

EUROTEAM BAUCHEMIE GMBH

Entwicklung von Fugendichtstoff und Flächenbeschichtung für den JGS-Bereich – JGS-Fugendicht

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem AZ: 34620/01-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Oktober 2024

1 Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az

Referat

Fördersumme

Antragstitel Entwicklung von Fugendichtstoff und Flächenbeschichtung für den JGS-Bereich – JGS-Fugendicht

Stichworte Jauche, Gülle, Silage, Fugendichtstoff, Beschichtung

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
30 Monate	11.07.2019	11.01.2023	

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger Euroteam Bauchemie GmbH
An der Mühle 1
15345 Altlandsberg

Tel 033438/1479-25
Fax

Projektleitung
Dr. P. Fässler

Bearbeiter
D. Wolke

Kooperationspartner Deutsches Institut für Bautechnik

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Sogenannte Silagesickersäfte enthalten neben verschiedensten Nährstoffen, wie Ammonium, Nitrat, Nitrit, Phosphate auch organischen Säuren, welche als Komplexbildner Schwermetalle im Boden mobilisieren können. Zudem enthalten die Silagesickersäfte je nach Ursprung auch eine Vielzahl an organischen Stoffen, welche leicht biologisch Abbaubar sind. Die Zurückhaltung dieser Flüssigkeiten dient dem Schutz von Oberflächengewässern vor Eutrophierung durch Verhinderung von Nährstoffeintrag und damit einer Reduzierung des Algen- und Pflanzenwachstums sowie einer Verunreinigung des Grundwassers mit diesen Nährstoffen, welche nur schlecht oder mit hohem technischen Aufwand zu entfernen wären. Aus diesem Grunde wurde die AWSV zum 1.08.2017 in Kraft gesetzt, welche unter anderem die Anlagen für die Lagerung und den Umschlag von Silage, Gülle etc. beinhaltet

Ziel war die Entwicklung und Zertifizierung zweier Systeme, welche gegenüber den bekannten im JGS-Bereich auftretenden Belastungen und Flüssigkeiten ausreichend beständig sind: zum Ersten ein beständigen und hochelastischen Dichtstoffes für senkrechten Fugen in Kombination mit einer Beschichtung zum Schutz der Wände und zweitens einen mechanisch belastbareren, geringelastischen Dichtstoff in Kombination mit einer Beschichtung für die Bodenfugen und zum Schutz des Bodens.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ausgehend von einem bereits vorhanden, jedoch gegenüber den JGS-Prüfflüssigkeiten unbeständigen Epoxidharzsystem, sollten jeweils nach Festlegung der Zielwerte und in Übereinstimmung mit den Genehmigungsgrundsätzen des DIBt Fugendichtstoffe und Beschichtungen zum Schutz und zur Abdichtung von JGS-Anlagen entwickelt werden. Das Ziel dieser Arbeit war eine deutliche Verbesserung der chemischen und mechanischen Eigenschaften der bisher am Markt vorhanden Dichtstoffe auf der Basis Polyurethan oder MS-Hybrid. Für die Aufgabe galt es theoretische Rezepturen für Primer, Beschichtungen und Dichtstoffe zu entwickeln, die Rezepturen anschließend im Labormaßstab dar zu stellen und zu testen. Für die Labormuster wurden verschiedene Lieferanten mit dieser Fragestellung und der Beschaffung entsprechender Rohstoffmuster kontaktiert.

Für die Durchführung der Beständigkeitstest wurden Prüfkörper erstellt und diese für die Beständigkeitsprüfung in die Prüflüssigkeiten gelegt und jeweils im Abstand von einem Monat die Werte für die Festigkeit (Shorehärte A) und das Volumen bestimmt. Nach Bestehen der Labortests, allem voran die Beständigkeitstest an standardisierten Prüfmedien des DIBt, sollten die geeignetsten Muster an Versuchsflächen sowie später an in Betrieb befindlichen Anlagen getestet werden. Dabei sollten neben der Feststellung der mechanischen Eignung auch weitere Langzeittest bezüglich der chemischen Beständigkeit an originalen Medien innerhalb der Anlagen durchgeführt werden, um ggf. Anpassungen der Rezepturen / Formulieren vor der endgültigen Zertifizierung durch das DIBt vornehmen zu können. Mit Hilfe der zertifizierten Produkte sollte dem Markt ein sicheres, chemisch beständiges und dauerhaftes Material zur Verfügung gestellt werden, um ein Eindringen der verschiedensten Flüssigkeiten aus Silagen, Biogasanlagen und sowie Güllebehältern in den Boden oder in das Grundwasser zu verhindern.

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden verschiedenste Epoxidharzsysteme auf Basis Novolak / Amin Härter mit verschiedenen Weichmachern angemischt und anschließend entsprechend den DIBt-Kriterien geprüft, jedoch konnte bei keinem der erstellten Muster die geforderte Beständigkeit im Labor erreicht werden. Ursächlich erscheinen hier die eingesetzten Weichmacher und die geringe Vernetzungsdichte innerhalb des Epoxidharzsystems. Da viele Prüfkörper bereits nach weniger als der geplanten Zeit der Beaufschlagung versagten wurden auch keine weiteren Versuche an Versuchsflächen oder an Anlagen aus dem Bereich des JGS mit diesen Materialien geplant oder durchgeführt. Ein Wechsel des Bindemittelsystems auf die sogenannten „Polyaspartics“ konnte im Labormaßstab jedoch überzeugen. Die erzielten Resultate sowohl für einen Dichtstoff als auch für eine Beschichtung bezüglich der Beständigkeit und der Festigkeit würden einen späteren Einsatz in den JGS-Bereichen ermöglichen. Hier wären jedoch weitere Arbeiten im Hinblick auf Anpassung der Formulierungen und die abschließenden Prüfungen durch ein unabhängiges Institut und die anschließende Zulassung des DIBt notwendig.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse der Arbeit wurden nicht veröffentlicht.

Fazit

Leider ist es während des Förderzeitraumes nicht gelungen, ein marktfähiges und zugelassenes Produkt zu entwickeln. Vor allem durch die anfängliche Fokussierung auf Epoxidharzsysteme und die Suche nach speziellen geeigneten Weichmachern verhinderten eine frühere Suche nach einem anderen geeigneten Bindemittelsystem. Ein Wechsel des Bindemittelsystems auf Basis von Polyasparaginsäureestern (Polyaspartics) könnte technisch zum Ziel führen, dem gegenüber stehen die verhältnismäßig hohen Kosten für ein solches Bindemittelsystem, welches eine erfolgreiche Einführung in den Markt deutlich erschwert.

Inhaltsverzeichnis

Deckblatt	Seite 1
Projektkennblatt	Seite 2 – 3
Inhaltsverzeichnis	Seite 4
Verzeichnis von Bildern und Tabellen	Seite 5
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	Seite 6
Zusammenfassung	Seite 7
Einleitung	Seite 8 – 10
Vorhabensdurchführung und Ergebnisse	Seite 10
Ablaufplanung	Seite 10
Auswahl der Tests / Testprogramm im Labor	Seite 10 - 11
Anforderungen	Seite 11
Auswahl der chemischen Systeme, Füllstoffe und Additive	Seite 12
Erstellung der Labormuster	Seite 12
Physikalische Prüfungen der Test-Mischungen	Seite 13
Prüfung der Test-Mischungen entsprechen den DIBT-Kriterien	Seite 14
Ergebnisse Entwicklungen	Seite 15
Weitere Tests / Feldversuche	Seite 16
Weiteres Entwicklungspotential	Seite 16 – 17
Fazit und Ursachen für die Ergebnisse	Seite 17

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 7	prinzipiellen Aufbau eines verbreiterten Fugensystems	Seite 9
Grafik 1:	Liste 7 der Mediengruppen für JGS-Anlagen vom DIBt	Seite 11
Grafik 2:	Bespiele für Rezepturen für die Erstellung von Mustern	Seite 13
Grafik 3:	typische physikalische Testergebnisse unserer Versuche mit epoxidharzbasierenden Dichtstoffen	Seite 13
Grafik 4:	typisches Ergebnisblatt der Prüfung auf Beständigkeit gegenüber JGS-Prüfmedien	Seite 14
Grafik 5	Bestes Ergebnis Beschichtung bei Beständigkeitsprüfung gegenüber JGS-Medien	Seite 15
Grafik 6	Bestes Ergebnis Dichtstoff bei Beständigkeitsprüfung gegenüber JGS-Medien	Seite 16

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

U/min	Umdrehungen je Minute
Pas	Pascalsekunden
°C	Grad Celsius
%	Prozent
kN/mm ²	Kilonewton je Quadratmillimeter
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
TP Fug	Technischen Prüfbedingungen für Fugen in Verkehrsflächen
Topfzeit	Ist die Zeit, bei welcher nach dem Mischen eines 2-Komponenten Systems das Produkt noch ohne Qualitätsverlust verarbeitbar ist. Bei Epoxidharzsystemen wird die Zeit bestimmt, welche eine frisch hergestellte Mischung benötigt, um 40°C zu erreichen
bzw.	Beziehungsweise
JGS	Jauche / Gülle / Silage
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Zusammenfassung

Im Bereich der Landwirtschaft, aber auch der Biogasherstellung und verschiedenen Bereichen der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie entstehen bei der Verarbeitung und Lagerung von Rohstoffen und Abfällen organisch und anorganisch belastete Flüssigkeiten – die sogenannten Gär- und Sickersäfte, welche bei Eindringen in das Erdreich das Grundwasser und die Oberflächengewässer schädigen können. Zur Verhinderung Dessen wird seit der Novellierung des AwSV die Abdichtung von Biogasanlagen, Silos, Fahrsilos und ähnlichen Einrichtungen gefordert, welche am 1.8.2017 in Kraft trat. Die verwendeten Materialien müssen sowohl den Temperaturen als auch dem chemischen Angriff entsprechend dauerhaft standhalten.

Derzeit stehen dem Markt keine geeigneten Systeme mit langzeitstabilen Materialien für die Abdichtung solcher Anlagen zur Verfügung.

Mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem AZ: 34620/01-23 wurde Schaffung eines Abdichtungssystems auf Basis von flexibilisierten Epoxidharzsystemen angestrebt, welches den Bedingungen solcher Anlagen sowohl chemisch als auch mechanisch standhält. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden verschiedenste Epoxidharzsysteme auf Basis Novolak / Amin Härter mit verschiedenen Weichmachern angemischt und anschließend entsprechend den DIBt-Kriterien geprüft, jedoch konnte schon im Labor bei keinem der erstellten Muster die geforderte Beständigkeit erreicht werden. Aus diesem Grunde wurden auch keine weiteren Versuche an Anlagen aus dem Bereich des JGS mit diesen Materialien durchgeführt.

Nach vielversprechenden Vorversuchen führte ein Wechsel des Bindemittelsystems auf die sogenannten „Polyaspartics“ im Labormaßstab zum Erfolg. Die erzielten Resultate sowohl für den Dichtstoff als auch für Rezeptur der Beschichtung bezüglich der Beständigkeit und der Festigkeit würden einen späteren Einsatz in den JGS-Bereichen ermöglichen.

Die absehbar hohen Kosten des Bindemittels führten jedoch zu einer Ablehnung innerhalb der Marketing- und Verkaufsabteilung.

Basierend auf den Entwicklungsergebnissen unseres Labors wären eine Finalisierung der Produkte „Dichtstoff“ und „Beschichtung“ auf Basis von polyasparaginsäureesterhaltigen Bindemitteln zukunftsfähig und langlebig. Zusätzlich können Diese Produkte noch mit angepassten 1-Komponenten-Polyurethansystemen versiegelt werden, welches Ihnen eine noch bessere Haltbarkeit geben könnte. Diese sind vor allem auch als Reparatursysteme für oberflächlich entstandene Kratzer oder Risse zu empfehlen, da Sie wie eine normale Farbe anzuwenden sind. Im Anschluss an die Finalisierung wären dann noch die Schritte für die Zertifizierung und Zulassung zu durchlaufen, welche allerdings auch sehr kostenintensiv sind. Ebenfalls noch zu prüfen sind die richtigen Primer – hier stehen je nach Untergrund verschiedenste Lösungen bereit, jedoch müssen diese vor der Zertifizierung und Zulassung letztendlich geprüft werden, insbesondere im Hinblick auf die Verseifungsanfälligkeit von Polyaspartics gegenüber feuchten Betonuntergründen. Denkbar sind neben dem Einsatz konventioneller Epoxidharzsysteme als Primer jedoch auch 1Komponentige Polyurethansysteme auf Basis von Isophorondiisocyanatprepolymeren und Oxaxolidinhärter, welche schon seit langer Zeit für verschiedenste gartenbauliche Abdichtarbeiten eingesetzt werden.

Einleitung

Im Bereich der Landwirtschaft, aber auch der Biogasherstellung und verschiedenen Bereichen der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie existieren Prozesse und Bereiche, in denen gewollt oder ungewollt Gärprozesse ablaufen. Diese Gärprozesse setzen neben gasförmigen Abbauprodukten auch organisch und anorganisch belastete Flüssigkeiten frei, welche häufig bei den bisherigen Lagermethoden durch Einsickern über Fugen und Risse in das Erdreich eindringen. Diese sogenannten Gär- und Sickersäfte enthalten leicht abbaubare organische Verbindungen (verschiedenste Kohlenhydrate, organische Säuren) Stickstoffverbindungen und Phosphate, welche bei Eintrag in Oberflächengewässer zu einer Beeinträchtigung der Wasserqualität führt. Die Stickstoffverbindungen und das Phosphat führen zu einem beschleunigten Algenwachstum und somit zu einer Eutrophierung der Gewässer, der Eintrag der organischen Verbindungen führt zu einem erhöhten Sauerstoffbedarf aufgrund des schnellen biologischen Abbaus der Verbindungen, welches speziell in den warmen Jahreszeiten regelmäßig zum „Umkippen“ von Seen, Teichen und Flüssen aufgrund des für den Abbau notwendigen hohen Sauerstoffbedarfs führt.

Ein Eintrag ins Grundwasser führt in der Regel zu höheren Nitrat- und Ammoniumwerten im Wasser, welches solche Grundwasserreservoirs unbrauchbar für die Trinkwassergewinnung machen, da eine Abtrennung dieser Stickstoffverbindungen aus dem Trinkwasser nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Zudem besteht, wie auch bei Oberflächengewässern, die Gefahr einer Mobilisierung von Schwermetallen aufgrund der komplexierenden Wirkungen der in Gärsäften enthaltenden organischen Säuren. Auch diese Verbindungen sind nur mit hohem technischen und finanziellen Aufwand aus dem Wasser zu entfernen. Aus diesem Grunde wurde auf Grundlage des Wasserhaushaltsgesetzes, welches u.a. den Gewässerschutz in Deutschland regelt, die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 18. April 2017 geschaffen, welche Wirtschaftsdünger, insbesondere Gülle oder Festmist, Jauche, Silagesickersaft, Silage und Siliergut und deren Gemische als allgemein wassergefährdend eingestuft. Diese Bundesverordnung trat am 1.8.2017 in Kraft.

Zum Schutz des Bodens, von Oberflächengewässer und dem Grundwasser vor dem Eintrag von wassergefährdenden Substanzen, müssen Bauwerke, in denen wassergefährdenden Stoffen gelagert oder ver-, bzw. bearbeitet werden, flüssigkeitsdicht abgedichtet werden. Neben der Beständigkeit der Bauteile der Anlage bekommt eine besondere Aufmerksamkeit dabei den Fugen zu, da die hierfür verwendeten Materialien sowohl die Bewegungen der Bauteile aufnehmen müssen als auch gegen die vorhandenen Gärmedien beständig sein sollen.

Tatsächlich existieren schon jetzt am Markt vereinzelt elastische Fugendichtstoffe, die für den Einsatz in den sogenannten JGS-Bereichen eingesetzt werden können. Diese, auf MS-Hybrid- oder Polyurethan-basierenden Materialien zeigen zwar eine teilweise gute Beständigkeit gegen die im JGS-Bereich auftretenden Medien, sie haften jedoch meist schlecht auf den in der Landwirtschaft häufig vorkommenden Untergründen. Viele JGS-Anlagen sind Fahrsilos zur Lagerung von Silage und werden zu gleichen Teilen aus Asphalt- und Betonflächen aufgebaut. Und gerade die Fugen zwischen Beton und Asphalt lassen sich nicht dauerhaft mit den an Markt verfügbaren Elastomeren verschließen. Bei dann undichten Fugen ist ein Eindringen von Gär- und Sickersäften in den unterliegenden Boden die Folge mit allen Konsequenzen für Umwelt und Natur.

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Komplettsystems zur Abdichtung von Anlagen im JGS-Bereich. Dabei sollte ein System zur Verfüllung von Fugen als auch zum oberflächlichen Schutz von Beton-/Asphaltbauteilen vor den sauren Komponenten der JGS-Medien entwickelt werden.

Die Betonbauteile sollten dabei durch Epoxidharzhaltige Beschichtungen geschützt werden, welche flexibilisiert werden sollten, um nicht durch Ausdehnen und Zusammenziehen der Betonbauteile brüchig zu werden. Daher wurde es notwendig, geeignete Weichmacher zu finden bzw. zu entwickeln, welche die Flexibilität des Epoxidharzes verbessern, gleichzeitig die Beständigkeit gegenüber JGS-Medien bewahren und Haftung auf Beton und Asphalt gewährleisten. Idealerweise wird dieser Weichmacher in das Polymer mit eingebaut

Zum Verfüllen der Fugen sind übliche Polysulfid-Dichtstoffe aufgrund ihrer geringen Säurebeständigkeit nicht geeignet. Diese werden ganz überwiegend durch Mangandioxid oxidativ gehärtet. Die Säurelabilität von kommerziell erhältlichen Polysulfiden wie Thioplaste oder Thiokole beruht auf dem Vorhandensein von Ketal-Strukturen $(CH_2)_2-O-CH_2-O-(CH_2)_2-$ in der Kette. Durch saure Katalyse erfolgt ein nucleophiler Angriff am Ketal-C-Atom, der letztendlich zur Zerstörung des Polymers führt.

Neben der starken chemischen Beanspruchung der Fugen, kommt in Fahrsilos auch noch eine mechanische Belastung hinzu. In solchen Silos wird mit schweren Geräten und Gabeln gearbeitet, die über die Bodenfugen schleifen. Beim klassischen Fugenaufbau mit hochelastischen und eher weichen Fugendichtstoffen müssen daher Fasen ausgebildet werden, die einen direkten Kontakt von Fahrzeug und Fugenmaterial verhindern. In den so gebildeten Vertiefungen können sich besonders gut Schmutz und Gäräfte sammeln, die dadurch die Fugen zusätzlich beanspruchen.

Ziel war weiterhin die Weiterentwicklung der klassischen Verfügungstechnik durch Verbreiterung der Fugen und der Nutzung von weniger elastischen, dafür chemisch und mechanisch beständigeren Fugenmaterialien. Die Abbildung 1 zeigt einen prinzipiellen Aufbau solch eines Fugensystems.

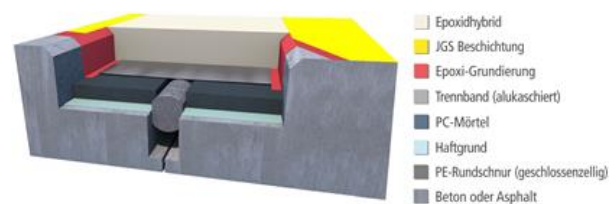


Abbildung 7 - prinzipiellen Aufbau eines verbreiterten Fugensystems.

Ein Fugenfüllmaterial auf Basis von flexibilisiertem Epoxidharz wäre für diese Anwendung geeignet. Wie im Falle der Beschichtung gilt es, den geeignetsten chemischen Weichmacher in die Rezeptur zu formulieren, um das Epoxidharz „elastisch“ genug zu machen damit die Bewegung der Bauteile aufgenommen und trotzdem die benötigte chemische Beständigkeit gewährleistet werden kann.

Es sollen also zwei Lösungsansätze verfolgt werden: Erstens ein hochelastischer Dichtstoff in Kombination mit einer Beschichtung für die senkrechten Fugen in den Wänden und zweitens ein geringelastischen Dichtstoff in Kombination mit einer Beschichtung für die Bodenfugen.

Der Vorteil der ersten Herangehensweise ist, dass die bisherige übliche Bauweise und die Dimensionierung der Fugen nicht geändert werden müssten. Die chemische und mechanische Beanspruchung in Wandfugen ist geringer im Vergleich zu Bodenfugen, so dass hier der klassische Ansatz ausreicht. Der zweite Aufbau erfordert dagegen auch eine Veränderung in der Planung der Fugen (diese müssten im Vergleich breiter sein), allerdings ist die mechanische und chemische Beanspruchung deutlich höher.

Die Dichtstoffe (eine elastische und eine flexibilisierte Variante) sollten über einen Zeitraum von 12 - 15 Monaten parallel entwickelt werden. Erschwert werden diese Arbeiten durch die langen Prüfzeiträume (mindestens 6 Monate).

Die Entwicklung der JGS-beständigen Beschichtung sollte auf Basis von Epoxidharzsystemen erfolgen, da hier auf vielfältige Erfahrungen zurückgegriffen werden konnte.

Abschließend sollte die Kombination der Dichtstofftypen mit der Beschichtung geprüft werden. Besonders die Kombination aus wenig elastischem Dichtstoff und Beschichtung sollte in Feldversuchen anwendungstechnisch untersucht werden. Im Falle eines positiven Verlaufes dieser Tests, sollte im Anschluss ein externes Prüfinstitut mit einer für den Zulassungsprozess notwendigen Erstprüfung beauftragt werden.

Vorhabensdurchführung und Ergebnisse

Ablaufplanung

Für die Umsetzung des Projektes wurden folgende Schritte definiert und festgelegt:

- Bewertung der Kennwerte der bestehenden Vergussmassen und Beschichtungen
- Definition der Zielparameter für die neuen Dicht- und Beschichtungssysteme und Erstellung der Vorgaben für die Auslegung der Dicht- und Beschichtungssysteme
- Festlegung der Prüfungen nach TP Fug und den Zulassungsgrundsätzen des DIBt's
- Betrachtungen zu den gesetzlichen Anforderungen, Bestimmungen, Zulassungen, EU- Verordnungen, CE-Konformitätsbescheinigungen
- Entwicklung und Formulierung von Rezepturideen und -varianten für die Primer, Dicht- und Beschichtungsstoffe
 - Entwicklungen der Primer-, Dicht- und Beschichtungsstoff-Rezeptur, unter anderem für einer an Asphalt- und Betonoberflächen haftenden Zweikomponenten (2-K) Grundierung
 - Labortechnische Untersuchungen zur Bestimmung der chemischen Materialkenndaten der grundlegenden Rezepturen
 - Wissenschaftliche Auswertung der Ergebnisse und Ableitung von Lösungsansätzen
 - Labortechnische Untersuchungen zur Bestimmung der chemischen Materialkenndaten der grundlegenden Rezepturen
 - Wissenschaftliche Auswertung der Ergebnisse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen
- Herstellung von Musterbatches im Produktionsmaßstab und Erprobung der Primer, Dicht- und Beschichtungsstoffe auf Testflächen mit anwendungstechnischer Begleitung
- Prüfung auf Optimierungsbedarf der Rezeptur(en)
- Erstellung der technischen Dokumente, Datenblätter und Sicherheitsdatenblätter für die entwickelten Produkte
- Externe Prüfung der Rezeptur / Materialien durch notifizierte Stelle mit Ziel der bauamtlichen Zulassung
- Herstellung und Erprobung des kompletten JGS-Fugensystems mit Dichtstoff für Asphalt und Beton in Feldversuchen mit Anwendungstechnischer Begleitung

Auswahl der Tests / Testprogramm im Labor

Zur Beurteilung der Proben wurden folgende Prüfungen an den einzelnen Mustern festgelegt:

- Dichte an den einzelnen unausgehärteten Komponenten des Systems mittels Pyknometer
- Viskositätsmessung an den einzelnen unausgehärteten Komponenten des Systems mittels Kegel-Platte-Viskosimeter. Dabei hat die Spindel einen Durchmesser von 50mm, einen Winkel von 1,5° und dreht sich während der Messung mit 25 U/min
- Topfzeit nach dem Mischen der Komponenten
- Klebfreie Zeit nach dem Mischen der Komponenten

Für die Prüfungen hinsichtlich der Beständigkeit wurde festgelegt, dass an den aus entsprechenden Komponenten hergestellten ausgehärteten Mustern eine Medienlagerung entsprechend der Tabelle 1 – Liste 7 der Mediengruppen für JGS – Anlagen erfolgt mit einer gesamten Prüfdauer von 180 Tagen, dabei die ersten 28 Tage bei 40°C, den Rest (152 Tage) bei 23°C.

- Zugspannungswerte für Abdichtungen in Anlehnung an DIN 527 -5b nach Abschluss der Wechsel- und Medienlagerung

- Volumenänderung jeweils im Abstand von 30 Tagen

- Härteentwicklung jeweils im Abstand von 30 Tagen

Nr.	Mediengruppe	Prüfflüssigkeiten
Die Anmerkung am Ende dieser Liste ist zu beachten.		
1	Jauche, Gülle	7,0 %ige, wässrige (NH ₄) ₂ HPO ₄ -Lösung, ggf. mit NH ₄ OH auf pH-Wert = 8,5 bis 9,0 eingestellt
2	Silagesickersäfte	Gärsäure-Mischung aus 95,0 Ma.-% Wasser, 3,0 Ma.-% Milchsäure, 1,5 Ma.-% Essigsäure und 0,5 Ma.-% Buttersäure
3	Gärsubstrate landwirtschaftlicher Herkunft und deren Gärreste, ohne pflanzenöhlhaltige Gärsubstrate (einschließlich Gr. 1 und 2)	1. Prüfflüssigkeit der Mediengruppe 1 2. Prüfflüssigkeit der Mediengruppe 2
4	Gärsubstrate landwirtschaftlicher Herkunft und deren Gärreste (einschließlich Gr. 1, 2 und 3)	1. Prüfflüssigkeit der Mediengruppe 1 2. Prüfflüssigkeit der Mediengruppe 2 3. Fettsäuremethylester (FAME, CAS 67762-38-3)
5	Beanspruchung durch biogene Schwefelsäurekorrosion	A. 3 %ige Schwefelsäure (Dichtkonstruktionen und Fugenabdichtungen) B. 10 %ige Schwefelsäure (Beschichtungen und Dichtungsbahnen) (jeweils im pH-Wert-Bereich von 0 bis 1,0)

Grafik 1: Liste 7 der Mediengruppen für JGS – Anlagen vom DIBt

Für die Haftzugprüfungen der Beschichtungsstoffe sollten im Systeme entsprechend DIN EN 1542 und dem späteren Systemaufbau erfolgen. Entsprechend DIN EN 1542 und den technischen Anforderungen der Beschichtungsstoffe und Primer sollten auf vorbereiteten Beton-, bzw. Asphaltplatten von ca. 40 cm x 40 cm x 5cm (Länge x Breite x Höhe) die Materialien aufgetragen werden, 30 Tage aushärten lassen und anschließend mit Stempel mit einem Durchmesser von 50mm gezogen werden. Dabei sollte der Wert mindesten 2KN/mm² betragen

Anforderungen

Folgende Werte sollten nach Abschluss der Prüfungen mindestens erreicht werden:

Volumenänderung (für befahrbare Silos)	≤ 30%
Masseänderung	< 25%
Rissüberbrückung (Für Beschichtung)	≥ 0,4mm
Haftzugwerte	≥ 2,0 kN/mm ²
Zugspannung (für Abdichtung)	0,15 – 0,30 N/mm ²
Brandverhalten	E1
Bewitterungsverhalten (Für Beschichtung)	stabil

Auswahl der chemischen Systeme, Füllstoffe und Additive

Die Entwicklung eines entsprechenden Fugendichtstoffes und eines entsprechenden angepassten Beschichtungssystems sollte ausgehend von einem teilflexibilisierten epoxidharzbasierenden vorhandenen System erfolgen, welches bereits seit einiger Zeit erfolgreich bei mechanisch stark beanspruchten Fugen eingesetzt wird. Zur Verbesserung der chemischen Eigenschaften wurden verschiedenste Produzenten kontaktiert und entsprechend Ihrer Expertise Muster auf Basis von Phenol-Novolak-Systeme beschafft, da diese aufgrund der allgemeinen Erfahrung die beste chemische Beständigkeit erzielen sollten.

Geeigneten Härtern wurden entsprechend den Empfehlungen bekannten Hersteller auf Basis verschiedenster Amin-Verbindungen gewählt.

Für die Flexibilisierung sollten Entwicklungsmuster und bekannte Produkte eingesetzt werden, welche vorzugsweise in die chemische Struktur des fertigen Produktes mit eingebunden werden, wie zum Beispiel Mercaptan / Epoxidharz-Verbindungen und Reaktivverdünner auf Epoxidharzbasis.

Als Füllstoffe wurde in allen Fällen auf chemisch inaktive fein vermahlene Gesteinsmehle, wie Talkum (Magnesiumsilikathydrat), Quarz und Dorsilit (beide Siliziumdioxid basierend) oder Baryt (Bariumsulfat) zurückgegriffen. Auf die sonst üblichen Füllstoffe auf Basis von Kalkstein, Dolomit oder ähnliche karbonatbasierende Füllstoffe wurde aufgrund der zu erwartenden Zersetzung der Karbonate in sauren Medien verzichtet.

Als Pigment zur Einfärbung der Mischung und des fertigen Produktes wurde ein eisenoxidbasiertes Pigment im Farbton RAL7023 gewählt. Die eisenoxidbasierten Pigmente zeigen allgemein eine ausreichende Stabilität und sind eine preiswerte ungefährliche Alternative zu organischen Farbstoffen. Des Weiteren werden sie bereits seit langer Zeit in unseren Beschichtungssystemen eingesetzt.

Die Wahl der Additive zur Verbesserung verschiedenster Eigenschaften fiel auf den Hersteller BYK Chemie GmbH. Geplant wurde der Einsatz von Dispersierhilfen, Entschäumern und Entlüftern.

Im späteren Verlauf der Entwicklungen wurden verschiedene andere Bindemittelsysteme mit ausgewählt. Nach vielversprechenden Vorversuchen wurden hier Systeme auf Basis Polyasparaginsäureester / Hexamethylenendiisocyanat-Prepolymere / Isophorondiisocyanat-Prepolymere als 2 Komponentensysteme sowie als Beschichtungssystem auch noch 1 Komponentensysteme auf Basis von Isophorondiisocyanat / Oxaxolidin-Härter getestet. Zur Verbesserung der Haftung auf verschiedenen anorganischen Oberflächen sowie zur Erhöhung der Beständigkeit gegenüber den Prüfmedien wurden Silane in geringer Konzentration mit zugesetzt.

Erstellung der Labormuster

Die Schritte zur Herstellung der Muster wurden wie folgt festgelegt:

- Theoretische Erarbeitung der Musterrezepturen
- Anfrage / Beschaffung der Muster
- Mischen der Komponenten anhand der theoretischen Rezepturen durch einen Laboranten
- Prüfen der angemischten Muster auf Viskosität, Dichte und Topfzeit entsprechend den festgelegten Prüfungskriterien
- Herstellen der Prüfkörper für die Einlagerung in die Prüfmedien sowie der Referenzprüfkörper jeweils als Doppelbestimmung

Für die Erstellung der theoretischen Rezepturen dienten Empfehlungen und technische Merkblätter der folgenden Lieferanten: Nordmann Rassmann GmbH, IPOX Chemicals GmbH, CTP Advanced Materials GmbH, Worleè GmbH sowie Omya GmbH für die Bindemittel sowie Nourion für die Weichmacher.

Infolge der nicht zufriedenstellenden Ergebnisse erfolgte im späteren Verlauf der Entwicklungsarbeit eine Änderung der Bindemittel sowie der Additive. Hierzu wurden dann Muster der Firmen Covestro Deutschland AG sowie der CSC Jäcklechemie GmbH&Co.KG verwendet. Auch hier wurden Additive der Fa. BYK

Chemie GmbH gewählt. Bei den Polyaspartic-Systemen konnte auf den Zusatz von Weichmachern verzichtet werden.

In der folgenden Grafik werden ausgewählte Rezepturen als Beispiel dargestellt, welche im Labor abgearbeitet wurden:

EURODUR EPH 0405 JGS A V107				EURODUR EPH 0405 JGS A V108			
Position	Komponente	Menge [g]		Position	Komponente	Menge [g]	
1	D.E.N. 431	30,00	90,00	1	D.E.N. 431	30,00	90,00
2	CeTePox 512R	5,00	15,00	2	CeTePox 512R	5,00	15,00
3	Ultra LITE 513	5,00	15,00	3	Ultra LITE 513	5,00	15,00
4	Efka PL 5381	5,00	15,00	4	Efka PL 5381	5,00	15,00
5	VP Monothioether M3 IX	17,50	52,50	5	VP Monothioether M3 IX Epoxy-t	35,00	105,00
6	EPS 35	17,50	52,50	6	Byk-057	0,50	1,50
7	Byk-057	0,50	1,50	7	Portaryte B15	11,50	34,50
8	Portaryte B15	11,50	34,50	8	Finntalc M15	3,50	10,50
9	Finntalc M15	3,50	10,50	9	Pigment 7023	4,50	13,50
10	Pigment 7023	4,50	13,50			100,00	300,00
		100,00	300,00				

MV = 100 : 12,4 (CeTePox VP 388-69H / D.E.H. 2132 = 70 : 30)

EURODUR EPH 0405 JGS A V109			
Position	Komponente	Menge [g]	
1	D.E.N. 431	30,00	90,00
2	CeTePox 512R	5,00	15,00
3	Ultra LITE 513	5,00	15,00
4	Efka PL 5381	5,00	15,00
5	VP Monothioether M3 IX	17,50	52,50
6	VP Monothioether M3 IX Epoxy-t	17,50	52,50
7	Byk-057	0,50	1,50
8	Portaryte B15	11,50	34,50
9	Finntalc M15	3,50	10,50
10	Pigment 7023	4,50	13,50
		100,00	300,00

MV = 100 : 18,2 (WorleeCure VP-G 2855/04 / ipox EH 2240 / Vestamin IPD = 70 : 10 : 20)

Grafik 2: Beispiele für Rezepturen für die Erstellung von Mustern

Auf Basis der Empfehlungen der Rohstofflieferanten wurden Musterrezepturen erstellt. Diese wurden im Labor entsprechend Komponentenweise angemischt. Die Mustermenge betrug dabei jeweils 500g je Rezeptur. Hierfür wurden die entsprechenden Mengen an Ausgangsmaterialien in einen Becher gegeben und in einem Speedmixer homogen gemischt.

Für eine bessere Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden die frischen Mischungen mindestens 12 Stunden stehen gelassen.

Physikalische Prüfungen der Test-Mischungen

Die Messungen der jeweiligen Dichten und Viskositäten erfolgte frühestens 12 Stunden nach dem Mischen der Komponenten. Ebenfalls nach frühestens 12 Stunden wurden die Topfzeiten und Klebfreizeiten ermittelt. Für die Ermittlung der Topfzeiten wurden jeweils 100g der fertigen Mischung entsprechend dem Mischungsverhältnis von Komponente A und Komponente B eingewogen und für 2 Minuten gründlich gemischt. Anschließend wurde mittels Temperatursensor bis zum Erreichen von 40°C der Mischung gemessen. Weiterhin erfolgte eine Beobachtung der angesetzten Komponenten hinsichtlich deren Lagerstabilität, Absetzverhalten und ggf. auch Phasentrennung. Die Grafik 3 zeigt typische physikalische Testergebnisse unserer Versuche mit epoxidharzbasierenden Dichtstoffen.

Versuch	Viskosität [Pa s] (25 s-1)			Datum Ansatz Komp. A	Datum Ansatz Komp. B	TZ 40°C [min]	T max [min] + Temp. [°C]	KFZ 20°C [min]	KFZ 23°C [min]	Datum Prüfung	Herstellung PK	Härte			Bemerkung
	0d	1d	7d									Shore A	Shore D		
V107	0d	2,01		11.08.2020	29.05.2020 (V104 A)	15	69 63,97°C	11	ca 5 h	12.08.2020	12.08.2020	1d	44,3/44,4/44,4	5,9/6,2/6,7	TZ-Bestimmung über Temperaturbestimmung Klimaanlage Labor defekt 7d - Aufrahmen der Komp. A
	1d	9,65										7d	56,8/56,8/56,5	8,7/9,5/9,6	
	7d	9,34										28d	63,6/63,3/63,6	10,8/10,8/11,0	
	28d	8,92													
V108	0d	1,77		11.08.2020	12.08.2020	9	34 106,9°C	7	ca 4,5 h	12.08.2020	12.08.2020	1d	60,0/59,8/58,8	10,8/10,8/10,9	TZ-Bestimmung über Temperaturbestimmung Klimaanlage Labor defekt 7d - Aufrahmen der Komp. A
	1d	1,89										7d	70,2/70,3/69,7	15,2/14,7/15,2	
	7d	1,90										28d	72,0/71,2/72,4	18,0/18,2/18,1	
	28d	2,29													
V109	0d	2,36		11.08.2020	06.07.2020 (V106)	14	67 71,14°C	12	ca 5 h	12.08.2020	12.08.2020	1d	53,0/53,2/52,8	8,5/8,3/8,3	TZ-Bestimmung über Temperaturbestimmung Klimaanlage Labor defekt 7d - Aufrahmen der Komp. A
	1d	9,27										7d	67,6/66,7/68,0	15,1/15,1/14,6	
	7d	9,70										28d	73,0/73,9/72,4	18,1/17,8/18,0	
	28d	10,14													

Grafik 3: typische physikalische Testergebnisse unserer Versuche mit epoxidharzbasierenden Dichtstoffen

Prüfung der Test-Mischungen entsprechen den DIBT-Kriterien

Die wichtigsten, aber auch zeitaufwendigsten Prüfungen stellten die Beständigkeitsprüfungen gegenüber den verschiedenen JGS-Medien dar. Hierfür wurden entsprechende Prüfkörper wie folgt hergestellt: Rechteckige Prüfkörper mit den Maßen (Höhe x Breite x Länge) ca. 35 x 35 x 2,5mm für die Volumenänderung

Zylindrische Prüfkörper mit einem Durchmesser von 39 mm und einer Höhe von 10 mm für die Härtebestimmung.

Je zwei dieser Prüfkörper wurden je Rezeptur vor Beginn der Prüfungen dauerhaft gekennzeichnet, zur Bestimmung des Ausgangszustandes vermessen und gewogen, beziehungsweise die Ausgangshärte bestimmt.

Die Prüfflüssigkeiten wurden entsprechend den Angaben in „Liste 7 der Mediengruppen für JGS – Anlagen vom DIBt“ vor Beginn der Prüfungen frisch hergestellt

Mit dem Beginn der Prüfungen wurden die Prüfkörper in die Prüfflüssigkeiten gegeben und für 28 Tage auf 40°C temperiert. Die Temperierung erfolgte im Klimaschrank mit abgedeckten Gefäßen, um eine Veränderung der Konzentrationen der Lösungen durch Verdunsten zu vermeiden. Nach Beendigung der 1en Phase wurden die Prüfkörper entnommen, mit Saugvlies getrocknet, anschließend vermessen und gewogen, bzw. die Härte bestimmt. Anschließend erfolgte die Rückführung in die entsprechenden Prüfflüssigkeiten und die Weiterlagerung bei Raumtemperatur (23°C).

Für eine beschleunigte Auswertung und zur Verfolgung des Verlaufes wurden auch hier jeweils im Abstand von ca. 30 Tagen die Veränderungen an den Prüfkörpern bestimmt. Nach 180 Tagen erfolgten die abschließenden Messungen und Auswertungen Ein typisches Ergebnisblatt der Prüfungen ist in Grafik 4 dargestellt:

JGS 2: Lösung aus 3 % Milchsäure (85%ige), 1,5 % Essigsäure (100% ige), 0,5% Buttersäure (99%ige)										hergestellt am 22.6.20	
Prüfdauer 180 Tage; die ersten 28 Tage bei 40°C, der Rest (152 Tage) bei 23°C											
Herstellung der PK: 18.8.20											
Wechselagerung vom 25.8. - 1.9.20											
JGS- Prüfung vom 20.10. - 19.4.21											
V107	PK 1 (Teelicht)			PK 2					Datum	Bemerkung	
JGS 2	Härte Shore A	Härte Shore D	Masse [g]	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=d³*b*h) [cm³]	Messung		
	67,6	16,3	16,11	3,78	3,80	3,5	0,235	3,13	20.10.2020		
28 d	56,9	8,6	17,72	4,51	4,1	3,80	0,25	3,90	17.11.2020	PK entfärbt, kleine Bläschen	
Änderung in %	-16	-47	10	19				25			
2 Monate	54,5	8,5	18,13	4,63	4,1	3,8	0,25	3,90	17.12.2020		
Änderung in %	-19	-48	13	22				25			
3 Monate	53,4	8,3	18,4	4,63	4,1	3,8	0,25	3,90	18.01.2021		
Änderung in %	-21	-49	14	22				25		anschließend frisches Prüfmedium	
4 Monate	52,4	8,3	18,56	4,61	4,1	3,8	0,25	3,90	18.02.2021		
Änderung in %	-22	-49	15	22				25			
6 Monate	55,1	7,9	18,93	4,58	4,1	3,8	0,25	3,82	19.04.2021	Versuchsende	
Änderung in %	-18	-52	18	21				22			
V107	PK 1 (Teelicht)			PK 2					Datum	Bemerkung	
Referenz (LK)	Härte Shore A	Härte Shore D	Masse [g]	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=d³*b*h) [cm³]	Messung		
	64,3	16,4	16,61	5,09	4,3	3,5	0,270	4,06	20.10.2020		
28 d	66,5	16,1	16,64	5,09	4,3	3,5	0,27	4,06	17.11.2020		
Änderung in %	3	-2	0	0				0			
2 Monate	68,3	17,2	16,62	5,09	4,3	3,5	0,27	4,06	17.12.2020		
Änderung in %	6	5	0	0				0			
3 Monate	70,8	19,8	16,60	5,09	4,3	3,5	0,27	4,06	18.01.2021		
Änderung in %	10	21	0	0				0			
4 Monate	67,7	18,4	16,59	5,08	4,3	3,5	0,27	4,06	18.02.2021		
Änderung in %	5	12	0	0				0			
6 Monate	69,3	18,1	16,61	5,09	4,3	3,5	0,27	4,06	19.04.2021	Versuchsende	
Änderung in %	8	10	0	0				0			

Grafik 4: typisches Ergebnisblatt der Prüfung auf Beständigkeit gegenüber JGS-Prüfmedien

Ergebnisse Entwicklungen

Im Ergebnis der ca. 3jährigen Entwicklungsarbeit können wir leider kein fertiges System vorweisen, welches marktreif entwickelt, getestet und zertifiziert wurde. Damit wurde das Endziel dieser Arbeit verfehlt.

Speziell die anfängliche Fokussierung auf Epoxidharzsysteme und die Suche nach speziellen Weichmachern verhinderten eine frühere Suche nach alternativ geeigneten Reaktionssystemen für den JGS-Bereich. Kennzeichnend hierfür ist die hohe Anzahl von 109 Mustern, welche hergestellt wurden, ohne dass auch nur ein Muster annähernd die geforderten Werte der Beständigkeit erfüllte. Ohne Dieses fehlte aber auch eine geeignete Anfangsrezeptur, auf deren Erkenntnisse hätte aufgebaut werden können. Insofern sind sowohl alle Versuche der Darstellung einer JGS-beständigen epoxidharzbasierenden Beschichtung, als auch die Darstellung eines epoxidharzbasierenden Dichtstoffs gescheitert. Insbesondere der Verlust der Härte führt zu einer Nichtbefahrbarkeit der in die Entwicklung einbezogenen Beschichtungen, welches für Fahrtilos ein KO-Kriterium darstellt. Infolge Dessen wurden auch keine weitergehenden Untersuchungen und Messungen durchgeführt, wie Brandverhalten, Bewitterung und Zugfestigkeit.

Ein Wechsel des Reaktionssystems auf Polyasparaginsäureester / Hexamethylendiisocyanat-Prepolymere / Isophorondiisocyanat-Prepolymere konnte dann entsprechende gute Laborergebnisse zeigen. Die Ergebnisse der vielversprechendsten Formulierungen für eine Beschichtung sind in Grafik 5 und für einen Dichtstoff in Grafik 6 dargestellt. Auf die Einlagerung in das Prüfmedium 1 wurde verzichtet, da in Vorversuche keinerlei Reaktion festgestellt werden konnte und wir dieses für die beiden Muster mit voraussetzen.

Als weiteres System wurde ein aktuelles 1-Komponenten Polyurethansystem getestet. Die Vortests ergaben ebenfalls eine sehr gute Beständigkeit gegenüber den Prüf Flüssigkeiten, jedoch wurden keine weiteren Versuche unternommen, Diese weniger wasserdampfdurchlässig und mit einer höheren Stabilität gegenüber den JGS-Flüssigkeiten auszustatten. Ursächlich hier sind der Lösemittelgehalt und die Freisetzung von Hexanal während der Aushärtung.

BS 17 / JGS 2	Härte Shore D	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=l*b*h) [cm ³]	Datum Messung	Bemerkung
Nullpunkt	72,3	12,8	4,00	2,9	1,000	11,60	02.09.2021	
28d/40°C	61,4	12,95	4,1	2,9	1	11,89	30.09.2021	anschließend 23°C lagern
Änderung in %	-15	1				2		leicht entfärbt
2m/23°C	63,7	13	4,1	2,9	1	11,89	04.11.2021	
Änderung in %	-12	2				2		
3m/23°C	67,3	13,04	4,1	2,9	1,00	11,89	07.12.2021	
Änderung in %	-7	2				2		
4m/23°C	69,0	13,07	4,1	2,9	1,00	11,89	06.01.2022	
Änderung in %	-5	2				2		
5m/23°C	64,7	13,1	4,1	2,9	1,00	11,89	09.02.2022	
Änderung in %	-11	2				2		
6m/23°C	67	13,13	4,1	2,9	1,00	11,89	18.03.2022	Versuchsende
Änderung in %	-7	3				2		
BS 17 / 10% H2SO4	Härte Shore D	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=l*b*h) [cm ³]	Datum Messung	Bemerkung
Nullpunkt	72,3	12,83	4,00	2,9	1,000	11,60	02.09.2021	
28d/40°C	61,4	12,91	4	2,9	1	11,60	30.09.2021	anschließend 23°C lagern
Änderung in %	-15	1				0		leicht entfärbt
2m/23°C	60,3	12,92	4	2,9	1	11,60	04.11.2021	
Änderung in %	-17	1				0		
3m/23°C	62,9	12,93	4	2,9	1,000	11,60	07.12.2021	
Änderung in %	-13	1				0		
4m/23°C	65,6	12,93	4	2,9	1,000	11,60	06.01.2022	
Änderung in %	-9	1				0		
5m/23°C	62,9	12,93	4	2,9	1,000	11,60	09.02.2022	
Änderung in %	-13	1				0		
6m/23°C	68,3	12,92	4	2,9	1,000	11,60	18.03.2022	Versuchsende
Änderung in %	-6	1				0		

Grafik 5 – Bestes Ergebnis Beschichtung bei Beständigkeitsprüfung gegenüber JGS-Medien

DS 6/ JGS 1	Härte Shore A	Härte Shore D	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=l*b*h) [cm³]	Datum Messung	Bemerkung
Nullpunkt	47,6	10,5	14,35	3,9	2,9	1,1	12,44	17.06.2021	
28d/40°C	55,7	9,6	15,21	4	2,9	1,2	13,92	15.07.2021	
Änderung in %	17	-9	6				12		anschließend 23°C lagern
2m/23°C	56,2	9,6	15,37	4	3	1,2	14,40	16.08.2021	
Änderung in %	18	-9	7				16		
3m/23°C	54,8	8,4	15,47	4	3	1,2	14,40	16.09.2021	
Änderung in %	15	-20	8				16		
4m/23°C	56,2	9,9	15,52	4	3	1,2	14,40	18.10.2021	
Änderung in %	18	-6	8				16		
5m/23°C	55,3	9,6	15,61	4,05	3	1,2	14,58	23.11.2021	
Änderung in %	16	-9	9				17		
6m/23°C	57,1	9,7	15,68	4,1	3	1,2	14,76	17.12.2021	Versuchsende
Änderung in %	20	-8	9				19		

DS 6/ 10% H2SO4	Härte Shore A	Härte Shore D	Masse [g]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Volumen (V=l*b*h) [cm³]	Datum Messung	Bemerkung
Nullpunkt	48,2	10,4	13,19	3,9	2,7	1,2	12,64	17.06.2021	
28d/40°C	57,9	11,3	13,19	3,9	2,7	1,2	12,64	15.07.2021	
Änderung in %	20	9	0				0		anschließend 23°C lagern
2m/23°C	57,8	10,5	13,19	3,9	2,7	1,2	12,64	16.08.2021	
Änderung in %	20	1	0				0		
3m/23°C	54,8	9,7	13,19	3,9	2,7	1,2	12,64	16.09.2021	
Änderung in %	14	-7	0				0		
4m/23°C	57,7	10,5	13,17	3,9	2,7	1,2	12,64	18.10.2021	
Änderung in %	20	1	0				0		
5m/23°C	56,2	9,7	13,22	3,9	2,75	1,2	12,87	23.11.2021	
Änderung in %	17	-7	0				2		
6m/23°C	56,3	10,3	13,23	3,9	2,75	1,2	12,87	17.12.2021	
Änderung in %	17	-1	0				2		

Grafik 6 – Bestes Ergebnis Dichtstoff bei Beständigkeitsprüfung gegenüber JGS-Medien

Weitere Tests / Feldversuche

Aufgrund der ungenügenden Ergebnisse im Hinblick auf die Medienbeständigkeit der Epoxidharzbasierenden Systeme wurden keine weitergehenden Versuche durchgeführt, wie z. Bsp. Versuche im kleinen Maßstab oder Feldversuche.

Trotz des internen Bestehens der Labortests wurde die Weiterentwicklung der Muster auf Basis von Polyasparaginsäureester / Hexamethylendiisocyanat- und Isophorondiisocyanatprepolymeren nicht weiterverfolgt, da eine Vermarktung aufgrund der zu erwartenden hohen Kosten nicht erfolgreich erscheint.

Weiteres Entwicklungspotential

Aus unserer Sicht erscheint eine Entwicklung von Dichtmassen auf Basis von Epoxidharzverbindungen für den JGS-Bereich aufgrund der erzielten Ergebnisse nicht sehr vielversprechend. Eine entsprechende Weiterentwicklung bzw. Prüfung bestehender epoxidharzbasierender Beschichtungen erscheint jedoch aussichtsreich, da hier die Vernetzung im System höher ausgelegt werden kann und zu erwartenden Belastungen durch Fahrbetrieb bei entsprechenden Untergründen auch nach entsprechenden hochvernetzten Systemen verlangen. Hingegen ist die geringere Vernetzung bei Dichtmassen durch die notwendige Elastizität ein Problem im Hinblick auf die Chemische Beständigkeit. Ein weiteres Kriterium ist die Migration der in Epoxidharzsystemen zum Einsatz kommenden Weichmacher. Viele dieser Weichmacher werden nicht fest in das chemische System eingebunden, so dass bei dem bis zu einem Jahr langen Kontakt des Lagergutes mit den Dichtstoffen nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Weichmacher migrieren und dadurch das Lagergut verunreinigen. Dieses erscheint bei Lagergut für Biogasanlagen kein großes Problem zu sein, jedoch werden auch viele der Weichmacher biologisch schlecht abgebaut und können über die Verbringung der Gärreste in die Umwelt gelangen. Ein größeres Gewicht könnte diese Migration der

Weichmacher für den Futtermittelbereich und, abhängig vom Lagergut, eventuell auch für den Lebensmittelbereich haben.

Zukünftige Systeme sollten aus unserer Sicht auf einer weichmacherarmen bzw. weichmacherfreien Formulierungen basieren. Zudem sollten diese nach Möglichkeit lösemittelfrei entwickelt werden.

Das vorläufige Ende der Entwicklungsarbeit zeigt allerdings die Möglichkeiten auf, welche in der Weiterentwicklung der speziell der Muster BS17 für die Beschichtung und DS 6 für den Bereich der Dichtstoffe bietet. Die in beiden Systemen genutzten Polyaspartic-Systeme haben ein hohes Maß an Beständigkeit gegenüber den JGS-Medien gezeigt, auch bei erhöhten Temperaturen. Eine Weiterentwicklung empfiehlt sich beim Dichtstoff, da dieser noch nicht die notwendige hohe Flexibilität aufweist. Ein weiterer Vorteil der Polyasparaginsäureestersysteme ist eine hohe Reaktivität, welche über eine geeignete Auswahl an Polyasparaginsäureestern gezielt beeinflusst werden kann. Hierzu bietet vor allem der Hersteller Covestro Deutschland AG verschiedenste Typen unter dem Namen Desmophen NH an. So ist es möglich langsamere Systeme anzubieten, welche für großflächige Arbeiten geeignet erscheinen und schnellere Systeme für notwendige Reparaturen. Ein weiterer Vorteil dieser Systeme liegt in der Möglichkeit der Nutzung von verschiedensten Isocyanattypen als Härter, über diese auch die Eigenschaften, wie Härte und Flexibilität eingestellt werden können. Zukünftige Entwicklungen aufbauend auf der Basis von Polyasparaginsäureester / Hexamethylendiisocyanat- und Isophorondiisocyanatprepolymeren und den Ergebnissen dieser Arbeit erscheinen erfolgversprechend und könnten den Anforderungen der AWSV gerecht werden. Hierzu wäre ein Abschluss der Entwicklungsarbeit mit Darstellung eines Systems notwendig, welches abschließend durch ein Prüfinstitut geprüft wird, welches die Ergebnisse bestätigt und eine Zulassung der Produkte durch das DIBt ermöglicht. Aus unserer Sicht wären auch begleitete Langzeittests in entsprechenden Fahrtilos und Biogasanlagen zu empfehlen, um die Langzeitstabilität auch unter realen landwirtschaftlichen Bedingungen zu prüfen. Speziell denken wir hier auch an den biologischen Abbau, welcher während unserer Entwicklungsarbeit nicht geprüft werden konnte.

Fazit und Ursachen für die Ergebnisse

Die Einschränkungen der Corona-Pandemie verzögerten die Entwicklungsarbeit entscheidend. Die folgenden wesentlichen Punkte sind hier zu nennen:

Die staatlichen Kontaktbeschränkungen führten zu Verzögerungen im Austausch mit den Laboranten intern, mit Lieferanten, dem externen Institut und der Zulassungsstelle (DIBT).

Das teilweise Zusammenbrechen des Warenverkehrs erschwerte die Beschaffung von Mustern, welches zu nicht unerheblich zu Verzögerungen im Ablauf und den Tests führte.

Die stark angestiegenen Kosten für Rohstoffe, insbesondere für die Asparaginsäureester und der Isocyanate und die darauffolgende Ablehnung aufgrund der zu erwartenden hohen Kosten und damit nicht mehr wirtschaftlichen Preise führten mit zur Einstellung des Projektes.

Zukünftig werden in unserem Hause Projekt- und Entwicklungsarbeiten in ein engeres Umfeld eingebettet, in welchem die genauen technischen Anforderungen, aber auch die Anforderungen an die Marktfähigkeit und Preis genauer festgelegt werden sollen. Der Prozess und die generellen Anforderungen werden in einer Arbeitsanweisung festgeschrieben und mithilfe von MS Teams unterstützt.