	58
Abbildung 31 Transportables Modell eines beispielhaften Fußbodenaufbaus in der Größe eine Europalette.	61

Literaturverzeichnis

[1]

https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/cms.do?get=/portal/informationen/daten-zahlen-grafiken.main

[2] <https://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/dekarbonisierung-klimakiller-beton-diese-6-grafiken-zeigen-das-co2-problem-der-zementindustrie/29431338.html>

[3] https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:9126f4c2-b689-45c1-b806-b207295ec425/Aktuelles%20Thema%20Verwendung%20von%20Holzabf%C3%A4llen_final.pdf

[4] Austrian Standards International. (o. J.). ÖNORM B 3732: Estriche – Anforderungen und Prüfungen. Wien.

[5] Austrian Standards International. (o. J.). ÖNORM B 7232: Estriche – Estricharbeiten – Verfahrensnorm. Wien.

[6] Austrian Standards International. (o. J.). ÖNORM EN 13813: Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche – Eigenschaften und Anforderungen. Wien.

[7] European Committee for Standardization. (o. J.). prEN 13892-6: Methods of test for screed materials – Part 6: Determination of surface hardness. Brüssel.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AAM	Alkalisch aktivierte Materialien
CAF	Calciumsulfatestrich
CNC	Computerized Numerical Control
D-A-CH	Deutschland, Österreich und die Schweiz
EIT	European Institute of Innovation & Technology
KIC	Knowledge and Innovation Community
MVP	Minimal Viable Product

8 Anhang

8.1 Data Management Plan (DMP)

Die im Projekt generierten Primärdaten umfassen detaillierte Materialrezepturen, prozessspezifische Parameter sowie deren direkte Korrelation mit mechanischen Kennwerten (z. B. Druck- und Biegezugfestigkeit, Rohdichte). Diese Informationen stellen schutzwürdiges technisches Know-how dar und bilden die Grundlage für eine geplante gewerbliche Verwertung sowie potenzielle Schutzrechtsanmeldungen. Eine vollständige öffentliche Bereitstellung der Rohdaten würde die Neuheit möglicher Patentanmeldungen gefährden und Wettbewerbern unmittelbare Rückschlüsse auf performancebestimmende Zusammensetzungen und Verfahrensparameter ermöglichen. Der beantragte Opt-Out bezieht sich daher ausschließlich auf rezeptur- und prozessspezifische Primärdaten. Aggregierte Ergebnisse, Prüfmethodik, Normbezüge sowie die wesentlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse sind im Endbericht vollständig dokumentiert. Die Daten werden intern revisionssicher archiviert und können bei berechtigtem Interesse im Rahmen einer Vertraulichkeitsvereinbarung zugänglich gemacht werden. Die Einschränkung erfolgt gemäß dem Grundsatz „as open as possible, as closed as necessary“ und ist zur Sicherung der Verwertungsziele des Projekts sachlich gerechtfertigt.

