0 Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

0	Verzeichnisse	III
1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm	3
2.1	Entstehung von Klärschlamm	3
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	8
2.2.1	Abfallgesetze	9
2.2.2	Wasserhaushaltsgesetz	10
2.2.3	Klärschlammverordnung	10
2.2.4	Klärschlamm-Entschädigungsfonds	13
2.2.5	Düngerecht	13
2.2.6	Bundesbodenschutzgesetz	14
2.3	Stoffliche Zusammensetzung von Klärschlamm	15
2.3.1	Stickstoff	17
2.3.2	Phosphor	18
2.3.3	Kalium, Calcium und Magnesium	22
2.3.4	Schwermetalle	23
2.3.5	Organische Schadstoffe	29
2.4	Initiativen zum umweltverträglichen Klärschlammeinsatz	34
3.	Material und Methode	40
3.1	Versuchsfaktoren	40
3.1.1	Klärschlamm	40
3.1.2	Standort	43
3.1.2.1	Beschreibung der Böden	44
3.1.2.2	Bodenkundliche Kennzeichnung des Substrates	47
3.2	Anlage des Versuches	49
3.2.1	Das erste Untersuchungsjahr	49
3.2.2	Das zweite Untersuchungsjahr	50
3.2.3	Das dritte Untersuchungsjahr	51

3.3	Durchführung des Versuches	51
3.4	Witterung	52
3.5	Analysen	55
3.5.1	Pflanzen: Entnahme - Behandlung - Untersuchung	55
3.5.2	Boden: Entnahme - Behandlung - Untersuchungen	56
3.6	Statistische Auswertung	57
4	Ergebnisse	57
4.1	Einfluß der Klärschlamm-Düngung auf das Pflanzenwachstum	57
4.1.1	Erträge und P-Entzüge im ersten Untersuchungsjahr	58
4.1.2	Erträge und P-Entzüge im zweiten Untersuchungsjahr	60
4.1.3	Erträge und P-Entzüge im dritten Untersuchungsjahr	67
4.1.4	Auswirkungen der Klärschlammdüngung auf die Anbaufolge	72
4.2	Einfluß der Klärschlamm-Düngung auf den Boden	78
4.2.1	Veränderungen des pflanzenverfügbaren Phosphates innerhalb der Anbaufolge	78
4.2.2	Veränderungen des Gesamt-P-Gehaltes innerhalb der Anbaufolge	82
4.2.3	Veränderungen der P-Fraktionen innerhalb der Anbaufolge	85
5	Diskussion	91
5.1	Einfluß der Düngung auf die Erträge	91
5.2	Einfluß der Düngung auf die P-Entzüge	95
5.3	Einfluß der Düngung auf den pflanzenverfügbaren Phosphat-Gehalt im Boden	105
5.4	Einfluß der Düngung auf die Gesamt-P-Gehalte	108
5.5	Einfluß der P-Fällung auf die P-Fraktionierung im Boden	112
6	Ausblick und abschließende Betrachtung	115
7	Zusammenfassung	122
8	Literaturverzeichnis	127
9	Anhang	135

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Klärschlammanfall in den Gemeinden Nordrhein-Westfalens (Karte 2)	6
Abb. 2-2:	Mögliche Bindungsformen von Phosphat an Eisen- bzw. Aluminium-Hydroxiden	19
Abb. 2-3:	Schematische Darstellung von Phosphatzuständen und deren mögliche Umwandlungsrichtungen im Boden	20
Abb. 2-4:	Schwermetallgehalte im Klärschlamm in mg/kg Trockensubstanz	28
Abb. 2-5:	Verteilung der Phosphatgehalte der vorliegenden Bodenuntersuchungs-ergebnisse	37
Abb. 2-6:	Phosphat-Versorgung der Ackerböden Nordrhein-Westfalens	38
Abb. 2-7:	Verwertungspotential für Sekundärrohstoffdünger in Nordrhein-Westfalen	39
Abb. 4-1:	Erträge des Einjährigen Weidelgrases in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	59
Abb. 4-2:	P-Entzug Einjähriges Weidelgras in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten.	59
Abb. 4-3-1:	Erträge Weizen-Korn in Abhängigkeit der Anlagen und Varianten	61
Abb. 4-3-2:	Erträge Weizen-Korn in Abhängigkeit der Substrate und Varianten	61
Abb. 4-4-1:	Erträge Weizen-Stroh in Abhängigkeit der Anlagen und Substrate	63
Abb. 4-4-2:	Erträge Weizen-Stroh in Abhängigkeit der Anlagen und Varianten	63
Abb. 4-5:	P-Entzug Weizen-Korn in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	64
Abb. 4-6:	P-Entzug Weizen-Stroh in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	64
Abb. 4-7:	Erträge Mais nach Weizen in Abhängigkeit der Substrate und Varianten	66
Abb. 4-8:	P-Entzug Mais in Abhängigkeit der Substrate und Varianten	66
Abb. 4-9:	Erträge Haferkorn in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	68
Abb. 4-10:	Erträge Haferstroh in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	68
Abb. 4-11:	P-Entzug von Haferkorn in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	70
Abb. 4-12:	P-Entzug von Haferstroh in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Varianten	70
Abb. 4-13:	Erträge Mais in Abhängigkeit der Substrate und Varianten	71
Abb. 4-14:	P-Entzug von Mais in Abhängigkeit der Substrate und Varianten	71
Abb. 4-15:	Relativerträge (%) in Abhängigkeit der Ernten und Substrate	75

Abb. 4-16: Relativerträge (%) in Abhängigkeit der Substrate und Varianten 75

Abb.4-17: Jährlicher P-Entzug der Kulturen in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Substrate 77

Abb. 4-18: Jährlicher P-Entzug der Kulturen in Abhängigkeit der Jahre, Substrate und Varianten 77

Abb. 4-19: P-CAL-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Substrate 79

Abb. 4-20: P-CAL-Gehalt des Sandbodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Varianten 80

Abb. 4-21: P-CAL-Gehalt des Lößbodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Varianten 80

Abb. 4-22: Gesamt P-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Substrate 83

Abb. 4-23: Gesamt-Phosphat-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit der Varianten für drei Jahre 83

Abb. 4-24: P-Fraktionierung des Bodens in Abhängigkeit der Anlagen, Substrate und Jahre 86

Abb. 4-25: Fe/AL-P-Fraktion des Bodens in Abhängigkeit der Jahre, Substrate und Varianten 88

Abb. 4-26: Ca-P-Fraktion des Bodens in Abhängigkeit der Jahre und Varianten 88

Abb. 4-27: Org.-P-Fraktion des Sandbodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Varianten 90

Abb. 4-28: Org.-P-Fraktion des Lößbodens in Abhängigkeit der Anlagen, Jahre und Varianten 90

Abb. 5-1: Prozentuale Düngerausnutzung in Abhängigkeit der Varianten 98

Abb. 5-2: Relative P-Verfügbarkeit des Sandbodens in Abhängigkeit der Jahre und Varianten 110

Abb. 5-3: Relative P-Verfügbarkeit des Lößbodens in Abhängigkeit der Jahre und Varianten 111

Abb. 6-1: Kreislaufführung von Nähr- und Schadstoffen, schematische Darstellung 120

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Klärschlammmengen der Bundesrepublik Deutschland, sowie der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung	4
Tabelle 2-2:	Verbleib der Klärschlämme in Nordrhein-Westfalen (Daten des Kläranlagenkatasters für 1993)	5
Tabelle 2-3:	Ausgewählte EG-Richtlinien sowie nationale Umweltgesetze	8
Tabelle 2-4:	Klärschlammwerte der Klärschlammverordnung und der - EG-Klärschlammrichtlinie	11
Tabelle 2-5:	Grenzwerte der organischen Schadstoffe der Klärschlammverordnung	11
Tabelle 2-6:	Bodenwerte der Klärschlammverordnung und der EG-Klärschlammrichtlinie	12
Tabelle 2-7:	Kenndaten von Klärschlämmen des Zeitraumes 1986 – 1990 (Spannbreite, die von den Bundesländern (alt) angegeben wurden)	15
Tabelle 2-8:	Bodenverbessernde und -schützende Wirkung der Rezyklierung von Siedlungsabfällen (Klärschlämmen und Komposte) in der Landwirtschaft	16
Tabelle 2-9:	Durchschnittliche Nährstoffgehalte in kg/5t Trockensubstanz verschieden aufbereiteter Klärschlämme	17
Tabelle 2-10:	Schwermetalle in der Umwelt	24
Tabelle 2-11:	Jährliche Zufuhr an Schwermetallen durch eine ordnungsgemäße NPK-Mineraldüngung, sowie vom Gesetzgeber festgelegte oder nach Richtwerten empfohlene Menge an Gülle, Kompost und Klärschlamm	24
Tabelle 2-12:	Transferkoeffizient Boden-Pflanze und kritische Konzentrationen von Schwermetallen im Pflanzenmaterial	26
Tabelle 2-13:	Organische Schadstoffe in Klärschlämmen	29
Tabelle 2-14:	Polychlorierte Biphenyl Gehalte verschiedener Böden	32
Tabelle 2-15:	Benz[a]pyren in Böden unterschiedlicher Herkunft, Relativzahlen	33
Tabelle 2-16:	Einstufung der bewerteten Stoffe, Stoffe der Gruppe I, Stoffe mit vorrangiger Relevanz	34
Tabelle 2-17	Beispiele unterschiedlicher Regelungen in Schleswig-Holstein und Sachsen	35
Tabelle 3-1:	Ergebnisse der Klärschlammuntersuchungen nach Klärschlammverordnung	41
Tabelle 3-2:	Übersicht der Varianten beider Anlagen	42
Tabelle 3-3:	Fraktionierung der Klärschlämme [mg P/100 g Boden] und pH-Wert	43

Tabelle 3-4: Allgemeine bodenchemische und -physikalische Eigenschaften des Standortes Versuchsgut Welver-Merklingsen 46

Tabelle 3-5: Witterungsverlauf im Kreis Soest und Kreis Steinfurt 46

Tabelle 3-6: Allgemeine Bodenkenndaten 47

Tabelle 3-7: Phosphatgehalte der Substrate 48

Tabelle 3-8: P-Fraktionierung der Substrate 49

Tabelle 3-9: Versuchsanlagen 49

Tabelle 3-10: Einwaage Klärschlamm bzw. mineralischer Dünger beider Anlagen 50

Tabelle 3-11: Aussaattermine und -stärken der Kulturen beider Versuchsanlagen 51

Tabelle 3-12: Düngergaben (Angaben in g pro Gefäß) 52

Tabelle 3-13: Pflanzenschutzmaßnahmen in beiden Versuchsanlagen 52

Tabelle 3-14: Wetterdaten für 1995-1998 (Ermittelt auf dem Versuchsgut Merklingsen) 54

Tabelle 4-1: Erträge (%) in Abhängigkeit der Ernten, Substrate und Varianten 73

Tabelle 5-1: Erträge (%) in Abhängigkeit der Varianten (2. Spalte) und der Substrate und Varianten (3. und 4. Spalte) 92

Tabelle 5-2: P-Entzüge (%) in Abhängigkeit der Ernten, Substrate und Varianten 96

Tabelle 5-3: P-Bilanz [mg P/100 g Boden] sowie Effizienz [%] von Phosphat in Abhängigkeit der Substrate und Varianten 101

Tabelle 5-4: P-Bilanz [mg P/100 g Boden] in Abhängigkeit der Substrate und Varianten 109

Tabelle 6-1: Vergleich der Vorsorgewerte für Metalle in Böden, durchschnittliche Schwermetallgehalte von Bioabfällen und Klärschlämmen, Grenzwerte für Metalle im Klärschlamm und Boden und Schwermetallgehalte der eingesetzten Klärschlämme aus dem Kreis Soest. 118

Tabelle 7-1: Versuchsserien zur Überprüfung der P-Wirkung in Klärschlämmen 123