

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	- 1 -
2	Stand der Forschung	- 4 -
2.1	Entwicklung PCM	- 4 -
2.2	Direkteinbringung	- 5 -
2.3	Makroverkapselung	- 6 -
2.4	Mikroverkapselung	- 7 -
2.5	Forschungsergebnisse	- 8 -
2.6	Additive Fertigungstechnologien	- 12 -
2.6.1	Historische Entwicklung	- 12 -
2.6.2	Verschiedene Roboter für verschiedene Ausführungsmaßstäbe	- 15 -
3	Grundlagen	- 24 -
3.1	Phasenwechselmaterial – PCM.....	- 24 -
3.2	Physikalische Grundlagen	- 25 -
3.2.1	Sensible Wärmespeicherung	- 25 -
3.2.2	Latente Wärmespeicherung	- 27 -
3.3	Anforderungen an PCM in der Gebäudekonditionierung im Rahmen des sommerlichen Wärmeschutzes.....	- 29 -
3.4	Materialien und Latentwärmespeichersysteme	- 32 -
3.4.1	Salzhydrate	- 34 -
3.4.2	Paraffine.....	- 34 -
3.5	Messung von Stoffeigenschaften	- 36 -
3.5.1	Bestimmung der Dichte.....	- 36 -
3.5.2	DSC-Messungen des PCM-Betons.....	- 37 -
3.5.3	Bestimmung der Schmelzenthalpie.....	- 38 -
3.5.4	Messung von Wärmeleitfähigkeit	- 40 -
4	Normative und verordnungstechnische Grundlagen.....	- 42 -
4.1	Physiologie des Menschen.....	- 42 -
4.2	DIN EN ISO 7730:2006-05 – Ergonomie der thermischen Umgebung....	- 44 -
4.3	DIN V 4108-2:2013-02 - Grenzwerte der Raumtemperatur.....	- 48 -
4.3.1	Verfahren Sonneneintragskennwerte	- 50 -
4.4	DIN EN 15251:2012-12 – Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden	- 51 -

4.4.1	Anwendungsbereich von maschinell geheizten und gekühlten Gebäuden.....	- 52 -
4.4.2	Anwendungsbereich von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlagen	- 53 -
4.4.3	Außentemperatur, gleitender Mittelwert	- 54 -
4.5	VDI 2164 – PCM-Energiespeichersysteme in der Gebäudetechnik	- 55 -
4.5.1	Auslegung von PCM-Energiespeichersystemen	- 55 -
5	Verfahrenstechnik und Ausgangsstoffe.....	- 59 -
5.1	Technologie des Spritzbeton	- 59 -
5.1.1	Nassspritzverfahren	- 59 -
5.1.2	Trockenspritzverfahren	- 60 -
5.2	Rückprall	- 60 -
5.3	Düsen	- 63 -
5.4	Theoretische Grundlagen verwendeter Ausgangsstoffe.....	- 64 -
5.4.1	Portlandzement	- 64 -
5.4.2	Entschäumer	- 67 -
5.4.3	Fließmittel.....	- 68 -
5.4.4	Feinststoffoptimierung und Packungsdichte von Partikeln	- 69 -
6	Prüfverfahren und Betonentwicklung.....	- 74 -
6.1	Verarbeitbarkeit und Konsistenz.....	- 74 -
6.2	Druckfestigkeit.....	- 75 -
6.3	Quellen	- 75 -
6.4	Rasterelektronenmikroskopie	- 76 -
6.5	Herangehensweise.....	- 77 -
6.6	Betonrezepturen.....	- 80 -
6.7	Diskussion	- 86 -
7	Physikalische Eigenschaften	- 89 -
7.1	Zielsetzung der Versuche.....	- 89 -
7.2	Versuchsprogramm	- 91 -
7.3	Materialprüfung	- 92 -
7.3.1	Applikationstechnik	- 92 -
7.3.2	Einflussfaktoren auf die Druckfestigkeit	- 94 -
7.4	Ergebnisse und Diskussion	- 96 -
7.4.1	Druckfestigkeit.....	- 96 -

7.4.2	Dichte	- 100 -
7.4.3	Quellen	- 100 -
7.4.4	Rasterelektronenmikroskopie	- 101 -
8	Simulationsverfahren	- 105 -
8.1	Last- und Energieprognose auf Basis von Simulationsmodellen	- 105 -
8.2	TRNSYS	- 110 -
8.2.1	TRNBuild (Type 56)	- 110 -
8.2.2	Type 399	- 113 -
8.3	Implementierung des TRNSYS TYPE 399 in die Simulationsumgebung TRNSYS	- 117 -
8.4	Modellvalidierung	- 118 -
8.4.1	Modellvalidierung mittels numerischer Methode	- 118 -
8.4.2	Numerische Validierung mit HAUSer und TRNSYS-Modell	- 120 -
9	Temperaturprofile von ein- und zweischichtigen Wandaufbauten	- 123 -
9.1	Parameterstudien zur Identifikation optimaler Materialparameter	- 124 -
9.2	Oberflächentemperatur von ein- und zweischichtigen Wandaufbauten mit unterschiedlichen Temperaturen des Phasenübergangs	- 124 -
9.3	Variation der einzelnen Schichtdicken einer zweischichtigen Wand- aufbaus mit zwei Schmelzbereichen	- 130 -
9.4	Konvektiver Wärmeübergang	- 133 -
10	Anwendung von PCM in Büroräumen	- 137 -
10.1	Randbedingungen der numerischen Berechnungen	- 137 -
10.1.1	Geometrie des Musterraums und Bauphysikalische Parameter	- 137 -
10.1.2	Nutzungsverhalten	- 140 -
10.1.3	Klimabedingungen	- 140 -
10.2	Optimierung des PCM	- 142 -
10.3	Übertemperaturgradstunden über Kategorie 2 gemäß DIN EN 15251- Anhang A.2.	- 147 -
10.4	Konvektiver Wärmeübergang	- 148 -
11	Zusammenfassung	- 151 -
12	Ausblick	- 154 -
13	References	- 156 -
14	Anhang	- 167 -