

INSTITUT WAR — Bibliothek —
Wasser- und Umwelttechnik
Abteilung Wasser- und Umwelttechnik
Technische Universität Darmstadt
Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt
TEL. 0 61 51/16 36 59 + 16 27 48
FAX 0 61 51/16 37 58

Bauforschung

W. A. R. — Bibliothek
Inv.-Nr. D 17733

OG. 1 1B8

Untersuchung des Recyclings von Stoffsystemen aus Wärmedämm-Verbundsystemen und Flach- dachabdichtungsaufbauten mit Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (Styropor)

Bibliothek Wasser und Umwelt
(TU Darmstadt)



61503951

**Das Forschungsvorhaben wurde aus Mitteln des
Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeits-
gemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)
„Otto von Guericke“ e.V. gefördert.**

Fraunhofer IRB Verlag

1 VORBEMERKUNG	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Stoffliche oder thermische Verwertung brennbarer Baureststoffe... 	4
2 ZIEL DES FORSCHUNGSVORHABENS	8
3 DARSTELLUNG DER UNTERSUCHTEN STOFFGRUPPEN	13
3.1 Wärmedämmverbundsysteme.....	13
3.1.1 Wärmedämmverbundsysteme mit Polystyrol-Hartschaumplatten	13
3.1.1.1 Aufbau, Herstellung, Begriffsbestimmungen	13
3.1.1.2 Betrachtung der Einzelkomponenten.....	22
3.1.1.2.1 Befestigungs-und Klebeschicht.....	22
3.1.1.2.2 Dämmschicht.....	34
3.1.1.2.3 Armierungsschicht	35
3.1.1.2.4 Oberputzschicht.....	36
3.2 Flachdachabdichtungsaufbauten	40
3.2.1 Flachdachabdichtungen mit Polystyrol-Hartschaum-Dämmung	40
3.2.1.1 Aufbau, Begriffsbestimmungen.....	40
3.2.1.2 Ausführung der einzelnen Schichten	43
3.2.1.2.1 Voranstrich	43
3.2.1.2.2 Trenn- und Ausgleichsschicht.....	44
3.2.1.2.3 Dampfsperrschicht.....	45
3.2.1.2.4 Wärmedämmschicht	46
3.2.1.2.5 Dampfdruckausgleichsschicht.....	46
3.2.1.2.6 Dachabdichtung mit Bitumenbahnen	47
3.2.1.3 Stoffkomponenten der FDA	54
3.2.1.3.1 Bitumen - Grundlagen und Anwendungsformen	55
3.2.1.3.2 Bitumen - Merkmale und Prüfungen	57

3.2.1.3.3 Bitumen - Zusammensetzung	62
3.2.1.3.4 Bitumen - Alterung	64
3.2.1.4 Polymermodifiziertes Bitumen.....	66
4 RECHTLICHE RANDBEDINGUNGEN	70
4.1 Geschichtliche Entwicklung des Abfallrechtes	70
4.2 Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)	72
4.2.1 Neuerungen durch das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	73
4.2.2 Der neue Abfallbegriff.....	73
4.2.3 Umsetzung der Kreislaufwirtschaft.....	74
4.2.4 Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen	76
4.2.5 Die Träger der Abfallentsorgung	77
4.3 Abgrenzung von Verwertung und Beseitigung.....	79
4.3.1 Mindestanforderungen für die energetische Verwertung	81
4.3.2 Anforderungen an die stoffliche Verwertung	83
4.3.3 Hochwertige Verwertung	84
4.4 Ist der Bauherr oder der ausführende Bauunternehmer für die Entsorgung der entstehenden Abfälle verantwortlich ?	85
4.5 Schlußbetrachtung	87
4.6 Technische Anleitung Siedlungsabfall.....	89
4.6.1 Darstellung und Gliederung der TA-Si	89
4.6.2 Ziele und Schwerpunkte der TA-Si.....	94
5 ANFALLENDE STOFFQUALITÄTEN	97
5.1 Abriß von WDVS	97
5.1.1 Abriß als Funktion der Baumaßnahme.....	97
5.1.2 Wahl des Abrißverfahrens und Darstellung der Abrißtechniken (WDVS).....	98
5.1.3 Ansätze und Beispiele neuer Rückbautechniken.....	99

5.2 Abriß von Flachdachabdichtungsaufbauten (FDA)	102
5.2.1 Abriß als Funktion der Baumaßnahme.....	102
5.2.2 Wahl des Abrißverfahrens und Darstellung der Abrißtechniken (FDA).....	102
5.3 Probenbeschreibung	109
5.3.1 WDVS-Proben.....	109
5.3.1.1 Festlegung des Probenraums.....	109
5.3.1.2 Bezeichnung und Aufbau der WDVS-Proben	111
5.3.2 FDA-Proben	113
5.3.2.1 Festlegung des Probenraumes.....	113
5.3.2.2 Bezeichnung und Aufbau der FDA-Proben.....	115
6 PROGNOSE DER ABFALLMENGEN	117
6.1 Allgemeiner Anfall von Bauabfällen im Kontext des Baugeschehens	117
6.2 Verwendung von WDVS mit EPS.....	124
6.2.1 Entwicklung der WDVS-Verwendung mit EPS.....	124
6.2.2 Entwicklung der EPS-Verwendung	125
6.2.3 Entwicklung sonstiger Materialkomponenten von WDVS	128
6.2.4 Zukünftige Entwicklung der WDVS-Verwendung mit EPS	128
6.3 Prognosemethodik	133
6.4 Vorgehensweise der WDVS-Abfallprognose.....	135
6.5 Diskussion wesentlicher Einflußfaktoren des zukünftigen Anfalls an WDVS-Abfall	136
6.5.1 Lebensdauerabschätzung von WDVS	136
6.5.2 Lebensdauerabschätzung der Gebäude	138
6.5.3 Einflußfaktor wirtschaftliche Situation bzw. Baukonjunktur	141
6.5.4 Sensitivitätsanalyse.....	142
6.6 Prognose der FDA-Abrißmaterialien auf EPS-Basis	146

6.6.1 Prognosemethodik	146
6.6.2 Abschätzung über die Menge der gesamten Baustellenabfälle	146
6.6.2.1 Zeitliche Entwicklung der Baustellenabfälle.....	146
6.6.2.2 Datenerhebung.....	147
6.6.2.3 Zusammenstellung und Bewertung der Ergebnisse der Datenerhebung	150
6.6.2.4 Abschätzung der FDA-Abrißmaterialien auf EPS-Basis.....	151
6.6.3 Abschätzung über die Produktionszahlen von Bitumendachbahnen.....	153
6.6.3.1 Entwicklung der Produktionszahlen.....	153
6.6.3.2 Abschätzung der FDA-Abrißmaterialien auf EPS-Basis.....	156
6.6.4 Vergleich der beiden Prognosen	157
7 STOFFLICHES RECYCLING.....	161
7.1 Bestehendes Sammelsystem für gebrauchte Verpackungen aus EPS-Hartschaum.....	161
7.1.1 Allgemeines.....	161
7.1.2 Verordnung über die Vermeidung von Verpackungs-abfällen (VerpackVO).....	162
7.2 Recyclingmöglichkeiten für gebrauchte Verpackungen aus EPS- Hartschaum	164
7.2.1 Allgemeines.....	164
7.2.2 Wiederverwertung bei der Schaumstofffertigung	165
7.2.3 Styromull®-Herstellung und dessen Einsatzgebiete	166
7.2.4 Verwertung im Bauwesen	167
7.2.5 Aufschmelzen, Verdichten, Sintern und Granulieren	168
7.3 Untersuchung des bestehenden Sammelsystems für gebrauchte Verpackungen aus EPS-Hartschaum im Landkreis Darmstadt-Dieburg	169
7.4 Untersuchungen zur Logistik von WDVS und FDA Abrißmaterialien.....	173

7.4.1 Beschreibung bestehender Logistiksysteme.....	173
7.4.2 Entwicklung des Zielsystemes zur Logistik von WDVS/FDA Abrißmaterialien	173
7.4.3 Entwicklung des Subsystems	177
7.5 Umfrage bei Verwertern von WDVS- und FDA-Abbruchmaterialien.....	202
7.6 Beschreibung bestehender Einsatzgebiete der Verwertungsprodukte	204
7.6.1 Allgemeines	204
7.6.2 EPS-Wärmedämmputz.....	204
7.6.3 Frostschutzschichten im Straßenbau	205
7.6.4 Bodenverfestigung und Tragschichten im Straßenbau mit bituminösen Bindemitteln	206
7.6.5 Leichtbeton	208
7.6.6 Poröse Ziegelsteine.....	210
7.6.7 Drainage-Material	211
7.6.8 Bodenverbesserung in der Landwirtschaft und im Gartenbau	212
7.6.9 Verfüllmaßnahmen	213
7.6.10 Dämmmaterial	213
7.6.11 Einsatz bei der mechanisch-biologischen Behandlung von Siedlungsabfällen vor der Deponierung	213
7.6.12 Einsatz zur Verbesserung der Deponiestruktur.....	214
7.6.13 Einsatz zur Auflockerung von Böden bei der Altlastensanierung	214
7.7 Beschreibung bestehender Aufbereitungsanlagen.....	215
7.7.1 Allgemeines	215
7.7.2 Verarbeitung zu Dämmmaterialien - Recyclingkonzept der Firma Hexaflock 2000.....	216
7.7.3 Stoffliche Verwertung von bituminösen Dachbahnen - Recyclingkonzept der Firma VEDAG	217

7.8 Beurteilung des stofflichen Recyclings für WDVS/FDA - Abrißmaterialien.....	218
8 TECHNIKBETRACHTUNG ZU THERMISCHEN VERFAHREN	221
8.1 Einführung.....	221
8.1.1 Hausmüll	222
8.1.2 Sondermüll	225
8.2 Thermische Hauptverfahren	226
8.2.1 Betrachtungsraum	226
8.2.2 Thermische Verfahrensgrundlagen und Haupteinflußgrößen	227
8.3 Rostsysteme.....	231
8.3.1 Thermische Vorgänge auf dem Rost.....	231
8.3.2 Anforderungen und Auslegungen der Roste	233
8.3.3 Rückschubroste.....	237
8.3.4 Vorschubrost	239
8.3.5 Walzenrost	242
8.3.6 Probleme und künftige Entwicklungen der Rostfeuerungsanlagen.....	245
8.4 Drehrohrsysteme	247
8.5 Künftige Verfahrensentwicklungen.....	250
8.5.1 Schwel-Brenn-Verfahren nach Siemens-KWU.....	250
8.5.2 Duotherm-Verfahren Von Roll	252
8.5.3 NOELL-Konversionsverfahren	255
8.5.4 Thermoselect-Verfahren.....	258
8.5.5 Wirbelschichtsysteme.....	261
8.5.6 Weitere Systemkombinationen.....	264
9 ENERGETISCHE VERWERTUNG	268
9.1 Einführung	268

9.2 Möglichkeiten für die energetische Verwertung von FDA	270
9.2.1 Einsatz in speziellen Anlagen zur Verbrennung heizwertreicher Materialien	271
9.2.1.1 Zweistufen-Verbrennung Fa. Eisenmann	272
9.2.1.2 Pyrobustor-Verfahren Fa. Maurer Söhne	273
9.2.1.3 Pyrolyse und Schmelzzyklon der Fa. PKA-Umwelttechnik.....	275
9.2.1.4 Anlage zur energetischen Verwertung der Fa. Hafner	276
9.2.1.5 Verbrennungsanlagen der Fa. Lambion	277
9.2.1.6 Fazit aus der Recherche	278
9.2.2 Einsatz in bestehenden Verbrennungsanlagen.....	278
9.2.3 Einsatz in bestehenden Feuerungsanlagen	279
9.2.3.1 Energetische Verwertung in Kohlekraftwerken.....	280
9.2.3.2 Energetische Verwertung in Stahlwerken.....	281
9.2.3.3 Energetische Verwertung im Zementwerk	283
9.3 Einsatz von Sekundärbrennstoffen in Zementwerken	285
9.3.1 Anlagentechnik von Zementwerken	286
9.3.2 Störstoffe bei der Zementherstellung	289
9.3.3 Emissionen beim Einsatz von Sekundärbrennstoffen	292
9.3.4 Problematik der Genehmigung.....	295
9.4 Erhebung der Einsetzbarkeit von FDA als Sekundärbrennstoff in Zementwerken	297
9.4.1 Erstellung eines Fragebogens für Zementhersteller	297
9.4.2 Auswertung der Fragebögen	299
9.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	303
10 THERMISCHE BEHANDLUNG ZUR BESEITIGUNG	309
10.1 Einführung	309
10.2 Probleme bei der Verbrennung von Kunststoffen	312
10.3 Die Versuchsanlage	312
10.3.1 Der Aufbau des Versuchsofens.....	312

10.3.2 Analytische Erfassung des Verbrennungsvorganges.....	315
10.4 Probenzusammenstellung	321
10.4.1 Materialprobe aus Papier	322
10.4.2 Materialprobe aus Wärmedämmverbundsystemen.....	323
10.4.3 Materialproben aus Flachdachabdichtungsaufbauten.....	325
10.4.4 Materialprobe Gewerbemüll	328
10.5 Versuchsdurchführung	329
10.6 Ermittlung der Brennstoffparameter: Wassergehalt, Gehalt flüchtiger Bestandteile, Gehalt an fixem Kohlenstoff und Aschegehalt.....	331
10.7 Vorgehensweise bei der Versuchsauswertung	333
10.8 Darstellung der Versuchsergebnisse	337
10.8.1 Verbrennungsverhalten des Vergleichsbrennstoffes Papier	339
10.8.2 Verbrennungsverhalten von WDVS-Materialien.....	341
10.8.3 Verbrennungsverhalten von FDA-Materialien	342
10.8.4 Verbrennungsverhalten der Gewerbemüllmischung	344
10.9 Fazit aus den Versuchsergebnissen.....	346
11 ABLAGERUNG VON ABRISSMATERIALIEN AUS WDVS UND FDA.....	351
11.1 Vorbemerkung.....	351
11.2 Grundlagen zur Deponierung	352
11.2.1 Biochemische Prozesse im Deponiekörper.....	352
11.2.2 Geochemische Prozesse im Deponiekörper	354
11.3 Emissionsbetrachtung der Deponie	358
11.3.1 Emissionen der Gasphase	358
11.3.2 Emissionen der Wasserphase.....	361
11.4 Anforderungen der Entsorgungstechnik Deponie	363
11.5 Probenaufbereitung.....	365

11.6 Betrachtung der Analyseergebnisse WDVS	367
11.6.1 WDVS-Probenuntersuchung gemäß TA-Si.....	367
11.6.1.1 Beschreibung der Elutionsergebnisse.....	367
11.6.1.2 Meßergebnisse über den Anforderungen der TA-Si.....	371
11.6.1.3 Meßergebnisse mit Zuordnungsgrenznähe	372
11.6.1.4 Meßergebnisse unterhalb der TA-Si.....	373
11.6.2 WDVS-Proben - Glühverlust	376
11.6.3 Zuordnungsfähigkeit nach TA-Si.....	379
11.7 Betrachtung der Analyseergebnisse FDA	382
11.7.1 FDA-Probenuntersuchung gemäß TA-Si	382
11.7.2 Beschreibung der Parameter	388
11.7.3 Betrachtung der Parameter Phenol und Glühverlust.....	392
11.7.3.1 Parameter Phenol	392
11.7.3.2 Parameter Glühverlust	394
11.7.4 Zuordnungsfähigkeit nach TA-Si.....	396
11.8 Empfehlung für den Entsorgungspfad Deponie	397
11.8.1 WDVS Zuordnungsfähigkeit nach TA-Si	397
11.8.2 FDA Zuordnungsfähigkeit nach TA-Si.....	398
12 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE IM STOFFFLUßMODELL	400
12.1 Stoffflußbetrachtung für WDVS Abrißmaterialien.....	400
12.2 Stoffflußbetrachtung FDA	402
12.3 Diskussion der Ergebnisse der Stoffflußbetrachtung.....	405
13 RELEVANZ VON ZUSATZSTOFFEN IN POLYSTYROL- HARTSCHAUMPLATTEN HINSICHTLICH DES ABLAGERUNGSVERHALTENS UND DER THERMISCHEN VERWERTBARKEIT	413
13.1 Betrachtung der Zusatzstoffe	413

13.1.1	Verfahrenstechnisch bedingte Zusatzstoffe	413
13.1.2	Anwendungstechnisch bedingte Zusatzstoffe	413
13.2	Relevanz der Flammschutzmittel für das Ablagerungsverhalten von WDVS und FDA.....	415
13.2.1	Einfluß auf die Emissionen über die Gasphase	415
13.2.2	Einfluß auf die Emissionen über die flüssige Phase	415
13.3	Relevanz der Flammschutzmittel für die thermische Verwertbarkeit von WDVS und FDA.....	416
13.3.1	Einfluß auf die Zulässigkeitsanforderungen für eine energetische Verwertung: Hauptzweck der Maßnahme	416
13.3.2	Einfluß auf die Zulässigkeitsanforderungen für eine energetische Verwertung: Entstehende Emissionen.....	418
14	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	422
14.1	Mengenrelevanz.....	423
14.2	Stoffliche Verwertung.....	424
14.3	Energetische Verwertung - Thermische Behandlung	425
14.3.1	Empfehlungen im Bereich der WDVS	425
14.3.2	Empfehlungen im Bereich der FDA.....	425
14.4	Ablagerungsverhalten	426
14.4.1	Zuordnungsfähigkeit von WDVS nach TA Siedlungsabfall	426
14.4.2	Zuordnungsfähigkeit von FDA nach TA-Siedlungsabfall.....	427
14.5	Empfehlungen	427
14.5.1	WDVS Abrißmaterialien	427
14.5.2	FDA Abrißmaterialien	428