



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Danksagung	VII
Widmung.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	XVI
Tabellenverzeichnis.....	XXII
Abkürzungsverzeichnis	XXV
1. EINLEITUNG.....	1
1.1 Stand der Forschung.....	2
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	4
2. RÜSTUNGSALTLASTEN	9
2.1 Definition Rüstungsaltlasten	9
2.2 Verbreitung von Rüstungsaltlasten	11
2.2.1 Nitroaromatenbelastungen im Vergleich	12
2.2.2 Belastungen des Grundwassers durch Rüstungsaltlasten.....	13
2.3 Sprengstoffproduktion	15
2.4 Chemisch-physikalische Eigenschaften ausgewählter Nitroaromaten.....	18
2.5 Toxikologische Relevanz ausgewählter Nitroaromaten.....	23
2.5.1 Aufnahmepfade.....	24
2.5.2 Säuger-Humantoxizität	25
2.5.3 Ökotoxizität	30
2.6 Umweltverhalten ausgewählter Nitroaromaten.....	31
2.6.1 Ausbreitungspfade	32
2.6.2 Metabolisierung.....	35
2.6.2.1 Biotransformation.....	36
2.6.2.2 Oxidative Transformation.....	39
2.6.2.3 Photolytische Transformation	40
2.6.3 Sorptionsmechanismen	40
2.6.3.1 Sorption an Tonmineralen	41
2.6.3.2 Bindung an Huminstoffen	44
2.6.3.3 Bindung an weiteren Bodenkompartmenten.....	45
2.6.3.4 Bindung am Boden	46
2.7 Grenz-, Richt- und Orientierungswerte ausgewählter Nitroaromaten	47
2.8 Sanierung	52



3. METHODIK	55
3.1 Auswahl der Böden	55
3.2 Probennahme im Gelände	57
3.3 Nitroaromatenauswahl	61
3.4 Versuchsaufbau	63
3.4.1 Säulenpräparation	64
3.4.2 Herstellung der Gipsblockelektroden	65
3.4.3 Methodenkritik zu Säulenversuchen	67
3.4.4 Versuchsaufbau im Labor	67
3.4.5 Aufbau der Freilandlysimeterstation.....	69
3.4.6 Aufbau der Klimastation.....	72
3.4.7 Methodenkritik zur Lysimeterstation.....	72
3.5 Versuchsdurchführung	73
3.5.1 Versuch V – Steigende Dotierung.....	73
3.5.2 Versuch IV – Variable Zeit	74
3.5.3 Versuch III – Variable Dotierungsart	75
3.5.4 Versuch I – Freiland-Lysimetersäulen	75
3.5.5 Versuch II – Labor-Lysimetersäulen	76
3.5.6 Versuchsvorbereitung	77
3.5.7 Laborberechnungsphase	79
3.5.8 Sickerwasserentnahme.....	80
3.5.9 Entnahme der Bodenproben	81
3.5.10 Versuche zur TNT-Lösungskinetik und TNT-Sorption	82
3.6 Proben und Versuchssystematik	82
3.6.1 Versuchssystematik	82
3.6.2 Probensystematik	84
3.7 Chemisch-physikalische Labormethoden	85
3.7.1 Probenkonservierung	85
3.7.2 Physikalische Bodenuntersuchungen	85
3.7.2.1 Wasserspannungskurve	85
3.7.2.2 Gesamtporenvolumen	86
3.7.2.3 Bestimmung der nFK, nFK _(We) und LK	86
3.7.2.4 Packungsdichte, effektive Lagerungsdichte und Dichte	86
3.7.2.5 Gesättigte Wasserleitfähigkeit	87
3.7.2.6 Ungesättigte Wasserleitfähigkeit	87
3.7.2.7 Korngrößenspektrum	88
3.7.3 Chemische Bodenaufschluss- und Labormethoden	88
3.7.3.1 Elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert.....	88
3.7.3.2 Kalkgehalt	88



3.7.3.3 Organische Substanz	89
3.7.3.4 C, N, P-Bestimmung	89
3.7.3.5 Alkali-, Erdalkali- und Schwermetallbodenaufschlüsse	90
3.7.3.6 Alkali-, Erdalkalimetallgehalte	90
3.7.3.7 Schwermetallanalysen	90
3.7.3.8 Pedogene Eisenoxidbestimmungen	90
3.7.3.9 Kationenaustauschkapazität	91
3.7.3.10 Tonmineralanalysen	92
3.7.4 Nitroaromatenbestimmung	93
3.7.4.1 Halbquantitative Bestimmung von NA mit dem Polarisationsmikroskop	93
3.7.4.2 Sickerwasserextraktion zur Gewinnung von Nitroaromaten	94
3.7.4.3 Bodenaufschlussverfahren für Nitroaromaten	96
3.7.4.3.1 TNT-Schnelltest	96
3.7.4.3.2 Immunologischer Schnelltest	96
3.7.4.3.3 Potentiometrischer Schnelltest	97
3.7.4.3.4 Soxhlet-Extraktion	97
3.7.4.3.5 Ultraschall-Eluation mit Methanol	97
3.7.4.4 Pflanzenaufschlussverfahren für Nitroaromaten	99
3.7.4.5 Chromatographische Anionentrennung (Bromid)	99
3.7.4.6 Chromatographische Trennanalysen für Nitroaromaten	102
3.7.4.6.1 HPLC-Trennung	103
3.7.4.6.2 GC-Trennung	104
3.7.5 Versuche zur Korngrößenspezifischen Lösungskinetik von TNT	106
3.7.6 Batch-Versuche	107
3.7.7 Geräteauflistung	109
3.8 Charakterisierung der Bodenprofile	110
3.8.1 Bb: Basaltbraunerde	111
3.8.2 Bs: Buntsandsteinbraunerde	116
3.8.3 K: Kolluvium (Kolluvisol)	121
3.8.4 L: Parabraunerde	126
3.8.5 S: Pseudogley	132
3.8.6 YY: Kultosol (Auftragsprofil)	137
3.8.7 Resümee	145
3.9 Methodik Klimatologischer Kenndaten	145
3.9.1 Temperaturbestimmung	146
3.9.2 Niederschlagsbestimmung	146
3.9.3 Verdunstungsberechnungen	146



4. ERGEBNISAUSWERTUNG	149
4.1 Klimatologische und hydrologische Daten	149
4.1.1 Witterungsverlauf im Untersuchungszeitraum	149
4.1.2 Niederschlagsverlauf	150
4.1.3 Temperaturverlauf	151
4.1.4 Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz	153
4.1.5 Vergleich der Sickerwasserdaten mit Literaturwerten	158
4.1.6 Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen	159
4.1.7 Fazit und Zusammenfassung	159
4.2 Korngrößenspezifische Lösungskinetik von 2,4,6-TNT	160
4.2.1 Berechnung der Oberfläche	162
4.2.2 Ergebnisbewertung	166
4.2.3 Mathematischer Lösungsansatz	171
4.2.4 Anwendungsbeispiele	173
4.2.5 Fazit	174
4.3 Ergebnisse der Batch-Versuche	175
4.3.1 Ergebnisvergleich	181
4.3.1.1 Humuseinfluss	183
4.3.1.2 Einfluss der Kationenaustauschkapazität	184
4.3.1.3 Kaliumeinfluss	185
4.3.1.4 Calciumeinfluss	186
4.3.1.5 Einfluss von bodenlöslichem Natrium, Magnesium, Eisen und Mangan	187
4.3.1.6 Einfluss des Tonmineralgehaltes	189
4.3.1.7 Einfluss des pH-Wertes	191
4.3.1.8 Einfluss des Schluffanteils	191
4.3.1.9 Einfluss des Sandanteils	191
4.3.1.10 Zusammenfassung der Batch-Ergebnisse	191
4.4 Massenbilanzierungen	192
4.4.1 Berechnungs- und Schätzungsmethodik	192
4.4.2 Methodische Probleme der Stoffwiederfindung	192
4.4.3 Ergebnisse der Wiederfindungsraten und Schadstoffverteilung	194
4.4.4 Auswirkung der Dotierungsart auf Wiederfindungsraten und Schadstoffverteilung	194
4.4.5 Der Einfluss von Beregnungsunterbrechung und Dotierungsmenge auf Wiederfindungsraten und Stoffverteilung	196
4.4.6 Beschreibung der Wiederfindungsraten mit Hilfe der Sorptionskapazitäten	200
4.4.7 Bodenspezifische Sorptionskapazitäten und deren Einfluss auf Wiederfindungsraten	202
4.4.8 Zusammenfassung der Ergebnisse	207



4.5 Bioverfügbarkeit	208
4.5.1 Methodik	209
4.5.2 Analytische Auswertung	209
4.5.3 Ergebnisse zum Pflanzenwachstum	210
4.5.4 Nitroaromaten in Pflanzen	210
4.5.5 Fazit und Zusammenfassung	216
4.6 Ergebnisse der Säulenversuche	217
4.6.1 Grundlagen des Stofftransportes	217
4.6.2 Kinetische Ungleichgewichts-Adsorptionen	222
4.6.3 Bestimmung der Retardationsfaktoren	222
4.6.4 Versuchsergebnisse und Vergleiche mit Modellvorstellungen	223
4.6.5 Vergleich mit einem Simulationsmodell: ALTEX-1D	238
4.6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse	243
4.7 Umweltverhalten	245
4.7.1 Stoffspektrum	245
4.7.2 Hauptmetaboliten: A-DNT	251
4.7.2.1 Versuch II (gelöste Dotierung)	254
4.7.2.2 Versuch I (Freilandlysimeter)	266
4.7.2.3 Versuch III (Dotierungsform)	285
4.7.2.4 Versuch IV (Zeitabhängigkeit)	290
4.7.2.5 Versuch V (steigende Dotierungsmenge)	297
4.7.3 Abbau oder Verbleib von TNT	308
4.7.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zum Umweltverhalten	310
5. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	315
5.1 Methodenkritik	315
5.2 Diskussion und Schlussfolgerung	317
5.3 Weiterer Untersuchungsbedarf	325
6. ZUSAMMENFASSUNG	327
7. SUMMARY	339
8. QUELLENVERZEICHNIS	351
8.1 Literaturverzeichnis	351
8.2 Kartenverzeichnis	365
ANHANG (BAND II, CD)	
Inhaltsübersicht	366