

# Inhalt:

<b>Einleitung</b>	<b>12</b>
Holz als Fassadenmaterial	12
Pyrolyse als Methode des Brandschutzes	13
<b>1. Forschungsfragen und Arbeitsprogramm</b>	<b>14</b>
1.1 Oberflächenpyrolyse für unterschiedliche Holzarten, insbesondere heimische Nadelhölzer	14
1.2 Bau einer Pyrolyseanlage im Technikumsmaßstab	14
1.3 Stabilisierung der pyrolysierten Oberfläche	15
1.4 Arbeitsprogramm	16
AP 1: Grundlagenermittlung	16
AP 2: Verfahrensentwicklung	16
AP 3: Entwicklung von Fassadensystemen für pyrolysierte Hölzer	16
AP 4: Ermittlung der Oberflächeneigenschaften	17
AP 5: Entwicklung von Gegenzuglösungen	17
AP 6: Entwicklung von Fassadenprototypen und Test dieser nach B1-Prüfung	17
AP 7: Entwicklung von Oberflächen-Vergütungsverfahren zur zusätzlichen Stabilisierung	17
AP 8: Entwicklung eines Baustellensystems zur Nachbehandlung von Schnittflächen auf der Baustelle	18
AP 9: Aufbau einer Referenzfassade	18
<b>2. Oberflächenpyrolyse zur Erhöhung des Feuerwiderstands</b>	<b>20</b>
2.1 Oberflächenpyrolyse bei Bauhölzern	20
2.1.1 Oberflächenpyrolyse zur Erhöhung des Brandschutzes	20
2.1.2 Shou Sugi Ban – Eine traditionelle Methode, Fassadenhölzer zu pyrolysieren	20
2.1.3 Markt für pyrolysierte Fassaden	21
2.1.4 Pyrolyse als Methode des nachhaltigen Brandschutzes	21
2.2 Pyrolyseverfahren	22
2.2.1 Pyrolyse und Verbrennung	22
2.3 Bau einer Pyrolyseanlage im Technikumsmaßstab	23
2.3.1 Direkte und indirekte Pyrolyse	23
2.3.2 Pyrolyseschicht als Brandschutz	23
2.4 Brandschutz bei Fassaden aus Holz	24
2.4.1 Klassifizierungen und normative Verweise	24
2.4.2 Spezifische Brandschutzklassifikationen für hinterlüftete Fassaden aus Vollholz	25
2.4.3 Konstruktiver Holzschutz bei hinterlüfteten Fassaden	26
2.5 Pyrolyseanlage als Prototyp	27
2.5.1 Brennertechnologie	28
2.5.2 Gas-Steuer-Einheit	28
2.5.3 Brenner	29
2.5.4 Vorschub	30
2.5.5 Steuerung und Interface zur Kontrolle der Vorschubgeschwindigkeit	30
2.5.6 Auswertung einzelner alternativer Verfahrenstechniken	31

2.5.7 Ausschluss der Kontaktpyrolyse	31
2.5.8 Kritik	32
2.6 Entwicklung von Baustellensystemen	33
2.6.1 Lösungsansatz 1 – Direktbeflammung	33
2.6.2 Lösungsansatz 2 – Kontaktmethode	34
<b>3. Stabilisierung der Oberfläche</b>	<b>36</b>
3.1 Mineralische Stoffe zur Stabilisierung der Pyrolyseschicht	36
3.2 Wasserglas	38
3.2.1 Wasserglas – Herstellung	38
3.2.2 Wasserglas – Anwendung und Wirkungsweise	39
3.2.3 Wasserglas – traditionelles Bindemittel zur Stabilisierung von Oberflächen	40
3.2.4 Wasserglas zur Stabilisierung von Holzoberflächen	41
3.2.5 Wasserglas als Flamschutzmittel, insbesondere von Holz	41
3.3 Wasserglasarten	43
3.3.1 Auswahl des Wasserglases	43
3.3.2 Natrium-Wasserglas	43
3.3.3 Kalium-Wasserglas	44
3.3.4 Fixierungs-Wasserglas	44
3.4 Auftrag des Wasserglases - Imprägnierverfahren	45
3.4.1 Auftrag des Wasserglases auf Holz	45
3.4.2 Traditionelle Auftragsverfahren	45
3.4.3 Auftrag des Wasserglases auf die Pyrolyseschicht - Imprägnierverfahren	47
3.4.3.1 Kali-Wasserglas mittels Pinsel-Auftrag	47
3.4.3.2 Imprägnierung im Unterdruckverfahren	47
3.4.3.3 Natrium-Wasserglas mittels Imprägnierung	47
3.4.4 Mikroskopische Untersuchungen der Imprägnierverfahren	48
<b>4. Experimentelle Untersuchungen</b>	<b>50</b>
4.1 Material	50
4.2 Probekörper	51
4.3 Pyrolyse	52
4.3.1 Materialverformungen durch die Pyrolyse	53
4.4 Imprägniermethoden	54
4.4.1 Pinsel-Imprägnierung mit Kaliumwasserglas	54
4.4.2 Auswertung der Pinsel Imprägnierung	54
4.4.3 Imprägnieren von Natriumwasserglas im Unterdruckverfahren	56
4.4.3.1 Imprägnierung im Autoklav	56
4.4.3.2 Imprägnieren im Vakuum-Sack	56
4.4.4 Auswertung der Imprägnierungen im Unterdruckverfahren	57
<b>5. Klassifizierung und Prüfverfahren</b>	<b>58</b>
5.1 B2-Test	59
5.1.1 Beobachtungen	60
5.1.2 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	61
5.2 Gitterschnitt-Test	62
5.2.1 Auswertung der Gitterschnitt-Test	62
5.2.2 Schlussbetrachtung Gitterschnitt Test	64

5.3 Taber-Test	65
5.3.1 Auswertung der Taber-Tests	65
5.4 Bewitterungstest	68
5.4.1 Vorbereitung der Probekörper	68
5.4.2 Beschreibung des Testprogramms	68
5.4.3 Bewertungskriterien	69
5.4.4 Ergebnisse der Bewitterung	70
5.4.4.1 Ergebnisse der Bewitterung bei den einzelnen Probekörpern	71
5.4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Bewitterung	72
5.5 SBI-Test	74
5.5.1 SBI-Test 1 und 2 – Festlegung der Parameter	76
5.5.2 Probekörper 1 - Vertikale Leisten-Deckel-Schalung	77
5.5.2.1 Durchführung	78
5.5.2.2 Auswertung	79
5.5.3 Probekörper 2 - Horizontale Stülpchalung	81
5.5.3.1 Durchführung und Auswertung	83
5.5.4 SBI Test 2.0 – Weitere Entwicklung: Probekörper 3 bis 5	86
5.5.5 SBI-Test 3 - Boden-Deckel-Schalung	87
5.5.6 SBI-Test 4 - Boden-Deckel-Schalung	90
5.5.7 SBI-Test 5 - Boden-Deckel-Schalung	93
5.5.8 Zusammenfassung und Auswertung der SBI-Tests und Ausblick	97
5.6 Langzeitbewitterung – Freibewitterung nach DIN 2810	100
5.6.1 Versuchsaufbau	101
5.6.2 Fassadentypen und Holzarten	101
5.6.3 Vorbereitung und Montage	102
5.6.4 Erste Beobachtungen aus dem Aufbau	105
5.6.5 Erste Beobachtungen aus der Langzeitbewitterung	106
5.6.6 Verbesserungen und Ausblick	108
<b>6. Schlussbetrachtung und weiterführende Forschungsfragen</b>	<b>110</b>
6.1 Pyrolysemethode und Pyrolyseanlage	111
6.2 Stabilisierung der pyrolysierten Oberfläche	112
6.2.1 Voruntersuchungen zur Oberflächenstabilisierung	112
6.2.2 Imprägnieren mit Wasserglas	113
6.3 Zusammenfassung der SBI-Tests und der getesteten Fassadentypen	114
6.4 Langzeitbewitterung - Erkenntnisse zur Montage	115
6.4.1 Langzeitbewitterung - erste Erkenntnisse	115
6.5 Forschungsfrage - Forschungsergebnis	117
6.6 Weiterführende Forschungsfragen	118
6.7 Wirtschaftliche Verwertung	120
<b>7. Anhang</b>	<b>122</b>
7.1 Normen und Vorschriften - Auszug	122
7.2 Literatur - Auszug	124
7.3 Berichte HNEE	126
7.4 Internetseiten - Auswahl	126
<b>8. Mitarbeiter und Projektpartner</b>	<b>128</b>

<b>9. Bildanhang und Berichte - Auswahl</b>	<b>130</b>
9.1 B2-Test: Testergebnisse und Mikroskopie	132
9.2 Taber-Test: Abrieb der Oberfläche	136
9.3 Bewitterungstests	140
9.3.1 Veränderung der Oberfläche bei Eiche	140
9.3.2 Veränderung der Oberfläche bei Fichte	144
9.3.3 Veränderung der Oberfläche bei Lärche	148
9.4 SBI-Tests	152
9.4.1 SBI-Test 1: Leisten-Deckel-Schalung, Fichte, pyrolysiert, imprägniert	152
9.4.2 SBI-Test 2: Stülpchalung, Lärche, pyrolysiert, imprägniert	155
9.4.3 SBI-Test 3: Boden-Deckel-Schalung, Fichte, pyrolysiert	158
9.4.4 SBI-Test 4: Boden-Deckel-Schalung, Eiche, pyrolysiert	159
9.4.5 SBI-Test 5: Boden-Deckel-Schalung, Fichte, pyrolysiert, imprägniert	160
9.4.6 Filmstills der SBI-Tests	162
9.5 Prüfbericht der BAM - Auszug	168