

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Endbericht

Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Materialien

Entwurf eines regionalen Bewirtschaftungskonzeptes

Projekt RUNBA

Erstellt von Christoph Lampert

Paul H. Brunner

(Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien)

Werner Diebold

(Büro Dr. Lengyel ZT GMBH)

im Auftrag des

Amtes der Steiermärkischen Landesregierung

Fachabteilung 1c - Abfallwirtschaft

Wien, Juni 2000



Impressum:

Projektleitung:

Christoph Lampert

Mitarbeiter:

Werner Diebold

Paul H. Brunner

Für den Inhalt verantwortlich:

Paul H. Brunner

Medieninhaber und Herausgeber:

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Fachabteilung 1c - Abfallwirtschaft

8010 Graz, Bürgergasse 5a

Hofrat Dipl.- Ing. Gerhard Jägerhuber

Layout: Eckmayr und Partner & Inge Hengl

Satz:

Druck:

Kurzfassung

Ziel des Projektes ist es, ein Bewirtschaftungskonzept für die in den Haushaltungen, der Industrie und der Landwirtschaft in der Region „Raabtal“ anfallenden biogenen Nährstoffe zu entwickeln.

Die in den Abfällen und Wirtschaftsdüngern enthaltenen Nährstoffe sollen genutzt werden, ohne dabei Schadstoffe langfristig in den Böden anzureichern. Als Nährstoffe wurden Stickstoff und Phosphor, als Schadstoffe die Schwermetalle Zink, Kupfer, Blei und Cadmium ausgewählt.

Rund zwei Drittel der im Raabtal zu verwertenden Mengen an Stickstoff und Phosphor sind in den Wirtschaftsdüngern enthalten. 10 bis 20 % der Nährstoffe stammen aus industriellen Abwässern und Abfällen. Abfälle und Abwässer aus Haushaltungen machen nur einen geringen Teil der Gesamtmenge aus (zwischen 1 und 8 %).

Schweinegülle und atmosphärische Deposition sind die wichtigsten Einträge von Metallen in die Böden. Mehr als ein Drittel des gesamten Zinkeintrags und fast 50 % des Kupfers stammt aus Schweinegülle. Mehr als 80 % des Bleieintrages und 60 % des Cadmiums in die Böden stammt aus der Deposition. Alle untersuchten Schwermetalle werden im Boden angereichert. Auf Acker und Grünland reichert sich Zink langfristig am stärksten an.

Um Komposte, Klärschlämme und die verschiedenen Wirtschaftsdünger miteinander vergleichen zu können wurde eine neue Bewertungsmethode entwickelt - der Nährstoffnutzungsgrad. Der Nährstoffnutzungsgrad der einzelnen Güter wurde als Basis für die erstellten Nutzungskonzepte verwendet.

Die Nutzungskonzepte zeigen an, dass, um die Anreicherung mit Schwermetallen zu reduzieren, die Aufwandmengen je Flächeneinheit insbesondere von Wirtschaftsdüngern und „belasteten“ Komposten gegenüber den heute üblichen Mengen verringert werden müssen. Dies kann vor allem durch eine gleichmäßigere Verteilung der genannten Güter erreicht werden. Allenfalls ist auch ein regionales Dünger-Management aufzubauen.

Für Kompost und Klärschlamm wurden folgende Schlüsse gezogen: „Saubere“ Komposte sind aus Sicht der Nährstoffnutzung konkurrenzfähig. Je längerfristig jedoch der Betrachtungszeitraum ist, desto geringer müssen die Schadstoffkonzentrationen, insbesondere die Bleikonzentration im Kompost sein. Wenn bei der Einzelkompostierung die Komposte gleichmäßig auf die

gesamten vorhandenen Gartenflächen ausgebracht werden, dann kann eine ausgeglichene P-Bilanz erreicht werden. Bei Klärschlämmen begrenzt langfristig vor allem die *Zinkfracht* die Ausbringungsmengen. Klärschlämme sollten nur auf Ackerflächen ausgebracht werden. Dabei steht im Raabtal genügend Ausbringungsfläche zur Verfügung.

Die ausbringbaren Mengen an Kompost, Klärschlamm und Wirtschaftsdüngern werden auch durch gesetzliche Vorgaben, Normen und Empfehlungen begrenzt. Diese Regelungen sind teilweise zu präzisieren (Bsp. Begrenzung der Aufbringungsmengen, Bestandesobergrenzen) bzw. weitergehend zu harmonisieren. Zum Teil sollten sie auch geändert werden (Senkung von Schwermetallgrenzwerten, Miteinbeziehen des P-Gehaltes, Überarbeitung der Bodenschutzgrenzwerte, etc.).

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	14
2	Ziel des Projektes	15
2.1	Fragestellungen	15
2.2	Vorgehen.....	16
2.3	Erwartete Ergebnisse.....	18
3	IST-Situation im Raabtal	19
3.1	Die Region „Raabtal“	19
3.2	Systemdefinition	20
3.2.1	Auswahl der zu betrachtenden Güter und Prozesse	20
3.2.2	Auswahl der Stoffe.....	25
3.3	Quellen und Nährstoffmengen	29
3.4	Verfahren zur Behandlung biogener Materialien.....	30
3.5	Verwertungsschienen der Verfahrensendprodukte	33
3.6	Zusammenstellung der Nährstoffflüsse.....	35
3.6.1	Stickstoffflüsse durch biogenen Materialien.....	35
3.6.2	Phosphorflüsse durch biogene Materialien	36
4	Bewertungsmethode	37
4.1	Umweltverträglichkeit.....	38
4.1.1	Stoffkonzentrationen.....	38
4.1.2	Schadstoff-Nährstoff-Verhältnisse.....	38
4.1.3	Anthropogene Zusatzfracht.....	39
4.1.4	Berechnung der Schwermetallakkumulation - Schichtenmodell	43
4.2	Ressourcennutzung	54
4.2.1	Bestimmung der regional anfallenden Nährstoffmengen.....	55
4.2.2	Limitierungen der flächenspezifisch aufbringbaren Gütermengen	56
4.2.3	Regional zur Verfügung stehende Verwertungsfläche.....	63
4.2.4	Berücksichtigung der regionalen Produktion.....	69

4.3	Kriterium zur Beurteilung der verschiedenen Verfahren - Nährstoffnutzungsgrad (NNG)	75
4.3.1	Schritte zur Berechnung des Nährstoffnutzungsgrades	77
4.3.2	Zusammenfassung der Beurteilungsmethodik	78
5	Bewertung des IST-Zustandes	79
5.1	Stoffkonzentrationen	80
5.2	Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis	83
5.3	Spezifische Anthropogene Zusatzfracht	85
5.4	Schichtenmodell	88
5.4.1	Darstellung der Modell-Eingangsparameter	88
5.4.2	Vergleich der einzelnen Güter	101
5.4.3	Schwermetallbilanz der Region Raabtal	116
5.4.4	IST-Zustand - Abfallwirtschaftsgesetz	125
5.5	Ressourcennutzung	126
5.5.1	Limitierungen der flächenspezifischen Nährstoff- und TS-Mengen	126
5.5.2	Berechnung der Nährstoffmenge in den biogenen Ausgangsmaterialien	131
5.5.3	Bestimmung der regional zu verwertenden Gütermengen	132
5.5.4	Regional zur Verfügung stehende Verwertungsfläche	135
5.5.5	Bestimmung der verfahrensbedingten Nährstoffverluste	136
5.5.6	Nährstoffnutzungsgrade der Güter	136
5.5.7	Einzelkompostierung	152
6	Regionales Nutzungskonzept	162
6.1	Allgemeine Grundsätze	163
6.2	Berechnung mittels Transportproblem	165
6.2.1	Auswahl der Varianten +50 % in 100 bzw. 500 Jahren	167
6.2.2	Realistische Variante - Rahmenbedingungen	168
6.2.3	Maximalvariante	173
6.3	Ergebnisse aus den Konzeptvarianten	179

6.3.1	Variante +50 % in 500 Jahren - realistische Variante.....	179
6.3.2	Sonstige Konzeptergebnisse	181
6.3.3	Abdeckung der fehlenden Nährstoffmenge	183
6.3.4	Fazit Konzepte	185
7	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf	186
7.1	Forschungsbedarf.....	192
8	Zusammenfassung	193
8.1	Ziel des Projektes	193
8.2	Anfallende Nährstoffmengen in biogenen Materialien.....	193
8.3	Bewertung der biogenen Materialien.....	197
8.3.1	Stoffkonzentrationen.....	198
8.3.2	Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis	199
8.3.3	anthropogene Zusatzfracht.....	199
8.3.4	Schichtenmodell.....	200
8.3.5	Einzelkompostierung	205
8.3.6	Nährstoffnutzungsgrad (NNG).....	206
8.3.7	Nutzungskonzepte.....	210
8.3.8	Güterbezogene Ergebnisse	212
8.3.9	Schlussfolgerungen	215
9	Literaturverzeichnis	217

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Steiermärkisches Einzugsgebiet der Raab.....	20
Abbildung 3-2: System „Behandlung biogener Materialien im Raabtal“	25
Abbildung 3-3: Vergleich der Einwohnerwerte des IST-Zustandes mit der Konsens –Abwassermenge im Raabtal	32
Abbildung 3-4: Stickstoffflüsse biogener Güter in der Region ‘Raabtal’ in t N/a.....	36
Abbildung 3-5: Phosphorflüsse biogener Güter in der Region ‘Raabtal’ in t P/a.....	37
Abbildung 4-1: Schema der anthropogenen Zusatzfracht.....	41
Abbildung 4-2: Lagerveränderung im Boden bezogen auf das Ausgangslager bei gleicher Metallfracht (4 kg Zn/ha.a) jedoch unterschiedlicher Stoffkonzentrationen und aufgebrauchten Trockensubstanzmengen.....	44
Abbildung 5-1: Von-, Bis- und Mittelwerte der Kupferkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur	90
Abbildung 5-2: Von-, Bis- und Mittelwerte der Zinkkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur	91
Abbildung 5-3: Von-, Bis- und Mittelwerte der Bleikonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur	92
Abbildung 5-4: Von-, Bis- und Mittelwerte der Cadmiumkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur.....	92
Abbildung 5-5: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 10 % in 100 Jahren	108
Abbildung 5-6: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 50 % in 100 Jahren	109
Abbildung 5-7: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 100 % in 100 Jahren	111
Abbildung 5-8: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 10 % in 500 Jahren	112
Abbildung 5-9: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 50 % in 500 Jahren	113
Abbildung 5-10: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 100 % in 500 Jahren ..	115
Abbildung 5-11: Relative Anteile der Güter an der Schwermetall-Gesamtfracht in %	119
Abbildung 5-12: Konzentrationsveränderung von Ackerstandorten (0-30cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-30 cm) in %	120
Abbildung 5-13: Konzentrationsveränderung von Ackerstandorten (0-30cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (50-70 cm) in %	120
Abbildung 5-14: Lagerveränderung von Grünlandstandorten (0-10 cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm) in %	121
Abbildung 5-15: Lagerveränderung von Grünlandstandorten (0-10cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %	122
Abbildung 5-16: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10 cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm in %	123

Abbildung 5-17: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %	124
Abbildung 5-18: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm) bzw. auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %	124
Abbildung 5-19: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 100 Jahren.....	137
Abbildung 5-20: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 100 Jahren.....	138
Abbildung 5-21: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 100 Jahren.....	139
Abbildung 5-22: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 100 Jahren.....	140
Abbildung 5-23: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 100 Jahren.....	141
Abbildung 5-24: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 100 Jahren.....	142
Abbildung 5-25: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 500 Jahren.....	143
Abbildung 5-26: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 500 Jahren.....	144
Abbildung 5-27: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 500 Jahren.....	145
Abbildung 5-28: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 500 Jahren.....	145
Abbildung 5-29: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 500 Jahren.....	146
Abbildung 5-30: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 500 Jahren.....	147
Abbildung 5-31: Maximale Aufbringungsmengen der Güter auf Acker in den betrachteten Varianten in t TS/ha.a	149
Abbildung 5-32: Maximale Aufbringungsmengen der Güter auf Grünland in den betrachteten Varianten in t TS/ha.a.....	149
Abbildung 5-33: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 1 bezogen auf das Ausgangslager	156
Abbildung 5-34: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 2 bezogen auf das Ausgangslager	157
Abbildung 5-35: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 3 bezogen auf das Ausgangslager	157
Abbildung 5-36: Abnahme der Pb-Fracht je ha in Abhängigkeit von der Aufbringungsfläche (1 = 22 m ² /E, 2 - 6: Vielfache von 1)	159
Abbildung 6-1: Maximale Aufbringungsmengen auf Acker in t/ha.a - Var. +50 % in 100 Jahren.....	165
Abbildung 6-2: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter des IST- Zustandes und der „realistischen Variante“ auf Acker.....	171
Abbildung 6-3: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter des IST- Zustandes und der „realistischen Variante“ auf Grünland	172
Abbildung 6-4: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter für den IST- Zustand und für die „Maximalvariante“ auf Acker	177

Abbildung 6-5: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter für den IST-Zustand und für die „Maximalvariante“ auf Grünland	178
Abbildung 8-1: Regional anfallende Düngermengen in t TS (100 % = 78.600 t) ...	194
Abbildung 8-2: Nährstoffmengen in den erzeugten Endprodukten in t/a	195
Abbildung 8-3: Relative Anteile ausgewählter Produkte an den Schwermetallfrachten im Raabtal	197
Abbildung 8-4: Relative Anteile der Güter am gesamten Schwermetalleintrag	204

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Flächenaufteilung Raabtal (Quelle: ÖSTAT).....	19
Tabelle 3-2: Nährstoffmengen der biogenen Ausgangsgüter in t	29
Tabelle 4-1: Vergleich der Belastung von Gütern anhand von Stoffkonzentration und Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis	40
Tabelle 4-2: Vergleich der Belastung von ausgewählten Gütern anhand von Stoffkonzentrationen und der Anthropogenen Zusatzfracht am Beispiel Zink	42
Tabelle 4-3: Schwermetallgrenzwerte für Klärschlämme nach der Klärschlammverordnung.....	57
Tabelle 4-4: Jährlich zulässige Schadstoff-Frachten laut Klärschlammverordnung.....	57
Tabelle 4-5: Schwermetallgrenzwerte in Komposten nach ÖNORM S2200 und EU-BioVo	59
Tabelle 4-6: Boden- und Kompostgrenzwerte in mg/kg TS, erlaubte maximale Kompostmengen in t TS/a sowie die daraus resultierenden Frachten nach ÖNORM S 2200 in g/ha.a.....	60
Tabelle 4-7: Grenzwerte für pflanzenverfügbare Schadstoffgehalte in landwirtschaftlichen Böden in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe entsprechend Klärschlammverordnung.....	66
Tabelle 5-1: Stoffkonzentrationen der betrachteten Güter in mg/kg TS (Schwermetalle) bzw. g/kg TS (N, P)	80
Tabelle 5-2: Minimum, Maximum und Mittelwerte aus dem Verhältnis der Gutkonzentrationen zur Bodenkonzentration	81
Tabelle 5-3: Verhältnis von Stoffkonzentrationen im Gut zur Stoffkonzentration im Ackerboden(20-50cm) (nach Größe geordnet).....	82
Tabelle 5-4: Schadstoff-Nährstoffverhältnisse der Güter	83

Tabelle 5-5: Verhältnis von Acker-Bodenlager zur Stofffracht je kg P dividiert durch 1000 (nach Größe geordnet).....	84
Tabelle 5-6: Spezifische anthropogene Zusatzfrachten der betrachteten Güter in g/kg P.....	85
Tabelle 5-7: Verhältnis von Acker-Bodenlager zur spezifischen anthropogenen Stofffracht dividiert durch 1000 (nach Größe geordnet).....	86
Tabelle 5-8: Bodengrenzwerte laut Bodenschutzprogrammverordnung in mg/kg....	89
Tabelle 5-9: Mittelwerte der Kupferkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS.....	89
Tabelle 5-10: Mittelwerte der Zinkkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS	90
Tabelle 5-11: Mittelwerte der Bleikonzentrationen in den Böden in mg/kg TS	91
Tabelle 5-12: Mittelwerte der Cadmiumkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS	92
Tabelle 5-13: Stoffkonzentrationen und Anfallsmengen von Wirtschaftsdüngern in mg/kg TS	93
Tabelle 5-14: Stoffkonzentrationen und Anfallsmengen von Klärschlämmen und Komposten in mg/kg TS.....	95
Tabelle 5-15: Flächenspezifische Stoffentzüge in g/ha.a	95
Tabelle 5-16: Kulturspezifische Transferfaktoren.....	96
Tabelle 5-17: Flächenspezifische Stoffausträge durch die Auswaschung.....	97
Tabelle 5-18: Erodierte Bodenmengen nach Bodennutzung	98
Tabelle 5-19: Gehalt an organischer Substanz in Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten in % der TS	98
Tabelle 5-20: Gehalt an löslicher anorganischer Substanz in Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten in %	100
Tabelle 5-21: Gegenüberstellung von Lager, Auswaschung, Entzug und Erosion .	101
Tabelle 5-22: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	107
Tabelle 5-23: Gutspezifische die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	108
Tabelle 5-24: Gutspezifische die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	110
Tabelle 5-25: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	111
Tabelle 5-26: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	113
Tabelle 5-27: Gutspezifische, die Aufbringungsmenge begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen	114

Tabelle 5-28: Vergleich der maximal ausbringbaren Mengen von Klärschlamm bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen.....	116
Tabelle 5-29: Schwermetall-Depositionsraten (Literaturwerte)	117
Tabelle 5-30: Aufbringungsmengen der Güter in t TS	118
Tabelle 5-31: Einstufung von Böden entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung [Danneberg et al., 1996]	129
Tabelle 5-32: Bodenzustandsinventur: P ₂ O ₅ -Gehalte in Böden im Raabtal	129
Tabelle 5-33: Begrenzungen der Aufbringungsmengen	131
Tabelle 5-34: Verfügbare Flächen zur Aufbringung von Wirtschaftsdüngern, Komposten und Klärschlamm.....	136
Tabelle 5-35: Verfahrensbedingte Nährstoffverluste.....	136
Tabelle 5-36: Aufbringungsmengen-beschränkende Kriterien der einzelnen Wirtschaftsdünger	151
Tabelle 5-37: Aufbringungsmengen-beschränkende Kriterien der einzelnen Klärschlämme und Komposte	152
Tabelle 5-38: Stoffkonzentrationen auf Einzelkompoststandorten verglichen mit den geltenden Bodengrenzwerten	158
Tabelle 6-1: Abdeckung des spezifischen P-Bedarfs durch die einzelnen Güter in der realistischen Variante in % (100 % Acker = 41,5 kg P/ha.a, 100 % Grünland = 69 kg P/ha.a).....	170
Tabelle 6-2: verwendete Stoffkonzentrationen von ANS und Klärschlamm.....	176
Tabelle 6-3: Schema der Datenstruktur.....	179
Tabelle 6-4: Ergebnis der Flächenzuteilung mittels Transportproblem.....	180
Tabelle 6-5: Optimierte Zuordnung von Gütern zu Bodennutzungsformen in ha bzw. t (realistische Variante +50 % in 500 Jahren)	180
Tabelle 6-6: Optimierte Zuordnung von Gütern zu Bodennutzungsformen in ha (Maximalvariante +50 % in 500 Jahren).....	182
Tabelle 8-1: Lagerveränderung bezogen auf das Ausgangslager von Acker (0-30 cm) und Grünland (0-10 cm)	204

Abkürzungsverzeichnis

ANS	Anthropogenic Nutrient Solution
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BGW	Bodengrenzwert
E	Einwohner
Ek	Einzelkompostierung, Einzelkompostierer
FS	Feuchtsubstanz
GVE	Großvieheinheit
Ks	Klärschlamm
MW	Mittelwert
NNG	Nährstoffnutzungsgrad
TS	Trockensubstanz
WGR	Wasserrechtsgesetz

1 Einführung

Im Steiermärkischen Abfallwirtschaftsgesetz und dem Leitbild des Steiermärkischen Abfallwirtschaftskonzeptes [STAWIKO, 1995] ist der Vorrang der Abfallvermeidung vor der Abfallverwertung und der Abfallentsorgung festgelegt. Können Abfälle nicht vermieden werden, so sollen diese „in natürliche oder künstliche Kreisläufe zurückgeführt werden“. Nach dem STAWIKO „sind jene Verwertungs- und Behandlungsmethoden auszuwählen, die die geringste Umweltbelastung ergeben und langfristig gesichert durchgeführt werden können.“ „Die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung sind nur dann vertretbar, wenn für die zurückgewonnenen Stoffe ein Markt vorhanden ist.“

Das Steiermärkische Klärschlammverwertungs- und -entsorgungskonzept (Grundsatzkonzept) legt als Zielvorgabe fest, dass geringfügig belastete Klärschlämme in den natürlichen Stoffkreislauf rückgeführt werden sollen.

Die Rückführung biogener Abfälle in Kreisläufe erscheint sinnvoll, um die darin enthaltenen Nährstoffe weiter zu nutzen (Ressourcenschonung, zweites Ziel des AWG's). Die Berücksichtigung der enthaltenen Schwermetalle in den Endprodukten trägt dem ersten Ziel des AWG's [BGBl. Nr. 1994/155] „Schutz des Menschen und der Umwelt“ Rechnung.

Aus genanntem ergibt sich, dass Nährstoffe (i) in natürliche oder künstliche Stoffkreisläufe rückgeführt werden sollen, (ii) die angewandten Verfahren keine Gefährdung nachfolgender Generationen und nur geringe Umweltbelastungen bewirken dürfen sowie langfristig gesichert sein müssen und (iii) ein Markt für die zurückgewonnenen Nährstoffe vorhanden sein muss.

ad (ii) Einerseits bedingt die Behandlung der Abfälle je nach Verfahren unterschiedliche Emissionen in die Umwelt, andererseits können durch das entstehende Endprodukt mittel- bis langfristig Umweltbelastungen verursacht werden. Durch die erzeugten Endprodukte (Kompost aus Biomüll, Klärschlamm, Wirtschaftsdünger, etc.) werden neben den gewünschten Nährstoffen auch Schwermetalle in die landwirtschaftlich genutzten Böden bzw. in Privatgärten eingetragen und können dort angereichert werden. Sowohl die bestehenden Regelungen über die Ausbringung von Kompost (aber auch der derzeitige Entwurf der Kompostverordnung) als auch der meisten Regelungen über die Klärschlammasbringung können mittel- bis langfristig zu Schwermetallanreicherungen in den Böden führen.

ad (iii): Dieser Punkt hat den **größten regionalen Aspekt**, denn sowohl die regional vorhandenen Verwertungsmöglichkeiten in künstlichen Kreisläufen als auch die Qualitäten der erzeugten Endprodukte sind regionsspezifisch. Ebenso limitieren die regional tatsächlich zur Verfügung stehenden Flächen (= Markt) die Wiedereingliederung der Nährstoffe und der damit verbundenen Schadstoffe in den natürlichen Kreislauf.

2 Ziel des Projektes

Ziel des Projektes „Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Materialien - Entwurf eines regionalen Bewirtschaftungskonzeptes“ ist die **Entwicklung eines** aus Sicht der Ressourcenschonung und der Umweltverträglichkeit optimierten **regionalen Bewirtschaftungskonzeptes** für biogene Abfälle und Abwasserschlämme aus dem Siedlungsbereich einschließlich Industrie, Gewerbe und teilweise der Landwirtschaft. In stark forstwirtschaftlich genutzten Gebieten bzw. in Gebieten in denen Hackschnitzelheizungen größere Verbreitung finden werden auch biogene Materialien aus der Forstwirtschaft betrachtet.

Gegenstand der Untersuchung ist das Steiermärkische Raabtal.

2.1 Fragestellungen

Die Arbeit gliedert sich in einen methodischen Teil, der von der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft [AWS], erstellt wird, sowie einen regionsspezifischen Teil, der von einem lokalen Zivilingenieur-Büro [ZI] erarbeitet wird. Das ZI-Büro ist dabei Auftragnehmer der TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft.

Um genanntes Ziel, die Erstellung eines regionalen Bewirtschaftungskonzeptes, erreichen zu können sind vorab folgende Fragen zu beantworten:

1. Welche Art und Mengen an biogenen Abfällen fallen in der Region an?
2. Wie sind diese zusammengesetzt (Nährstoffe, Schadstoffe)?
3. Welche Verfahren stehen in der Region für die Behandlung zur Verfügung?
4. Welche Nähr- und Schadstoffflüsse sind mit den Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle verbunden?

5. Welche Nähr- und Schadstoffflüsse sind mit den entstehenden Verfahrens-Endprodukten verbunden?
6. Wie definiert sich „Region“? Reicht eine Abgrenzung anhand politischer Grenzen?
7. Welche Flächen sind von einer allfälligen Aufbringung diverser Verfahrens-Endprodukte durch gesetzliche Regelungen oder privatrechtliche Vereinbarungen ausgenommen?
8. Welche Flächen stehen in der Region zur Verwertung der Endprodukte von Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle tatsächlich zur Verfügung?
9. Mit welchen Methoden können die Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle hinsichtlich Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit bewertet werden?
10. Welche regionsspezifischen Faktoren beeinflussen die Bewertung maßgeblich?
11. Wie sieht der IST-Zustand der Bewirtschaftung der biogenen Abfälle bezüglich Ressourcennutzung (N, P) und Umweltbelastung (ausgewählte Schwermetalle) in der Region aus? Erfüllt der IST-Zustand der Bewirtschaftung die abfallwirtschaftlichen Ziele? Wo ist Handlungsbedarf?
12. Mit welchen alternativen Bewirtschaftungskonzepten können die Ziele besser angenähert werden (mind. 2 Szenarien: 1. „realistische Variante“, 2. „Maximalvariante“)?
13. Welche zusätzliche Nutzen respektive Schäden bringen die untersuchten Varianten im Vergleich zum IST-Zustand langfristig?]
14. Wie kann ein Konzept zur Umsetzung der realistischen Variante aussehen?

2.2 Vorgehen

Der Arbeit soll die Methode der Stoffflussanalyse [Baccini & Brunner, 1991] zugrunde gelegt werden.

Das Vorgehen kann in folgende Abschnitte gegliedert werden:

1. Auswahl der zu betrachtenden biogenen Materialien (feste und flüssige) und Auswahl der Nähr- und Schadstoffe
2. Beschreibung des IST-Zustandes der Entsorgung/Verwertung biogener Materialien
3. Auswahl einzelner angewandter und einiger zukunftssträchtiger Verfahren zur Nutzung von biogenen Materialien. Darstellung der Transferkoeffizienten und Emissionen in die Umwelt für die einzelnen untersuchten Verfahren

4. Entwicklung einer Bewertungsmethodik
5. Bewertung der Verfahren/Verfahrenskombinationen
6. Entwurf einer „Maximalvariante“ für eine nachhaltige regionale Bewirtschaftung biogener Materialien, sowie einer „realistischen Variante“, welche die heutigen regionalen Gegebenheiten bezüglich Vorinvestitionen, Marktmechanismen und Akzeptanz berücksichtigt
7. Bewertung und Vergleich von IST-Zustand mit den beiden neuen Varianten und Darstellung des zusätzlichen Nutzens der neuen Varianten.

Sollte die Erhebung der lokalen Daten aus zeitlichen oder finanziellen Gründen nicht durchführbar sein, so werden die Datenlücken durch Literaturwerte ergänzt.

Die Erhebung des IST-Zustandes der Flüsse an biogenen Materialien, der entsprechenden Behandlungsverfahren sowie die Verwertungsschienen der erzeugten Endprodukte wird durch ein Steirisches Zivilingenieurbüro ausgeführt. Die methodischen Teile, insbesondere die Bewertung der einzelnen Verfahren und Verfahrensendprodukte sowie die Erstellung eines optimierten Nährstoff-Nutzungskonzeptes werden durch die TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung für Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt erarbeitet.

Dabei wird folgende Nomenklatur verwendet: Ein *Stoff* ist definiert als Element oder chemische Verbindung wie etwa Phosphor, Eisen oder Zellulose. *Güter* sind definiert als handelbare Substanzen, die aus einem oder mehreren Stoffen bestehen (z.B. Handelsdünger, Autos, Waschmittel, etc.). Dabei kann ihr Handelswert auch negativ sein (z.B. Klärschlamm, Siedlungsabfälle). Ebenso zählen sogenannte „freie Güter“ dazu. Als *Prozess* werden die Transformation, die Lagerung oder der Transport von Gütern, bzw. den darin enthaltenen Stoffen, bezeichnet. Prozesse können auch in Unterprozesse unterteilt werden. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Verfahren“ synonym für den Begriff „Prozess“ verwendet

Stoff- und Güterflüsse werden als *Importe* bezeichnet, wenn sie von außerhalb der Systemgrenze ins System gelangen. Stoff- und Güterflüsse die das System verlassen, werden als *Exporte* bezeichnet.

Die Transporte von Gütern (Stoffen) zwischen Prozessen innerhalb des Systems werden *Flüsse* genannt. Dabei werden Flüsse in einen Prozess als *Input* und Flüsse

aus einem Prozess als *Output* bezeichnet. Der diesen Flüssen zugehörige Prozess ist dann entweder ein Zielprozess oder ein Herkunftsprozess.

2.3 Erwartete Ergebnisse

- Verfahren/Verfahrenskombinationen zur Behandlung und Verwertung biogener Abfälle, die zu den geringsten Nährstoffverlusten in die Umweltkompartimente Boden, Hydrosphäre und Atmosphäre führen.
- Verfahren/Verfahrenskombinationen zur Behandlung und Verwertung biogener Abfälle, die zu den umweltverträglichsten Schadstoffflüssen in die Umweltkompartimente Boden, Hydrosphäre und Atmosphäre führen.
- Methode zur Berechnung der Schwermetallanreicherung (-konzentration) im Boden für die einzelnen Endprodukte der untersuchten Verfahren zu einem beliebigen Zeitpunkt.
- Reihung der Behandlungs- und Verwertungsverfahren für biogene Abfälle nach der Geschwindigkeit der Schwermetallanreicherung in den landwirtschaftlich genutzten Böden.
- Konzept zur Behandlung und Verwertung biogener Abfälle und Abwässer die zu den geringsten Nährstoffverlusten in die Umweltkompartimente Boden, Hydrosphäre und Atmosphäre und zu den regional geringsten Schwermetallanreicherungen in den Böden führen (realistische Variante, Maximalvariante).

3 IST-Situation im Raabtal

In diesem Kapitel wird ein Überblick gegeben über:

- das untersuchte System, die Region „Raabtal“,
- die Auswahl der Güter, Prozesse und Stoffe
- die Nährstoffmengen in den anfallenden biogenen Materialien mit den jeweiligen Quellen
- deren derzeitige Behandlung sowie
- die Verwertungsschienen der anfallenden Verfahrensendprodukte.

Die detaillierten Ergebnisse werden vollumfänglich in der Teilstudie vom Büro Dr. Lengyel dargestellt [BDL, 1999a].

3.1 Die Region „Raabtal“

Das Untersuchungsgebiet umfasst das hydrografische Einzugsgebiet der Raab in der Steiermark vom Ursprung auf der Passailer Alm (ca. 1000 m ü NN, höchste Erhebung Osser 1548 m ü NN) bis zur Landesgrenze bei Hohenbrugg a. d. Raab (ca. 250 m ü NN)

Die Tallänge beträgt ca. 74 km, die Talbreite 12 - 16 km. Die Gesamtfläche beträgt rund 980 km².

Das Raabtal wird größtenteils nur undeutlich durch niedrige Hügelzüge abgegrenzt. Diese führt dazu, dass der Austausch mit den angrenzenden Tälern (Rittscheintal, Ilztal) sowie zum Grazer Becken sehr intensiv ist. Dies betrifft Verkehr und Wirtschaft ebenso wie die Abfallwirtschaft und findet sich auch in den erhobenen Stoffströmen wieder.

1997 betrug die Einwohnerzahl nach der Landesstatistik: 98.504, dies ergibt mit genannter Fläche eine Bevölkerungsdichte von 100,6 E/km².

Untersuchungszeitraum ist das Kalenderjahr 1997.

Tabelle 3-1: Flächenaufteilung Raabtal (Quelle: ÖSTAT)

Gesamt [ha]	Bau- fläche [ha]	landw. Nutzung [ha]	Gärten [ha]	Wein- gärten [ha]	Alpen [ha]	Wald [ha]	Gewässer [ha]	sonstige Fläche [ha]
97.945	1.172	48.829	2.538	220	1.577	39.723	723	3.192
100 %	1,2 %	49,9 %	2,6 %	0,2 %	1,6 %	40,6 %	0,7 %	3,3 %

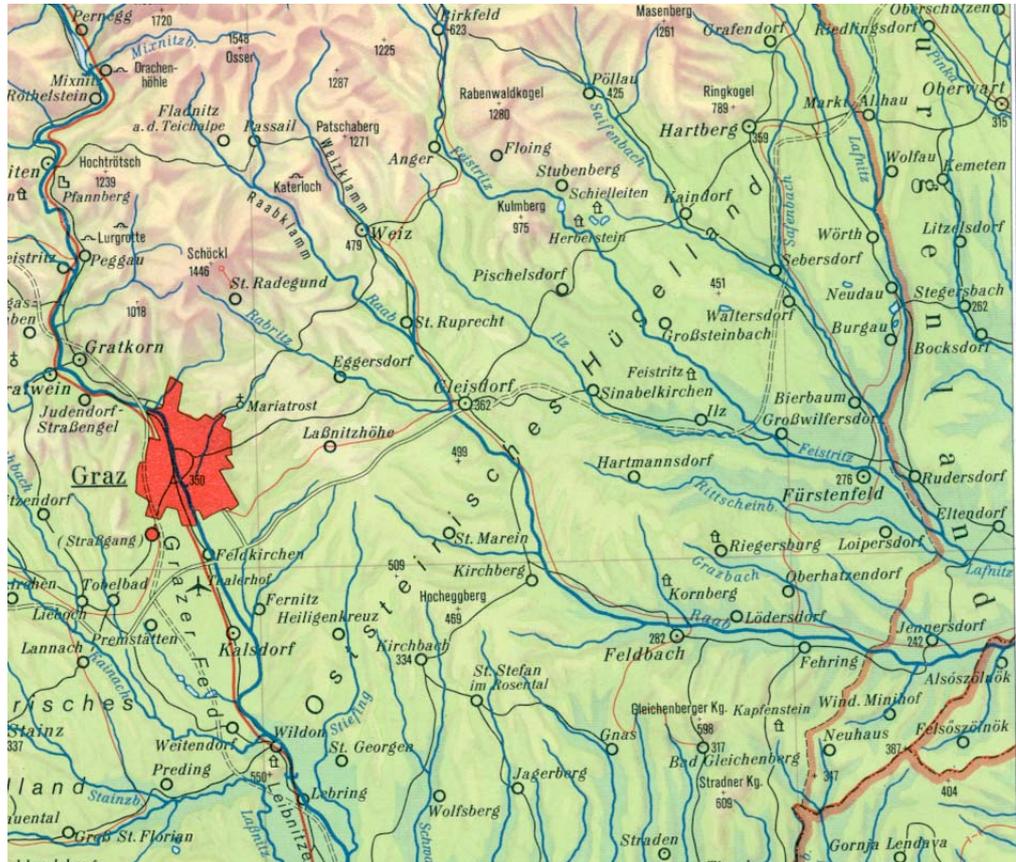


Abbildung 3-1: Steiermärkisches Einzugsgebiet der Raab

3.2 Systemdefinition

In diesem Kapitel werden die zu untersuchenden Güter und Prozesse sowie die zu untersuchenden Stoffe ausgewählt.

Im Einvernehmen mit dem Auftraggeber und dem Zivilingenieurbüro wurde der Terminus „biogene Abfälle“ durch „biogene Materialien“ ersetzt. Dies ist vor allem darin begründet, da der Terminus „biogene Abfälle“ einerseits zu stark besetzt ist und andererseits auch Materialien mit in die Untersuchung aufgenommen wurden, die keineswegs zu Abfällen gezählt werden können, wie etwa Erzeugnisse tierischer und pflanzlicher Art aus der Landwirtschaft. Diese Erweiterung der Güter ist notwendig, um methodisch den IST-Zustand der Nutzung der biogenen Materialien darzustellen, als auch ein Nutzungskonzept zu erstellen.

3.2.1 Auswahl der zu betrachtenden Güter und Prozesse

Es wurden folgende Prozesse mit den jeweiligen Input- und Outputgütern ausgewählt:

Landwirtschaft (LW)

mit den Input-Güterflüssen

- ⇒ Futtermittel (FM) von **Industrie, Gewerbe, Handel** (IGH)
- ⇒ Speiseabfälle (SP) von **Industrie, Gewerbe, Handel** (igh)
- ⇒ Speiseabfälle (SP) als **Import** von außerhalb des Untersuchungsgebietes)
- ⇒ Erntegüter (EG) vom **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

und den Output- Güterflüssen

- ⇐ tierische Produkte (TP) zu **Industrie, Gewerbe, Handel** (igh)
- ⇐ tierische Produkte (TP) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsgebiet
- ⇐ pflanzliche Produkte (TP) zu **Industrie, Gewerbe, Handel** (igh)
- ⇐ Wirtschaftsdünger (WD) zu **landwirtschaftlichem Boden** (lwb)
- ⇐ Wirtschaftsdünger (WD) zur **landwirtschaftlichen Kompostierung** (lwk)
- ⇐ NH₃-Abgasung bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsrahmen

Private Haushalte (HH)

mit dem Input - Güterfluss

- ⇒ Nahrungsmittel (NM) von **Industrie, Handel und Gewerbe**

und den Output- Güterflüssen

- ⇐ getrennt gesammelte biogene Abfälle (BA gs) zur **landwirtschaftlichen Kompostierung** (lwk)
- ⇐ getrennt gesammelte biogene Abfälle (BA gs) als **Export** (ex)
- ⇐ biogene Abfälle (BA gs) in die **Einzelkompostierung** (ek)
- ⇐ biogene Abfälle im Restmüll, die im Untersuchungsgebiet **deponiert** (dp) werden
- ⇐ biogene Abfälle im Restmüll, die als **Export** (ex) das Untersuchungsgebiet verlassen
- ⇐ kommunales Abwasser, (KA) das zu **kommunalen Kläranlagen** abgeleitet wird
- ⇐ kommunales Abwasser, (KA) das in **Senkgruben** eingeleitet wird

Industrie, Gewerbe Handel (IGH)

mit den Input - Güterflüssen

- ⇒ tierische Produkte (TP) als **Import** (im) von außerhalb des Untersuchungsgebietes
- ⇒ Futtermittel (FM) als **Import** (im) von außerhalb des Untersuchungsgebietes
- ⇒ tierische Produkte (TP) von der **Landwirtschaft** (lw)
- ⇒ pflanzliche Produkte von der **Landwirtschaft** (lw)

und den Output - Güterflüssen

- ⇐ betriebliches Abwasser (AW bt) in **kommunale Kläranlagen** (kara)
- ⇐ betriebliches Abwasser (AW bt) in **betriebliche Kläranlagen** (bara)
- ⇐ biogene Abfälle (BA) zur **landwirtschaftlichen Kompostierung** (lwk)
- ⇐ biogene Abfälle als **Export** (ex) außerhalb des Untersuchungsgebietes
- ⇐ biogene Abfälle im Restmüll (BA rm) zu einer **Deponie** (DP) im Untersuchungsgebiet
- ⇐ Futtermittel (FM) zur **Landwirtschaft** (lw)
- ⇐ Nahrungsmittel (NM) in **private Haushalte** (hh)
- ⇐ pflanzliche Produkte (PP) als **Export** (ex) außerhalb des Untersuchungsgebietes
- ⇐ Speiseabfälle (BA) als **Export** außerhalb des Untersuchungsgebietes
- ⇐ Speiseabfälle (SP) zur **Landwirtschaft** (lw)
- ⇐ tierische Produkte (TP) als **Export** (ex) außerhalb des Untersuchungsgebietes

landwirtschaftliche Kompostierung (LWK)

mit Input - Güterflüssen von

- ⇒ Wirtschaftsdüngern (WD) aus der **Landwirtschaft** (lw)
- ⇒ biogenen Abfällen (BA gs) aus **Industrie, Handel und Gewerbe** (igh)
- ⇒ biogenen Abfällen (BA gs) aus privaten **Haushalten** (hh)
- ⇒ biogenen Abfälle (BA gs) aus **sonstigen Quellen** (sq)

und den Output – Güterflüssen

- ⇐ Kompost (KP) auf den **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)
- ⇐ Sickerwasser (SW) auf den **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

⇨ NH₃-Ausgasung während der Kompostierung als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsrahmen hinaus

Einzelkompostierung (EK)

mit den Input – Güterfluss

⇨ biogene Abfälle (BA gs) aus **privaten Haushalten** (hh)

und Output- Güterflüssen

⇨ Einzelkompost (KP) auf **nicht-landwirtschaftlichen Boden** (nlwb)

⇨ Sickerwasser (SW) auf **nicht-landwirtschaftlichen Boden** (nlwb)

⇨ NH₃-Ausgasung (N gas) als **Export** (ex)

kommunale Kläranlagen (KARA)

mit den Input – Güterflüssen

⇨ häusliches Abwasser (AW hh) aus **privaten Haushalten** (hh)

⇨ betriebliches Abwasser (AW bt) aus **Industrie, Gewerbe, Handel**

⇨ Senkgrubeneinhalte (SI) aus **Senkgruben** (sg)

und den Output – Güterflüssen

⇨ Ablauf in Vorfluter (VF) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsrahmen hinaus

⇨ Klärschlamm (KS) auf **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

⇨ Klärschlamm (KS) auf **nicht-landwirtschaftlichen Boden** (nlwb)

⇨ Klärschlamm (KS) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsgebiet hinaus

⇨ gasförmige N-Verluste (Ngas) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsrahmen hinaus

betriebliche Kläranlagen (BARA)

mit dem Input – Güterfluss

⇨ betriebliches Abwasser (AW bt) aus **Industrie, Handel und Gewerbe** (igh)

und den Output – Güterflüssen

⇨ Ablauf in den Vorfluter (VF) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsrahmen hinaus

⇨ Klärschlamm (KS) auf **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

⇨ Klärschlamm (KS) als **Export** (ex) aus dem Untersuchungsgebiet

⇨ gasförmige N-Verluste (N_{gas}) als **Export** aus dem Untersuchungsrahmen hinaus (ex)

betrieblich-landwirtschaftliche Vergärung (VG)

mit dem Input – Güterfluss

⇨ Wirtschaftsdünger (WD) aus der Landwirtschaft (lw)

und dem Output – Güterstrom

⇨ Gärgut (GG) auf **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

Deponie (DP)

mit den Input – Güterflüssen

⇨ biogene Abfälle im Restmüll (BA_{rm}) aus **privaten Haushalten** (hh)

⇨ biogene Abfälle im Restmüll (BA_{rm}) aus **Industrie, Gewerbe, Handel** (igh)

Senkgruben (SG)

mit dem Input – Güterfluss

⇨ häusliches Abwasser (AW_{hh}) von privaten Haushalten (hh)

und den Output – Güterflüssen

⇨ Senkgrubeneinhalt (SI) zu **kommunalen Kläranlagen** (kara)

⇨ Sickerwasseraustritt (SW) in **nichtlandwirtschaftlichen Boden** (nlwb)

⇨ Senkgrubeneinhalt, (SI) aufgebracht auf **landwirtschaftlichen Boden** (lwb)

Es gibt keine kommunale Kompostierung in der Region.

Die Systemdefinition ist klassisch abfallwirtschaftlich, d. h. es werden nur jene Güter betrachtet, deren Erfassung, Behandlung oder Verwertung aus abfallwirtschaftlicher Sicht geboten ist. (Abfall nach AWG §2: ...bewegliche Sachen; 1. deren sich der Eigentümer entledigen will oder entledigt hat, oder 2. deren Erfassung und Behandlung im öffentlichen Interesse geboten ist. [BGBl. Nr. 1994/155])

Die Prozesse¹ Landwirtschaft, Landwirtschaftlicher Boden, Private Haushalte, Industrie/Gewerbe/Handel, Sonstige Quellen werden nicht bilanziert, da für eine Bilanz zusätzliche Stoffflüsse zu betrachten sind, die nicht Gegenstand des vorliegenden

Projektes sind. Streng methodisch genommen liegen diese genannten fünf Prozesse außerhalb der Systemgrenze. Zur Ableitung des Nutzungskonzeptes ist es jedoch erforderlich, alle Flüsse biogenen Materials zu berücksichtigen, auch wenn diese noch nicht Abfall sind.

Folgendes System ergibt sich somit für die Region „Raabtal“:

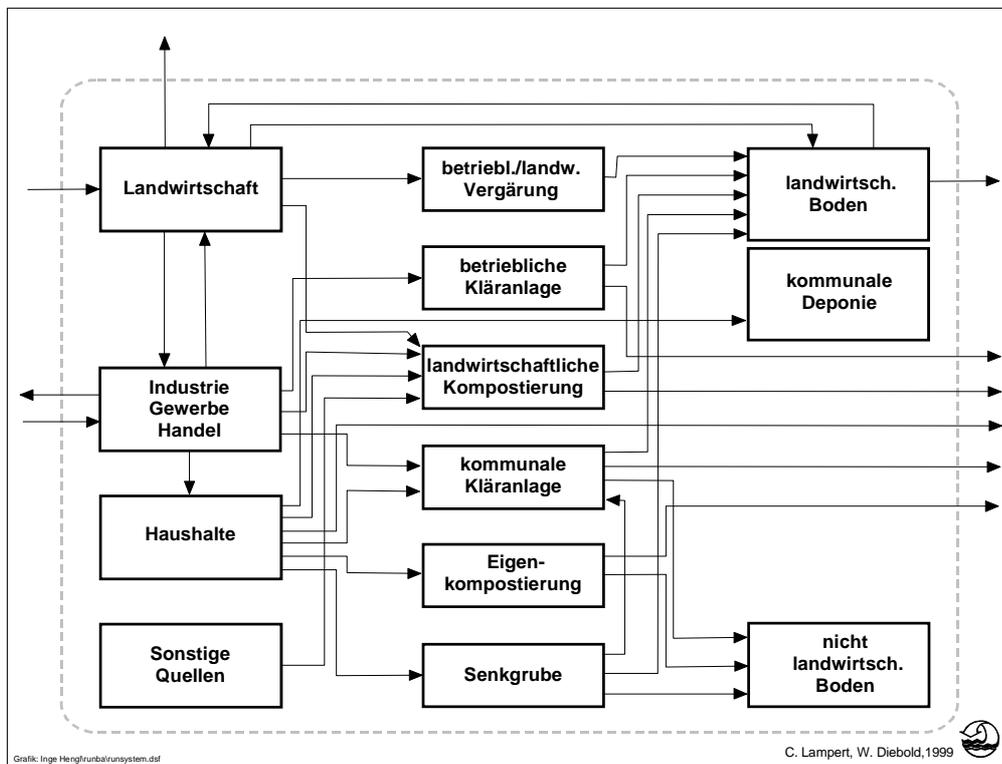


Abbildung 3-2: System „Behandlung biogener Materialien im Raabtal“

3.2.2 Auswahl der Stoffe

Die Stoffauswahl richtet sich nach zwei Kriterien:

- Essentielle Nährstoffe, die entweder aufgrund ihrer begrenzten Rohstoffvorkommen zu bewirtschaften sind und/oder zu Umweltbeeinträchtigungen führen können.
- Schwermetalle in hohen Konzentrationen in den Endprodukten der Verfahren zur Behandlung biogener Materialien können den Einsatz der Endprodukte begrenzen bzw. verunmöglichen.

¹ Unter einem Prozess wird der Transport, die Lagerung oder die Transformation von Gütern verstanden.

Folgende Stoffe wurden ausgewählt:

Nährstoffe: Phosphor, Stickstoff

Schwermetalle: Zink, Kupfer, Blei, Cadmium

Nährstoffe

Phosphor: Phosphor ist ein essentieller Nährstoff für Pflanze, Tiere und Mensch. P wird in Form von Phosphaten (von den Pflanzen) oder in Form organischer Verbindungen aufgenommen. Phosphatgesteine, insbesondere Cd-arme, sind eine begrenzt vorhandene Ressource [Sauerbeck & Rietz, 1980].

Neben dem Aspekt der Ressourcenbewirtschaftung ist P auch aus Sicht des Umweltschutzes von Interesse: (i) hohe P-Emissionen in Fließgewässer können zu Eutrophierungserscheinungen führen (Eutrophierung = Anreicherung von Nährstoffen); (ii) eine starke Anreicherung von P in Böden kann zu Ertragseinbußen in der Landwirtschaft führen da eine hohe P-Anreicherung in manchen Böden eine Verminderung der Aufnahme von Mikronährstoffen, wie Mangan, Eisen, Zink und Kupfer, verursachen kann. Des Weiteren ist zu beachten, dass durch den Einsatz von bestimmten mineralischen Phosphatdüngern größere Mengen an Cadmium in die Böden eingetragen werden kann. Hohe Phosphorkonzentrationen hemmen Mykorrhizapilze. Mykorrhiza („Pilzwurzel“) ist eine spezifische Ausbildung von Wurzeln, die in Symbiose mit Bodenpilzen leben. Die Pilzhypen vergrößern die Wurzeloberfläche rund 100 mal stärker als die Wurzelhaare [Gisi 1990], da der Hyphendurchmesser 10 mal kleiner als jener von der Wurzelhaare ist. Dadurch wird die Aufnahme essentieller Nährstoffe, vor allem von Phosphor aber auch Stickstoff und Kalium, sowie die Wasseraufnahme stark verbessert. Allerdings gibt es beachtliche Artenunterschiede zwischen den einzelnen Mykorrhizen hinsichtlich ihrer P-Empfindlichkeit [Blume 1990] Die gewichtigste ökologisch negative Auswirkung von überdüngten Böden ist eine indirekte: Durch die Erosion landwirtschaftlich genutzter Böden mit dem damit verbundenen Eintrag von diversen Nährstoffen wird das Nährstoffregime der Gewässerökosysteme verändert, wodurch in langsam fließenden oder stehenden Gewässern Eutrophierungserscheinungen (Algenblüten und in Folge Sauerstoffarmut im Gewässer) hervorgerufen werden können.

Stickstoff: Stickstoff ist für alle Lebewesen essentiell (etwa für die Synthese von Proteinen und Nukleinsäuren). Lebewesen können, mit Ausnahme einiger Bakterienarten, nur reaktive Stickstoffverbindungen, nicht jedoch elementaren N (N₂) aufnehmen.

Es wird davon ausgegangen, dass N₂ eine sehr große (rund 78 Vol. % der Atmosphäre bestehen aus N₂) „Rohstoffquelle“ und damit praktisch nicht erschöpfbar ist. Aus Sicht einer optimierten Ressourcennutzung steht somit nicht die Begrenztheit der N-Vorräte im Vordergrund. Allerdings ist die technische Umwandlung von molekularem atmosphärischem Stickstoff in reaktive, pflanzenverfügbare N-Verbindungen mit hohem energetischen Aufwand verbunden. So beträgt etwa der Energieeinsatz für die Erzeugung von einer t N als Kalkammonsalpeter 38,9 GJ [Schilling, 1997].

Der Einsatz von diversen Stickstoffverbindungen ist mit N-Flüssen in die Umwelt (Wasser, Boden, Luft) verbunden, welche (je nach Quantität und Verbindung) die Qualität und Funktionen der Umweltkompartimente negativ beeinflussen können. Als Beispiele seien die Anreicherung von Nitrat im Grundwasser sowie die Eutrophierung von Gewässern und nährstoffarmer Ökosysteme (z.B. Hochmoore) angeführt.

Fazit Nährstoffe: Stickstoff stellt kein unmittelbares Ressourcenproblem (mittelbar durch den Energieaufwand zur Produktion reaktiver N-Verbindungen) sondern vor allem ein Umweltproblem dar. Hingegen sind die Rohstoffvorräte an (schadstoffarmen) P begrenzt. Erhöhte P-Gehalte in Böden haben jedoch ebenfalls nachteilige Umweltauswirkungen.

Aufgrund der Rohstofflimitierung steht bei den folgenden Betrachtungen der Nährstoff Phosphor im Vordergrund. Eine gleichzeitige Betrachtung beider Stoffe ist methodisch nicht möglich. Möglich wäre jedoch eine parallele Auswertung. In Bezug auf die Bewertung der einzelnen Güter im IST-Zustand erfolgt dies auch.

Schwermetalle

Die folgende Kurzbeschreibung der Schwermetalle beschäftigt sich primär mit den Auswirkungen von erhöhten Schwermetallen auf die Pflanzen und/oder die Bodenlebewesen. Zusätzlich werden Vorsorgewerte nach der Deutschen Bundes-Bodenschutzverordnung [BBodSchV, 1998] dargestellt. Diese Vorsorgewerte leiten sich vom Stoffgehalt natürlicher Böden ab und beinhalten mindestens 90 % der natürlichen Böden. Sie gewährleisten volle Funktionsfähigkeit der Böden und Austräge aus dem Boden führen zu keiner Belastung angrenzender Schutzgüter. Die Differenz zwischen Hintergrundgehalt und Vorsorgewert soll als Spielraum für eine vorläufig vertretbare Anreicherung gelten [Schütze, 1998]. Die Bodenschutz-Vorsorgewerte gelten dabei nur für Bodenhorizonte mit einem Humusgehalt von kleiner 8 %.

ad Zink: Zink ist für Pflanzen, Tiere und Mensch ein Spurenelement. Bei sehr hohen Gehalten an Zink in Böden kann jedoch Zink auf Pflanzen und Mikroorganismen toxisch wirken.

Toxische Wirkungen auf Pflanzen treten ab etwa 200 mg Zn/kg Pflanzentrockensubstanz auf. Bei schwach saurer bis neutraler Reaktion ist bis zum geltenden Zn-Grenzwert von 300 mg Zn/kg TS mit keiner Zinktoxizität zu rechnen. Für Böden mit pH-Werten unter 5-6 ist dieser Grenzwert infolge steigender Zinklöslichkeit und -Verfügbarkeit zu hoch angesetzt. Der Zinkgrenzwert sollte deshalb auf etwa 150 mg/kg TS gesenkt werden [Scheffer & Schachtschabel, 1992]. Der Vorsorgewert nach der [BBodSchV, 1998] beträgt für die Bodenart Ton 200, für Lehm 150 und Sand 60 mg/kg TS.

ad Kupfer: Kupfer ist ebenfalls ein essentielles Spurenelement. Bei Cu-Überschuss können jedoch toxische Wirkungen bei Pflanzen und Tieren (insbesondere bei Schafen) auftreten. Durch Cu-Überschuss im Boden kann Fe-, Zn- und Mo-Mangel bei den Pflanzen ausgelöst werden.

Nach [Scheffer & Schachtschabel, 1992] ist der Cu-Grenzwert in Böden von 100 mg/kg für stark saure Böden mit pH <5 deutlich zu hoch angesetzt und selbst bei schwach saurer bis alkalischer Reaktion können bei 100 mg/kg infolge einer Cu-Mobilisierung durch lösliche organische Komplexbildner erhöhte Cu-Gehalte im Weidegras führen, die zu toxischen Wirkungen bei Schafen führen können. Eine Erniedrigung des Bodengrenzwertes für Cu von 100 auf 50 bis 70 mg/kg für mäßig saure bis alkalische Böden ist anzustreben.

Der Vorsorgewert nach der [BBodSchV, 1998] beträgt für die Bodenart Ton 60, für Lehm 40 und Sand 20 mg/kg TS.

ad Blei: Blei hat eine deutlich geringere Toxizität als etwa Cadmium. Pb reichert sich in Tieren und Menschen in Leber und Niere sowie in Knochen und Zähnen an. Die biologische Halbwertszeit von Blei beträgt für den Menschen rund 5 bis 20 Jahre, wobei Kinder wesentlich mehr Blei resorbieren als Erwachsene.

Bei hohen Pb-Gehalten in Böden können unspezifische Chlorosen und starke Wachstumsschäden an den Wurzeln und oberirdischen Pflanzenteilen auftreten. Außerdem kann eine Hemmung der Mikroorganismen-tätigkeit erfolgen. Auf Grund der geringen Verfügbarkeit und der relativ geringen Toxizität von Blei kann davon

ausgegangen werden, dass der Grenzwert von 100 mg/kg Boden genügend Sicherheit bietet [Scheffer & Schachtschabel, 1992].

Der Vorsorgewert nach der [BBodSchV, 1998] beträgt für die Bodenart Ton 100, für Lehm 70 und Sand 40 mg/kg TS.

ad Cadmium: Cadmium ist für Tier und Mensch bereits in sehr geringen Konzentrationen ein toxisches Element. Die biologische Halbwertszeit von Cadmium beträgt für den Menschen zwischen 19 und 38 Jahren, wobei Cadmium vor allem in Niere und Leber angereichert wird [Scheffer & Schachtschabel, 1992].

Der steiermärkische Grenzwert für den Cadmiumgehalt im Boden beträgt 2 mg/kg TS. [Scheffer Schachtschabel, 1992] fordern für landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden einen Grenzwert von 1 mg/kg TS. Der Vorsorgewert nach der [BBodSchV, 1998] beträgt für die Bodenart Ton 1,5, für Lehm 1 und Sand 0,4 mg/kg TS.

3.3 Quellen und Nährstoffmengen

Quellen an zu behandelnden biogenen Materialien sind die Haushaltungen, Industrie/Gewerbe /Handel, die Landwirtschaft sowie Sonstige Quellen (Friedhofsabfälle, Baum- und Strauchschnitt, etc.). Die Nährstoffmengen (inklusive allfälliger gasförmiger Verluste) in den anfallenden Gütern in den genannten Quellprozessen gliedern sich der Größe nach geordnet wie folgt:

Tabelle 3-2: Nährstoffmengen der biogenen Ausgangsgüter in t

Stickstoff	t N	Phosphor	t P
Wirtschaftsdünger	3.600	Wirtschaftsdünger	811
biogene Abfälle IGH	837	biogene Abfälle IGH	250
Abwasser IGH	715 - 732	Abwasser PHH	57 - 72
Abwasser PHH	395 - 467	Abwasser IGH	32 - 35
biogene Abfälle PHH	66	biogene Abfälle PHH	13

Die Region ist stark landwirtschaftlich geprägt. Es werden rund doppelt soviel pflanzliche Produkte erzeugt, wie im Raabtal für die menschliche Ernährung verbraucht werden. Auch die Erzeugung tierischer Nahrungsmittel übersteigt den lokalen Bedarf. Zur Deckung des regionalen Bedarfes an Trinkmilch und anderen Milchprodukten sind etwa 40 % der regionalen Rohmilchproduktion ausreichend. Es werden um 70 % mehr Rinder und um 120 % mehr Schweine zur Fleischproduktion in der Region gemästet, als in der Region tatsächlich geschlachtet werden. Betrachtet

man die in regionalen Schlachthäusern erzeugten Fleischmengen aus regionalen Beständen (d.h. ohne Importe von Geflügel), so wird um 40 % mehr Fleisch erzeugt als regional verbraucht wird.

Die regionale Futtermittelproduktion kann rund 70 % des Nährstoffbedarfes der Tierbestände abdecken, die restlichen 30 % werden in die Region importiert.

3.4 Verfahren zur Behandlung biogener Materialien

Die verschiedenen biogenen Materialien werden in unterschiedlichen Verfahren verarbeitet, wobei jedes dieser Verfahren mit spezifischen (Nährstoff)Verlusten verbunden ist. *Unter dem Begriff „Verfahren“ wird in dieser Arbeit sowohl eine gezielte (bio)technische Behandlung, aber auch die Lagerung von biogenen Materialien verstanden.* Im Sinne dieser Definition sind beispielsweise Senkgruben, Kläranlagen mit unterschiedlichsten Verfahrenstechnologien, Kompostanlagen, Einzelkompostierung oder Vergärung „Verfahren“.

Landwirtschaftliche Kompostierung

Im Raabtal wurden 1997 insgesamt 19 landwirtschaftliche Kompostanlagen betrieben, von denen jedoch nur 9 Bioabfall (gemeinsam mit Wirtschaftsdünger oder Grünabfällen) verarbeiten.

Von den 2.600 t getrennt gesammelten biogenen Abfällen werden rund 60 % in der Region verarbeitet (10 t N, 2,5 t P). Etwa 2.300 t Wirtschaftsdünger (14 t N, 4 t P) sowie 600 t anderer Materialien (Baum-, Strauchschnitt, Friedhofsabfälle, Obst, Speisereste) (3,4 t N, 2 t P) werden mitkompostiert. Aus der Bilanzierung ergibt sich für die Landwirtschaftliche Kompostierung ein N-Verlust von 6,7 t/a, das sind 24 % bezogen auf das Ausgangsmaterial. Auf Grund der Ausstattung der Anlagen ist es nicht möglich, zwischen gasförmigen Stickstoffverlusten und Sickerwasserverlusten zu differenzieren.

Einzelkompostierung

Rund 5.700 t biogener Abfälle werden in Form der Einzelkompostierung verarbeitet. Dies entspricht einer Fracht von 32 t N und 4,6 t P. Als Verluste der Einzelkompostierung wurden 11 t N abgeschätzt.

kommunale Deponie

Als Gesamtsumme für das Untersuchungsgebiet wurde ein Wert von rund 3.000 t Bioabfall (17,3 t N, 3, t P) abgeschätzt, der mit dem Restmüll erfasst wird. Rund 30 % davon wurden im Jahr 1997 zu einer Deponie im Untersuchungsgebiet abgeführt; dies entspricht einer Fracht von 5,2 t N und 0,9 t P.

Derzeit ist diese Deponie bereits geschlossen, sodass sämtlicher mit dem Restabfall abgeführte biogene Anteil als „Export“ das Untersuchungsgebietes verlässt.

kommunale Kläranlage

An die derzeit bestehenden Kläranlagen sind 65.570 Einwohner angeschlossen, das entspricht einem Anschlussgrad von 72 % der Bevölkerung.

Die industriellen Abwässer werden z.T. in den kommunalen Kläranlagen behandelt. Insgesamt werden in den kommunalen Kläranlagen 88.072 Einwohnerwerte (ohne die behandelten Senkgrubeninhalte) erfasst. Zieht man davon die angeschlossenen Einwohner ab, so entstammen 22.502 Einwohnerwerte dem gewerblich-industriellen Bereich.

Ein Teil des Abwassers, das über Senkgruben entsorgt wird, gelangt ebenfalls in die bestehenden Kläranlagen und kann mit rund 4.900 Einwohnern abgeschätzt werden.

Die Konsens-Abwassermenge beträgt rund 140.000 Einwohnerwerte (EW), die Ist-Abwassermenge (ohne behandelte Senkgrubeninhalte) rund 88.000 EW. Es werden somit rund 35 % der Kapazitäten derzeit nicht ausgenutzt. Dabei sind über 40 % der freien Kapazitäten in der Anlage Raabau zu verzeichnen.

Insgesamt wird somit Abwasser von etwa 93.000 EW in die 49 (!) kommunalen Kläranlagen eingebracht und behandelt (375 - 454 t N und 54 - 70 t P). Die N-Fracht im Klärschlamm beträgt rund 15 %, die P-Fracht etwa 55 % jener des Zulaufs.

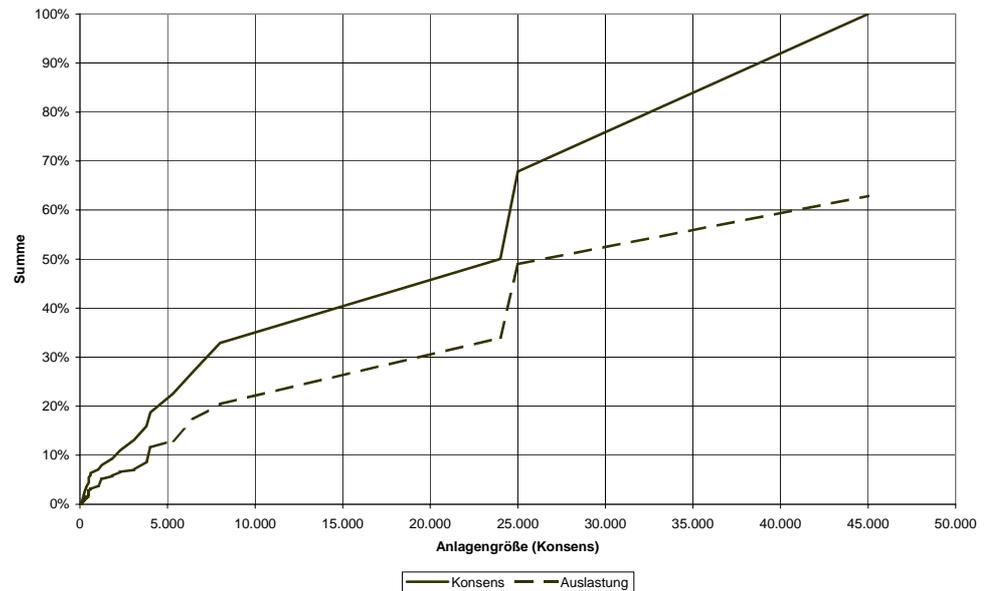


Abbildung 3-3: Vergleich der Einwohnerwerte des IST-Zustandes mit der Konsens –Abwassermenge im Raabtal

Senkgrube

32.934 Einwohner verfügen über keinen Kanalanschluss und entwässern in Senkgruben. Die entsprechende N und P-Fracht beträgt rund 144 resp. 21,5 t/a. Senkgrubeneinhalte in der Größe von 4.900 Einwohnerwerten werden über kommunale Kläranlagen entsorgt (22 t N, 3,2 t P). Die verbleibenden Senkgrubeneinhalte werden vermutlich landwirtschaftlich verwertet. Zum (großen?) Teil versickert Abwasser auch in den Untergrund.

betriebliche Kläranlage

Im Untersuchungsgebiet liegen fünf relevante betriebliche Kläranlagen, wovon zwei das Abwasser aus Schlachtbetrieben behandeln, zwei das Abwasser von Lederfabriken und eine das Abwasser aus der Obstverwertung. Die Zulauffracht an N und P zu diesen Anlagen wurde mit 625 t N und 18,5 t P abgeschätzt, wobei über 90 % dieser Frachten in den Abwässern der beiden ledererzeugenden Betrieben enthalten sind. Insbesondere die Abschätzung für die Lederindustrie konnten jedoch nicht durch Betriebsbefragungen verifiziert werden.

betrieblich - landwirtschaftliche Vergärung

Im Untersuchungsgebiet existiert zum Untersuchungszeitpunkt eine Anlage in der lediglich Gülle von 30 Rindern aus der eigenen Landwirtschaft verarbeitet. Die In-

putmenge beträgt 1,5 m³/d entsprechend 550 m³/a und einer N und P-Fracht von 2 t N und 0,4 t P.

Landwirtschaft

Im Prozess Landwirtschaft findet die Lagerung der Wirtschaftsdünger statt. Durch die diversen Umbauvorgänge während der Lagerung treten gasförmige N-Verluste auf, die mit 430 t N abgeschätzt werden können.

Landwirtschaftlicher Boden

Bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern treten ebenfalls unweigerlich gasförmige N-Verluste auf. Die entsprechende N-Fracht von 490 t N entzieht sich somit einer kontrollierten Nutzung.

Export

Von den 2.600 t getrennt gesammelten biogenen Abfällen werden rund 40 % in zwei Anlagen unmittelbar außerhalb des Untersuchungsgebietes (7 t N, 1,8 t P) behandelt.

Der überwiegende Teil (ca. 70 %) der rund 3.000 t Bioabfalls der über Restmüll erfasst wird, wurde auf Deponien außerhalb des Untersuchungsgebietes abgelagert. Auch hier ist anzumerken, dass rund 2.000 t oder 65 % der im Raabtal über den Restmüll erfassten Mengen zu einer Deponie verbracht wurden, die nur wenige Kilometer außerhalb des Untersuchungsgebietes liegt.

In dem Prozess Industrie/Gewerbe/Handel fallen folgende biogene Abfälle an, die zum Großteil aus der Region exportiert werden:

927 t/a Obstabfälle, 2.000 t Trester, (5 - 6 t N). Der Großteil der Obstabfälle werden in benachbarten Tälern verwertet.

18.300 t Schlachtabfälle: (526 t N und 213 t P). Ein großer Anteil dieser Schlachtabfälle ist an die Tierkörperverwertung gebunden und muss auf Grund gesetzlicher Grundlagen aus dem Raabtal exportiert werden. Maximal 14,5 % der anfallenden FS (vor allem Flotate) stünden für eine Verwertung im Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Da keine geeigneten Behandlungsanlagen zur Verfügung stehen bzw. nicht genutzt werden, ist davon auszugehen, dass auch diese Mengen das Untersuchungsgebiet verlassen.

3.5 Verwertungsschienen der Verfahrensendprodukte

Kompost

Die erzeugten landwirtschaftlichen Komposte werden auf landwirtschaftliche Flächen in der Region aufgebracht. Die anfallenden Kompostmengen können mit 1500 t TS abgeschätzt werden. Der durchschnittliche Glühverlust beträgt 32 %. Die berechneten Frachten betragen 21,6 t N, 8,9 t P, 265 kg Zn, 170 kg Cu, 63 kg Pb sowie 1,15 kg Cd. Die hohe Kupferfracht ist durch eine einzige Anlage bedingt, die Kompost mit einer Konzentration von 855 mg/kg TS Cu erzeugt (der Mittelwert aller übrigen Anlagen liegt bei 42 mg/kg TS). Diese Anlage existiert mittlerweile nicht mehr.

Einzelkompost

Durch die Einzelkompostierung werden rund 760 t TS Kompost erzeugt, die in den Hausgärten aufgebracht werden. Die induzierten Frachten sind 21 t N, 4,3 t P, 144 kg Zn, 31 kg Cu, 83 kg Pb und 0,5 kg Cd.

kommunaler Klärschlamm

In der Region fallen in den kommunalen Kläranlagen rund 1.530 t TS an Klärschlamm an mit einem durchschnittlichen Glühverlust von 36 %. Die durchschnittliche Stoffkonzentration im Klärschlamm beträgt 2,6 %N, 2,3 %P, 522 mg/kg TS Zn, 82 mg/kg Cu, 26 mg/kg Pb sowie 0,77 mg/kg Cd in der TS. Daraus lassen sich Frachten von 40 t N, 35 t P, 800 kg Zn, 125 kg Cu, 40 kg Pb und 1,2 kg Cd errechnen.

Vom gesamt anfallenden kommunalen Schlamm werden rund 60 % landwirtschaftlich in der Region verwertet (26,5 t N, 20,5 t P). Nicht landwirtschaftlich verwerteter Schlamm wird großteils privaten Entsorgern übergeben und von diesen aus dem Untersuchungsgebiet exportiert. Vererdung oder Deponierung von Klärschlamm sind vernachlässigbar.

betrieblicher Klärschlamm

In den betrieblichen Kläranlagen fallen rund 8.600 t TS an mit einem durchschnittlichen Glühverlust von 42 %. Die Stofffrachten im Klärschlamm betragen 56 t N, ?? t P, 4.740 kg Zn, 2.950 kg Cu, 1.025 kg Pb. Für Cd wurden keine Stoffkonzentrationen erhoben. Zu über 99 % wird der anfallende betriebliche Klärschlamm aus dem Raabtal exportiert.

Wirtschaftsdünger

Der Wirtschaftsdünger wird in der Region ausgebracht. Dabei werden folgende Stofffrachten in die Böden eingebracht: 2.685 t N, 810 t P, 35 t Zn, 10,5 t Cu, 375 kg Pb und 39 kg Cd.

Senkgrubenräumgut

Durch Senkgrubenräumgut werden rund 100 t N und 15 t P auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Die resultierenden Metallfrachten können mit 200 kg Zn, 31 kg Cu, 11 kg Pb und 0,3 kg Cd abgeschätzt werden.

3.6 Zusammenstellung der Nährstoffflüsse

3.6.1 Stickstoffflüsse durch biogenen Materialien

Die größten N-Mengen sind im anfallenden Wirtschaftsdünger (3.600 t/a) enthalten. Von Bedeutung sind auch die in der Industrie und dem Gewerbe anfallenden biogenen Abfälle (>800 t N) die vor allem in den Schlachthäusern anfallen, sowie die anfallenden industriellen Abwässer (>700 t N). Abwässer und biogene Abfälle aus den Haushaltungen beinhalten eine N-Menge von 400 bis 470 t N, resp. von < 70 t N. In Summe fallen somit rund 5.600 t N in der Region in biogenen Gütern an. Einzelergebnisse werden in der Teilstudie vom Büro Dr. Lengyel dargestellt.

Große Nährstoffmengen in biogenen Abfällen werden insbesondere durch die Ausfuhr von Schlachtabfällen (>500 t N, >200 t P) aus der Region gebracht.

Die gasförmigen N-Verluste in der Landwirtschaft betragen rund 900t, die Verluste in den Kläranlagen 230 t N, in der Einzelkompostierung ca. 11 t N, in der landwirtschaftlichen Kompostierung <7t.

Die anfallenden Komposte aus der Landwirtschaftlichen Kompostierung bzw. aus der Einzelkompostierung werden in der Region ausgebracht. Die Klärschlämme aus kommunalen Kläranlagen werden zu 60 % in der Region ausgebracht (26,5 t N, 20,5 t P). Die Schlämme aus den betrieblichen Kläranlagen verlassen zu über 99 % die Region.

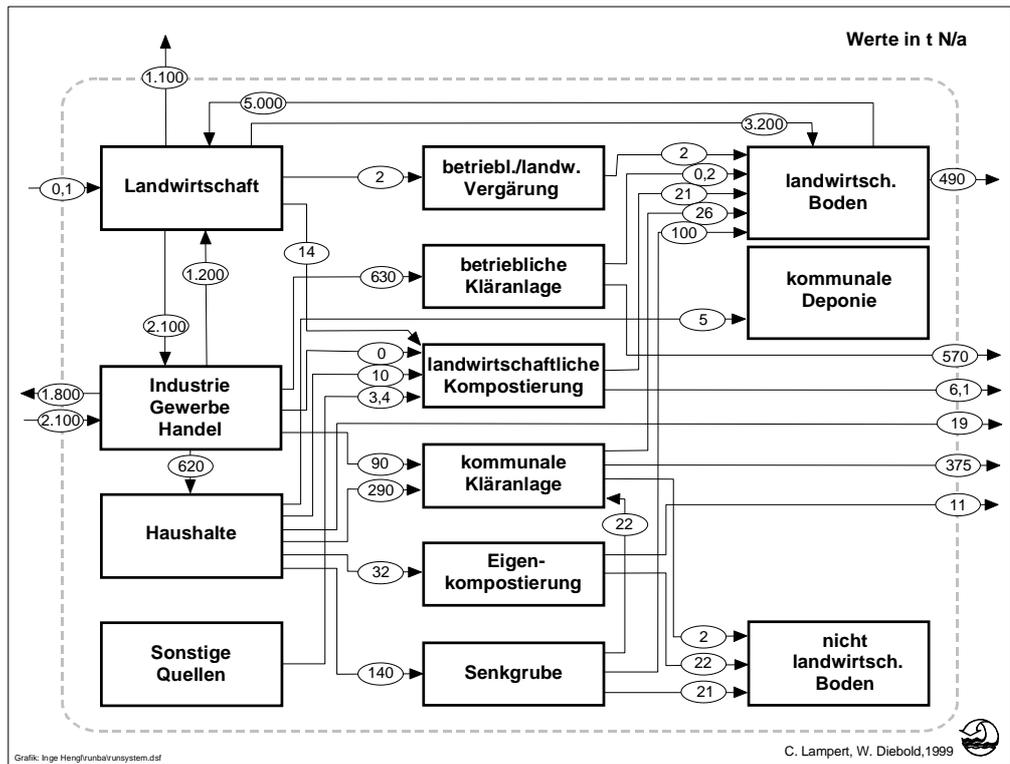


Abbildung 3-4: Stickstoffflüsse biogener Güter in der Region 'Raabtal' in t N/a

3.6.2 Phosphorflüsse durch biogene Materialien

Auch bei Phosphor überwiegen die Wirtschaftsdünger mit 810 t P deutlich. Es folgen die biogenen Abfälle aus Industrie und Gewerbe (250 t P), die Abwässer aus den Haushaltungen (57-72 t P) und der Industrie (<35 t P) sowie die biogenen Abfälle aus den Haushaltungen (13 t P).

Große Nährstoffmengen in biogenen Abfällen werden durch die Ausfuhr von Schlachtabfällen (>200 t P) aus der Region gebracht. Einzelergebnisse werden in der Teilstudie vom Büro Dr. Lengyel dargestellt [BDL, 1999a].

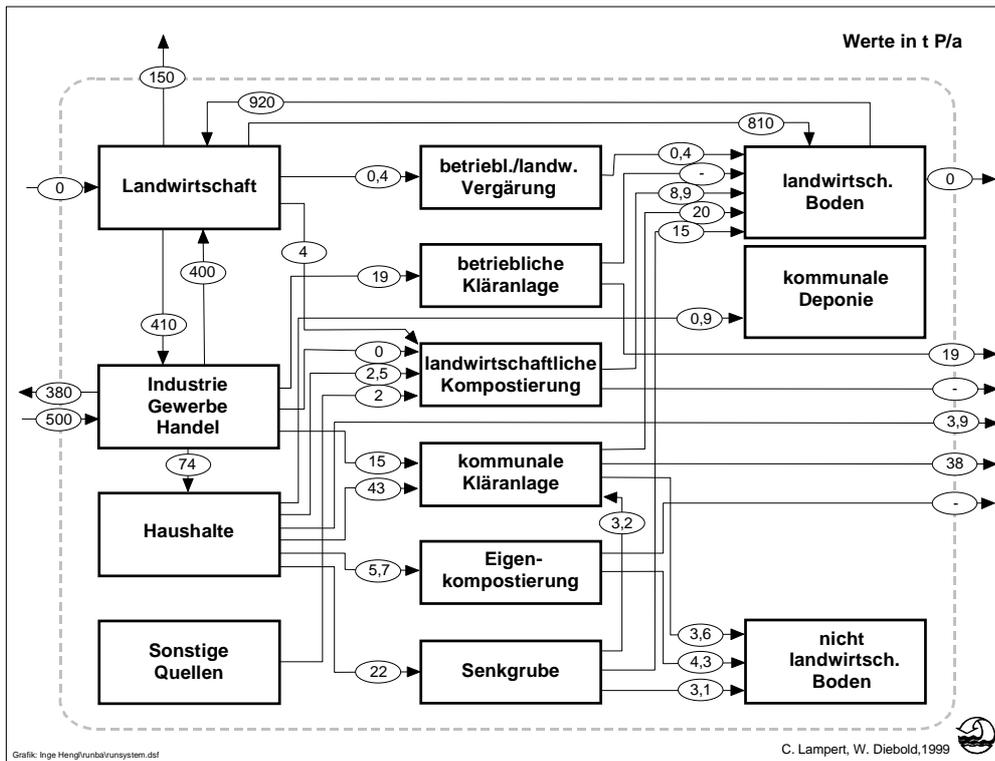


Abbildung 3-5: Phosphorflüsse biogener Güter in der Region 'Raabtal' in t P/a

4 Bewertungsmethode

Die zu erarbeitende Bewertungsmethode dient dazu, Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle unter der Prämisse einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Nährstoffen beurteilen zu können. Die Methode hat dabei sowohl (i) Nährstoffverluste bei der Behandlung und Verwendung der betrachteten Güter als auch (ii) die Anreicherung von Schadstoffen in der Umwelt innerhalb eines definierten Systems zu berücksichtigen. Es wird somit gleichzeitig einerseits eine effiziente (Nähr)Stoffbewirtschaftung, das heißt geringe Wertstoffverluste in den diversen Verfahren an die Umwelt, andererseits eine nachhaltige Umweltverträglichkeit der Endprodukte charakterisiert. Die Umweltverträglichkeit hängt primär von den in der Region tatsächlich zur Verfügung stehenden Dissipationsmöglichkeiten der Böden, Luft, Wasser) ab. (iii) Zusätzlich wird berücksichtigt inwieweit durch das jeweilige Gut der Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen abgedeckt werden kann.

Im Rahmen dieses Projektes werden unter „Ressource“ die in den biogenen Ausgangsmaterialien enthaltenen Nährstoffe N und P verstanden. Ressourcenschonung“ bedeutet, dass die regionalen Nährstoffmengen möglichst in Kreisläufen geführt werden sollen und Nährstoffverluste in die Umwelt minimiert werden.

Im folgenden wird näher auf die Aspekte Umweltverträglichkeit und Ressourcennutzung eingegangen.

4.1 Umweltverträglichkeit

Im Rahmen dieser Arbeit bedeutet „Umweltverträglichkeit“, dass die Verwertung der biogenen Materialien in einem vorzugegebenen Zeitraum nur zu einer vorzugegebenen Schwermetallanreicherung führt.

Durch die Verwendung von Handelsdünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm oder Kompost werden auch Schadstoffe in die landwirtschaftlichen Böden eingetragen. Eine wichtige Frage ist, wie diese Güter nach Belastung, d.h. in Bezug auf ihren Schadstoffgehalt, verglichen werden können. Derzeit verwendete Kriterien sind z.B. Stoffkonzentrationen, Frachten oder Verhältnisse von Schadstoff zu Nährstoff. Diese Kriterien erlauben nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit von Stoffeinträgen in landwirtschaftliche Böden bzw. deren Anreicherungswirksamkeit durch die aufgebrachten Güter. Deshalb wird im Kapitel 4.1.3 ein ergänzendes Kriterium - die anthropogene Zusatzfracht - definiert und beschrieben.

4.1.1 Stoffkonzentrationen

Stoffkonzentrationen sind ein weit verbreitetes Maß um die Schadstoffbelastung von Gütern quantitativ wiederzugeben. Auch in der Gesetzgebung werden häufig Stoffkonzentrationen verwendet, wie etwa bei der Festlegung von Klärschlamm-Grenzwerten. Grenzkonzentrationen dienen dazu, die Toxizität von Gütern derart zu begrenzen, dass keine Schädigungen der Biosphäre zu erwarten sind. In der praktischen Festlegung von Grenzwerten ist die ökologische Unbedenklichkeit vor allem durch die technische Machbarkeit und die politische Umsetzung überlagert.

Als Kriterium gilt: je geringer die Schadstoffkonzentration in den Endprodukten ist, desto „umweltverträglicher“ ist das betrachtete Gut und damit das Verfahren. Um die einzelnen Stoffe untereinander zu gewichten, werden die Verhältnisse von Stoffkonzentrationen in den Gütern mit den entsprechenden Stoffkonzentrationen im Boden (Tiefenstufe 20 bis 50 cm) gebildet. Je größer das Verhältnis (der Quotient) desto belasteter ist das jeweilige Gut.

4.1.2 Schadstoff-Nährstoff-Verhältnisse

Stoffkonzentrationen allein sind unzureichend insbesondere um verschiedenartige Güter miteinander zu vergleichen. Güter bestehen neben Schadstoffen auch aus Nutstoffen (z.B. Nährstoffen). Werden Schad- und Nährstoffe miteinander verknüpft, so wird die Vergleichbarkeit von verschiedenen Gütern wesentlich verbes-

sert. Dieses Kriterium stellt eine Zwischenform von Grenzkonzentrationen und Frachtenregelungen dar.

Durch die Relation von Schadstoff und Nährstoff kann unmittelbar durch Kenntnis des gewünschten Nährstoffeinsatzes (z.B. 20 kg P/ha.a) auf die eingetragene Metallmenge je Fläche geschlossen werden.

Je kleiner die Schadstoff-Fracht bezogen auf die Nährstoff-Fracht ist, desto geringer belastet ist das betrachtete Gut.

Um dem Bodenlager die einzelnen Stoffe untereinander zu gewichten, werden die einzelnen ermittelten Stofffrachten je kg Phosphor (20 bis 50 cm Bodentiefe) gegenübergestellt.

4.1.3 Anthropogene Zusatzfracht

Herkömmliche Kriterien berücksichtigen nicht, dass durch die Einbringung der verschiedenen Güter in die Böden in unterschiedlichem Ausmaß auch eine längerfristig stabile Matrix eingetragen wird. Deren Menge ist dabei sowohl vom abbaubaren Anteil der organischen Substanz als auch vom löslichen Anteil der anorganischen Substanz des aufgebrachten Gutes abhängig. Im folgenden wird das Kriterium anthropogene Zusatzfracht [Lampert & Brunner, 1999] an einem frei gewählten Beispiel demonstriert. Die verwendeten Stoffkonzentrationen sind somit nicht mit den Werten aus dem Raabtal identisch.

Gehalt an organischer Substanz

Je nach Gut kann der Anteil der organischen Substanz an der Trockensubstanz unterschiedlich hoch sein (Handelsdünger 0 %, Kompost 30 %, Klärschlamm 50 %, Wirtschaftsdünger 90 %). In Abhängigkeit der Art der organischen Verbindung (leicht - schwer abbaubar) wird diese innerhalb verschiedener Zeiträume mineralisiert. Der Abbau der organischen Substanz hat zur Folge, dass sich die Stoffe in Bezug auf die verbleibende Trockensubstanz aufkonzentrieren. Aufgrund des Abbaues der organischen Substanz schlagen verschiedene Autoren den Bezug der Konzentration auf die anorganische Trockensubstanz [Alge & Wenzel, 1993] bzw. den Aschegehalt [Claussen 1989, Gronauer & Helm, 1994] des Produktes vor. Eine ähnliche Intention verfolgt auch die ÖNORM S 2200 [ON, 1993] mit ihrer Normierung der Grenzwerte für Komposte auf einen organischen Anteil von 30 %. In dieser ÖNORM wurden die Grenzwerte für Komposte der Klasse 1 derart festgelegt, dass auch bei einem vollständigen Abbau der organischen Substanz die durch die Aufkonzentrierung höhere Stoffkonzentration die gültigen Bodengrenzwerte nicht über-

steigt und damit die Ausbringungsmengen bezüglich Schwermetallen nicht begrenzt werden müssen.

Tabelle 4-1: Vergleich der Belastung von Gütern anhand von Stoffkonzentration und Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis

Güter	Zn-Konz. in mg/kg TS	OS in %	Zn-Konz. je kg AOS	P-Konz. in mg/kg TS	mgZn/kg P
Handelsdünger	217	0	217	32.700	6.628
Schweinegülle	1.330	90	13.300	26.500	50.189
Klärschlamm	800	50	1.600	20.000	40.000
Kompost	200	30	286	4.000	50.000

TS: Trockensubstanz; OS: organische Substanz; AOS: anorganische Substanz

Vergleicht man die Güter in Tabelle 1 herkömmlich nach der Zinkkonzentration, so ist im gewählten Fall Kompost das „sauberste“ Gut und Gülle das am höchsten belastete. Bezieht man die enthaltene Schwermetallmenge auf die anorganische TS, so ist beim Handelsdünger die Zinkkonzentration am geringsten, bei Gülle mit Abstand am höchsten. Das Verhältnis von Schadstoff zu Nährstoff (Zn/P) ist ebenfalls für Handelsdünger deutlich am günstigsten, Kompost und Schweinegülle sind in etwa gleich stark belastet, Klärschlamm etwas weniger als diese beiden Güter.

Je nach Gut ist die vorliegende organische Substanz in einem gegebenen Zeitraum unterschiedlich gut abbaubar. Während Gülle überwiegend leicht abbaubare Formen an organischer Substanz aufweist, hat bei Kompost eine weitergehende Stabilisierung der organischen Substanz stattgefunden.

Betrachtet man den Zeitraum von einigen Jahrzehnten, so trifft die Annahme eines vollständigen Abbaus der organischen Substanz nicht zu. Insbesondere wenn man bedenkt, dass bestimmte Huminstoffverbindungen mehrere Jahrhunderte, z.T. Jahrtausende alt sein können [Scheffer & Schachtschabel, 1992].

Leicht lösliche anorganische Substanz

Die bisher gemachten Überlegungen erlauben es, die Aufkonzentrierung durch den Abbau der organischen Substanz zu berücksichtigen. Um alle in der Landwirtschaft eingesetzten Güter zu vergleichen sind die gemachten Überlegungen auch auf anorganische Güter bzw. anorganische Bestandteile der Güter auszuweiten. In der anorganischen Substanz der eingesetzten Güter können größere Mengen leicht löslicher

Verbindungen enthalten sein, die rasch in Lösung gehen und damit in pflanzenverfügbare oder auswaschbare Form vorliegen (Bsp.: mineralische Handelsdünger bestehen oft aus gut wasserlöslichen Salzen). Auch durch diese Lösungsvorgänge kommt es zu einer Aufkonzentrierung von Stoffen in der verbleibenden stabilen Matrix. Es sind somit bei der Beurteilung der Konzentration eines Stoffes in einem Gut zusätzlich die leicht löslichen anorganischen Verbindungen miteinzubeziehen.

Die analytische Bestimmung des leicht löslichen anorganischen Anteils kann etwa mittels gängiger Eluationsverfahren erfolgen.

Anthropogene Zusatzfracht

Durch die jeweiligen Güter wird somit in unterschiedlichem Ausmaß eine längerfristig stabile Matrix in die Böden eingebracht. Dieser stabilen Matrix wird nun zugerechnet, dass sie eine geogene Konzentration aufweist, und somit nicht anreicherungswirksam ist. Die insgesamt durch ein Gut eingebrachte Stofffracht setzt sich aus dieser geogenen Fracht und einer anreicherungswirksamen Fracht, die als *anthropogene Zusatzfracht* bezeichnet wird, zusammen. Andere Autoren sprechen in diesem Zusammenhang von der „verdünnenden Wirkung“ des aufgetragenen Gutes [Diez et al. 1991].

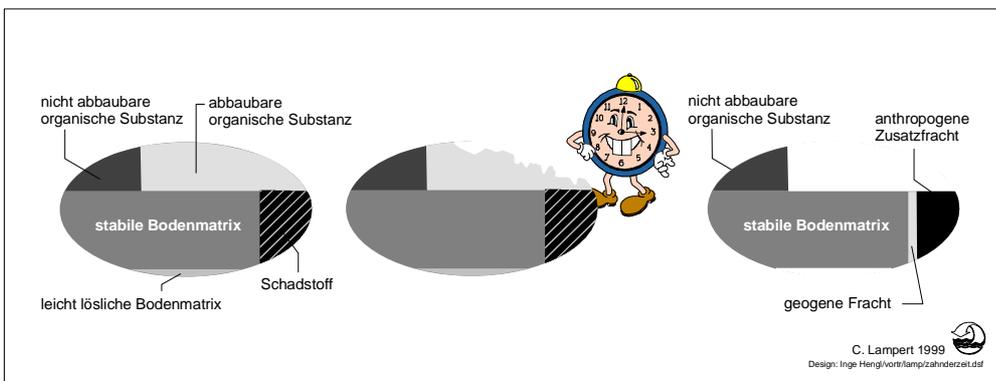


Abbildung 4-1: Schema der anthropogenen Zusatzfracht

Die *anthropogene Zusatzfracht* kann sowohl auf die Ausgangstrockensubstanz als auch auf die Nährstofffracht bezogen werden, was vor allem für die Landwirtschaft interessant ist. Dadurch kann unmittelbar aus der gewünschten Nährstofffracht auf die eingetragene anreicherungswirksame Schwermetallmenge geschlossen werden.

Die Berechnung der anthropogenen Zusatzfracht bzw. der spezifischen anthropogenen Zusatzfracht erfolgt in mehreren Schritten:

(i) Von der Ausgangstrockensubstanz wird die abbaubare organische Substanz und die leicht lösliche anorganische Substanz abgezogen, wodurch die Menge an stabiler Matrix errechnet wird. (ii) Die im aufgebrauchten Gut enthaltene Schwermetallmenge wird anschließend auf diese errechnete stabile Matrix bezogen, man erhält eine „Matrix-Konzentration“. (iii) Der nächste Schritt ist entscheidend: von der berechneten „Matrix-Konzentration“ wird die geogene Konzentration des Standortes abgezogen. (iv) Die erhaltene Konzentration wird nun mit der Menge an stabiler Matrix multipliziert und man erhält als Resultat die *anthropogene Zusatzfracht*. (v) Wird die anthropogene Zusatzfracht mit der Gütermenge, die ein kg Nährstoff enthält, multipliziert, so ergibt sich die *spezifische anthropogene Zusatzfracht*.

Tabelle 4-2: Vergleich der Belastung von ausgewählten Gütern anhand von Stoffkonzentrationen und der Anthropogenen Zusatzfracht am Beispiel Zink

Güter	Zn-Konz. mg/kg TS	OS %	anthropogene Zusatzfracht mg Zn/kg TS	P-Konz. in mg/kg TS	mgZn/kgP	spez. anth. Zusatzfracht g Zn/kg P
Handelsdünger	217	0	190	32.700	6.628	5.800
Schweinegülle	1.330	90	1.324	26.500	50.189	49.975
Klärschlamm	800	50	772	20.000	40.000	38.575
Kompost	200	30	160	4.000	50.000	40.025

Annahmen Tab. 2: geogene Zn-Konzentration im Boden: 60 mg Zn/kg TS; Abbau der organischen Substanz (OS): alle 100 %; lösliche anorganische Substanz: Handelsdünger 55 %, alle anderen 5 %;

Vergleicht man die anthropogene Zusatzfracht der einzelnen Güter, so verändert sich die „Belastungs“-Reihenfolge gegenüber einem herkömmlichen Vergleich der Konzentrationen nicht. Lediglich die relativen Unterschiede zwischen den Gütern werden etwas verschoben. Wird jedoch die spezifische anthropogene Zusatzfracht berechnet, so kommt es zu Verschiebungen in der Reihenfolge. Kompost liegt nun deutlich besser als Schweinegülle und liegt im gewählten Fall fast gleichauf mit Klärschlamm.

Grundsätzlich gilt:

Je höher der Anteil an stabiler Matrix und je geringer die Differenz zwischen der geogenen Stoffkonzentration und der Konzentration in einem Gut ist, desto positiver wirkt sich die Berücksichtigung der anthropogenen Zusatzfracht aus, das heißt desto geringer ist die Anreicherungswirksamkeit des betrachteten Gutes.

Durch den „Verdünnungseffekt“ der aufgetragenen stabilen Matrix ergibt sich, dass gleiche Stofffrachten des selben aufgetragenen Gutes bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Aufbringungsmengen zu unterschiedlich langen Anreicherungszeiträumen von Schadstoffen im Boden führen. Geringere Stoffkonzentrationen verlängern bei größeren jährlichen Aufbringungsmengen (t TS Endprodukt) die Zeiten der Aufkonzentrierung und umgekehrt (siehe Abbildung 4-2 in Kapitel 4.1.4).

Um jedoch die tatsächliche Anreicherung sowie den jeweiligen Zeitraum der Anreicherung im Boden abzuschätzen, sind sowohl alle anderen Ein- (Deposition, etc.) als auch Austräge (Erosion, Auswaschung, Pflanzenentzug) zu berücksichtigen. Insbesondere muss dabei beachtet werden, dass die Austräge bei einer Zunahme der Bodenkonzentration nicht konstant bleiben sondern mit zunehmender Konzentration ansteigen.

4.1.4 Berechnung der Schwermetallakkumulation - Schichtenmodell

Die anthropogene Zusatzfracht wird bei der Berechnung der Schwermetallakkumulation mittels des Schichtenmodells berücksichtigt. Dies geschieht dadurch, dass bei der Berechnung der Stoffkonzentration im Boden die Aufbringung einer Schicht von stabiler Matrix berücksichtigt wird. Im Schichtenmodell wird eine konstante Bearbeitungstiefe angenommen, d.h. die Lagerveränderung bzw. Konzentrationsänderung wird auf *eine konstante Bodentiefe* von z.B. 30 cm (Pflugschicht) berechnet. Somit steht konsequenterweise der oben aufgetragenen Matrixschicht eine unten wegfallende Bodenschicht gleicher Dicke gegenüber. Bei der Berechnung der Dicke der aufgetragenen Bodenschicht wird (i) der Abbau der abbaubaren organischen Substanz, (ii) die Lösung/Auswaschung der löslichen anorganischen Anteile sowie (iii) die durch den Abbau bzw. die Lösung zunehmende Bodendichte berücksichtigt.

Wie bei der Herleitung der Anthropogenen Zusatzfracht gezeigt, weisen gleiche Stofffrachten des selben Gutes bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Aufbringungsmengen unterschiedliche Anreicherungszeiträume auf. Geringere Stoffkonzentrationen verlängern bei größeren jährlichen Aufbringungsmengen (t TS Endprodukt) die Zeiten der Aufkonzentrierung und umgekehrt (siehe Abbildung 4-2). Der Grund dafür ist der „Verdünnungseffekt“ der aufgetragenen stabilen Matrix.

Beispiel:

- Zinkeintrag nur über Kompost und keine Austräge

- Kompostbedingte Zinkfracht von 4 kg Zn/ha.a entsprechend 10 t TS/3 Jahre je ha und einer Zn-Konzentration von 1.200 mg/kg TS
- 30 % organische Substanz, davon 10 % langfristig stabil
- 5 % der anorganischen Substanz sind leicht löslich
- die Ausgangskonzentration im Boden beträgt 70 mg/kg TS Zn (entsprechend einem Bodenlager von 315 kg Zn/ha.a bei 30 cm Bodentiefe)

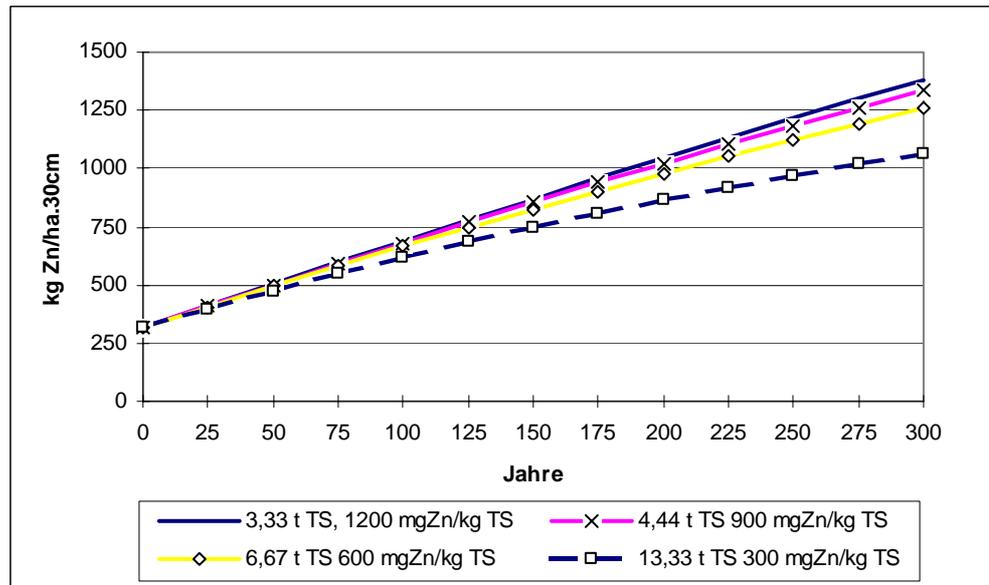


Abbildung 4-2: Lagerveränderung im Boden bezogen auf das Ausgangslager bei gleicher Metallfracht (4 kg Zn/ha.a) jedoch unterschiedlicher Stoffkonzentrationen und aufgetragenen Trockensubstanzmengen

Aus obiger Grafik ist ersichtlich, dass trotz gleicher aufgetragener Fracht (4 kg Zn/ha.a) sich das Zinklager resp. Die Zinkkonzentration bei 3,33 t TS/ha.a in einem Zeitraum von 300 Jahren um rund 30 % stärker erhöht als im Falle einer Aufbringung von 13,33 t TS/ha.a (+ 250 % bei 300 mg Zn/kg TS, + 330 % bei 1200 mg Zn/kg TS). Eine geringere Konzentrationen bei größeren Aufbringungsmengen verlängert somit die Zeiten der Aufkonzentrierung. Im gezeigten Fall beträgt der Unterschied in den Zinklagern bei einer Halbierung der Aufbringungsmenge von 13,33 t TS/ha.a auf 6,67 t TS/ha.a 19 %. Bei einer weiteren Halbierung der Aufbringungsmenge (von 6,67 auf 3,33 t TS/ha.a) beträgt der Unterschied im Zinkbodenlager nur mehr 9 %.

Die maximale errechnete Zinkkonzentration im genannten Beispiel beträgt bei der Aufbringung des Kompostes mit 300 mg Zn/kg 430 mg Zn/kg Boden, bei der Aufbringung des Kompostes mit 1200 mg Zn/kg jedoch 1725 mg Zn/kg Boden.

Um die tatsächliche Anreicherung sowie den jeweiligen Zeitraum der Anreicherung im Boden abzuschätzen, werden sowohl alle anderen Ein- (Deposition, etc.) als auch Austräge (Erosion (siehe Kapitel 4.1.4.1), Auswaschung (siehe Kapitel 4.1.4.2), Pflanzenentzug (siehe Kapitel 4.1.4.3)) berücksichtigt. Insbesondere wird beachtet, dass die Austräge bei einer Zunahme der Bodenkonzentration nicht konstant bleiben sondern mit zunehmender Konzentration ansteigen. Für die Erosion wird angenommen, dass die erodierte Bodenmenge konstant bleibt. Dabei wird die erodierte Bodenschicht durch konstanthalten der Bearbeitungstiefe mit berücksichtigt (siehe Kapitel 4.1.4.1). Konventionelle Modelle berücksichtigen weder den Eintrag an stabiler Matrix in den Boden noch dass sich die Austräge in Abhängigkeit von der Bodenkonzentration verändern.

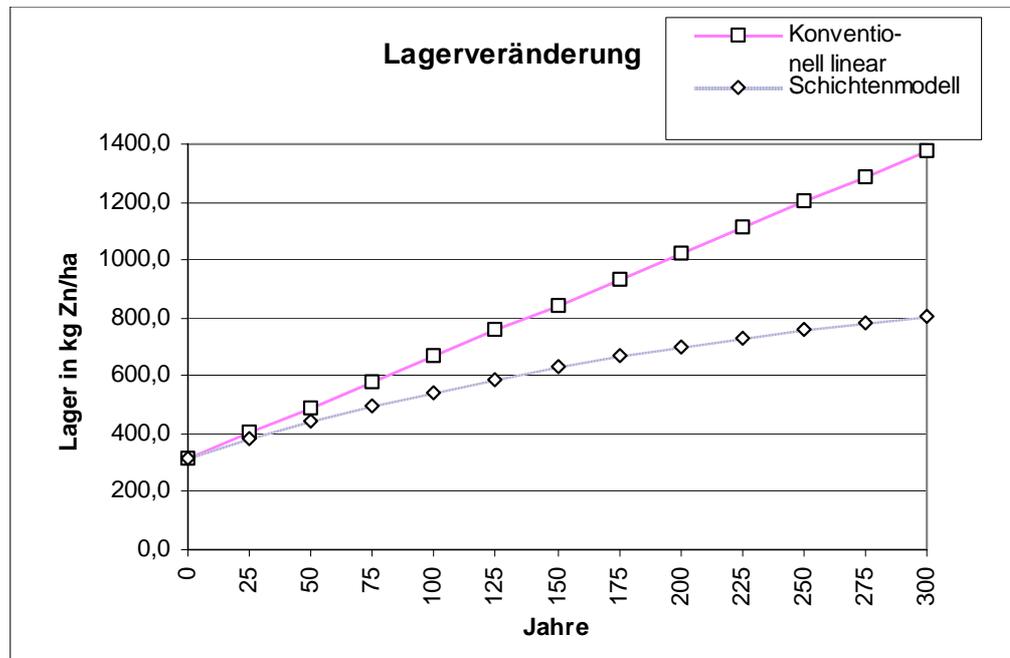
Als Beispiel wird die Zink-Anreicherung anhand des dargestellten Schichtenmodells einer konventionell linearen Berechnung (z.B. [Kernbeis et al., 1996]) gegenübergestellt.

Folgende Ausgangsbedingungen werden für beide Varianten angenommen:

Zinklager zum Zeitpunkt 0: 315 kg Zn/ha (entspricht 70 mg/kg TS Zn, 30 cm Bodentiefe, Bodendichte 1,5 kg/dm³); Zn-Eintrag über Deposition: 0,5 kg/ha.a; Eintrag über Kompost: 17,5 t TS Kompost mit 200 mg/kg TS Zn; Erosion zum Zeitpunkt 0: 1,5 t Boden je ha.a (dies entspricht ca. 0,11 kg Zn/ha.a); Auswaschung zum Zeitpunkt 0: 0,2 kg Zn /ha.a; Pflanzenentzug zum Zeitpunkt 0: 0,15 kg Zn/ha.a;

zusätzliche Annahmen im Schichtenmodell:

- 30 % org. Substanz, davon 5 % langfristig stabil; Transferfaktor Boden - Pflanze = 1 (dies bedeutet z.B. dass eine 10 % höhere Zn-Konzentration im Boden zu einem 10 % höheren Zn-Entzug durch die Pflanzen führt); Erosion und Auswaschung steigen proportional mit der Veränderung der Bodenkonzentration



Das Zinklager beträgt im dargestellten Beispiel nach dem Schichtenmodell nach 300 Jahren rund 800 kg/ha in den obersten 30 cm, das Lager nach einer konventionellen Berechnung rund 1400 kg/ha.

Das maximale Zinklager im gezeigten Beispiel nähert sich im Schichtenmodell langfristig einem Wert von 1030 kg Zn/ha an, dies entspricht einer Lagererhöhung von maximal rund 215 % gegenüber dem Ausgangszustand. Das konventionell lineare Modell ist nach oben unbegrenzt.

Mit Hilfe des Schichtenmodells kann jene Gütermenge ausgerechnet werden, die jährlich innerhalb eines definierten Zeitraums auf eine Flächeneinheit aufgebracht werden kann, ohne langfristig (Zeitraum ist zu definieren) zu einer Überschreitung einer zu definierenden Stoffkonzentration im Boden zu führen.

Die Formeln zur Berechnung der nachhaltig aufbringbaren Gütermengen sowie deren Herleitung werden ausführlich im Anhang A dargestellt.

4.1.4.1 Berücksichtigung der Erosion

Durch die Einwirkung von Niederschlag oder von Wind können Bodenteilchen von der Oberfläche abtransportiert werden. Der Bodenzuwachs durch das Aufbringen diverser Güter verringert sich dadurch, möglicherweise kommt es sogar insgesamt zu einer Bodenverringernung (das Bodenniveau am Ende des Jahres liegt tiefer als zu Beginn des Jahres). Dies trifft um so mehr zu, je geringer die eingebrachte stabile Trockensubstanz ist und je weniger das eingebrachte Gut die Bodenstabilität, und

damit das Widerstandsvermögen gegen die mechanische Einwirkung von Wasser oder Wind, fördert.

Eine höhere Konzentration im Bodenlager erhöht bei gleichbleibender Erosionsintensität (die gleiche Bodenmasse wird ausgetragen) die ausgetragene Stofffracht.

Aufbauend auf der Berechnung der Stoffkonzentration im Boden unter Berücksichtigung des Bodenzuwachses wird (i) die Fracht der erodierten Bodenschicht vom Gesamtlager abgezogen und (ii) gleichzeitig die Fracht einer Bodenschicht gleicher Dicke, allerdings mit der ursprünglichen Stoffkonzentration (vor der letztmaligen Vermischung mit dem aufgebrauchten Gut), hinzu addiert. Dadurch bleibt die Mächtigkeit des betrachteten Bodenkompartmentes konstant.

Für die Erosion werden folgende vereinfachten Annahmen getroffen, wobei gewisse Fehler in Kauf genommen werden:

- die Erosion findet kontinuierlich über das ganze Jahr verteilt statt (in der Praxis findet die höchste Erosionstätigkeit während einiger weniger Niederschlagsereignissen bei unbedecktem Boden statt)
- die jährlich erodierte Bodenmenge bleibt konstant (diese Annahme berücksichtigt nicht, dass etwa insbesondere durch die Aufbringung stabiler organischer Substanz sich die Bodenstabilität und damit die Widerstandsfähigkeit gegen den Erosionsangriff erhöht)
- die durchschnittliche Konzentration im erodierten Bodenkompartment entspricht der Stoffkonzentration des Vorjahres im Boden plus 50 % der im Betrachtungszeitraum eingetragenen Stoffmenge

$$E = (mx_{n-1} * \frac{h - aB}{h} + \frac{mx_a}{2}) * \frac{eB}{h}$$

E durch die Erosion ausgetragene Stoffmenge in kg

mx_{n-1} Masse des betrachteten Stoffes im Vorjahr in kg

h Höhe des Kompartiments in dm

aB aufgebrauchte Bodenschicht in dm

mx_a jährlich durch das aufgebrauchte Gut eingetragene Stoffmasse in kg

eB erodierte Bodenschicht in dm

Bei dieser Berechnung wird eine mögliche Anreicherung oder Abreicherung des betrachteten Stoffes im erodierten Bodenmaterial (“selektive” Erosion [Strauss 1995]) nicht berücksichtigt. Werden Stoffe vor allem an Teilchen mit kleiner Korngröße adsorbiert (diese werden stärker erodiert), so wird der Anreicherungszeitraum eines Stoffes tendenziell zu kurz berechnet.

4.1.4.2 Berücksichtigung der Auswaschung

Unter Auswaschung wird die sickerwasserbedingte Verlagerung von Stoffen in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser verstanden. Die Stoffkonzentration im Boden beeinflusst die durch die Auswaschung ausgetragene Stoffmenge. Unter der Annahme unveränderter Bodenbedingungen, insbesondere unverändertem pH-Wert, steigt mit zunehmender Stoffkonzentration im Boden die Menge der in Lösung gehenden Stoffe und damit die ausgetragene Stoffmenge. Die Löslichkeit von Schwermetallen und damit die mit dem Sickerwasser auswaschbare Menge hängt in erster Linie vom pH-Wert sowie der Art und Menge der Bodenkolloide (Ton, Humus, amorphe Fe- und Al-Oxide) ab [Scheffer & Schachtschabel, 1992]. Die Schwermetalle Zn, Cu und Cd werden zwar vorwiegend akkumuliert, doch muss vor allem bei höheren Einträgen auch mit nennenswerten Auswaschungen gerechnet werden [Blum & Wenzel, 1989]. Die Auswaschung der Schwermetalle ist im alkalischen bis schwach sauren Bereich gering, weil hier schwerlösliche Verbindungen und starke Adsorption vorliegen; sie steigt mit abnehmendem pH wie dies bei Bodenversauerung der Fall sein kann.

Es ist zu bedenken, dass in der Praxis durch die Aufbringung von diversen Gütern jedoch die Bodenbedingungen verändert werden.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Auswaschung ist proportional zum Gesamtlager im Boden
- die durchschnittliche Konzentration im Bodenkompartment entspricht der Stoffkonzentration des Vorjahres im Boden plus 50 % der im Betrachtungszeitraum eingetragenen Stoffmenge

$$P = (mx_{n-1} * \frac{h - aB}{h} + \frac{mx_a}{2}) * g$$

wobei:

$$g = \frac{P_0}{mx_0}$$

P	durch die Auswaschung ausgetragene Stoffmenge in kg
mx_{n-1}	Masse des betrachteten Stoffes im Vorjahr in kg
mx_a	jährlich durch das aufgebrachte Gut eingetragene Stoffmasse in kg
h	Höhe des Kompartiments in dm
aB	aufgebrachte Bodenschicht in dm
P_0	Ausgewaschene Stoffmenge zum Ausgangszeitpunkt in kg
mx_0	Masse des betrachteten Stoffes zum Ausgangszeitpunkt in kg

Als Einschränkung gilt, dass die Stoffmasse mx_0 nur bei im Boden immobilen Stoffen korrekt ist, im Normalfall, die meisten Stoffe jedoch, wenn auch in verschiedenstem Ausmaße, mobil sind. Dies bedeutet, dass die Stoffmasse mx_0 tatsächlich größer ist, und damit die Stoffanreicherung tendenziell unterschätzt wird.

4.1.4.3 Berücksichtigung des Pflanzenentzuges

Ändert sich der Schwermetallgehalt im Boden, so ändert sich auch der Gehalt an Schwermetallen in den Pflanzen. Diese Änderung muss jedoch nicht proportional sein und ist zusätzlich je nach Pflanzenart verschieden. Das heißt, eine Verdoppelung der Stoffkonzentration im Boden führt nicht immer zu einer Verdoppelung des Pflanzenentzuges.

Für die Aufnahme in die Pflanze sind insbesondere die im Bodenwasser gelösten Anteile als auch die leicht mobilisierbaren Formen der adsorbierten Schadstofffraktionen bedeutend. Insgesamt sinkt die Löslichkeit von Schwermetallen bei gleichen adsorbierten Gehalten im allgemeinen in der Reihe $Cd \geq Zn \geq Tl > Ni > Cu > As = Cr \geq Pb \geq Hg$ [Scheffer & Schachtschabel, 1992]. Dieser Umstand kann durch die Einbeziehung von *Transferfaktoren (Transferkoeffizienten)* berücksichtigt werden, welche definiert werden als Quotient aus den Gesamtgehalten an Schwermetallen in der oberirdischen Pflanzensubstanz und dem Bodenmaterial. Die Verteilung der Transferfaktoren eines Elementes ist hyperbelförmig, wenn die Schwermetallgehalte des Bodens auf der X-Achse und die Transferfaktoren auf der Y-Achse abgetragen werden. Dies bedeutet, dass die Pflanzen bei niedrigen Bodengehalten überproportional viel Schwermetalle enthalten [Lübber & Sauerbeck, 1991]. Diese Koeffizienten weisen eine große Bandbreite vor allem in Abhängigkeit der Bodenbedin-

gungen auf. Dennoch ermöglichen sie, Aussagen zu treffen, welche Stoffe leichter und welche schwerer aufgenommen werden. Im Zuge dieser Studie werden die Transferfaktoren für die einzelnen Pflanzenarten von [Lübben & Sauerbeck, 1991] übernommen.

Die Berechnung des Schwermetallentzugs bei steigender Bodenkonzentration setzt sich aus folgenden Schritten zusammen: (i) Pflanzenentzug derzeit + jährliche Änderung des Gesamtlagers (Einträge minus Austräge) * derzeitigen Verhältnis von Pflanzenentzug zum Gesamtlager * Transferfaktor Boden-Pflanze.

Der Pflanzenentzug zum derzeitigen Zeitpunkt errechnet sich aus den geernteten Gütermengen mal den zugeordneten Stoffgehalten der Güter.

Folgende Annahme wurde getroffen:

- die durchschnittliche Konzentration im Bodenkompartment entspricht der Stoffkonzentration des Vorjahres im Boden plus 100 % der im Betrachtungszeitraum eingetragenen Stoffmenge

$$R = R_0 + (mx_{n-1} * \frac{h - aB}{h} + mx_a - mx_0) * f * TF$$

wobei:

$$f = \frac{R_0}{mx_0}$$

R	durch den Pflanzenentzug ausgetragene Stoffmenge in kg (R....Removal)
R_0	Entzogene Stoffmenge zum Ausgangszeitpunkt in kg
h	Höhe des Kompartiments in dm
aB	aufgebrachte Bodenschicht in dm
mx_{n-1}	Masse des betrachteten Stoffes im Vorjahr in kg
mx_a	jährlich durch das aufgebrachte Gut eingetragene Stoffmasse in kg
mx_0	Masse des betrachteten Stoffes zum Ausgangszeitpunkt in kg
TF	Transferfaktor Boden-Pflanze

4.1.4.4 Betrachtung aller Einträge

Alle bisherigen Überlegungen und Berechnungen berücksichtigen noch nicht, dass weitere stoffliche Einträge in die Böden stattfinden bzw. stattfinden können, wie etwa atmosphärische Depositionen, Wirtschaftsdüngeraufbringung (z.B. Gülle, Festmist), Spritzmitteleinsatz, etc.

In den obigen Formeln ist deshalb die jährlich eingetragene Fracht mx_a sowie die aufgebrauchte Bodenschicht aB in einem weiteren Schritt um die gesamten Einträge zu erweitern.

$$mx_a = \frac{\sum TS_i * cx_i}{1000}$$

$$aB = \frac{\sum TS_{M,i}}{10000 * \rho_B}$$

$$TS_M = TS * (1 - aoS - wLS + oS * wLS)$$

aB	aufgebrauchte Bodenschicht in dm
cx_i	Stoffkonzentration des i-ten Gutes
ρ_B	Dichte des Bodenkompartmentes in kg/dm ³
oS	organische Substanz in der Trockensubstanz in %/100
aoS	abbaubare organische Substanz in der Trockensubstanz in %/100
$TS_{M,i}$	stabile Matrix des i-ten aufgebrauchten Gutes in kg
TS_i	Trockensubstanzmenge des i-ten aufgebrauchten Gutes in kg

Aus der Stoffmenge mx_n kann nun über die Bodenmasse M_B die Stoffkonzentration cx_n errechnet werden.

$$cx_n = \frac{mx_n}{M_B}$$

4.1.4.5 Betrachtung aller Ein- und Austräge

Das Lager des Stoffes x zum Zeitpunkt n wird aus dem Lager des Vorjahres plus der neu aufbrachten Stofffracht mx_a abzüglich der Austräge über die Erosion E , die Auswaschung P und den Pflanzenentzug R berechnet.

Die Höhe des betrachteten Bodenkompartmentes bleibt im Schichtenmodell konstant. Das bedeutet: (i) der „oben“ aufbrachten Bodenschicht steht eine „unten“ wegfallende Bodenschicht gegenüber. (ii) Einer „oben“ erodierten Bodenschicht steht eine „unten“ hinzukommende Bodenschicht gegenüber.

Deshalb wird bei der Berechnung des Lagers mx zu einem Zeitpunkt n das Lager des vorangehenden Jahres um (i) $(h-aB)/h$ verringert und die im Betrachtungsjahr aufbrachte Stofffracht addiert. (ii) Die durch die Erosion E oben wegfallenden Bodenschicht wird durch eine „unten“ hinzukommende Bodenschicht ausgeglichen ($+ eB$). Bei der Berechnung sind folgende Fälle zu unterscheiden: (i) die Erosion ist kleiner oder (ii) die Erosion ist größer als die aufbrachte Bodenmenge.

Fall 1: $eB < aB$

$$mx_n = mx_{n-1} * \frac{h-aB}{h} + mx_a - E - P - R + mx_{n-1} * \frac{eB}{h}$$

wobei:

$$E = (mx_{n-1} * \frac{h-aB}{h} + \frac{mx_a}{2}) * \frac{eB}{h}$$

$$P = (mx_{n-1} * \frac{h-aB}{h} + \frac{mx_a}{2}) * g; \text{wobei: } g = \frac{P_0}{mx_0}$$

$$R = R_0 + (mx_{n-1} * \frac{h-aB}{h} + mx_a - mx_0) * f * TF; \text{wobei: } f = \frac{R_0}{mx_0}$$

$$aB = \frac{\sum TS_{M,i}}{10000 * \rho_B}$$

$$mx_a = \frac{\sum TS_i * cx_i}{1000}$$

$$TS_M = TS * (1 - aoS - wLS + oS * wLS)$$

Fall 2: $eB > aB$

$$mx_n = mx_{n-1} * \frac{h-aB}{h} + mx_a - E - P - R + mx_0 * \frac{eB}{h}$$

Berechnung von E, P und R wie in Fall 1

Um nun die tatsächliche Konzentration zu einem beliebigen Zeitpunkt errechnen zu können, wird ein analytischer Ansatz verwendet. **Die Herleitung wird im Anhang A dargestellt.**

$$mx_n = c^n * (mx_0 - \frac{d}{1-c}) + \frac{d}{1-c}$$

Fall 1: $eB < aB$

$$c = \left(\frac{h-aB}{h} * \left(1 - \frac{eB}{h} - g - f * TF \right) + \frac{eB}{h} \right)$$

und für d:

$$d = mx_a * \left(1 - \frac{eB}{2h} - \frac{g}{2} - f * TF \right) - R_0 + R_0 * TF$$

Fall 2: $eB > aB$

$$c = \left(\frac{h-aB}{h} * \left(1 - \frac{eB}{h} - g - f * TF \right) \right)$$

und für d:

$$d = mx_a * \left(1 - \frac{eB}{2h} - \frac{g}{2} - f * TF \right) - R_0 + R_0 * TF + mx_0 * \frac{eB}{h}$$

aB	aufgebrachte Bodenschicht in dm
cx_i	Stoffkonzentration des i-ten aufgetragenen Gutes
eB	erodierte Bodenschicht in dm
E	durch die Erosion ausgetragene Stoffmenge in kg
h	Höhe des Kompartiments in dm
mx_a	jährlich durch die aufgetragenen Güter eingetragene Stoffmasse in kg
mx_0	Masse des betrachteten Stoffes zum Zeitpunkt $n=0$ in kg
mx_n	Masse des betrachteten Stoffes in kg zum Zeitpunkt n
mx_{n-1}	ursprüngliche Masse des betrachteten Stoffes im Betrachtungsjahr in kg
oS	organische Substanz in der Trockensubstanz in %/100

aoS	abbaubare organische Substanz in der Trockensubstanz in %/100
$TS_{M,i}$	stabile Matrix des i-ten aufbrachten Gutes in kg
TS_i	Trockensubstanzmenge des i-ten aufbrachten Gutes in kg
P	durch die Auswaschung ausgetragene Stoffmenge in kg
P_0	Ausgewaschene Stoffmenge zum Ausgangszeitpunkt in kg
R	durch den Pflanzenentzug ausgetragene Stoffmenge in kg
R_0	Entzogene Stoffmenge zum Ausgangszeitpunkt in kg
TF	Transferfaktor Boden-Pflanze
ρ_B	Dichte des Bodenkompartment in kg/dm^3

Die direkte Berechnung der *spezifischen* (auf eine Flächeneinheit bezogen) *langfristig aufbringbaren Gütermenge* ($TS_{s,i}$) erfordert die Lösung eines Polynoms n-ten Grades (n ist die Dauer des Anreicherungszeitraumes in Jahren) und wird deshalb nicht weiter verfolgt. Durch eine iterative Berechnung der jeweiligen Stoffkonzentration im Boden (durch eine schrittweise Anpassung der Aufbringungsmenge) kann mit Hilfe obiger Formel jedoch die maximal mögliche Aufbringungsmenge rasch angenähert werden.

4.2 Ressourcennutzung

Die Ressourcennutzung ergibt sich aus der anfallenden Menge einer Ressource und der davon langfristig in der Region tatsächlich verwertbaren Menge.

Die im Schichtenmodell errechneten aufbringbaren TS-Mengen orientieren sich nur an der Schwermetallanreicherung in den Böden. Um die Ressourcennutzung in der Region durch die einzelnen Güter beurteilen zu können, sind zusätzlich zu den errechneten TS- und Nährstoffmengen je Flächeneinheit noch folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Limitierungen der flächenspezifischen Nährstoffmengen und TS-Mengen
- Regional zur Verfügung stehende Verwertungsflächen für die einzelnen Güter
- Bestimmung der regional zu verwertenden Gütermengen
- Bestimmung der verfahrensbedingten Nährstoffverluste

Ein regionales Konzept ist damit stark von der Systemgrenze abhängig: Neben der regional tatsächlich zur Verfügung stehenden Aufbringungsfläche beeinflussen auch die regionspezifischen Qualitäten der erzeugten Produkte, welche durch das

legistische Umfeld (Grenzwertfestlegungen, Frachtenregelungen) vom Einsatz ausgeschlossen werden können, die Menge an rückführbaren Nährstoffen. Hinzu kommt die Bedeutung der lokalen Produktion/Verarbeitung biogener Materialien (siehe hierzu Kapitel 4.2.4).

4.2.1 Bestimmung der regional anfallenden Nährstoffmengen

Die regional anfallenden Nährstoffmengen können auf zwei Wegen bestimmt werden:

(i) Mengenerhebung der anfallenden biogenen Materialien und Verknüpfen der Mengen mit Stoffkonzentrationen. Sowohl Mengen als auch Stoffkonzentration können dabei direkt gemessen werden oder aus der vorhandenen Literatur übertragen werden.

(ii) Rückrechnen von den regional anfallenden Behandlungsendprodukten (Kompost, Klärschlamm, Wirtschaftsdünger) auf die Ausgangsprodukte anhand von Transferkoeffizienten. Der Transferkoeffizient beschreibt die Verteilung eines Stoffes innerhalb eines Prozesses auf verschiedene Produkte. Die Transferkoeffizienten für die verschiedensten Behandlungsverfahren können aus der Literatur entnommen werden.

Der Transferkoeffizient $k_{x,i}$ ist definiert als

$$k_{x,i} = \frac{X_{\text{Produkt},i}}{X_{\text{Edukt}}}$$

$k_{x,i}$ Transferkoeffizient des Stoffes x in das i-te Produkt

$X_{\text{Produkt},i}$ Stofffluss des Stoffes X durch das i-te Produkt

X_{Edukt} Stofffluss des Stoffes X durch das Edukt

Die Summe der $k_{x,i}$ ist gleich 1.

In weiterer Folge werden Nährstoffe (N_S) betrachtet. Die Nährstoffmenge im Ausgangsmaterial errechnet sich somit als

$$Ns_{Edukt} = \frac{Ns_{Produkt,i}}{k_{n,i}}$$

In weiterer Folge wird die Bezeichnung für die Nährstoffmenge im Edukt Ns_{Edukt} durch die Bezeichnung Nährstoffmenge Gesamt Ns_G ersetzt.

wobei

$$Ns_{Produkt,i} = TS_i * cNs_i$$

cNs_i	Konzentration des Nährstoffes Ns im i -ten Produkt
$Ns_{Produkt,i}$	Menge des Nährstoffes Ns im i -ten Produkt des jeweiligen Verfahrens
Ns_{Edukt}	Menge des Nährstoffes n im Edukt (biogenes Ausgangsmaterial)

Werden die genannten Transferkoeffizienten genutzt, um die regional anfallenden Nährstoffmengen abzuschätzen, so können gleichzeitig auch die Verfahrensverluste quantifiziert werden. Während für Kläranlagen die regionalen Transferkoeffizienten relativ einfach bestimmt werden können, ist man bei der landwirtschaftlichen Kompostierung, den gasförmigen Verlusten bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern oder bei den Sickerverluste aus Senkgruben auf Literaturangaben angewiesen.

Die Wahl, vorrangig Phosphor zu berücksichtigen, hat zur Folge, dass mit Ausnahme der Klärschlämme und der Senkgrubeninhalte (Versickerung in den Untergrund) die P-Mengen im Ausgangsmaterial jenen im erzeugten Endprodukt entsprechen.

4.2.2 Limitierungen der flächenspezifisch aufbringbaren Gütermengen

Das Schichtenmodell berücksichtigt nur die Schwermetallanreicherung innerhalb eines definierten Zeitraumes in einem Bodenkompartment. Dabei kann es sein, dass das Schichtenmodell Gütermengen je Flächeneinheit errechnet, die über den von diversen Gesetzen/Normen erlaubten maximalen Aufbringungsmengen liegen. Zusätzlich können die je Flächeneinheit eingebrachten Nährstoffmengen über bestehenden Vorschriften bzw. Empfehlungen (z.B. Wasserrechtsgesetz, Richtlinien für Sachgerechte Düngung) liegen.

4.2.2.1 Qualitätsanforderungen bzw. mengenmäßige/frachtmäßige Beschränkungen

Je nach betrachtetem Gut beschränken diverse Qualitätsanforderungen die Ausbringung. Derartige Anforderungen sind etwa die Steiermärkische Klärschlammverordnung [Stmk. LGBl. Nr. 89/1987] oder die ÖNORM S2200 [ON, 1993]. Güter, die diese Anforderungen nicht erfüllen, gehen bei der Bewertung der einzelnen Behandlungsverfahren als (Nährstoff)-Verluste ein. Ebenso kann die erlaubte aufbringbare TS-Menge je Fläche eingeschränkt sein.

4.2.2.1.1 Klärschlamm

Die erlaubten Qualitäten im und die resultierenden Frachten durch die Aufbringung von Klärschlamm werden durch das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz und durch die darauf aufbauende Klärschlammverordnung geregelt.

- Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz, [Stmk. LGBl. Nr. 66/1987] § 11 Aufbringung (1) Jährlich darf höchstens eine Klärschlammmenge von 1,25 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Grünland und 2,5 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Ackerland aufgebracht werden. Diese Trockensubstanzmenge kann auf das zweifache erhöht werden, wenn im vorangegangenen Jahr eine Klärschlammaufbringung unterblieben ist.
- Klärschlammverordnung §3 (1)) [Stmk. LGBl. Nr. 89/1987] Im Klärschlamm darf der Schadstoffgehalt keinen der untenstehend angeführten Grenzwerte überschreiten.

Dabei ist der Klärschlamm, der zur Aufbringung auf landwirtschaftlichen Böden abgegeben werden soll, im Aufbringungszustand zu untersuchen (Klärschlammverordnung §1 (1)) [Stmk. LGBl. Nr. 89/1987].

Tabelle 4-3: Schwermetallgrenzwerte für Klärschlämme nach der Klärschlammverordnung

Element	Zn	Cu	Cr	Pb	Co	Ni	Md	Cd	Hg
GW. in mg/kg TS	2000	500	500	500	100	100	20	10	10

- Klärschlammverordnung §4 (1) Jährlich zulässige Schadstoff-Frachten
Jährlich dürfen auf landwirtschaftlichen Böden höchstens folgende Frachten an Schadstoffen in Gramm pro Hektar über Klärschlamm aufgebracht werden:

Tabelle 4-4: Jährlich zulässige Schadstoff-Frachten laut Klärschlammverordnung

Element	Zn	Cu	Cr	Pb	Co	Ni	Md	Cd	Hg
Fracht in g/ha.a Ackerland	5000	1250	1250	1250	250	250	50	25	25
Fracht in g/ha.a Grünland	2500	625	625	625	125	125	25	12,5	12,5

Kommentar

Wird das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz § 11 Aufbringung mit der Frachtenregelung der Klärschlammverordnung verglichen, so ergibt sich folgendes Bild: Nach dem Bodenschutzgesetz darf höchstens eine Klärschlammmenge von 1,25 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Grünland und 2,5 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Ackerland aufgebracht werden. Diese Trockensubstanzmenge kann auf das zweifache erhöht werden, wenn im vorangegangenen Jahr eine Klärschlammaufbringung unterblieben ist. In der gemäß des Bodenschutzgesetzes erlassenen Klärschlammverordnung wird keine maximal ausbringbare Trockensubstanzmenge sondern die jährlich zulässigen Fracht sowie die zulässigen Grenzwerte bestimmt. Durch Rückrechnen von der jährlich zulässigen Fracht über die zulässigen Grenzwerte im Klärschlamm erhält man jedoch ebenfalls eine maximal erlaubte Aufbringungsmenge von 2,5 t TS/ha.a. In der Praxis enthalten jedoch ein Großteil der anfallenden Klärschlämme Konzentrationen die geringer sind als die zulässigen Grenzwerte. Dadurch könnten deutlich höhere TS-Mengen als im Bodenschutzgesetz festgelegt ausgebracht werden. Nach [Strobel, 1999] ist jedoch hinsichtlich der Aufbringungsmenge das Bodenschutzgesetz und nicht die Klärschlammverordnung bindend.

Es scheint somit unklar, weshalb der Gesetzgeber überhaupt zusätzlich zur Festsetzung der Grenzwerte im Klärschlamm eine Frachtenregelung in der Klärschlammverordnung erlassen hat.

Im Gegensatz zum steirischen Bodenschutzgesetz weist etwa das Burgenländische Bodenschutzgesetz [Bgl. LGBl. Nr. 87/1990] keine maximale Aufbringungsmenge für die Trockensubstanz aus. Die zulässigen maximalen jährlichen Stofffrachten je ha im Burgenland, die in der Burgenländischen Klärschlamm - und Müllkompostverordnung [Bgl. LGBl. Nr. 82/1991] festgelegt werden, entsprechen jenen in der Steiermark. Werden diese zulässigen Frachten voll ausgeschöpft so können mehr als 2,5 t TS Klärschlamm je ha und Jahr ausgebracht werden, wenn die Stoffkonzentrationen unter den vorgegebenen Grenzwerten liegen.

Die Steiermärkische Klärschlammverordnung ist somit bezüglich der erlaubten Schwermetallfrachten durch Klärschlamm restriktiver als jene im Burgenland, da wie bereits erwähnt, Klärschlämme zumeist Konzentrationen unter den geltenden Grenzwerten aufweisen.

4.2.2.1.2 Kompost

Es gibt derzeit keine steiermärkische Verordnung für die Ausbringung von Komposten aus getrennt gesammelten biogenen Abfällen. Die Bestimmungen im steiermärkischen Bodenschutzgesetz über sind nicht ausschlaggebend („Müllkompost ist der in Kompostierungsanlagen aus Hausmüll, allenfalls unter Beimengung von Klärschlamm gewonnene Kompost“). Die Ausbringungsmengen und Qualitäten für Komposte aus getrennt gesammelten biogenen Abfällen richten sich nach dem Wasserrechtsgesetz [BGBl. 1990/252] (Begrenzung der N-Fracht) sowie insbesondere nach der ÖNORM S2200 „Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen“ [ON, 1993]. Diese ÖNORM legt Grenzwerte für zwei verschiedene Klassen von Komposten fest. Zur Orientierung werden auch die EU-weit gültigen Grenzwerte für Komposte die in der biologischen Landwirtschaft eingesetzt werden dargestellt.

Tabelle 4-5: Schwermetallgrenzwerte in Komposten nach ÖNORM S2200 und EU-BioVo

Element	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
GW KI I mg/kg TS	210	70	70	70	42	0,7	0,7
GW KI II mg/kg TS	400	100	70	150	60	1	1
EU-BioVo mg/kg TS	200	70	70	45	25	0,7	0,4

Frachtenmäßig wird die Ausbringung von Kompostklasse I durch das Wasserrechtsgesetz (Stickstoffbegrenzung) begrenzt. Für die Kompostklasse II gibt es eine Begrenzung der Schwermetallfrachten: „Die Aufwandmengen der Kompostklasse II sind so zu berechnen, dass es über einen Zeitraum von 100 Jahren zu einer Schwermetallanreicherung im Ausmaß von maximal 50 % der derzeit üblichen Bodengrenzwerte für Schwermetalle kommt.“

Die Aufwandmengen für die Anwendung von Komposten der Kompostklasse II auf Grünland sind wegen der fehlenden Durchmischung mit den oberen Bodenschichten zu halbieren.

Kommentar

Die Berechnung der Aufwandmenge anhand der obigen Formulierung“ über einen Zeitraum von 100 Jahren zu einer Schwermetall**anreicherung**...“ ist nicht prakti-

zierbar, da es gleichzeitig neben der Kompostfracht weitere Einträge aber auch Austräge aus den Böden gibt. Praktizierbar(er) hingegen war die Formulierung im Entwurf der ÖNORM S 2200 vom September 1991 in der es sinngemäß heißt: „innerhalb von 100 Jahren zu **einem zusätzlichen Eintrag** von max. 50 % der derzeit zulässigen Bodengrenzwerte für Schwermetalle“.

Die ÖNORM S2200 verfolgt eine andere Strategie als das Steiermärkische Bodenschutzgesetz: Während das Bodenschutzgesetz die Gesamtfracht an Stoffen unabhängig von der Bearbeitungstiefe reglementiert, zielt die ÖNORM auf maximal erlaubte Konzentrationen im Boden ab. Je tiefer bearbeitet wird, desto größere Frachten dürfen aufgebracht werden. Daraus ergeben sich auch verschiedene Aufbringungsmengen je nach Bearbeitungstiefe.

Die Bestimmungen über die Aufwandsmengen nach ÖNORM S2200 werden in dieser Arbeit wie folgt interpretiert: Es darf jährlich jene Menge an TS aufgebracht werden, die eine Stofffracht von 0,5 % (in 100 Jahren 50 % des Lagers) des Stoff-Bodenlagers der Bearbeitungstiefe mit Grenzwertkonzentration enthält.

Die restriktivste Bestimmung für die Ausbringung von Kompost ergibt sich bei einer Bearbeitungstiefe von 30 cm für das Element Blei. Bei einer Bearbeitungstiefe von 20 cm dürfen 10 t TS/ha.a, bei 30 cm Bearbeitungstiefe 15 t TS/ha.a. ausgebracht werden. Dieser Berechnung liegt zugrunde, dass die Grenzwerte vollständig ausgeschöpft werden. Da die Konzentration heutiger Komposte aus Anlagen die nur getrennt erfasste biogene Abfälle behandeln deutlich unter den Grenzwerten liegen stellt die errechnete TS-Menge die Untergrenze dar. Die Obergrenze wird jedoch wie bei Kompostklasse I durch das Wasserrechtsgesetz festgelegt.

Vergleicht man die resultierenden Frachten aus den erlaubten Aufbringungsmengen von Kompostklasse I und Kompostklasse II (siehe Tabelle 4-6), so ist ersichtlich, dass bei einer Bearbeitungstiefe von 30 cm die größeren Stofffrachten durch Kompost der Kompostklasse II, mit Ausnahme von Chrom, eingebracht werden können. Bei einer Bearbeitungstiefe von 20 cm sind die erlaubten Stofffrachten mit Ausnahme von Zink und Blei bei der Kompostklasse I höher.

Tabelle 4-6: Boden- und Kompostgrenzwerte in mg/kg TS, erlaubte maximale Kompostmengen in t TS/a sowie die daraus resultierenden Frachten nach ÖNORM S 2200 in g/ha.a

	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Hg
Grenzwert Boden	300	100	100	100	60	2	2
Grenzwert Klasse I	210	70	70	70	42	1	1
Grenzwert Klasse II	400	100	70	150	60	1	1
TS-Menge Kl II 20 cm	11	15	21	10	15	30	30
TS-Menge Kl II 30 cm	17	23	32	15	23	45	45
Fracht Kl II 20 cm, 10 t TS	4000	1000	700	1500	600	10	10
Fracht Kl II 30 cm, 15 t TS	6000	1500	1050	2250	900	15	15
Fracht Kl I, N = 1%	3675	1225	1225	1225	735	12	12

Durch die unterschiedlichen Grenzwerte der Kompostklassen I und II wird jedoch gewährleistet, dass die kompostbedingte maximale Aufkonzentrierung (durch den teilweisen Abbau der organischen Substanz) im Boden bei der Kompostklasse I deutlich geringer als jene durch die Kompostklasse II sein wird.

Unklar sind die Aufbringungsmengen auf Grünland. Nach ÖNORM S2200 sind die Aufbringungsmengen zu halbieren. Da je nach Bearbeitungstiefe unterschiedlich viel Kompost-TS auf Ackerflächen aufgebracht werden darf (siehe oben), ergibt auch die Halbierung unterschiedliche Mengen.

Das Wasserrechtsgesetz begrenzt die Verwendung von Kompost.

Wasserrechtsgesetz [BGBl. 1990/252] ; § 32 Abs. 2 lit f): Eine wasserrechtliche Bewilligung ist erforderlich, wenn die Düngergabe (i) 175 kg Reinstickstoff „auf landwirtschaftlichen Flächen ohne Gründeckung“ bzw. (ii) 210 kg Reinstickstoff „auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Gründeckung einschließlich Dauergrünland oder mit stickstoffzehrenden Fruchtfolgen“.

Kommentar

Bei einem angenommenen N-Gehalt von 1 % je kg TS können somit (falls die festgelegten Schadstoffgrenzwerte eingehalten werden, zw. 17,5 und 21 t TS Kompost jährlich eingebracht werden. Bei einer P₂O₅-Konzentration von 0,75 % errechnet sich eine P-Fracht von 57 bis 69 kg P/ha.a. Als Vergleich dazu: Beträgt der durchschnittliche landwirtschaftliche P-Entzug durch die Ernte einer Tonne Getreide etwa 4 kg P/t wobei je Hektar rund 5 t Körner geerntet werden können so errechnet sich ein P-Entzug von 20 kg P/ha.a. Fazit: Werden die maximalen Ausbringungsmengen an Kompost ausgeschöpft, so wird P sehr stark in den Böden angereichert. In der (Dünge)Praxis ist jedoch zu bedenken, dass die eingetragenen P- und insbesondere

die N-Fracht nur zum Teil über die Jahre hinweg pflanzenverfügbar ist und somit nicht unmittelbar für das Pflanzenwachstum zur Verfügung steht.

Durch den Abbau der organischen Substanz konzentrieren sich die im Kompost verbleibenden Schwermetalle auf.

Bsp.: 1000 kg TS im Ausgangsmaterial, 70 % org., 30 % anorg.

Endprodukt: 300 kg anorg. TS, 30 % org. TS (130 kg org. TS)

Errechneter Rotteverlust: 55 % der Ausgangstrockensubstanz

Das heißt: Eine Aufbringungsmenge von 17,5 t TS/ha.a bedeutet eine Ausgangs-TS von rd. 40 t TS. Also rund das 8-fache der über die Erntegüter entzogenen Trockensubstanzmenge.

4.2.2.1.3 Wirtschaftsdünger

Es gibt keine Vorschriften über die maximal erlaubten Konzentrationen in den diversen Wirtschaftsdüngern (Gülle, Mist, Jauche). Beschränkt wird jedoch die (bewilligungsfreie) maximale Aufbringungsmenge über das Wasserrechtsgesetz.

- Wasserrechtsgesetz (WRG) [BGBl. 1990/252]; § 32 Abs. 2 lit g) und lit f):
ad lit g) Hier ist festgelegt, dass die Ausbringung von Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ohne Gründecke von mehr als 175 kg Reinstickstoff je Hektar und Jahr, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Gründecke einschließlich Dauergrünland oder mit stickstoffzehrenden Fruchtfolgen von mehr als 210 kg Reinstickstoff je Hektar und Jahr bewilligungspflichtig ist.
ad lit f) Hier wird die maximale DGVE (DungGroßViehEinheit) je landwirtschaftlicher Nutzfläche mit 3,5 festgesetzt. Die Nutztieranzahl je DGVE ist nach der Tabelle im Anhang B des WRG zu bestimmen. 3,5 DGVE/ha entsprechen 210 kg N/ha. Betriebe, deren Tierbesatz 3,5 DGVE je ha selbstbewirtschafteter und zusätzlich für die Ausbringung des eigenen Anfalls rechtlich gesicherter landwirtschaftlicher Nutzfläche und Jahr übersteigt, sind bewilligungspflichtig.

Kommentar ad lit f) und lit g):

Lit f) und lit g) sind nicht konsistent. Während in lit f) die landwirtschaftliche Nutzfläche untergliedert wird in Nutzflächen ohne Gründecke und Nutzflächen mit Gründecke einschließlich Dauergrünland mit unterschiedlich hohen erlaubten N-Gaben so gelten die Beschränkungen der DGVE (3,5 DGVE/ha) nach lit g) undiffe-

renziert für die landwirtschaftliche Nutzfläche. Eine DGVE entspricht 60 kg Reinstickstoff [Wiesböck, 1999].

Für die Flächenerhebung wird deshalb folgende Begrenzung hinzugefügt: landwirtschaftliche Nutzflächen ohne Gründecke: 2,9 DGVE/ha (dies entspricht 175 kg Reinstickstoff), Dauergrünland 3,5 DGVE/ha.

4.2.3 Regional zur Verfügung stehende Verwertungsfläche

Die regional tatsächlich zur Verfügung stehende Fläche ergibt sich aus den vorhandenen Flächen der Region abzüglich der von der Verwertung auszuscheidenden Flächen für die betrachteten Güter.

$$A_{a,i} = A_R - A_{k,i}$$

$A_{a,i}$ in der Region für das i-te Endprodukt tatsächlich zur Verfügung stehende Fläche

$A_{k,i}$ in der Region für das i-te Endprodukt auszuscheidende Fläche

A_R Gesamtfläche der Region

Diese Ausscheidung von Flächen wird für jedes erzeugte Endprodukt aus biogenen Materialien getrennt vorgenommen.

$$TS_{a,i} = TS_{s,i} * A_{a,i}$$

$A_{a,i}$ in der Region für das i-te Endprodukt tatsächlich zur Verfügung stehende Fläche

$TS_{a,i}$ regional aufbringbare Menge des i-ten Endproduktes in t/a

$TS_{s,i}$ spezifische langfristig aufbringbare Menge des i-ten Endproduktes in t/ha.a

Durch multiplizieren der regional aufbringbaren Gütermenge mit der zugehörigen Stoffkonzentration wird die langfristig regional aufbringbare Nährstoffmenge berechnet.

$$mNs_{a,r,i} = TS_{a,i} * cNs_i$$

$mNs_{a,r,i}$	langfristig regional aufbringbare Nährstoffmenge durch das i-te Endprodukt in kg
$TS_{a,i}$	regional aufbringbare Menge des i-ten Endproduktes in t/a
cNs_i	Konzentration des Nährstoffes N_s im i-ten Produkt

4.2.3.1 Erhebung der Aufbringungsflächen für die betrachteten Güter

Die in der Region zur Verfügung stehende Bodenfläche ist je nach auszubringendem Produkt durch eine Anzahl von Beschränkungen unterschiedlich groß. Dabei sind einzelne Flächen bereits durch gesetzliche Vorgaben bzw. Produktionsauflagen von der Aufbringung bestimmter Güter ausgenommen. In anderen Fällen erscheint es nicht sinnvoll auf bereits ausreichend mit Nährstoffen versorgten Böden zusätzliche Nährstoffe aufzubringen. Möglicherweise ist die Aufbringung von P-hältigen Gütern in der Forstwirtschaft sinnvoll, die Aufbringung von zusätzlichem N ist jedoch bei den derzeitigen Depositionsraten, die deutlich über den Entzügen durch die Holznutzung liegen, nicht zu argumentieren.

4.2.3.1.1 Klärschlamm

Für die Ausbringung von Klärschlamm sind eine Vielzahl von Flächen von einer Beschlämmung ausgenommen:

- Waldflächen: Forstgesetz-Novelle 1987 [BGBl. Nr. 1987/576]: § 16. (1) *Jede Waldverwüstung ist verboten. Dieses Verbot richtet sich gegen jedermann.*
 (2) *Eine Waldverwüstung liegt vor, wenn durch Handlungen oder Unterlassungen*
d) der Bewuchs offenbar einer flächenhaften Gefährdung, insbesondere durch Wind, Schnee, wildlebende Tiere mit Ausnahme der jagdbaren, unsachgemäße Düngung, Immissionen aller Art, ausgenommen solche gemäß § 47, ausgesetzt wird oder Abfall (wie Müll, Gerümpel, Klärschlamm) abgelagert wird.
- Klärschlammverordnung §2 (1): landwirtschaftliche Böden, die nach den von der Bundesanstalt für Bodenkunde und Bodenwirtschaft erstellten Bodenempfindlichkeitskarten nicht als "minder empfindlich" oder "weitgehend tolerant" eingestuft sind
- Klärschlammverordnung §3 (2) [Stmk. LGBl. Nr. 89/1987]: landwirtschaftliche Böden bei denen die pflanzenverfügbaren Schadstoffgehalte die festgelegten Grenzwerte überschreiten.

Dabei gelten je nach Pflügetiefe unterschiedliche Grenzwerte. In der Klärschlammverordnung (die enthaltenen Werte entsprechen den Grenzwerten nach der Bodenschutzprogrammverordnung) sind explizit jene für eine Pflügetiefe von 20 cm angeführt. Sie gelten für Mischproben aus dem Oberboden mit einer durchschnittlichen Dichte von 1,5 (3000 t/ha = 20 cm Bodentiefe). Bei Ackerböden beträgt deren Mächtigkeit 20 cm. Wird tiefer gepflügt, muss das Ergebnis der Untersuchung wie folgt berichtigt werden:

$$\text{maßgebender Gehalt} = \frac{\text{gemessener Gehalt} * \text{Pflügetiefe}}{20}$$

In der folgenden *Tabelle 4-7* sind die nach Klärschlammverordnung festgelegten Bodengrenzwerte für die Pflügetiefen 20 und 30 cm dargestellt. Zur Orientierung werden Stoffkonzentrationen aus der Literatur, Normalwerte und Medianwerte (der Oberböden) aus der Steiermark [Bodenschutzbericht, 1998] sowie Bodengrenzwerte von Dänemark angeführt. Der Normalwert wird gebildet aus der Summe von Medianwert + zweifache Standardabweichung der untersuchten Unterböden + zweifacher Analysefehler [Bodenschutzbericht, 1998].

Beim Vergleich der Steirischen Medianwerte und den Literaturwerten treten die (größtenteils) geogen bedingten Charakteristika in den Vordergrund. Vor allem bei Zink und bei Blei liegen die steirischen Werte außerhalb der ausgewählten Literaturangaben. Die Normalwerte von Ni und Arsen liegen bei oder über den geltenden Grenzwerten auch bei 20 cm Bodentiefe. Der steirischen Medianwerte von Ni und Cr liegen 80 % bzw. 35 % über den dänischen Grenzwerten. Der Zink-Medianwert entspricht etwa dem dänischen Grenzwert.

Anm. In der Klärschlammverordnung wird bei der Angabe der Grenzwerte die Formulierung „der pflanzenverfügbare Schadstoffgehalt“ verwendet. Vielmehr handelt es sich jedoch bei den angegebenen Werten um die zulässigen Gesamtgehalte (Königswasser-Aufschluss).

Tabelle 4-7: Grenzwerte für pflanzenverfügbare Schadstoffgehalte in landwirtschaftlichen Böden in Abhängigkeit von der Bearbeitungstiefe entsprechend Klärschlammverordnung

in mg / kg TS	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Mo	Cd	Hg	As
Gw 20 cm	100	300	100	100	60	50	10	2	2	20*
Gw 30 cm	66,7	200	66,7	66,7	40,0	33,3	6,7	1,3	1,3	13,3
Literaturwert	2-40	10-80	2 - 20	5-100	5 - 50	1-40	0,2-5	<0,5	<0,5	2- 20
Medianwert Stmk.	25	95	24	41	27	13	0,8	0,2	0,1	11,5
Normalwert Stmk.	50	140	30	80	60	30	1,5	0,3	0,3	40
GW Dänemark	40	100	40	30	15			1	0,5	

* für Arsen gibt es keinen Gw, deshalb wird der international übliche Gw von 20 mg/kg TS angesetzt

Bei Dauergrünland beträgt die Mächtigkeit des Oberbodens 10 cm. Nach [Krainer, 2000] ist, wenn die Bodenschutzprogrammverordnung [Stmk. LGBl. Nr. 87/1987] streng interpretiert wird, auch für Grünland der geltende Grenzwert entsprechend umzurechnen.

Kommentar

Wird die Bodenschutzprogrammverordnung bzw. die Klärschlammverordnung streng ausgelegt, so bedeutet dies zweierlei: Je tiefer gepflügt wird, desto geringer ist die erlaubte maximale Aufkonzentrierung im Boden. Je geringer die Bearbeitungstiefe, desto höher die erlaubte Grenzkonzentration. Dies bedeutet, dass unabhängig von der Bearbeitungstiefe die je ha aufbringbare Frucht konstant ist (siehe auch Kommentar in Kapitel 4.2.2.1.2). Eine Diskussion hat deshalb zwei Zielrichtungen: Bei zunehmender Bearbeitungstiefe kann es bei größeren Bearbeitungstiefen ohne zusätzlichem Schwermetalleintrag der Grenzwert überschritten werden. Z.B. errechnet sich für Ni bei einer Bearbeitungstiefe von 40 cm ein Grenzwert von 30 mg/kg TS (Medianwert Steiermark im Oberboden: 27 mg/kg TS).

In der anderen Richtung (rechnerische Erhöhung des Grenzwertes bei geringerer Bearbeitungstiefe) ergeben sich sehr hohe Schadstoffkonzentrationen. Diese Konzentrationen liegen mit Ausnahme von Cr über den geltenden Grenzwerten nach der Deponieverordnung für Bodenaushubdeponien (bezogen auf geogen nicht erhöhte Materialien) [BGBl. 1996/164]. Der rechnerische Hg- und Cd-Grenzwert von 4 mg Hg/kg TS bzw. 4 mg Cd/kg TS ist dabei 4 mal so hoch. Der errechnete Hg Grenzwert ist auch höher als der Grenzwert für Baurestmassendeponien.

Die bestehende Grenzwertregelung nach der Klärschlammverordnung bzw. Bodenschutzprogrammverordnung sollte überarbeitet werden. Der langfristige Schutz des Menschen und der Umwelt ist bei der Grenzwertfestlegung jedenfalls zu berücksichtigen.

Folgende weitere Flächen sind von der Ausbringung von Klärschlamm ausgenommen:

- Klärschlammverordnung §6 (4) a) Gemüse- und Beerenobstkulturen
- Klärschlammverordnung §6 (4) d) landwirtschaftliche Böden in Hanglagen und Abschwemmungsgefahr
- Klärschlammverordnung §6 (4) f) Naturschutzgebiete
- Klärschlammverordnung §6 (4) g) verkarstete Gebiete und Moore
- Wasserrechtsgesetz [BGBl. 1990/252]; § 32 Abs. 2 lit g) und lit f):
landwirtschaftliche Nutzflächen ohne Gründecke mit mehr als 2,9 DGVE (dies entspricht 175 kg Reinstickstoff), Dauergrünland mit mehr als 3,5 DGVE (siehe Kapitel 4.2.2.1.3).

Im folgenden sind Maßnahmen nach dem ÖPUL-Programm 95 [ÖPUL, 1995] aufgelistet, die eine Aufbringung von Klärschlamm bzw. Klärschlammkompost untersagen:

- Garantierte Dauerbrache: 20-jährige Stilllegung
- Biologische Wirtschaftsweise
- Verzicht auf bestimmte ertragssteigernde Betriebsmittel im Acker- und Grünland (betriebsbezogen)
- Integrierter kontrollierter Obstbau
- Integrierter kontrollierter Weinbau
- Integrierte Produktion im Gemüsebau
- Integrierte Produktion im Zierpflanzenbau
- Extensiver Getreidebau für den Nahrungsmittelbereich
- Verzicht auf leicht lösliche Handelsdünger und flächendeckenden chemisch-synthetischen Pflanzenschutz auf einzelnen Grünlandflächen
- Verzicht auf leichtlöslichen Handelsdünger und chemisch-synthetischen Pflanzenschutz
- Verzicht auf leicht lösliche Handelsdünger und Wachstumsregulatoren

Flächen, die nicht ausdrücklich von der Aufbringung ausgenommen sind, aber auf die sinnvollerweise kein Klärschlamm aufgebracht werden soll:

- vorhandene P-Versorgung der Böden sehr hoch (Gehaltsstufe E): mg „pflanzenverfügbares“ P₂O₅ je 100 g Feinboden > 40 bei Wiesen und Äckern, bzw. > 45 bei Weingärten; pflanzenverfügbar: festgestellt mittels der P(CAL-DL) -Methode, bei sauren Böden (pH < 6) mittels der DL-Methode) [Danneberg et al., 1996]; eine weitere P-Zufuhr (Klärschlamm ist vor allem ein P-Lieferant) ist hier nicht sinnvoll.
- Wasserschutzgebiete
- Klee-, Klee gras- und Luzerneanbauflächen: Diese Kulturen sind Leguminosen, die einer Stickstoffdüngung nicht bedürfen [Anonym, 1995].

4.2.3.1.2 Kompost

Es gibt nur wenige Regelungen die die Ausbringung von Kompost aus biogenen Abfällen auf bestimmte Flächen grundsätzlich verbieten. Die Ausbringung wird jedoch durch Beschränkungen der erlaubten Ausbringungsmenge an Nährstoffen je Fläche (Wasserrechtsgesetz) oder durch einzelne Förderungsmaßnahmen durch das ÖPUL reguliert.

- Wasserrechtsgesetz [BGBl. 1990/252]; § 32 Abs. 2 lit g) und lit f):
landwirtschaftliche Nutzflächen ohne Gründecke mit mehr als 2,9 DGVE (dies entspricht 175 kg Reinstickstoff), Dauergrünland mit mehr als 3,5 DGVE (siehe Kapitel 4.2.2.1.3).
- Garantierte Dauerbrache: 20-jährige Stilllegung [ÖPUL, 1995]
- Naturschutzgesetz [Stmk. LGBl. Nr. 65/1976] §5 Naturschutzgebiete (5) In einem Naturschutzgebiet dürfen keine die Natur schädigende, das Landschaftsbild verunstaltende oder den Naturgenuss beeinträchtigende Eingriffe vorgenommen werden ausgenommen sind solche Eingriffe, die für den Schutzzweck erforderlich sind oder die ohne Verzug zur Beseitigung von das Leben und die Gesundheit von Menschen gefährdenden Missständen oder zur Abwehr schwerer volkswirtschaftlicher Schäden notwendig sind.

Flächen, die nicht ausdrücklich von der Aufbringung ausgenommen sind, aber auf die sinnvollerweise kein Kompost aufgebracht werden soll:

- Waldflächen
- verkarstete Gebiete und Moore

- vorhandene P-Versorgung der Böden sehr hoch (Gehaltsstufe E): (siehe Klärschlamm)
- Wasserschutzgebiete
- Klee-, Klee gras- und Luzerneanbauflächen:

4.2.3.1.3 Wirtschaftsdünger

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern wird vor allem durch die Beschränkung der erlaubten maximalen DGVE-Anzahl je Fläche (Wasserrechtsgesetz) reguliert.

- Wasserrechtsgesetz [BGBl. 1990/252]; § 32 Abs. 2 lit g) und lit f): siehe Kapitel 4.2.2.1.3
- Garantierte Dauerbrache: 20-jährige Stilllegung [ÖPUL, 1995]
- Naturschutzgebiete (siehe Kompost)

Flächen, die nicht ausdrücklich von der Aufbringung ausgenommen sind, aber auf die sinnvollerweise kein Wirtschaftsdünger aufgebracht werden soll:

- Waldflächen
- verkarstete Gebiete und Moore
- vorhandene P-Versorgung der Böden sehr hoch (Gehaltsstufe E): (siehe Klärschlamm)
- Wasserschutzgebiete
- Klee-, Klee gras- und Luzerneanbauflächen

4.2.4 Berücksichtigung der regionalen Produktion

In der hier entwickelten Bewertungsmethodik werden Nährstoffe, die nicht verwertet werden (können), als Verluste eines Behandlungsverfahrens betrachtet. „Exportiert“ eine Region ihre gesamten erzeugten Endprodukte, so wäre es nach der bisher entwickelten Methode kein Verfahrensverlust. Für die erarbeitete Bewertungsmethodik wird jedoch der Anspruch erhoben, dass sie auch sinnvolle Ergebnisse liefert, wenn in sämtlichen angrenzenden Regionen (flächendeckend) Nährstoffnutzungskonzepte nach der hier entwickelten oder einer vergleichbaren Methode umgesetzt werden. Das bedeutet etwa, dass es nicht mehr möglich ist, Endprodukte in beliebigem Ausmaß aus der Region zu „exportieren“. Es ist festzulegen, welche Mengen „exportiert“ werden dürfen, ohne dass diese „Exporte“ zu einem (zumindest methodischen) Nährstoffverlust des betrachteten Behandlungsverfahrens werden.

In Bezug auf biogene Materialien können ausgewählte Regionen sowohl eine Überproduktion von Nahrungsmitteln als auch eine Unterversorgung aufweisen, d.h. deren Autarkiegrad ist größer oder kleiner als 100 %. Daran gekoppelt ist einerseits die Aufforderung an eine Region entsprechende Mengen an Endprodukten aus der Verwertung/Behandlung biogener Materialien aus den unterversorgten Systemen zurück zu nehmen (bei überregionaler Versorgung, bzw. einem Autarkiegrad von größer 100 %) und andererseits auch die Möglichkeit Endprodukte/Abfälle zu „exportieren“ (in Regionen mit einem Autarkiegrad kleiner 100 %).

Neben dem Fall einer Erzeugung von Nahrungsmittelmengen in der Landwirtschaft die über dem regionalen Bedarf liegt, kann es auch der Fall sein, dass in einer Region eine industrielle Produktion (z.B. Nahrungsmittelverarbeitung) von überregionaler Bedeutung stattfindet. In derartigen Regionen ist zu klären, ob und in welchen Mengen biogene Materialien bzw. Verfahrensendprodukte aus dem System exportiert werden können.

Um zu berechnen, welche Mengen an erzeugten Endprodukten in der Region unterzubringen sind, sind die erzeugten Mengen an Endprodukten bzw. die anfallenden biogenen Materialien mit dem Eigenversorgungsgrad zu gewichten. Dabei ist vor allem zu unterscheiden ob die biogenen Materialien (i) vor/nach dem Konsum bzw. in der (ii) landwirtschaftlichen (Tierhaltung) oder (iii) in der industriellen (gewerblichen) Produktion anfallen.

Zur Bestimmung der regionalen landwirtschaftlichen Produktion in Hinblick auf die Überversorgung bzw. Unterversorgung (Autarkiegrad) werden das regionale Produktionsniveau, die Einwohnerzahl sowie die stoffliche Effizienz der nahrungsmittelverarbeitenden Industrie berücksichtigt. Das regionale Produktionsniveau wird durch die Erträge der angebauten Kulturen je ha und Jahr charakterisiert. Unter stofflicher Effizienz (= stofflicher Wirkungsgrad) wird das Verhältnis der Nährstoffmenge im Ausgangsmaterial zur Nährstoffmenge im erzeugten Nahrungs-/Futtermittel verstanden.

Je nach anfallendem biogenen Material bzw. daraus erzeugtem Endprodukt wird ein eigener Schlüssel verwendet. *Grundlegender Ansatz ist, dass die Nährstoffe (bei der methodischen Beurteilung) dorthin rückgeführt werden, von wo sie entstammen*

(dabei gibt es jedoch nur die zwei Kategorien „innerhalb“ und „außerhalb“ des Systems!). Dies bedeutet für Futtermittel-Flächen: Aufnahme der aus diesen Futtermitteln resultierenden (i) Wirtschaftsdünger, (ii) Abwässer und Abfälle der industriellen/gewerblichen Verarbeitung tierischer Rohprodukte sowie (iii) anteilmäßig (Verhältnis tierischer zu pflanzlichen Nahrungsmittelverbrauch der Haushalte) Abfälle und Abwässer (bzw. Klärschlamm) aus den Haushaltungen. Flächen die der Produktion von „Nicht-Futtermitteln“ dienen müssen die Abfälle aus der gewerblichen/industriellen Verarbeitung der pflanzlichen „nicht-Futtermittel“ sowie anteilmäßig die Abfälle und Abwässer (bzw. Klärschlamm) aus den Haushaltungen aufnehmen.

4.2.4.1 Materialien die vor/nach dem Konsum von Nahrungsmitteln anfallen

Durch den Konsum von Nahrungsmitteln fallen bei der Zubereitung vor allem feste biogene Abfälle an. Nach dem Konsum fallen biogene Materialien überwiegend in Form von Abwässer, z.T. auch als Speisereste, an. Die Entsorgung dieser Materialien erfolgt über das Kanalsystem mit angeschlossener Kläranlage bzw. über Senkgruben, über die getrennte Sammlung mit anschließender Kompostierung oder Vergärung, die Eigenkompostierung sowie den Restmüll.

Als Schlüssel dafür, wieviel der erzeugten Endprodukte aus genannten Materialien regional zu verwerten sind, wird die regionale (Nährstoff)Eigenversorgung $E_{v,r,K}$ herangezogen. Diese wird berechnet aus der Nährstoffmenge in den regional erzeugten landwirtschaftlichen Rohprodukten (d.h. bei tierischen Rohprodukten sind allfällige Futtermittel-Importe zu berücksichtigen) mal dem stofflichen Wirkungsgrad (Verhältnis von Nährstoffoutput im erzeugten Nahrungsmittel zum Gesamtnährstoffinput in die Verarbeitung) der nahrungsmittelverarbeitenden Industrie geteilt durch den regionalen Nahrungs-Nährstoffverbrauch.

$$E_{v,r,K} = \frac{\sum TS_{p,r,i} * cNs_{p,i} * \eta_{l,m,i}}{\sum Nv_i * cNs_{v,i} * Ew} * 100$$

$E_{v,r,K}$ regionale (Nährstoff)Eigenversorgung mit Nahrungsmitteln (Konsum) in %

Ew Einwohnerzahl in der Region

$TS_{p,r,i}$ regionale Produktion des i-ten landwirtschaftlichen Rohproduktes in t TS

$cNs_{p,i}$ Nährstoffkonzentration des i-ten produzierten landwirtschaftlichen Rohproduktes

$\eta_{i,n,i}$	(stofflicher) Wirkungsgrad der nahrungsmittelverarbeitenden Industrie für das i-te verarbeitete landwirtschaftliche Produkt
$Nv_{i,s}$	spezifischer Nahrungsmittel(Nährstoff)-verbrauch des i-ten Nahrungsmittels in t/E.a
$cNs_{v,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten verbrauchten Nahrungsmittels

Fall 1: $Ev_{r,K} > 100 \%$: Es werden regional nährstoffmäßig mehr Nahrungsmittel erzeugt als regional verbraucht werden. Das heißt, es steht mehr landwirtschaftliche Produktionsfläche (Futtermittelfläche + „Nicht-Futtermittelfläche“) zur Verfügung als zur Ernährung der regionalen Bevölkerung notwendig ist.

Fall 2: $Ev_{r,K} < 100 \%$: Es werden regional nährstoffmäßig weniger Nahrungsmittel erzeugt als verbraucht werden. Das heißt, die genutzte landwirtschaftliche Produktionsfläche ist zu gering um den regionalen Bedarf abzudecken. Es werden Lebensmittel (Nährstoffe) in die Region importiert.

Schlüssel: Fall 1 ($Ev_{r,K} > 100 \%$): Materialien die beim Konsum von Nahrungsmitteln anfallen, sind regional zu verwerten. Exporte dieser Materialien/deren Behandlungs-Endprodukte werden methodisch als Verfahrensverluste gewertet.

Fall 2 ($Ev_{r,K} < 100 \%$): die anfallenden biogenen Materialien können anteilmäßig aus der Region exportiert werden ohne als Verlust des Verfahrens gewertet zu werden (Bsp: $Ev_{r,K} = 90 \%$: 10 % der biogenen Materialien bzw. daraus erzeugten Endprodukte „dürfen“ exportiert werden).

4.2.4.2 biogene Materialien landwirtschaftlichen Ursprungs

Diese Materialien umfassen die anfallenden Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Mist). Als Schlüssel ob (methodisch) Exporte dieser Materialien zulässig sind oder nicht wird die regionale landwirtschaftliche Futtermittelproduktion und der gesamte regionale Futtermittelverbrauch verwendet. Der gesamte regionale Futtermittelverbrauch ergibt sich aus den regional erzeugten Futtermitteln zuzüglich den importierten Futtermitteln (Nettobilanz!).

$$Ev_{r,Lw} = \frac{\sum Fm_{r,i} * cNs_{Fm,r,i}}{\sum Fm_{v,i} * cNs_{Fm,v,i}} * 100$$

$Ev_{r,Lw}$	regionale (Nährstoff)Eigenversorgung mit Futtermitteln in %
$cNs_{Fm,r,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten regional erzeugten Futtermittels
$cNs_{Fm,imp,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten importierten Futtermittels
$Fm_{r,i}$	regionale Erzeugung des i-ten Futtermittels in t/a
$Fm_{imp,i}$	importierte Menge des i-ten Futtermittels in t/a

Fall 1: $Ev_{r,Lw} > 100$ %: Es werden nährstoffmäßig mehr Futtermittel erzeugt als regional verbraucht werden. Das heißt, es steht mehr landwirtschaftliche Produktionsfläche zur Verfügung als zur Ernährung der regionalen Tierbestandes notwendig ist. Die Futtermittelimporte sind somit gleich null (Nettobilanz).

Fall 2: $Ev_{r,Lw} < 100$ %: Es werden regional nährstoffmäßig weniger Futtermittel erzeugt als verbraucht werden. Das heißt, die regional erzeugten Futtermittel können nicht den regionalen Futtermittelbedarf abdecken. Es werden Futtermittel in die Region importiert.

Schlüssel: Fall 1: Die anfallenden biogenen Materialien aus der Tierhaltung sind vollständig regional zu verwerten.

Fall 2: Die Region kann anfallende biogene Materialien anteilmäßig ($100 - Ev_{r,Lw}$) exportieren, ohne dass diese als Verfahrensverlust gewertet werden.

4.2.4.3 biogene Materialien industriellen Ursprungs

Bei der Verarbeitung landwirtschaftlicher Rohstoffe fallen Abfälle und Abwässer an. Diese Materialien können z.T. regional konzentriert anfallen (z.B. gibt es in Österreich derzeit 4 Zuckerfabriken). Im folgenden wird zwischen der Verarbeitung tierischer und pflanzlicher Rohstoffe unterschieden.

Für die Verarbeitung von tierischen Rohstoffen kann das Verhältnis von in der Region erzeugten Schlachttieren/erzeugter Milch (tierische landwirtschaftliche Rohstoffe) zur insgesamt verarbeiteten Anzahl an Schlachttieren/Milch herangezogen werden.

$$Ev_{r,I,TP} = \frac{\sum TS_{Tp,r,i} * cNs_{Tp,r,i}}{\sum TS_{Tp,r,i} * cNs_{Tp,r,i} + TS_{Tp,imp,i} * cNs_{Tp,imp,i}} * 100$$

$Ev_{r,I,TP}$	regionale (Nährstoff)Eigenversorgung mit tierischen landwirtschaftlichen Rohstoffen in %
$TS_{TP,r,i}$	regional verarbeitete Menge des i-ten tierischen landwirtschaftlichen Rohstoffes in t/a
$TS_{TP,imp,i}$	importierte Menge des i-ten tierischen landwirtschaftlichen Rohstoffes in t/a
$cNs_{TP,r,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten regional verarbeiteten tierischen landwirtschaftlichen Rohstoffes
$cNs_{TP,imp,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten importierten tierischen landwirtschaftlichen Rohstoffes

Ebenso wird bei der industriellen/gewerblichen Verarbeitung von pflanzlichen Rohstoffen das Verhältnis aus den regional erzeugten Mengen an „Nicht-Futtermitteln“ zu den insgesamt verarbeiteten „Nicht-Futtermitteln“ gebildet ($Ev_{r,I,nFm}$).

$$Ev_{r,I,nFm} = \frac{\sum TS_{nFm,r,i} * cNs_{nFm,r,i}}{\sum TS_{nFm,r,i} * cNs_{nFm,r,i} + TS_{nFm,imp,i} * cNs_{nFm,imp,i}} * 100$$

$Ev_{r,nFm}$	regionale (Nährstoff)Eigenversorgung mit Nicht-Futtermitteln in %
$TS_{nFm,r,i}$	regional verarbeitete Menge des i-ten Nicht-Futtermittels in t/a
$TS_{nFm,imp,i}$	importierte Menge des i-ten Nicht-Futtermittels in t/a
$cNs_{nFm,r,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten regional erzeugten Nicht-Futtermittels
$cNs_{nFm,imp,i}$	Nährstoffkonzentration des i-ten importierten Nicht-Futtermittels

Fall 1: $Ev_{r,I,TP}, Ev_{r,I,nFm} > 100 \%$:

Es werden mehr tierische und pflanzliche Rohprodukte in der Region verarbeitet als regional erzeugt werden.

Fall 2: $Ev_{r,I,TP}, Ev_{r,I,nFm} < 100 \%$:

Es werden regional weniger tierische und pflanzliche Rohprodukte verarbeitet als erzeugt werden. Das heißt, Rohstoffe (und damit Nährstoffe) werden aus der Region exportiert.

Schlüssel: Fall 1: Die Region kann anfallende biogene Materialien aus der industriellen Verarbeitung anteilmäßig ($Ev_{r,I,nFm} - 100$ bzw. $Ev_{r,I,Tp} - 100$) exportieren, ohne dass diese Exporte als Verfahrensverlust gewertet werden. Fall 2: Alle in der Region anfallenden Abfälle und Abwässer industriellen /gewerblichen Ursprungs sind in der Region zu verwerten.

Durch die Kenntnis der regionalen Produktion können nun jene Mengen der erzeugten biogenen Materialien bestimmt werden, die regional zu verwerten sind und welche exportiert werden dürfen, ohne als „Verfahrensverlust“ bewertet zu werden.

Die Definition der Region umfasst somit das Versorgungs- aber auch das Entsorgungs-„Hinterland“ der betrachteten Region; eine Systemabgrenzung nach rein politischen Grenzen oder nach dem hydrographischen Einzugsgebiet ist somit unzureichend.

4.3 Kriterium zur Beurteilung der verschiedenen Verfahren - Nährstoffnutzungsgrad (NNG)

Der Nährstoffnutzungsgrad kombiniert die Kriterien Schwermetallanreicherung und Ressourcennutzung zu einem Wert. Zusätzlich wird der flächenspezifische Nährstoffbedarf als maßgebliches Kriterium mit berücksichtigt.

Das Kriterium zur Beurteilung der verschiedenen Verfahren zur Behandlung biogener Materialien besteht aus der Kombination zweier Schritte:

Erstens: *Der Quotient aus den regional langfristig verwertbaren Nährstoffmengen und den regional zu verwertenden Nährstoffmengen wird berechnet.* Dieser Quotient gibt an, wieviel Prozent der Nährstoffmenge im Ausgangsmaterial unter definierten Randbedingungen (tolerierte Schwermetall-Lagerveränderung, Anreicherungszeitraum, gutspezifisch verfügbare Flächen) regional verwertbar sind.

Zweitens: die nach Berücksichtigung der verschiedensten Limitierungen (flächenspezifische Nährstoff- und/oder TS-Begrenzungen) tatsächlich ausbringbaren TSMengen je Fläche werden *mit den zugehörigen Nährstoffkonzentrationen multipliziert*. Es errechnen sich für jedes Gut unterschiedlich hohe *flächenspezifische Nährstoffmengen* (unter Einhaltung des selben Schwermetallkriteriums). Um diese unterschiedlichen Nährstoffmengen bei der Beurteilung zu berücksichtigen, wird die *flächenspezifische Nährstoffmenge durch den regionalen flächenspezifischen Nährstoffbedarf dividiert*. Entspricht die Nährstoffmenge im Gut dem Nährstoffbedarf der jeweiligen Bodennutzung, so ist dieser Quotient gleich 1.

Abschließend werden *die beiden errechneten Verhältniszahlen miteinander multipliziert*.

Dieses Kriterium charakterisiert somit die tatsächliche, umweltverträgliche Ressourcennutzung von verschiedenen Behandlungsverfahren in einer konkreten Region unter den gegebenen Randbedingungen. Dieses Kriterium wird als *regionaler Nährstoffnutzungsgrad* η_r (NNG) definiert. Dieses Kriterium wird für jedes einzelne Gut errechnet.

Regionaler Nährstoffnutzungsgrad:

$$\eta_{r,i} = \frac{mNs_{a,r,i}}{Ns_{G,i}} * \frac{mNs_{a,r,i,s}}{Ns_{B,s}}$$

$\eta_{r,i}$ regionaler Nährstoffnutzungsgrad des i-ten Endproduktes in %

$mNs_{a,r,i}$ regional ausbringbare Nährstoffmenge durch das i-te Endprodukt

$mNs_{a,r,i,s}$ regional nachhaltig ausbringbare spezifische Nährstoffmenge durch das i-te Endprodukt in kg Nährstoff/ha.a unter Berücksichtigung allfälliger Limitierungen

$Ns_{G,i}$ Gesamtmenge des betrachteten Nährstoffs im biogenen Ausgangsmaterial des i-ten Endproduktes

$Ns_{B,s}$ spezifischer Nährstoffbedarf in kg Nährstoff/ha.a

Der Begriff „Verluste“ wird dabei sehr weit gefasst, und umfasst die gesamte nicht zielgerecht nutzbare Nährstoffmenge der biogenen Ausgangsmaterialien.

Der NNG ist bei jenem Verfahren am höchsten bei dem (i) die größten Nährstoffmengen in Bezug auf die Nährstoffmenge im Ausgangsmaterial langfristig regional genutzt werden können (geringste Nährstoffverluste) und bei dem der flächenspezifische Nährstoffbedarf am weitestgehenden durch das aufgebrachte Gut gedeckt werden kann. Der flächenspezifische Nährstoffbedarf „deckelt“ gleichsam den NNG nach oben.

Der NNG berücksichtigt somit einerseits die Menge an zu verwertenden Nährstoffen im Verhältnis zu den verwertbaren Nährstoffmengen sowie das Verhältnis von je Flächeneinheit aufbringbarer Nährstoffmenge zum Nährstoffbedarf.

Der NNG ist unabhängig von einer allfälligen Konkurrenzierung durch andere biogene Materialien. D.h. der IST-Zustand wird nicht als unveränderliche Größe festgeschrieben.

Interpretation der Ergebnisse des Nährstoffnutzungsgrades:

Stehen für die einzelnen Güter genügend Ausbringungsflächen zur Verfügung und treten bei der Behandlung/Lagerung der biogenen Materialien keine (oder nur sehr geringfügige) Nährstoffverluste auf, so gibt der NNG jenen Anteil des flächenspezifischen Nährstoffbedarfes an, der durch das jeweilige Gut gedeckt werden kann.

Der NNG kann maximal den Wert 1 erreichen.

Ein NNG von 1 bedeutet, dass bei der Behandlung/Lagerung keine Nährstoffverluste auftreten, für die Ausbringung dieses Gutes genügend Fläche zur Verfügung steht, sowie dass der flächenspezifische Nährstoffbedarf (abgeleitet beispielsweise von den Richtlinien zur Sachgerechten Düngung) zu 100 % abgedeckt werden kann.

4.3.1 Schritte zur Berechnung des Nährstoffnutzungsgrades

1. Berechnung der Nährstoffmenge in den biogenen Ausgangsmaterialien (siehe Kapitel 4.2.1)
2. Für jedes der in der Region anfallenden Verfahrensendprodukte wird die langfristig ausbringbare Gütermenge je ha mittels der in Kapitel 4.1.4 "Berechnung der Schwermetallakkumulation - Schichtenmodell" entwickelten Methode berechnet. „Langfristig ausbringbar“ wurde als Schwermetall-Lagerveränderungen im Boden in einem bestimmten Zeitraum definiert. Die in diesem Schritt berechneten TS-Mengen orientieren sich somit nur an der Schwermetallanreicherung.
3. Der Einsatz der Güter wird in der Praxis durch weitere Vorgaben begrenzt. Diese limitierenden Vorgaben wie etwa TS-Mengen, flächenspezifische Nährstoffbegrenzungen, etc. sind zu berücksichtigen. Das heißt, es sind alle Gesetze, Verordnungen, Normen zu beachten, die eine Aufbringung mengenmäßig (TS, Nährstofffracht) begrenzen. Besondere Bedeutung kommt dabei dem P-Bedarf der angebauten Kulturen zu. Gegebenenfalls sind die oben berechneten langfristig ausbringbaren Gütermengen entsprechend zu verkleinern.
4. Berechnung der regionalen Eigenversorgung zur Bestimmung der regional zu verwertenden Gütermengen (Berechnung der regional zu verwertenden Nährstoffmenge; siehe Kapitel 4.2.4)
5. Erhebung der regional zur Verfügung stehenden Verwertungsflächen (siehe Kapitel 4.2.3.1).
6. Multiplikation der langfristig ausbringbaren Gütermenge je ha (unter Berücksichtigung der limitierenden Vorgaben) mit der zur Verfügung stehenden Ver-

wertungsfläche. (Ist die auszubringende Gütermenge größer als die ausbringbare Gütermenge so wird die Differenz als Verfahrensverlust betrachtet.)

7. Berechnung der langfristig ausbringbaren Nährstoffmenge ($mNs_{a,r,i}$): Multiplikation der langfristig ausbringbaren Gütermenge je Flächeneinheit mit der zugehörigen Nährstoffkonzentration
8. Erhebung des flächenspezifischen Nährstoffbedarfes
9. Berechnung des regionalen Nährstoffnutzungsgrades des jeweiligen Verfahrens: Division der langfristig ausbringbaren Nährstoffmenge $mNs_{a,r,i}$ durch die regional zu verwertende Nährstoffmenge des jeweiligen biogenen Ausgangsmaterials mal dem Verhältnis von flächenspezifisch ausbringbarer Nährstoffmenge zum flächenspezifischen Nährstoffbedarf

4.3.2 Zusammenfassung der Beurteilungsmethodik

Die Beurteilung berücksichtigt (i) die durch ein Gut langfristig in die Böden einbringbaren Nährstoffmengen im Verhältnis zur gesamten regional anfallenden auszubringenden Nährstoffmenge eines Gutes sowie (ii) inwieweit der flächenspezifische Nährstoffbedarf durch die flächenspezifisch langfristig aufbringbare Güter(Nährstoff)menge abgedeckt werden kann.

Die Differenz von Einsatz zu Gesamtmenge sind Verfahrensverluste. Unter Verlusten werden all jene Nährstoffe verstanden, die einer geordneten, zielgerichteten Nutzung entzogen werden. Dabei können Nährstoffe verfahrensbedingt verloren gehen bzw. durch gesetzliche Regelungen oder fehlende Aufbringungsflächen einer Nutzung entzogen werden. Diese Verluste sind:

- **Behandlungsverluste:** Bei den diversen Behandlungsverfahren gibt es Nährstoffverluste in die Umwelt, die durch unterschiedliche Prozessführungen stoffspezifisch unterschiedlichen Ausmaßes sind. Mit Hilfe von Transferkoeffizienten werden die Verluste der einzelnen Behandlungsverfahren dargestellt. Der Transferkoeffizient gibt das Verhältnis zwischen der Summe des Stoffinputs in einen Prozess zur Stoffmenge in den jeweiligen Outputgütern des Prozesses an. Dabei können diese Outputgüter auch Stoffverluste in die Umweltkompartimente Boden, Hydrosphäre und Atmosphäre darstellen.
- **Aufbringungsverluste:** Bei der Aufbringung von Verfahrensendprodukten kann es zu unkontrollierten gasförmigen Nährstoffverlusten kommen (Aufbringung von Wirtschaftsdünger, Klärschlamm), die nicht zielgerichtet genutzt werden können.

- Nutzungsentzug durch fehlendes regionales Verdünnungspotential: Die für die Ausbringung der Verfahrensendprodukte regional zur Verfügung stehende Fläche ist unterschiedlich, das heißt, dass in Hinblick auf die gesamte Region für manche Güter nicht ausreichend Fläche zur Verfügung steht um die gesamte erzeugte Gütermenge unterzubringen (siehe hierzu 4.2.3). Kennt man die spezifische langfristig aufbringbare Gütermenge [kg Gut/ha.a] (siehe Kapitel 4.1.4.5), so kann durch multiplizieren dieser Gütermenge mit der regional zur Verfügung stehenden Fläche [ha] die jährlich maximal aufbringbare Gütermenge in der Region errechnet werden.
- Nutzungsentzug durch rechtliche Qualitätsvorgaben: Verfahrensendprodukte können Stoffkonzentrationen aufweisen, die über den geltenden Grenzwerten oder Richtwerten/Normen für eine landwirtschaftliche Verwertung liegen. Eine Nutzung der in diesen Produkten enthaltenen Nährstoffe ist somit nicht möglich (siehe hierzu Kapitel 4.2.2.1 „Qualitätsanforderungen bzw. mengenmäßige/frachtmäßige Beschränkungen“). Der Nährstoffnutzungsgrad eines solchen Gutes ist Null.

Bei der Berechnung des NNG's (als Bewertungskriterium) ist zusätzlich die regionale Produktion der Landwirtschaft und der (biogene Materialien verarbeitenden) Industrie zu berücksichtigen. Nur so ist es möglich, jene Menge an biogenen Materialien zu bestimmen die (zumindest methodisch!) regional zu verwerten ist.

Aus der Sicht des entwickelten Nährstoffnutzungsgrades ist das beste Verfahren jenes, bei dem die Nährstoffe im Ausgangsmaterial (unter Berücksichtigung der regionalen Produktion) am weitestgehenden genutzt und der flächenspezifische Nährstoffbedarf bestmöglich abgedeckt werden kann.

5 Bewertung des IST-Zustandes

Der IST-Zustand wird im folgenden nach den Kriterien (i) Stoffkonzentration, (ii) Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis, (iii) Anthropogene Zusatzfracht, (iv) Schichtenmodell sowie (v) nach dem Regionalen Nährstoffnutzungsgrad dargestellt.

Im Zuge der Bewertung musste die ursprünglich gewählte „Verfahrens-Definition“ noch weiter gefasst werden und wurde wie folgt erweitert: *Unter dem Begriff „Verfahren“ wird in dieser Arbeit gutspezifisch eine gezielte (bio)technische Behandlung,*

aber auch die Lagerung von biogenen Materialien verstanden. Bsp.: „Lagerung von Schweinegülle und deren Ausbringung“, „Erzeugung von Kompost Klasse 1“.

5.1 Stoffkonzentrationen

Betrachtet man die Schwermetallkonzentrationen in den einzelnen Gütern (für Senkgrubeninhalte liegen keine Blei- und Cadmiumkonzentrationen vor) so ergibt sich folgendes Bild:

Zink: Die Zinkkonzentrationen der einzelnen Güter schwanken zwischen 160 und 1270 mg/kg TS. Das Gut mit der höchsten Zinkkonzentration ist *Schweinegülle* gefolgt von *Klärschlamm > BGW+200 %* (>BGW+200 %: eine oder mehrere der betrachteten Stoffkonzentrationen dieses Klärschlammes liegen um mehr als 200 % über dem geltenden Bodengrenzwert (Erläuterungen hierzu siehe Kapitel 5.4.1.2). Im Mittelfeld liegen *Schweinemist*, *Geflügelgülle*, *Senkgrubeninhalte*, *Klärschlamm < BGW+200 %* sowie *Geflügelmist*. Die Güter mit den geringsten Zinkkonzentrationen sind *Rindermist* und *Rindergülle* sowie *Kompost Klasse 1* und *Kompost Klasse 2*.

Kupfer: Die Kupferkonzentrationen in den Gütern schwanken zwischen 38 und 450 mg/kg TS. Wiederum ist *Schweinegülle* jenes Gut mit der höchsten Stoffkonzentration, gefolgt von *Schweinemist* und von *Klärschlamm > BGW+200 %*. Das Gut mit der geringsten Stoffkonzentration ist wiederum *Kompost Klasse 1*. Ähnlich niedrige Kupferkonzentrationen haben *Kompost Klasse 2* sowie *Rindermist* und *Rindergülle*.

Blei: Die Bleikonzentrationen zeigen ein völlig anderes Bild. Hier zeigen alle Wirtschaftsdünger (alle zwischen 3,4 und 6,5 mg Pb/kg TS) wesentlich geringere Bleikonzentrationen als die Klärschlämme und *Kompost Klasse 1* (25 bis 48 mg Pb/kg TS). *Kompost Klasse 2* weist die mit Abstand höchsten Bleikonzentrationen aus (über 100 mg Pb/kg TS).

Cadmium: Die Cadmiumkonzentrationen weisen das einheitlichste Bild auf. Alle Güter mit Ausnahme von *Klärschlamm >BGW+200 %* (1,5 mg Cd/kg TS) liegen zwischen 0,35 und 0,71 mg Cd/kg TS.

Tabelle 5-1: Stoffkonzentrationen der betrachteten Güter in mg/kg TS (Schwermetalle) bzw. g/kg TS (N, P)

in mg/kg TS	Zink	Kupfer	Blei	Cadmium	Phosphor	Stickstoff
Gülle Rind	201	42	4,8	0,42	10,6	44
Gülle Schwein	1270	453	3,5	0,71	22,5	64
Gülle Geflügel	636	110	3,4	0,66	21,8	45
Mist Rind	224	42	6,5	0,54	5,6	16
Mist Schwein	733	276	4,6	0,49	17,9	52
Mist Geflügel	479	87	4,2	0,35	14,7	28
Klärschlamm <BGW+200%	486	69	24,5	0,71	20,6	25
Klärschlamm >BGW+200%	960	237	47,7	1,48	52,3	40
Kompost Klasse I	159	38	30,2	0,53	5,7	15
Kompost Klasse II	222	43	126,0	0,53	11,2	14
Senkgrube	615	275			25,7	171

Werden die Güter entsprechend ihrer Schwermetallkonzentration gereiht, so verändert sich je nach betrachtetem Schwermetall die Reihenfolge.

Aussagekräftiger werden die dargestellten Stoffkonzentrationen, wenn diese auf die vorliegenden Bodenkonzentrationen bezogen werden. Als Bezugsbasis wurde die in der Bodenzustandsinventur erhobene Stoffkonzentration der Tiefenstufe 20 bis 50 cm herangezogen (siehe Kapitel 5.4.1.1). Dabei wurde je nach Bodennutzung weiter differenziert.

Je kleiner der Quotient ist, desto ähnlicher ist die Gutkonzentration der Bodenkonzentration.

Folgende Ergebnisse wurden erhalten (Ergebnisübersicht in Anhang B Tabelle 1):

Tabelle 5-2: Minimum, Maximum und Mittelwerte aus dem Verhältnis der Gutkonzentrationen zur Bodenkonzentration

Gutkonzentration/ Bodenkonzentration	Minimum	Maximum	Mittelwert
Zn Acker	2,0	16,0	6,9
Cu Acker	1,5	17,5	5,9
Pb Acker	0,3	10,2	2,1
Cd Acker	4,4	18,6	8,1
Zn Grünland	1,7	13,5	5,8
Cu Grünland	1,5	17,2	5,8
Pb Grünland	0,2	6,9	1,4
Cd Grünland	3,0	12,7	5,5
Zn Sonderkultur	1,7	13,7	5,9
Cu Sonderkultur	1,1	13,5	4,5
Pb Sonderkultur	0,3	9,6	1,9
Cd Sonderkultur	3,7	15,6	6,8

Acker: Der mittlere Quotient von Gutkonzentration und Bodenkonzentration (20 bis 50 cm Tiefe) von Blei liegt mit 2,1 wesentlich unter jenem von Zink (6,9) und Kupfer (5,9) und jenem von Cadmium (8,1). Die Bandbreite der Quotienten liegt zwischen 0,3 (Pb *Geflügelgülle*) und 18,6 (Cd *Klärschlamm>BGW+200 %*).

Grünland: Die Bandbreite bei Grünland ist ähnlich wie bei Äckern. Wiederum ist der mittlere Blei-Quotient am kleinsten (1,4), jene von Zink, Kupfer und Cadmium sind mit 5,5 bis 5,8 rund 4 mal so hoch. Die Bandbreite der Quotienten liegt zwischen 0,2 (Pb Geflügelgülle) und 17,2 (Cu Schweinegülle).

Sonderkulturen: Auch bei den Sonderkulturstandorten ist der mittlere Blei-Quotient 2 bis 3 mal niedriger als jener der anderen Stoffe. Der Cd-Quotient ist am höchsten.

Es ist zu beachten, dass in der nach Größe der Quotienten geordneten Güterliste je nach Stoff deutliche Abweichungen von den dargestellten Mittelwerten auftreten können. Beispielhaft sind in der folgenden Tabelle die Ackerwerte dargestellt.

Tabelle 5-3: Verhältnis von Stoffkonzentrationen im Gut zur Stoffkonzentration im Ackerboden(20-50cm) (nach Größe geordnet)

Pb	Gülle Geflügel	0,3	Cd	Gülle Rind	5,3
Pb	Gülle Schwein	0,3	Zn	Mist Geflügel	6,0
Pb	Mist Geflügel	0,3	Zn	Ks.<BGW+200%	6,1
Pb	Mist Schwein	0,4	Cd	Mist Schwein	6,2
Pb	Gülle Rind	0,4	Cd	Kompost Kl. 1	6,7
Pb	Mist Rind	0,5	Cd	Kompost Kl. 2	6,7
Cu	Kompost Kl. 1	1,5	Cd	Mist Rind	6,8
Cu	Gülle Rind	1,6	Zn	Senkgrube	7,8
Cu	Mist Rind	1,6	Zn	Gülle Geflügel	8,0
Cu	Kompost Kl. 2	1,7	Cd	Gülle Geflügel	8,3
Pb	Ks.<BGW+200%	2,0	Cd	Gülle Schwein	8,9
Zn	Kompost Kl. 1	2,0	Cd	Ks.<BGW+200%	9,0
Pb	Kompost Kl. 1	2,4	Cu	Ks.>BGW+200%	9,1
Zn	Gülle Rind	2,5	Zn	Mist Schwein	9,3
Cu	Ks.<BGW+200%	2,7	Pb	Kompost Kl. 2	10,2
Zn	Kompost Kl. 2	2,8	Cu	Senkgrube	10,6
Zn	Mist Rind	2,8	Cu	Mist Schwein	10,6
Cu	Mist Geflügel	3,4	Zn	Ks.>BGW+200%	12,1
Pb	Ks.>BGW+200%	3,8	Zn	Gülle Schwein	16,0
Cu	Gülle Geflügel	4,2	Cu	Gülle Schwein	17,5
Cd	Mist Geflügel	4,4	Cd	Ks.>BGW+200%	18,6

Entsprechend dieser Auswertung liefern im Mittel die Cadmiumkonzentrationen der Güter die größten Quotienten, jene von Blei die geringsten. Daraus abzuleiten, dass die Cadmium-Stoffkonzentrationen im Boden durch die Aufbringung der betrachteten Güter am schnellsten ansteigen ist nicht zulässig, da die einzelnen Stoffe aufgrund ihres Chemismus im Boden unterschiedlich mobil sind. So ist etwa Cadmium wesentlich mobiler als Blei.

Hinzu kommt, dass die einzelnen Güter (u.a.) in Abhängigkeit vom Nährstoffgehalt in unterschiedlichen Mengen aufgebracht werden, und damit völlig verschiedene Stofffrachten aufgebracht werden (siehe hierzu die folgenden Kapitel).

5.2 Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis

Durch den Bezug auf den Nährstoffgehalt eines Gutes, der die aufgebrachte Gütermenge maßgeblich beeinflusst, können Rückschlüsse auf die eingetragene Fracht gezogen werden. Als Bezugs-Nährstoff wurde Phosphor gewählt. In der folgenden Aufstellung sind die Verhältnisse von Zink, Kupfer, Blei und Cadmium zu Phosphor dargestellt. (Es muss erwähnt werden, dass die P-Konzentration des Klärschlammes >BGW+200 % mit rund 5 % P sehr hoch ist. Aufgrund der geringen anfallenden Mengen (weniger als 10 % des anfallenden Klärschlammes) wurde diese Stoffkonzentration nicht weiter nachgeprüft. Durch die Beibehaltung des genannten Wertes kann jedoch jedenfalls demonstriert werden, wie stark sich eine hohe P-Konzentration für die Bewertung eines Gutes auswirkt.)

g Zn/kg P: Dieses Verhältnis weist die geringste relative Bandbreite auf. Die deutlich höchste Zinkfracht je kg P wird durch *Schweinegülle* eingetragen (56 g Zn/kg P). Die anderen Güter liegen zwischen 18 und 41 g Zn/kg P.

g Cu/kg P: Hier ist die Bandbreite zwischen geringster und höchster Cu-Fracht je kg P doppelt so hoch wie bei Zink. Wiederum ist *Schweinegülle* das am meisten belastete Gut (20 g Cu/kg P), gefolgt von *Schweinemist* (15,4 g Cu/kg P). Die anderen Güter liegen mit 3,3 bis 7,4 g Cu/kg P klar darunter.

g Pb/kg P: Bei Blei ist die größte Bandbreite vorzufinden - der größte Wert (*Kompost Klasse 2*; 11,2 g Pb/kg P) ist rund 75 mal größer als der kleinste Wert (*Gülle Geflügel*; 0,16 g Pb/kg P). Insgesamt zeigen alle Wirtschaftsdünger ein geringes Pb/P-Verhältnis (*Rindermist* stellt etwas eine Ausnahme dar), gefolgt von den Klärschlämmen und mit großem Abstand die beiden Komposte.

G Cd/kg P: Die Bandbreite der Cd/P-Verhältnisse schwankt um eine Faktor 4,5 (0,02 g Cd/kg P bei *Geflügelmist* und 0,1 g Cd/kg P bei *Rindermist*). Die Wirtschaftsdünger weisen mit Ausnahme des *Rindermistes* tendenziell geringere Cd-Frachten je kg P auf.

Tabelle 5-4: Schadstoff-Nährstoffverhältnisse der Güter

	gZn/kgP	gCu/kgP	gPb/kgP	gCd/kgP
Gülle Rind	19,0	4,0	0,5	0,04
Gülle Schwein	56,5	20,2	0,2	0,03
Gülle Geflügel	29,2	5,0	0,2	0,03
Mist Rind	39,7	7,4	1,2	0,10
Mist Schwein	40,9	15,4	0,3	0,03
Mist Geflügel	32,6	5,9	0,3	0,02
Klärschlamm <BGW+200%	23,6	3,3	1,2	0,03
Klärschlamm >BGW+200%	18,3	4,5	0,9	0,03
Kompost Klasse 1	27,7	6,7	5,3	0,09
Kompost Klasse 2	19,8	3,8	11,2	0,05
Senkgrubenräumgut	23,9	10,7		

In folgenden wurden die einzelnen ermittelten Stofffrachten je kg Phosphor dem Bodenlager (20 bis 50 cm Bodentiefe) gegenübergestellt und der Größe nach geordnet. Dadurch können die einzelnen Stoffe untereinander gewichtet werden. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Das Stoff-Bodenlager in der jeweiligen Flächennutzung wird durch die oben errechnete Stofffracht je kg P dividiert. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde das erhaltene Ergebnis nochmals durch einen Faktor 1000 dividiert. Je höher der Faktor ist, desto geringer ist das Gut in Bezug auf den jeweiligen Stoff belastet.

Folgende Ergebnisse wurden für Ackerböden erhalten (detaillierte Ergebnisse für jedes einzelne Gut differenziert nach Bodennutzung im Anhang B Tabelle 2):

Acker: Der mittlere Quotient von Stofffracht und Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefe) von Blei liegt mit 143 wesentlich über jenem der anderen drei Elemente. Kupfer (20) Zink, (13) und Cadmium (10) weisen ähnliche Quotienten auf. Die Bandbreite der Quotienten liegt zwischen 4 (Cd *Rindermist*) und 358 (Pb *Gülle Schwein*). Die Quotienten von Kupfer und Zink und insbesondere Cadmium zeigen eine deutlich geringere Bandbreite.

Grünland: Die Bandbreite bei Grünland ist vergleichbar groß wie bei Äckern. Wiederum ist der mittlere Blei-Quotient am größten (208), jene von Zink, Kupfer und Cadmium sind mit 14 bis 20 mehr als 10 mal niedriger.

Sonderkulturen: Bei den Sonderkulturstandorten ist der mittlere Blei-Quotient 5 bis 10 mal höher als jener der anderen Stoffe. Der Cd-Quotient ist auch hier am niedrigsten.

Tabelle 5-5: Verhältnis von Acker-Bodenlager zur Stofffracht je kg P dividiert durch 1000 (nach Größe geordnet)

Pb	Gülle Schwein	358	Ks.	Senkgrubenräumgut	15
Pb	Gülle Geflügel	358	Cd	Mist Schwein	13
Pb	Mist Schwein	218	Ks.	Kompost Klasse 1	13
Pb	Mist Geflügel	195	Cd	Ks. >BGW+200%	13
Pb	Gülle Rind	123	Ks.	Gülle Geflügel	12
Pb	Ks. >BGW+200%	61	Cd	Gülle Geflügel	12
Pb	Mist Rind	49	Cd	Gülle Schwein	11
Pb	Ks. <BGW+200%	47	Ks.	Mist Geflügel	11
Cu	Ks. <BGW+200%	35	Cu	Senkgrubenräumgut	11
Cu	Kompost Klasse 2	31	Pb	Kompost Klasse 1	11
Cu	Gülle Rind	29	Cd	Ks. <BGW+200%	10
Cu	Ks. >BGW+200%	26	Cd	Gülle Rind	9
Cu	Gülle Geflügel	23	Ks.	Mist Rind	9
Cu	Mist Geflügel	20	Ks.	Mist Schwein	9
Ks.	Ks. >BGW+200%	19	Cu	Mist Schwein	8
Ks.	Gülle Rind	19	Cd	Kompost Klasse 2	8
Ks.	Kompost Klasse 2	18	Ks.	Gülle Schwein	6
Cu	Kompost Klasse 1	18	Cu	Gülle Schwein	6
Cu	Mist Rind	16	Pb	Kompost Klasse 2	5
Ks.	Ks. <BGW+200%	15	Cd	Kompost Klasse 1	4
Cd	Mist Geflügel	15	Cd	Mist Rind	4

Schadstoff-Nährstoff-Verhältnisse alleine ermöglichen ebenfalls noch keine Aussagen über Anreicherungswirksamkeit im Boden. Wiederum ist zusätzlich die unterschiedliche Mobilität der einzelnen Stoffe (auf die unterschiedliche Mobilität der Verbindungen eines Stoffes wird nicht eingegangen) im Boden zu berücksichtigen. Ebenso ist der Eintrag an stabiler Matrix, der sich „verdünnend“ auf die Schwermetalle auswirkt, zu berücksichtigen, was im nächsten Kapitel erfolgt.

5.3 Spezifische Anthropogene Zusatzfracht

Wie in Kapitel 4.1.3 ausgeführt, berücksichtigt die anthropogene Zusatzfracht zusätzlich den Eintrag an stabiler Matrix in den Boden bei der Aufbringung der diversen Güter. Diese Matrix übt eine „verdünnende“ Wirkung auf die Schadstoffakkumulation im Boden aus. Die spezifische anthropogene Zusatzfracht, die hier betrachtet wird, stellt das Pendant zum Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis dar. Durch den Bezug auf den Nährstoff, im gewählten Fall der Phosphor, kann unmittelbar durch Kenntnis der aufgebrachten Nährstoffmenge auf die „anreicherungs wirksame“ Stofffracht geschlossen werden.

Für die einzelnen betrachteten Stoffe wurden folgende Ergebnisse erhalten:

Tabelle 5-6: Spezifische anthropogene Zusatzfrachten der betrachteten Güter in g/kg P

spezifische anthropogene Zusatzfracht in g/kg P				
	Zink	Kupfer	Blei	Cadmium
Gülle Rind	17,3	3,4	0,19	0,04
Gülle Schwein	55,7	19,9	0,03	0,03
Gülle Geflügel	28,5	4,8	0,06	0,03
Mist Rind	37,1	6,6	0,76	0,09
Mist Schwein	39,5	14,9	0,04	0,03
Mist Geflügel	31,8	5,7	0,17	0,02
Klärschlamm <BGW+200%	22,3	2,9	0,98	0,03
Klärschlamm >BGW+200%	17,5	4,3	0,79	0,03
Kompost Klasse 1	19,0	3,8	3,89	0,08
Kompost Klasse 2	15,5	2,4	10,57	0,04
Senkgrubenräumgut	23,2	10,5		

Ein Vergleich wie sich die Berücksichtigung der Anthropogenen Zusatzfracht bei den einzelnen Gütern auswirkt, ist im Anhang B, Tabellen 3 und 4 dargestellt.

Wie beim Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis wurden in einem folgenden Schritt die spezifischen anthropogenen Zusatzfrachten auf das „geogene“ Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefenstufe) bezogen. Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, wurde das erhaltene Ergebnis wiederum durch einen Faktor 1000 dividiert. Je höher der Faktor ist, desto geringer ist das Gut in Bezug auf den jeweiligen Stoff belastet.

Folgende Ergebnisse wurden für Ackerböden erhalten (detaillierte Ergebnisse für jedes einzelne Gut differenziert nach Bodennutzung im Anhang B Tabelle 5):

Acker: Der mittlere Quotient von spezifischer anthropogener Zusatzfracht und Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefe) von Blei liegt mit 505 wesentlich über jenem der anderen drei Elemente. Kupfer (24) Zink, (15) und Cadmium (10) weisen ähnliche Quotienten auf. Die Bandbreite der Quotienten liegt zwischen 4 (Cd *Rindermist*) und 1767 (Pb *Gülle Schwein*). Die Quotienten von Kupfer (6 bis 48) und Zink (6 bis 23) und insbesondere Cadmium (4 bis 15) zeigen eine deutlich geringere Bandbreite als jene von Blei (4 bis 1767).

Grünland: Die Bandbreite bei Grünland ist vergleichbar groß wie bei Äckern. Wiederum ist der mittlere Blei-Quotient am größten (738), jene von Zink, Kupfer und Cadmium sind mit 14 bis 25 30 bis 50 mal niedriger. Die Bandbreite der einzelnen Quotienten reicht hier von 5 (Cd *Rindermist*) bis 2580 (Pb *Gülle Schwein*).

Sonderkulturen: Bei den Sonderkulturstandorten ist der mittlere Blei-Quotient 30 bis 100 mal höher als jener der anderen Stoffe. Der mittlere Cd-Quotient ist auch hier am niedrigsten.

Tabelle 5-7: Verhältnis von Acker-Bodenlager zur spezifischen anthropogenen Stofffracht dividiert durch 1000 (nach Größe geordnet)

Pb	Gülle Schwein	1767	Zn	Senkgrubenräumgut	15
Pb	Mist Schwein	1442	Cd	Mist Geflügel	15
Pb	Gülle Geflügel	990	Pb	Kompost Klasse 1	14
Pb	Mist Geflügel	333	Cd	Mist Schwein	13
Pb	Gülle Rind	294	Cd	Ks. >BGW+200%	13
Pb	Mist Rind	74	Zn	Gülle Geflügel	12
Pb	Ks. >BGW+200%	71	Cd	Gülle Geflügel	12
Pb	Ks. <BGW+200%	57	Cd	Gülle Schwein	11
Cu	Kompost Klasse 2	48	Zn	Mist Geflügel	11
Cu	Ks. <BGW+200%	40	Cu	Senkgrubenräumgut	11
Cu	Gülle Rind	34	Cd	Ks. <BGW+200%	10
Cu	Kompost Klasse 1	31	Zn	Mist Rind	10
Cu	Ks. >BGW+200%	27	Zn	Mist Schwein	9
Cu	Gülle Geflügel	24	Cd	Gülle Rind	9
Zn	Kompost Klasse 2	23	Cu	Mist Schwein	8
Zn	Gülle Rind	21	Cd	Kompost Klasse 2	8
Cu	Mist Geflügel	21	Zn	Gülle Schwein	6
Zn	Ks. >BGW+200%	20	Cu	Gülle Schwein	6
Zn	Kompost Klasse 1	19	Pb	Kompost Klasse 2	5
Cu	Mist Rind	18	Cd	Kompost Klasse 1	4
Zn	Ks. <BGW+200%	16	Cd	Mist Rind	4

Fazit

Die Bildung des Verhältnisses von Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefe) zu spezifischer anthropogener Zusatzfracht je kg P liefert ein stärker differenziertes Bild als die Gegenüberstellung der spezifischen Stofffracht (Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis) und dem Bodenlager. Dabei ändert sich nicht nur die relative Belastung der Güter zueinander sondern es ändert sich, wenn zumeist auch nur ein bis zwei Ränge, auch die absolute Reihenfolge der Güter.

Die Bildung des Verhältnisses von Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefe) zu spezifischen anthropogener Stofffracht je kg P liefert ein vergleichbar stark differenziertes Bild wie die Gegenüberstellung von Stoffkonzentrationen in den Gütern und den Stoffkonzentrationen in den Böden. Die Reihenfolge der Güter entsprechend ihrer Belastung wird jedoch z.T. deutlich verändert.

Auch die spezifische anthropogene Zusatzfracht kann letztendlich die Güter nicht auf ihre tatsächliche Anreicherungswirksamkeit beurteilen. Nach wie vor wird das unterschiedliche Verhalten der Stoffe im Boden (z.B. Auswaschungsgefährdung, Pflanzenentzug) nicht berücksichtigt. Zusätzlich stellt sich je nach Verhältnis von eingetragener Stofffracht zur stabilen Matrix eines Gutes eine maximal mögliche Aufkonzentrierung durch das betrachtete Gut ein. Diese maximale Aufkonzentrierung wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.4 Schichtenmodell

5.4.1 Darstellung der Modell-Eingangsparameter

Im folgenden werden die Eingangsparameter des Modells diskutiert:

- „geogene“ Stoffkonzentrationen unterschieden nach Flächennutzung
- aktuelle Stoffkonzentrationen unterschieden nach Flächennutzung
- Stoffkonzentrationen in den betrachteten Gütern
- Ausmaß des Ernteentzuges
- Bestimmung der Transferfaktoren des Pflanzenentzuges
- Ausmaß der Auswaschung
- Ausmaß der Erosion
- Gehalt an organischer Substanz
- Abschätzung der nicht abbaubaren organischen Substanz
- Abschätzung der löslichen anorganischen Substanz

Die Bodendichte wird mit $1,5 \text{ g/cm}^3$ angenommen.

Die Parameter Anreicherungsmaß, Anreicherungszeitraum werden im Kapitel 5.4.2.2 dargestellt.

5.4.1.1 Ergebnisse der Bodenzustandsinventur

Es wurden sämtliche Rasterpunkte der Bodenzustandsinventur, die im Raabtal liegen, herangezogen. Dabei wurden die Werte der Bodenzustandsinventur aus dem über Internet abrufbaren LandesUmweltInformationssystem (LUIS) entnommen. Die Daten wurden nach den einzelnen Tiefenstufen (0-5 cm, 5-20 cm, 20-50 cm bei Grünland und Sonderkultur sowie 0-20, 20-50 und 50-70 cm bei Acker) und nach Nutzungsart (Grünland, Acker, Sonderkultur) getrennt erfasst und ausgewertet. Bei der Auswertung wurde aus den genannten Tiefenstufen für alle drei Nutzungsarten jeweils ein Mittelwert für die Profiltiefe 0-30 cm errechnet. Insgesamt liegen 9 Probenahmepunkte aus dem Grünland, 16 von Ackerstandorten und 2 von Sonderkulturstandorten vor. Der *Grünlandstandort WZC 6 (61720001), Passail* zeigt untypisch hohe Belastungswerte verglichen mit den anderen Grünlandböden insbesondere bei Blei, aber auch bei Zink und Cadmium (Pb: um 770 % über dem MW², Cd:

² MW der 8 Grünlandprobenahmepunkte in der Profiltiefe 0-30cm

+ 130 %, Zn: + 90 %). Deshalb wurden für die weiteren Berechnungen die Analysewerte dieses Erhebungspunktes nicht weiter berücksichtigt.

Zur Beurteilung der Stoffkonzentrationen können die Grenzwerte nach der steiermärkischen Bodenschutzprogrammverordnung [Stmk. Lvo 87/1987] herangezogen werden. Die in dieser Verordnung festgelegten Grenzwerte gelten für Mischproben aus dem Oberboden mit einer durchschnittlichen Dichte von 1,5 (3000 t/ha = 20 cm Bodentiefe). Wird bei Ackerböden tiefer gepflügt, so muss das Ergebnis der Untersuchung wie folgt berichtigt werden:

$$\text{Maßgebender Gehalt} = \frac{\text{gemessener Gehalt} * \text{Pflügetiefe}}{20}$$

Bei Dauergrünland beträgt die Mächtigkeit des Oberbodens 10 cm.

Tabelle 5-8: Bodengrenzwerte laut Bodenschutzprogrammverordnung in mg/kg

	Kupfer	Zink	Blei	Cadmium
Dauergrünland	200	600	200	4
Acker 0-20 cm	100	300	100	2
Acker 0-30 cm	66,7	200	66,7	1,3

5.4.1.1.1 Ergebnisse der Bodenzustandsinventur Kupfer

Die Auswertung der Probenahmepunkte ergab folgende Werte:

Tabelle 5-9: Mittelwerte der Kupferkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS

Mittelwerte	0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	MW 0-30
Grünland	28,3	28,1	26,3	27,5
Sonderkulturen	164,4	67,4	33,7	72,3
	0-20 cm	20-50 cm	50-70 cm	MW 0-30
Acker	27,5	25,9	26,4	27

Die Kupferwerte der Grünland- und Ackerstandorte sind sehr ähnlich. Ebenso weisen die Konzentrationen in den einzelnen Tiefenstufen nur geringe Unterschiede auf.

Deutlich erhöht sind die Kupferwerte in der Schicht 0-5 cm bei den Sonderkulturen. Hier liegen jedoch nur zwei Probenahmepunkte vor. Dabei weist der Punkt FBB 8 (60420001) Grubbach in der obersten Bodenschicht einen Cu-Gehalt von 266,5 mg/kg TS. Aufgrund der starken Konzentrationsabnahme in der Tiefe (5-20 cm 55,2 mg Cu) kann angenommen werden, dass keine regelmäßige Durchmischung (Pflügen) stattfindet, und der Grenzwert für Grünlandböden heranzuziehen ist. Das heißt, die Durchschnittskonzentration ist auf die Bodenschicht 0-10 cm zu beziehen [Stmk. Lvo 87/1987]. Genannter Probepunkt liegt mit einer Durchschnittskonzentration von rund 160 mg Cu/kg TS unter dem Grenzwert von 200 mg/kg TS. Die Konzentration in der Tiefenstufe 20 bis 50 cm der Sonderkultur-Standorte entspricht in etwa jener der Grünland- und Ackerstandorte.

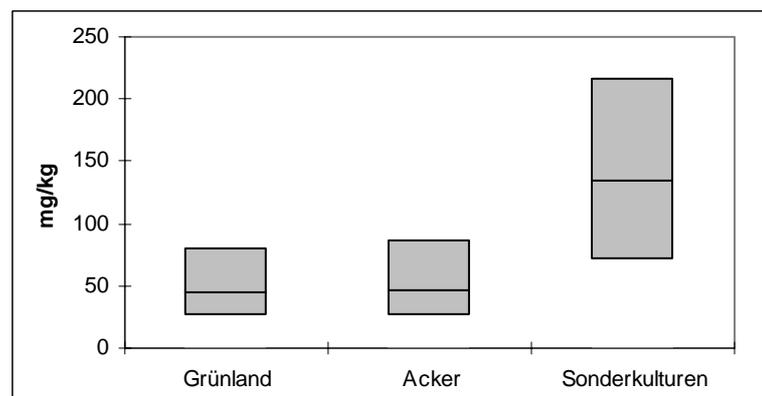


Abbildung 5-1: Von-, Bis- und Mittelwerte der Kupferkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur

5.4.1.1.2 Ergebnisse der Bodenzustandsinventur Zink

Tabelle 5-10: Mittelwerte der Zinkkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS

Mittelwerte	0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	MW 0-30
Grünland	108,2	105,0	94,2	102,0
Sonderkulturen	102,9	103,5	92,5	99,7
	0-20 cm	20-50 cm	50-70 cm	MW 0-30
Acker	86,4	79,2	79,3	84

Die Grünland-Standorte weisen eine 15 bis 25 % höhere Zinkkonzentration in den einzelnen Tiefenstufen als die Ackerstandorte auf. Die Bodenkonzentrationen der Standorte der Sonderkulturen entsprechen jenen der Grünlandstandorte. Bei allen Kulturen ist eine Abnahme der Bodenkonzentration mit zunehmender Bodentiefe festzustellen, wobei die Abnahme bei Grünland mit rund 15 % am größten ist. Bei Sonderkulturen und Acker beträgt die Abnahme rund 10 %.

Auffallend bei den Grünlandstandorten ist, dass drei Standorte MW von 140 bis 150 mg/kg TS in der Bodentiefe 0-30 cm aufweisen und alle anderen 6 Standorte ein Konzentration von kleiner als 90 mg/kg TS. Die drei genannten Standorte liegen im Oberlauf der Raab in der Umgebung von Weiz. Die hohen Zinkkonzentrationen sind geogen verursacht.

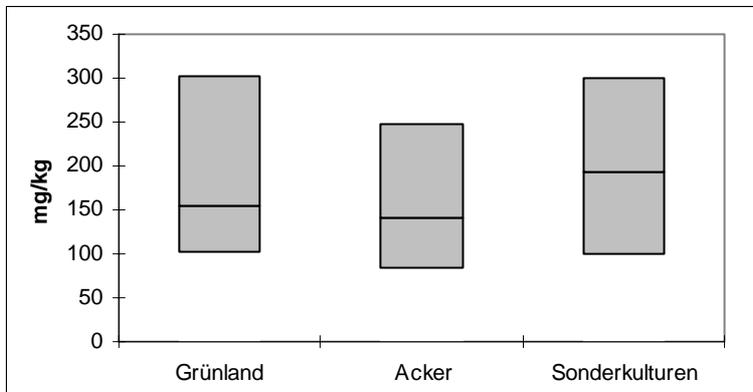


Abbildung 5-2: Von-, Bis- und Mittelwerte der Zinkkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur

5.4.1.1.3 Ergebnisse der Bodenzustandsinventur Blei

Tabelle 5-11: Mittelwerte der Bleikonzentrationen in den Böden in mg/kg TS

Mittelwerte	0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	MW 0-30
Grünland	24,9	24,1	18,1	22,3
Sonderkulturen	16,2	15,2	13,1	14,7
	0-20 cm	20-50 cm	50-70 cm	MW 0-30
Acker	16,4	12,4	11,3	15

Die Bleikonzentrationen auf den Grünlandstandorten liegen rund 40 bis 50 % über den Konzentrationen der Acker- und Sonderkultur-Standorte. Die stärkste Abnahme vom Oberboden zum Unterboden ist bei den Acker- und Grünlandböden zu beobachten (über 35 %), auch die Sonderkultur-Standorte zeigen eine Abnahme mit der Tiefe, wenngleich nicht so ausgeprägt (minus 23 %). Bei Blei liegt eine anthropogen bedingte Anreicherung in den oberen Bodenschichten vor.

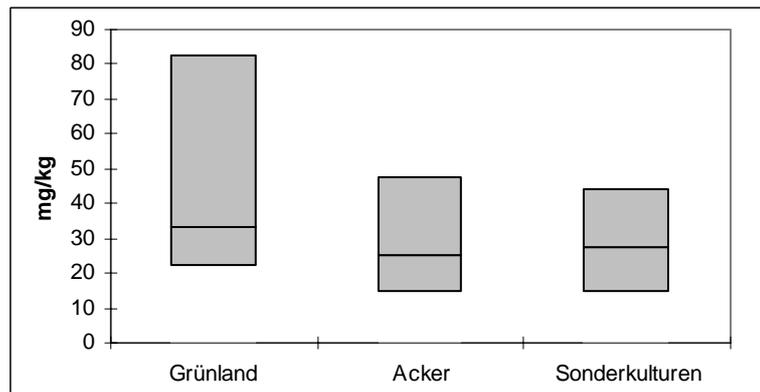


Abbildung 5-3: Von-, Bis- und Mittelwerte der Bleikonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur

5.4.1.1.4 Ergebnisse der Bodenzustandsinventur Cadmium

Tabelle 5-12: Mittelwerte der Cadmiumkonzentrationen in den Böden in mg/kg TS

Mittelwerte	0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	MW 0-30
Grünland	0,29	0,24	0,12	0,21
Sonderkulturen	0,17	0,17	0,10	0,14
	0-20 cm	20-50 cm	50-70 cm	MW 0-30
Acker	0,13	0,08	0,06	0,12

Die Cadmiumkonzentrationen der Grünlandstandorte in den oberen beiden Bodenschichten liegen deutlich über jenen der anderen Standorte.

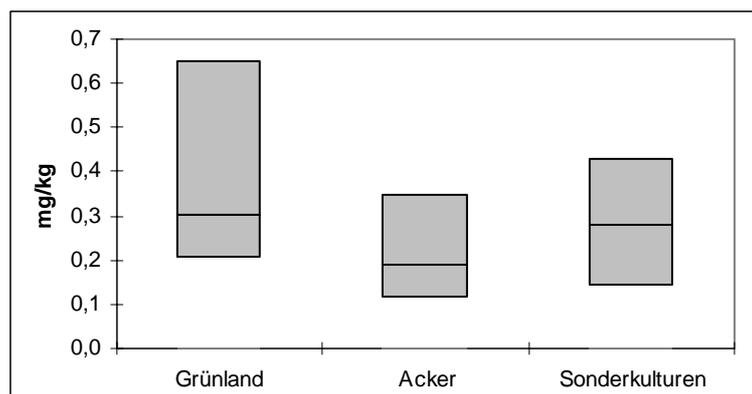


Abbildung 5-4: Von-, Bis- und Mittelwerte der Cadmiumkonzentration in Böden des Raabtales entsprechend der Bodenzustandsinventur

Bei allen Standorten ist eine deutliche Konzentrationsabnahme von der obersten zur untersten beprobten Bodenschicht erkennbar: Auf Grünlandstandorten liegt die

Konzentration in der Schicht 0-5 cm 140 %, bei Ackerstandorten die Schicht 0-20 cm 115 % und bei Sonderkulturen-Standorten die Schicht 0-5 cm 70 % über dem in der jeweils tiefsten Stufe gemessenen Wert. Auch hier kann ein anthropogener Einfluss vermutet werden.

5.4.1.2 Stoffkonzentrationen in den einzelnen Gütern

Die Stoffkonzentrationen in den einzelnen regional aufgebrauchten Gütern wurden vom Büro Dr. Lengyel erhoben [BDL, 1999a]. Dabei wurden neben vorliegenden regionalen Analysewerten (z.B. Klärschlammzeugnisse) auch Literaturwerte herangezogen. Die für die Bewertung der regionalen IST-Situation im Raabtal herangezogenen Güter und Stoffkonzentrationen sind nachfolgend dargestellt.

Wirtschaftsdünger

Die Wirtschaftsdünger wurden nach den drei Haupttierarten Rind, Schwein und Geflügel sowie zusätzlich nach Stallsystem (Gülle- oder Mistwirtschaft) unterteilt. Die Stoffkonzentrationen der Güter sowie die jährlich anfallenden Mengen werden in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 5-13: Stoffkonzentrationen und Anfallsmengen von Wirtschaftsdüngern in mg/kg TS

mg/kg TS	Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein	Mist Geflügel
Zink	201	1270	636	224	733	479
Kupfer	42	453	110	42	276	87
Blei	4,8	3,5	3,4	6,5	4,6	4,2
Cadmium	0,42	0,71	0,66	0,54	0,49	0,35
t TS	16.263	15.802	2.580	30.816	7.155	1.929

Die Jauche-bedingten Schwermetallflüsse werden nicht weiter betrachtet. Sie betragen in Summe zwischen 1 (Cu) und 3 (Pb) Prozent der in den Wirtschaftsdüngern enthaltenen Schwermetallmengen.

Klärschlamm + Kompost

Die Anreicherung von Stoffen erfolgt bei unterschiedlichen Konzentrationen trotz gleicher Fracht unterschiedlich rasch (siehe Kapitel 4.1.4). Aus diesem Grund wurde das Gut Klärschlamm in 2 Klassen aufgeteilt. Dabei wurde als Schlüssel das Ver-

hältnis der Schwermetallkonzentration im Klärschlamm zum Bodengrenzwert für Ackerland bei 30 cm Tiefe verwendet. Die Klasseneinteilung wurde wie folgt gewählt: Klärschlämme bei denen keiner der 4 untersuchten Stoffe mehr als 200 % über dem Bodengrenzwert ($< \text{BGW} + 200 \%$) liegt sowie Klärschlämme mit (einzelnen) Stoffkonzentrationen von mehr als 200 % ($> \text{BGW} + 200 \%$) der geltenden Bodengrenzwerte. Entsprechend dieser Auswertung liegen fast 95 % der anfallenden Klärschlamm-Trockensubstanzmenge in der Klasse $< \text{BGW} + 200 \%$. Für die beiden Klassen wurde nun jeweils die durchschnittliche, nach der anfallenden Trockensubstanz gewichtete Stoffkonzentration errechnet.

Nach dieser Einteilung fallen in der Region 1430 t TS der Klasse $< \text{BGW} + 200 \%$ und 105 t TS der Klasse $> \text{BGW} + 200 \%$ an.

Alternativ zum verwendeten Schlüssel „Bodengrenzwerte“ könnten auch die Verhältnisse zu den Klärschlammgrenzwerten herangezogen werden, wobei etwa folgende Kategorien gewählt werden könnten: Stoffkonzentration $< 25 \%$ der geltenden Klärschlammgrenzwerte, $> 25 \%$ der geltenden Klärschlammgrenzwerte.

Die in der Region erzeugten Komposte wurden ebenfalls in zwei Klassen unterteilt: In Komposte die der Kompostgüteklasse I nach ÖNORM S 2200 [ON, 1993] bzw. Komposte die der Güteklasse II entsprechen. Eine Kompostcharge lag über dem Grenzwert der Kompostklasse II und wurde in weiterer Folge nicht weiter betrachtet, da eine landwirtschaftliche Verwertung rechtlich nicht zulässig ist. Wie beim Gut Klärschlamm wurden anschließend für die beiden definierten Klassen die gewichteten mittleren Stoffkonzentrationen berechnet. Um zu verdeutlichen, dass die Komposte in den beiden Kompostklassen keine maximalen Stoffkonzentrationen aufweisen, werden in weiterer Folge für Kompostklasse I und II (nach ÖNORM) die Güterbezeichnungen *Kompost Klasse 1* sowie *Kompost Klasse 2* verwendet.

Ein Sonderfall stellt die Auswertung für das Element Cadmium dar: da viele der vorliegenden Gehaltsangaben lediglich als $< 0,7 \text{ mg/kg TS}$ vorliegen, wurden zur Berechnung der mittleren Stoffkonzentrationen in den beiden Klassen nur jene Analysewerte herangezogen in denen der Cd-Gehalt exakt bestimmt wurde.

Ausschlaggebend für die Einteilung in die zwei Klassen nach ÖNORM (Kompost Güteklasse I bzw. II) waren dabei die Elemente Zink und Blei.

Der gewichtete Glühverlust beträgt in der *Klasse 1* 33,5 % der TS, in der *Klasse 2* 36 %.

Die anfallende Trockensubstanzmenge der *Klasse 1* beträgt 1.300 t, die der *Klasse 2* 50 t.

Tabelle 5-14: Stoffkonzentrationen und Anfallsmengen von Klärschlämmen und Komposten in mg/kg TS

mg/kg TS	Klärschlamm <BGW+200 %	Klärschlamm >BGW+200 %	Kompost Klasse 1	Kompost Klasse 2	Senkgruben- inhalte
Kupfer	69	237	38	43	275
Zink	486	960	159	221	615
Blei	25	48	30	126	
Cadmium	0,7	1,5	0,55	0,55	
t TS/a	1.430	105	1.300	50	390

5.4.1.3 Ausmaß des Ernteentzuges

Wie im theoretischen Teil dargestellt, erfolgt die Berücksichtigung des Ernteentzuges in 2 Schritten: Erstens wird der aktuelle Stoffentzug (Zn, Cu, Cd, Pb) je ha durch die geernteten Güter ermittelt (IST-Zustand). Im zweiten Schritt wird die Änderung der Pflanzenentzüge durch die Lagerveränderung im Boden durch Verhältnisbildung und dem Einbeziehen von Transferfaktoren für die jeweiligen Stoffe berücksichtigt.

Zur Bestimmung des IST-Zustandes wurde wie folgt vorgegangen: Für die einzelnen Mengen an Erntegüter wurden die entsprechenden Stoffkonzentrationen aus der Literatur erhoben und die resultierende Stofffracht errechnet. Diese Stofffracht wurde durch die zugehörige landwirtschaftliche Produktionsfläche dividiert und somit für jeden Stoff ein flächenspezifischer Entzugswert errechnet. Dabei wurde zwischen Ackerstandorten und Grünland unterschieden. Bei beiden Nutzungsarten wurden jeweils über 97,5 % der Erntemenge erfasst und mit den Stoffkonzentrationen verknüpft.

Die Auswertung ergibt folgende Mittelwerte der flächenspezifischen Stoffentzüge:

Tabelle 5-15: Flächenspezifische Stoffentzüge in g/ha.a

	Zink	Kupfer	Blei	Cadmium
Acker	252	45,7	10,1	0,52
Grünland	228	53,2	27,1	0,70
Sonderkultur (Obst)	30,2	23,9	8,6	0,90

5.4.1.4 Bestimmung der Transferfaktoren

Die Transferfaktoren Boden-Pflanze (Pflanze: verzehrbare Teile) wurden wie folgt bestimmt: Für die vorliegenden regional geernteten Gütermengen wurden aus der Literatur die jeweiligen Transferfaktoren (Medianwerte) erhoben. Um den Arbeitsaufwand einzugrenzen (und es liegen auch nicht für jede Pflanzenart Transferfaktoren vor) wurde dies für Güter, die in Summe mengenmäßig über 95 % der Erntemengen liegen, durchgeführt.

Für Obst lagen keine Transferfaktoren vor. Nach [Lübben & Sauerbeck, 1991] weisen die Früchte (der untersuchten Nutzpflanzen) die geringsten Transferfaktoren auf. Es wurden deshalb in weiterer Folge jene von Ackerkulturen verwendet.

Folgende Kulturen und Transferfaktoren [nach Lübben & Sauerbeck, 1991] wurden berücksichtigt bzw. verwendet:

Tabelle 5-16: Kulturspezifische Transferfaktoren

Kultur	Erntemenge in t	TF Zn	TF Cu	TF Pb	TF Cd
Mais CCM	157.026	0,35	0,09	0,001	0,04
Silomais	82.284	0,35	0,09	0,001	0,04
Körnermais	77.681	0,35	0,09	0,001	0,04
Gerste (Wi,So) + Weichweizen	20.898	0,79	0,25	0,003	0,27
gewichteter TF Acker	337.889	0,38	0,10	0,001	0,05
Wiese	132.123	0,84	0,39	0,037	0,5

Zur Berechnung der Schwermetallentzüge nach dem Schichtenmodell für Acker, Grünland und Sonderkulturen werden die in obiger Tabelle dargestellten Transferfaktoren verwendet.

5.4.1.5 Ausmaß der Auswaschung

Über das Ausmaß der Auswaschung liegen keine regionalen Daten vor. Es werden deshalb Literaturdaten verwendet. Das ÖFZ Seibersdorf [ÖFZ Seibersdorf, 1994] gibt für mehrere Standorte in Oberösterreich Bereiche von Schwermetallkonzentrationen im Sickerwasser an. Diebold [Diebold, 1999] gibt für die Raab am Pegel Rohrdorf für das Jahr 1995 ein Gesamtabfluss von $2,4 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ an. Umgelegt auf das Einzugsgebiet ergibt sich eine Abflusshöhe von 245,7 mm.

Unter der Annahme, dass 100 % des Abflusses über das Grundwasser in die Raab gelangen, kann in Verbindung mit den Sickerwasserkonzentrationen zumindest die Obergrenze der Auswaschung errechnet werden.

Die Verlagerung aus dem Oberboden kann nicht dem Eintrag ins Grundwasser gleichgesetzt werden. Vielmehr ist anzunehmen, dass auch der Unterboden in den meisten Fällen eine sorbierende Wirkung auf Schwermetalle ausübt [ÖFZ Seibersdorf, 1994]. Die Berechnungen der ausgetragenen Frachten werden deshalb Einträgen in das Grundwasser gegenübergestellt.

[WGEV, 1995] gibt die mittlere Konzentration im Grundwassergebiet Raabtal (Gebiet 3310) für Cadmium mit 0,3 µg/l und jene von Blei mit 1,13 µg/l an (Zink und Kupfer wird im Rahmen der Wassergüterhebungsverordnung nicht erhoben). Durch multiplizieren dieser Konzentrationen mit der maximal zum Abfluss gelangenden Wassermenge errechnet sich maximale Einträge von 0,74 g Cd/ha.a und 2,8 g Pb/ha.a in das Grundwasser.

Diesen Werten werden zusätzlich die in [Kernbeis, 1995] erhobenen Werte gegenübergestellt.

Tabelle 5-17: Flächenspezifische Stoffausträge durch die Auswaschung

g/ha.a	Zink	Kupfer	Cadmium	Blei
Bandbreite nach Kernbeis	58 - 145	30 - 87	0,6 - 1,5	<3
Bandbreite ÖFZ + Diebold	49 - 123	24 - 74	0,49-1,23	2,5
WGEV Grundwasser			0,74	2,8
verwendete Werte	86	49	0,85	2,5

5.4.1.6 Ausmaß der Erosion

Das Ausmaß der Erosion wird mittels der Schwebstofffrachten der Raab angenähert.

[Diebold, 1999] gibt für die Raab für das Jahr 1995, Pegel Rohrbach eine Schwebstofffracht von 46.657 bis 70.365 t/a an. Wird diese Fracht auf das Einzugsgebiet umgelegt, so errechnet sich für das Raabtal ein Schwebstoffeintrag von 473 bis 713 kg/ha.a (Durchschnitt 593 kg/ha.a). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Landnutzungen (Wald, Wiese, Acker, etc.) unterschiedlich stark erosionsgefährdet sind.

Um genannte Schwebstofffracht auf die unterschiedlichen Nutzungsformen umzulegen wurde wie folgt vorgegangen: [Strauss, 1995] gibt für die einzelnen Nutzungsformen spezifische Austragskoeffizienten für Phosphor an. Kennt man die Boden-

nutzung in der Region und die dazugehörenden Flächen, die Art der angebauten Kulturen, die Geländemorphologie sowie den jährlichen Niederschlag kann der Phosphoraustrag mit spezifischen Austragskoeffizienten angenähert werden: Für ein hügeliges Gebiet mit relativ hohen Niederschlägen (ca. 1000 mm) können für die verschiedenen Kulturformen folgende Austragskoeffizienten angenommen werden: Wald: 0,1 kg P/ha.a; Wiesen: 0,2 kg P/ha.a; erosionsgefährdete Kulturen: 0,8 kg P/ha.a; sonstige landwirtschaftliche Kulturen: 0,4 kg P/ha.a;

Erosionsgefährdete Kulturen sind Kulturen, bei denen der Ackerboden einen längeren Zeitraum unbedeckt bleibt sowie Kulturen die in Zeilen angebaut werden. Zu ihnen zählen Mais, Zuckerrübe, Kartoffel sowie Sommergetreide. Da diese Koeffizienten die Bodentypen, die Starkregenereignisse, die Hangneigung, Hanglänge, Bewirtschaftungsweise und Fruchtfolge nicht berücksichtigen, ist das Ergebnis sicherlich nicht exakt richtig, sondern gibt vielmehr eine Größenordnung wieder.

Im folgenden wird angenommen, dass für die in die Raab eingetragenen Schwebstoffe die selben Austragskoeffizienten wie die genannten für P gelten.

Im Schichtenmodell wird mit folgenden erodierten Bodenmengen gerechnet:

Tabelle 5-18: Erodierete Bodenmengen nach Bodennutzung

Bodennutzung	ha	Faktor	Erosion in kg/ha.a
Wald	39.723	0,1	220
Wiese + Obst	20.682	0,2	435
erosionsgefährdete Ackerkulturen	13.789	0,8	1.745
sonstige Äcker	8.109	0,4	870
Äcker gewichtet			1.420

Durchschnittlicher Flächenaustrag: 593 kg/ha.a

5.4.1.7 Gehalte an organischer Substanz der betrachteten Güter

Die Gehalte an organischer Substanz in den betrachteten Gütern wurde anhand der Erhebungen von [BDL, 1999a] errechnet. Für Senkgrubenhaltungen wurden keine Angaben gemacht. Es wurde deshalb als Anhaltspunkt der Gehalt an organischer Substanz von Primärschlamm herangezogen.

Tabelle 5-19: Gehalt an organischer Substanz in Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten in % der TS

Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein	Mist Geflügel
75	75	75	80	65	80
Klärschlamm	Klärschlamm	Kompost	Kompost	Senkgrubenräumgut	

<BGW+200 %	>BGW+200 %	Klasse 1	Klasse 2	
36	40	33,5	36	75

5.4.1.8 Abschätzung der nicht abbaubaren organischen Substanz

Die absolute Menge an stabiler organischer Substanz nimmt in der Reihenfolge Kompost, Stallmist, Gülle und Kompost ab. Für Kompost liegt der Anteil an Huminstoffen bei rund 10 % der organischen Substanz (Literaturoauswertung in [Lampert, 2000]). Dies bedeutet bei 30 % organischer Substanz, dass der schwer (nicht?) abbaubare Anteil ca. 3 % der Ausgangs-Trockensubstanz beträgt. Der „Verdünnungseffekt“ durch die langfristig stabile organische Substanz ist somit gering. (Unter der Annahme einer 100 (500)-jährigen Kompostaufbringung von 17,5 t TS, 30 % oS, beträgt die aufgebrachte langfristig stabile organische Substanz mengenmäßig etwas mehr als 1 % (6 %) des gesamten Bodenlagers (bezogen auf 30 cm Bodentiefe)). In Anbetracht, dass bei Kompost mit die höchsten Mengen an TS je Fläche aufgebracht werden und die enthaltene organische Substanz stabiler ist als in den anderen Gütern wird im vorliegenden Projekt die Schwermetallakkumulation ohne die stabile organische Substanz zu berücksichtigen berechnet. Es wird also angenommen, dass die organische Substanz vollständig abgebaut wird.

5.4.1.9 Abschätzung der löslichen anorganischen Substanz

Es liegen in der Literatur kaum Angaben vor, die die löslichen Anteile der anorganischen Substanz quantifizieren. Die gemachten Annahmen können somit nur als grobe Anhaltspunkte gesehen werden. Eine Herleitung der Annahmen findet sich in [Lampert, 2000].

Gülle, Mist: Der CaO-Gehalt von Mist und Güllen von Rindern und Schweinen beträgt zwischen 8 und 12 % der anorganischen TS. Jener von Mist und Güllen von Geflügel rund 30 % (eigene Auswertungen nach [[BMLF, 1991; Löhr, 1983; Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau, 1993]. Wird angenommen, dass der Kalkanteil längerfristig gelöst wird, so können genannte Werte als Untergrenze des löslichen Anteils der anorganischen Substanz angesehen werden.

Kompost: Anhand der vorliegenden Literatur kann der lösliche Anteil im Kompost mit rund 5 % angegeben werden [Lampert, 2000]. Diese 5 % beinhalten jedoch noch zusätzlich organische Bestandteile. Für die Berechnungen im folgenden wird angenommen, dass maximal 5 % der anorganischen Substanz von Komposten löslich ist.

Klärschlamm: Der lösliche Anteil an der anorganischen Substanz wird stark durch einen allfälligen Kalkzusatz etwa bei der Entwässerung mitbestimmt. Wie in obiger Tabelle dargestellt, liegen die Gehalte an organischer Substanz bei oder unter 40 % der Trockensubstanz, also etwas niedriger als ohne anorganische Zusätze zu erwarten ist.

Deshalb wurden in einem ersten Schritt die vorliegenden Klärschlammdaten nach den pH-Werten und dem Wassergehalt ausgewertet. pH-Werte von unter 10 deuten darauf hin, dass kein Kalk als Konditionierungsmittel zugesetzt wurde. Die Analysewerte dieser Schlämme zeigen einen Gehalt an organischer Substanz von rund 45 %. Mit Hilfe dieses Wertes wurde durch umrechnen auf die Zugabe an anorganischer Substanz geschlossen. Dabei wurden folgende Werte errechnet:

Für *Klärschlämme* < *BGW+200*: + 25 kg anorganische Substanz (dies entspricht einer Zugabe von rund 45 % der ursprünglichen anorganischen Substanz)

Für *Klärschlämme* > *BGW+200*: + 7,5 kg anorganische Substanz (dies entspricht einer Zugabe von rund 12 % der ursprünglichen anorganischen Substanz)

Im folgenden wird angenommen, dass diese zugesetzte anorganische Substanz längerfristig vollständig gelöst wird. Der Anteil an löslicher anorganischer Substanz beträgt somit für den Klärschlamm < *BGW+200* (zumindest) rund 30 % jener der Klasse > *BGW+200* rund 10 %.

Für Senkgrubenhalte wurden, da keine Literaturwerte vorliegen, Eluatwerte von Nassschlämmen herangezogen.

Tabelle 5-20: Gehalt an löslicher anorganischer Substanz in Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten in %

Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein	Mist Geflügel
10	10	30	10	10	30
Klärschlamm <BGW+200 %	Klärschlamm >BGW+200 %	Kompost Klasse 1	Kompost Klasse 2	Senkgruben-räumgut	
45	12	5	5	5	

5.4.1.10 Diskussion der Modellparameter

Je nach betrachtetem Gut und den zugehörigen Stoffkonzentrationen können unterschiedliche Stoffe die langfristige regional verwertbare Gütermenge begrenzen. Hinzu kommt, dass es durch die Berücksichtigung der „verdünnenden“ Wirkung der

aufgebrachten stabilen Matrix (siehe Kapitel 4.1.3 Anthropogene Zusatzfracht) und der unterschiedlichen festgelegten Anreicherungszeiträume nicht „a priori“ möglich ist, die Güter bezüglich ihrer Anreicherungswirksamkeit zu beurteilen. Stark beeinflusst wird das Ausmaß der Schadstoffanreicherung auch durch die gewählten Modelleingangsgrößen, wie etwa die Auswaschung und den Pflanzenentzug

In der folgenden Tabelle soll dies verdeutlicht werden: Am Beispiel Acker werden dem Stofflager im Ackerboden (30 cm Mächtigkeit, „geogene“ Konzentration) die Austräge *Pflanzenentzug*, *Auswaschung* und *Erosion* gegenübergestellt und für jedes Element jene Zeitspanne errechnet, in der rechnerisch das gesamte Lager ausgetragen wäre (turn-over).

Tabelle 5-21: Gegenüberstellung von Lager, Auswaschung, Entzug und Erosion

in g/ha.a	„geogenes“ Lager g/ha.30cm	Auswa- schung	Entzug	Erosion	Summe Austräge	turn-over in Jahren
Zink	378.200	86	252	120	458	825
Kupfer	121.540	49	46	38	133	915
Cadmium	522	0,9	0,5	0,15	1,5	350
Blei	67.770	2,5	10,1	21,4	34	2.000

Auffallend sind vor allem die unterschiedlichen turn-over-Raten von Blei mit etwa 2.000 Jahren und Cadmium (rund 350 Jahre). Dies bedeutet, dass allein durch die betrachteten drei Eingangsgrößen eine Einheit Blei relativ fast 6-fach so stark anreicherungs wirksam ist, als eine Einheit Cadmium. Dies kann erklärt werden durch (i) die wesentlich größere Mobilität des Cadmiums gegenüber von Blei sowie (ii) durch die sehr geringe Bleiaufnahme in die Pflanze über die Wurzel.

Zur Identifikation des begrenzenden Stoffes ist es deshalb nicht möglich, einfache Schlüssel, wie etwa das Verhältnis von Stoffkonzentration im Gut zur Stoffkonzentration im Boden, zu verwenden.

5.4.2 Vergleich der einzelnen Güter

5.4.2.1 Hintergrund

Pauschale Aussagen („weniger ist besser“, etc.) sind nicht geeignet, Vorgaben für „Nachhaltigkeit“ oder „Umweltverträglichkeit“ zu liefern. Es ist etwa denkbar, dass

gewisse Stoffe derzeit in einem Umfang genutzt werden, der durchaus nachhaltig umweltverträglich sein kann. Eine Zusammenstellung von quantitativen Umweltzielen befindet sich in [Bunke et al., 1995]. Umweltziele sind nicht rein ökologisch orientiert, sondern sind durch ökonomische und soziale Ziele ebenso wie durch technische und logistische Aspekte beeinflusst. Umweltziele wie “minus 30 % CO₂ bis 2005 bezogen auf das Jahr 1987” geben ebenfalls keine Auskunft über die langfristige Umweltverträglichkeit. Formulierungen wie “die natürlichen Verdünnungskapazitäten dürfen nicht überschritten werden“, sind primär als qualitative Aussagen zu werten.

Soll die Frage nach der Grenzbelastung von Ökosystemen beantwortet werden, so stößt man an die Grenzen der Ökosystemforschung. Nach [van den Daele, 1993] ist es “bisher kaum gelungen, die Stabilitätsbedingungen von Ökosystemen so weit aufzuklären, dass man die Zulässigkeit von Eingriffen in die Umwelt daran messen könnte. ... Im Ergebnis entfällt die Möglichkeit, ökologische Stabilität an einem Minimalstandard zu messen, der nicht politisch, sondern wissenschaftlich operationalisiert wird. ... Da wir die Bedingungen ökologischer Stabilität nicht schlüssig präzisieren können, bleibt letztlich offen, ob wir mit geltenden Umweltstandards genügend Sicherheitsabstand zu jenen unbekanntem Grenzen schaffen, die wir keinesfalls überschreiten dürfen.”

„Nachhaltige Entwicklung will Natur nicht nur schützen, sondern auch nutzen“ (umweltnutzender Naturschutz). Es gibt keine Entwicklungsprozesse mit Nullbelastung, weder sozial noch ökologisch“ [Huber, 1995].

Um in Richtung Nachhaltige Entwicklung steuern zu können, lassen sich nach [Huber, 1995] drei Strategietypen unterscheiden: *Suffizienz*, *Effizienz* und *Konsistenz*. *Suffizienz* meint Genügsamkeit, Bescheidenheit, Selbstbegrenzung. Das materielle Verbrauchs-niveau wird gesenkt, die utilitaristisch-sensualistische Wertorientierung der modernen Welt wird zugunsten geistiger Werte eingedämmt (“Weniger ist mehr”, “Muße und Beschaulichkeit statt Stress und Hetze”, “die Kunst, das Leben zu genießen”). *Effizienz* bedeutet, gewünschte Produktionsleistungen mit geringstmöglichem Einsatz an Material und Energie zu erzielen. Dies bedeutet eine Steigerung der Stoff- und Energieeffizienz, eine Steigerung der Ressourcenproduktivität. *Konsistenz*, auf die ökologische Frage angewandt, bedeutet die naturangepasste Beschaffenheit von Stoffströmen und Energiegewinnung. Anthropogene und geogene Stoffströme stören einander nicht. Auch in großen Volumina fügen sich

diese Ströme in die umgebende Natur (relativ) problemlos ein. Die Konsistenzstrategie geht dahin, die Qualität der Stoffströme so zu verändern, dass der Massenspielraum dieser Stoffströme erhalten bleibt oder erweitert wird. Jedoch hat jeder Stoffstrom, welcher Qualität auch immer, seine ökologische Mengenbegrenzung.

5.4.2.2 Festlegung der tolerierbaren Stoffanreicherungen und des Anreicherungszeitraumes

Ein geeignete Nachhaltigkeitsstrategie um die Akkumulation von Stoffen in Böden zu begrenzen ist der Konsistenzansatz, dem entsprechend die Schadstoffemissionen an geogenen Referenzen orientiert werden. Dabei sind zwei Möglichkeiten denkbar: (i) eine Orientierung an den geogenen Flüssen und (ii) eine Orientierung an geogenen Lagern. Orientierung bedeutet, dass geogene Flüsse/Lager nur bis zu einem bestimmten Ausmaß verändert werden dürfen. Für ein lagerorientiertes Kriterium ist es jedoch notwendig, neben dem Ausmaß der An- oder Abreicherung auch den Zeitrahmen in dem dies erlaubt sein soll, zu definieren.

Die Orientierung an geogenen Lagern ist in jenen Fällen notwendig, wenn Lager wesentlich größer sind, als die Summe der Differenzen der (zumindest derzeitigen) natürlichen In- und Outputflüsse in die Lager über die Jahre betrachtet: Dieser Fall trifft beim Lager an Schwermetallen in Böden zu.

Die Stoffflüsse in die Böden werden in dieser Studie anhand des oben skizzierten Konsistenzansatzes beurteilt. Dies bedeutet, dass vorzugeben ist, innerhalb welchem Zeitraum sich das Lager im Boden bis zu welchem Ausmaß anreichern darf.

Da die Grenzbelastungen von Ökosystemen noch nicht hinreichend erforscht sind, soll im Rahmen dieser Studie besonders dem Gedanken eines vorsorgenden Umweltschutzes (Vorsorgeprinzip), der auch im Abfallwirtschaftsgesetz festgelegt ist, Rechnung getragen werden.

Bei der Festlegung der maximalen Anreicherung muss folgendes zusätzlich berücksichtigt werden: In der Praxis wird auf die Böden nicht nur das betrachtete Gut aufgebracht, sondern es gelangen zusätzliche Stofffrachten über die Deposition auf die Böden. Werden diese z.T. stark anthropogen beeinflussten Depositionsraten bei der Berechnung der Anreicherung mit einbezogen, so kann der Fall eintreten, dass alleine durch die Deposition die vorgegebene „erlaubte“ Lagerveränderung innerhalb des festgelegten Zeitraumes stattfindet. Es erscheint „ungerecht“, dass die Deposition die jeweilig aufbringbare Gütermenge begrenzt. Um dies zu berücksich-

tigen, wird im folgenden (entsprechend vorsichtig) definiert, um wieviel sich das Stofflager im Boden **allein durch die aufgebrachten Güter** verändern darf.

Dabei wird nicht auf die Toxizität der verschiedenen Stoffe Rücksicht genommen, sondern es wird einheitlich für alle Stoffe geltend, eine maximal erlaubte Lagerveränderung festgelegt.

Im Projekt RUNBA wird im folgenden pragmatisch vorgegangen:

Auf alle Felder dürfen derart große Güter- respektive Stoffmengen aufgebracht werden, bis die Lageränderung in der betrachteten Bodenschicht x Prozent (z.B. +10 %, +50 %, +100 %) des Stofflagers eines „geogenen“ Bodenkörpers mit einer Mächtigkeit von 30 cm entspricht.

Illustration 1.: Für den gewählten Ackerboden wird mit einer durchschnittlichen Konzentration von 0,13 mg Cd/kg TS in 0-20 cm und 0,08 mg Cd/kg TS in 20-50 cm gerechnet, im Durchschnitt in 0-30 cm errechnen sich somit 0,11 mg Cd/kg TS im Oberboden. Die „geogene“ Konzentration beträgt 0,06 mg Cd/kg. Bei der Festlegung *plus 50%* „darf“ sich der Oberboden von 0,11 auf 0,14 mg Cd/kg anreichern, also etwa um 27 % gegenüber der aktuellen Konzentration im Oberboden. Im Vergleich dazu liegt der Steiermärkische Bodengrenzwert bei einer Bearbeitungstiefe von 30 cm bei 1,33 mg Cd/kg TS. Die in der gewählten Variante maximal erlaubt Lageranreicherung ist somit etwa 10 mal niedriger als der gültige Bodengrenzwert!

Illustration 2: Ein Boden mit einer Konzentration von 0,11 mg/kg TS Cd im Oberboden und 0,06 mg/kg TS geogener Konzentration darf sich bei der Festlegung *plus 10 %* auf 0,116 mg/kg TS anreichern, also etwa um 5 % gegenüber der derzeitigen Konzentration im Oberboden.

Folgende Varianten tolerierbarer Stoffanreicherungen und Anreicherungszeiträume durch die Aufbringung der betrachteten Güter werden festgelegt:

1. geogenes Lager + 10 % in 100 Jahren
2. geogenes Lager + 50 % in 100 Jahren
3. geogenes Lager + 100 % in 100 Jahren
4. geogenes Lager + 10 % in 500 Jahren
5. geogenes Lager + 50 % in 500 Jahren

6. geogenes Lager + 100 % in 500 Jahren

Für die Region liegen keine Untersuchungsergebnisse über geogene Stoffkonzentrationen im Boden vor. Anstelle dieser werden deshalb in weiterer Folge die in der Bodenzustandsinventur der Probepunkte im Raabtal erhobenen Stoffkonzentrationen der Tiefenstufe 20 - 50 cm für Grünland und Sonderkulturen, für Acker die Konzentrationen der Tiefenstufe 50 – 70 cm verwendet. Dabei werden je nach Flächennutzung (Grünland, Acker, Sonderkultur) unterschiedliche „geogene“ Stoffkonzentrationen verwendet (siehe hierzu 5.4.1.1).

Sowohl bei Ackerkulturen als auch bei Grünland- und Sonderkultur-Standorten wird als maximale Lagerveränderung ein Prozentsatz des Stofflagers einer 30 cm dicken Bodenschicht herangezogen. Dies bedeutet, dass bei gleichen Stoffkonzentrationen zum Ausgangszeitpunkt die selben Stofffrachten unabhängig von der Bodennutzung aufgebracht werden können. Diese Vorgangsweise entspricht auch in etwa den Intentionen der Steiermärkischen Bodenschutzprogrammverordnung, die je nach Bearbeitungstiefe unterschiedliche Maximalkonzentrationen im Boden erlaubt, also einen frachtbezogenen Ansatz verfolgt.

Dieser Ansatz bevorzugt jedoch jedenfalls Gebiete mit hohen Hintergrundbelastungen.

Exkurs: Festlegung der tolerierbaren Anreicherung

Neben dem gewählten Ansatz einer relativen Konzentrations- bzw. Lagerveränderung sind noch andere Ansätze denkbar:

(i) Absolute tolerierte Lagerveränderung: es wird festgesetzt um wie viel Masse eines Stoffes das Bodenlager in einem definierten Zeitraum angereichert werden darf. Der Vorteil ist, dass eine derartige Regelung auch überregional einheitliche Vorgaben schafft. Die Schwierigkeit dabei könnte sein, einen überregionalen Konsens bezüglich der „erlaubten“ Lagerveränderung zu finden. Ansatzpunkt könnte sein, ein Referenzlager des betrachteten Systems zu definieren (z.B. Medianwert eines 30cm mächtigen Bodenlagers mit der Hintergrundkonzentration eines Stoffes im Staatsgebiet von Österreich). Von diesem Referenzlager wird ein fixer Prozentsatz bzw. ein absolute Lagerzunahme innerhalb eines definierten Zeitraumes als maximal tolerierbare Lagerveränderung vorgegeben. Diese absolute Zunahme wird auf allen Standorten als akzeptabel betrachtet.

(ii) Grenzwert: Für Stoffe werden systemweit einheitliche Höchstkonzentrationen (Grenzwerte) festgelegt (mit allfälligen Differenzierungen nach der vorliegenden

Bodenart). Bei dieser Regelung werden jene Böden bevorzugt die eine relativ niedrige Ausgangskonzentration aufweisen.

5.4.2.3 Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen - Ergebnisse des Schichtenmodells

Mit dem Schichtenmodell wurde für jedes der betrachteten Güter jenes Element bestimmt, das in den untersuchten beiden Betrachtungszeiträumen (100 und 500 Jahre) und tolerierten Anreicherung (+10 %, + 50 %, + 100 % des „geogenen“ Bodenlagers) die (landwirtschaftliche) Verwertung mengenmäßig begrenzt. Dieses begrenzende Element ist jene Schraube, die vorrangig gedreht werden muss, um die Aufbringungsmengen eines Gutes zu erhöhen. Gleichzeitig wurden die zugehörigen langfristig je Hektar aufbringbaren Gütermengen berechnet. Diese nach den definierten „Nachhaltigkeitskriterien“ errechneten Trockensubstanzmengen werden mit den zugehörigen Phosphorkonzentrationen multipliziert. Als Resultat ergeben sich flächenspezifische Phosphorfrachten in kg P/ha.a.

Bei der Bewertung der Ergebnisse werden im folgenden teilweise Verweise auf bestehende Gesetze, die die Aufbringung von Gütern mengenmäßig limitieren, gemacht. Zusätzlich werden die berechneten P-Mengen zum Nährstoffbedarf der in der Region angebauten Kulturen in Relation gesetzt (siehe hierzu Kapitel 5.5.1).

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in den folgenden Kapiteln unterteilt nach den definierten verschiedenen Anreicherungsvarianten.

Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang B Tabellen 7 - 12 dargestellt.

5.4.2.3.1 10 % Lagerveränderung in 100 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Zink begrenzt die Mengen von *Rinder- und Geflügelgülle*, *Rinder- und Geflügelmist* und die beiden *Klärschlämme*. Kupfer begrenzt die Aufbringungsmengen von *Schweinegülle* und *Schweinemist* sowie *Senkgrubeninhalte* werden auf Acker durch zink, auf den anderen Standorten durch Kupfer begrenzt. Die Aufwandmengen von *Kompost Klasse 2* wird durch Blei limitiert. Die Aufwandmengen von *Kompost Klasse 1* wird durch Cadmium begrenzt.

Die langfristig aufbringbare *Kompostmenge* der *Klasse 1* auf Äcker liegt rund 2,5 mal tiefer als nach dem Wasserrechtsgesetz her erlaubt ist. Die *Klärschlamm*-Auf-

bringungsmengen liegen zwischen 35 und 70 % unter jenen der Bodenschutzprogrammverordnung.

Tabelle 5-22: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

10% in 100 Jahren	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
Gülle Rind	Zink	4,0	Zink	4,5	Zink	3,1
Gülle Schwein	Zink	0,6	Kupfer	0,5	Kupfer	0,4
Gülle Geflügel	Zink	1,2	Zink	1,3	Zink	0,9
Mist Rind	Zink	3,4	Zink	3,8	Zink	2,7
Mist Schwein	Zink	1,0	Kupfer	0,9	Kupfer	0,8
Mist Geflügel	Zink	1,5	Zink	1,7	Zink	1,2
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	1,6	Zink	1,8	Zink	1,2
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	0,8	Zink	0,9	Zink	0,6
Kompost Klasse 1	Cadmium	5,1	Cadmium	6,1	Cadmium	3,7
Kompost Klasse 2	Blei	1,5	Blei	1,0	Blei	0,6
Senkgrube	Zink	1,2	Kupfer	0,9	Kupfer	0,9

Die Verknüpfung der berechneten Aufwandsmengen mit den P-Konzentrationen der Güter ist in der folgenden Abbildung dargestellt: Die größten P-Mengen je ha können über *Rindergülle* und *Klärschlamm > BGW+200 %* aufgebracht werden (zwischen 40 und 45 kg P/ha.a). Über *Kompost Klasse 1* und *Klärschlamm <BGW+200 %* können auf Grünland ebenfalls relativ große P-Mengen (ca. 35 kg P/ha.a) aufgebracht werden. Nur kleine P-Mengen können über *Schweinegülle* (ca. 10 kg P/ha.a) und *Kompost Klasse 2* ausgebracht werden.

Auf Acker kann der P-Bedarf durch *Rindergülle* gedeckt werden.

Der Ernteentzug auf Acker kann durch *Klärschlamm >BGW+200 %*, auf Grünland durch *Rindergülle* abgedeckt werden. Auf den Sonderkultur-Standorten kann mit Ausnahme von *Schweinegülle*, *Schweinemist* und *Kompost Klasse 2*, der P-Bedarf (der Obstkulturen) abgedeckt werden.

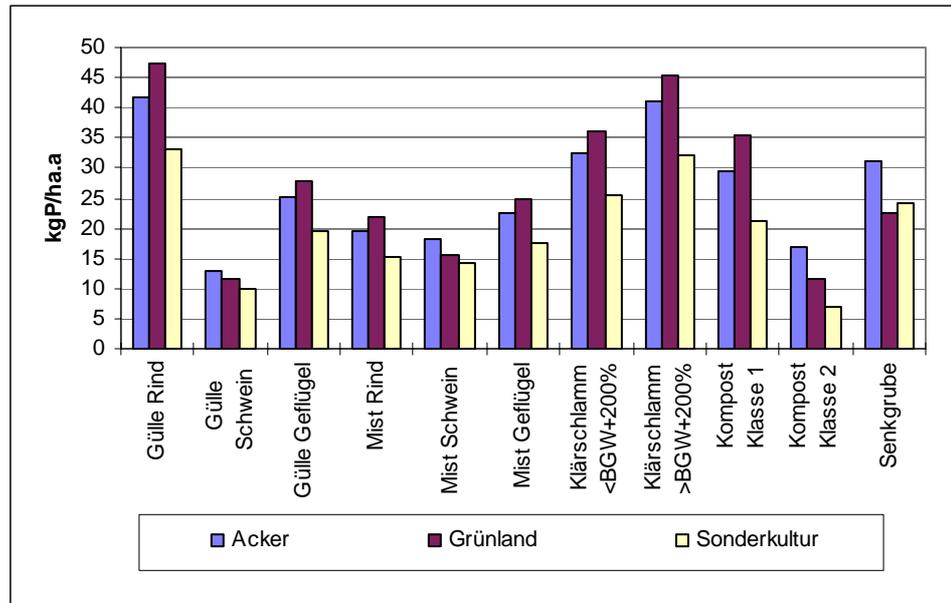


Abbildung 5-5: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 10 % in 100 Jahren

5.4.2.3.2 50 % Lagerveränderung in 100 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Zink begrenzt die Mengen von *Geflügelgülle* und *-mist* sowie die beiden *Klärschlämme* auf allen Standorten. Kupfer begrenzt die Aufbringungsmengen von *Schweinegülle*, *Schweinemist* und *Senkgrubeninhalten* auf *Grünland* und *Sonderkulturen*. Die Aufwandmengen von *Kompost Klasse 2* werden durch Blei limitiert. Die Aufwandmengen von *Kompost Klasse 1* werden bei allen Bodennutzungen durch Cadmium begrenzt.

Kompost Klasse 1 kann auf Äckern um rund 15 % mehr aufgebracht werden als nach dem Wasserrechtsgesetz erlaubt ist. Bei Grünland entspricht die aufbringbare Menge in etwa dem WRG.

Die Klärschlammmenge des *Schlammes < BGW+200 %* liegt bei Äckern fast um 100 % und bei Grünland fast 400 % über jener der erlaubten Menge nach dem Bodenschutzgesetz.

Die geringsten Aufwandmengen ergeben sich für *Schweinegülle*.

Tabelle 5-23: Gutspezifische die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

50% in 100 Jahren	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
Gülle Rind	Zink	12,2	Cadmium	13,5	Cadmium	11,8
Gülle Schwein	Zink	1,8	Kupfer	1,7	Kupfer	1,9
Gülle Geflügel	Zink	3,6	Zink	4,3	Zink	3,7
Mist Rind	Zink	10,6	Cadmium	9,6	Cadmium	8,7
Mist Schwein	Zink	3,1	Kupfer	2,9	Kupfer	3,3
Mist Geflügel	Zink	4,7	Zink	5,8	Zink	5,0
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	4,8	Zink	6,2	Zink	5,3
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	2,4	Zink	3,0	Zink	2,6
Kompost Klasse 1	Cadmium	14,2	Cadmium	15,4	Cadmium	11,6
Kompost Klasse 2	Blei	7,0	Blei	4,3	Blei	2,8
Senkgrube	Zink	3,7	Kupfer	2,8	Kupfer	3,5

Durch alle Güter können zumindest 25 kg P/ha.a auf Äckern und Grünland aufgebracht werden. Dadurch kann der P-Ernteentzug einiger landwirtschaftlicher Kulturen bereits gedeckt werden.

Der P-Bedarf entsprechend den Richtlinien für Sachgerechte Düngung können auf Äckern mit Ausnahme von *Schweinegülle* durch alle betrachteten Güter gedeckt werden. Auf Grünland kann durch *Rindergülle*, *Geflügelgülle*, *-mist*, *die Klärschlämme*, *Kompost Klasse 1* und *Senkgrubenhalt*e der P-Bedarf gedeckt werden.

Wird nur der P-Entzug durch die Ernte betrachtet, so kann dieser zusätzlich zu den genannten Gütern auf Äckern durch *Schweinegülle*, auf Grünlandstandorten durch *Rinder-* und *Schweinemist* sowie *Kompost Klasse 2* abgedeckt werden.

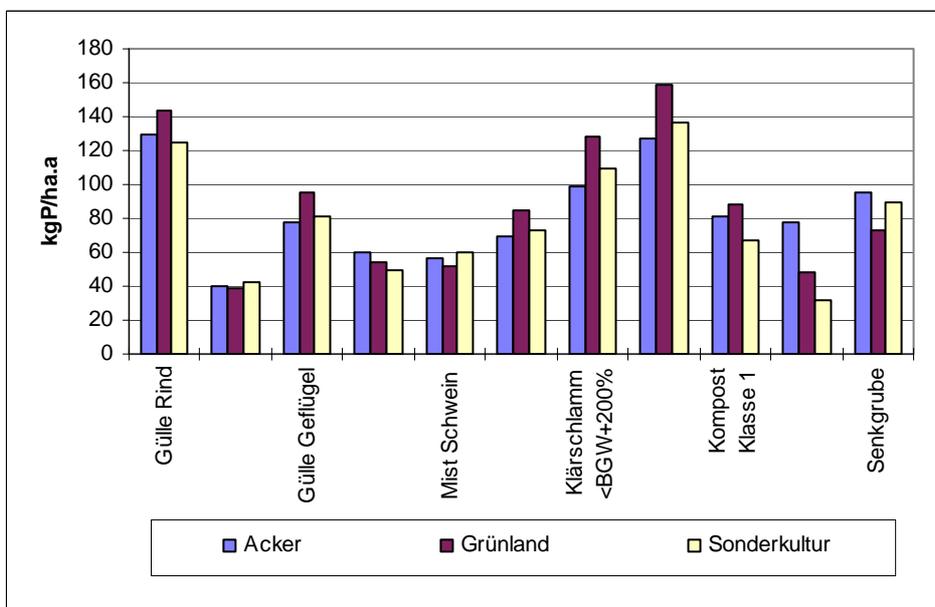


Abbildung 5-6: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 50 % in 100 Jahren

5.4.2.3.3 100 % Lagerveränderung in 100 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Die Aufbringungsmengen von *Kompost Klasse 1* überschreiten sowohl auf Acker als auch auf Grünland die Grenzen des WRG um mehr als das Doppelte.

In dieser Variante könnten Klärschlammengen von 9 t TS/ha.a auf Äckern und über 12 t TS/ha a auf Grünland aufgebracht werden, also deutlich größere Mengen als nach der Steiermärkischen Bodenschutzprogrammverordnung [Stmk. LGBI. Nr. 87/1987] bzw. dem Bodenschutzgesetz erlaubt sind.

Tabelle 5-24: Gutspezifische die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
100% in 100 Jahren						
Gülle Rind	Zink	23,1	Cadmium	24,1	Cadmium	19,8
Gülle Schwein	Zink	3,3	Kupfer	3,2	Kupfer	3,6
Gülle Geflügel	Zink	6,6	Zink	8,4	Zink	7,4
Mist Rind	Zink	19,8	Cadmium	16,6	Cadmium	14,2
Mist Schwein	Zink	5,8	Kupfer	5,5	Kupfer	6,7
Mist Geflügel	Zink	8,8	Zink	11,1	Zink	9,9
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	9,0	Zink	12,5	Zink	11,1
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	4,5	Zink	6,0	Zink	5,2
Kompost Klasse 1	Cadmium	27,3	Cadmium	35,0	Cadmium	22,0
Kompost Klasse 2	Blei	14,5	Blei	9,1	Blei	5,8
Senkgrube	Zink	6,8	Kupfer	5,4	Kupfer	6,8

Auf Acker- und Grünlandstandorten kann am wenigsten P durch *Schweinegülle* aufgebracht werden. Am meisten P kann auf Grünland durch *Klärschlamm >BGW+200 %*, auf Acker durch *Rindergülle* aufgebracht werden. Durch alle Güter wird mehr als 50 kg P/ha.a auf Acker und mehr als 70 kg P auf Grünland aufgebracht. Damit kann sowohl auf Acker als auch auf Grünland der P-Bedarf abgedeckt werden.

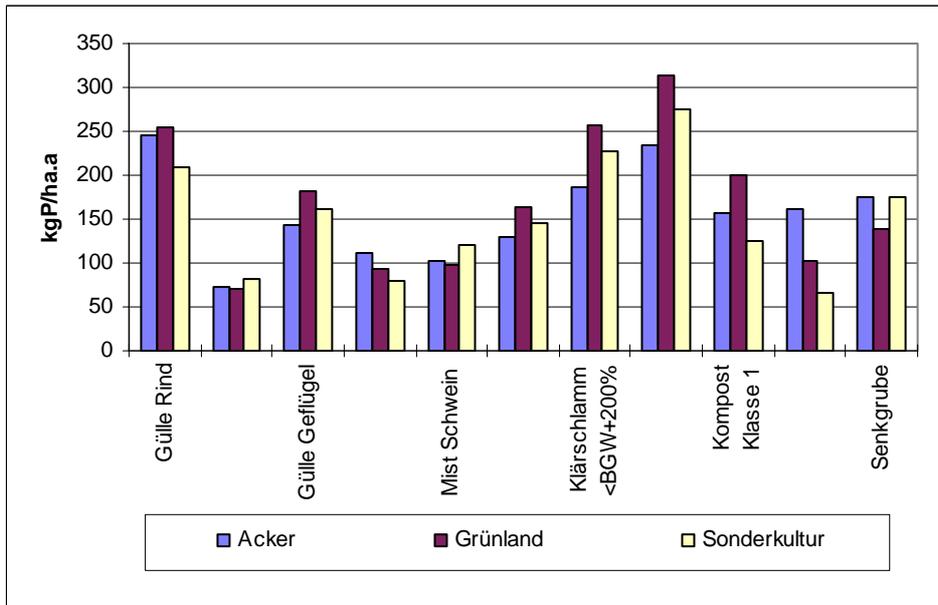


Abbildung 5-7: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 100 % in 100 Jahren

5.4.2.3.4 10 % Lagerveränderung in 500 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Die langfristig aufbringbare *Kompostmenge Klasse 1* auf Äcker liegt rund 5 mal, jene auf Grünland mehr als 2 mal tiefer als nach dem Wasserrechtsgesetz erlaubt ist. Die *Klärschlamm*-Aufbringungsmengen auf Äcker liegen zwischen 60 % (0,95 t TS/ha.a $K_s < BGW + 200$ %) und 80 % (0,5 t TS/ha.a $K_s > BGW + 200$ %) unter jenen der Bodenschutzprogrammverordnung, auf Grünland liegen die Mengen 20 bis 60 % darunter.

Tabelle 5-25: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
10% in 500 Jahren						
Gülle Rind	Zink	2,4	Zink	2,6	Zink	1,3
Gülle Schwein	Zink	0,3	Kupfer	0,3	Kupfer	0,2
Gülle Geflügel	Zink	0,7	Zink	0,7	Zink	0,4
Mist Rind	Zink	2,1	Zink	2,2	Zink	1,1
Mist Schwein	Zink	0,6	Kupfer	0,5	Kupfer	0,3
Mist Geflügel	Zink	0,9	Zink	1,0	Zink	0,5
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	0,9	Zink	1,0	Zink	0,5
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	0,5	Zink	0,5	Zink	0,2
Kompost Klasse 1	Blei	2,3	Cadmium	5,1	Cadmium	1,2
Kompost Klasse 2	Blei	0,4	Blei	0,4	Blei	0,2
Senkgrube	Kupfer	0,7	Kupfer	0,5	Kupfer	0,5

Die größte P-Fracht je ha kann durch *Kompost Klasse 1* auf Grünlandstandorte (29 kg P/ha.a) aufgebracht werden. Durch *Rindergülle* und *Klärschlamm >BGW+200 %*

können auf Acker und Grünland rund 25 kg P/ha.a aufgebracht werden. Mit Abstand folgen *Klärschlamm <BGW+200 %* sowie *Geflügelgülle* und *-mist*. Die geringsten P-Mengen können über *Kompost Klasse 2* (< 5 kg P/ha.a auf allen Standorten) aufgebracht werden.

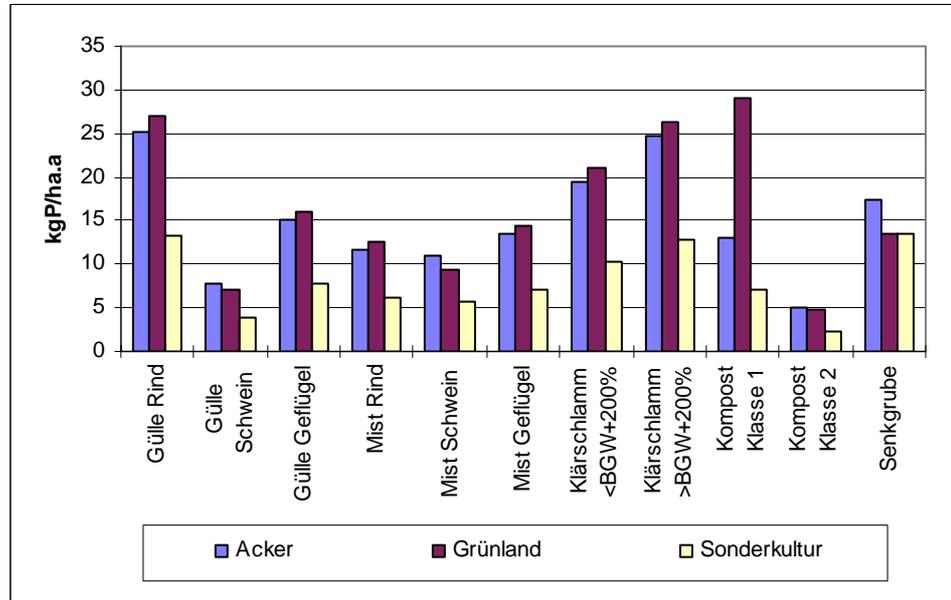


Abbildung 5-8: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 10 % in 500 Jahren

Durch keines der Güter kann der P-Entzug auf den unterschiedlichen Bodennutzungen gedeckt werden.

5.4.2.3.5 50 % Lagerveränderung in 500 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Kompost Klasse 1 kann um rund 25 % weniger auf Grünland und um 50 % weniger auf Äcker aufgebracht werden als nach dem Wasserrechtsgesetz erlaubt ist. Die Klärschlammmenge des *Schlammes <BGW+200 %* liegt bei Äckern um 30 % unter den gesetzlich erlaubten Höchstmengen, auf Grünland hingegen um fast 100 % über den nach dem Bodenschutzgesetz erlaubten Mengen. Die geringsten Aufwandmengen ergeben sich für *Schweinegülle*.

Tabelle 5-26: Gutspezifische, die Aufbringungsmengen begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

50% in 500 Jahren	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
Gülle Rind	Zink	4,4	Zink	6,1	Zink	3,8
Gülle Schwein	Zink	0,6	Kupfer	0,7	Kupfer	0,5
Gülle Geflügel	Zink	1,3	Zink	1,6	Zink	0,7
Mist Rind	Zink	3,8	Zink	5,1	Zink	3,1
Mist Schwein	Zink	1,1	Kupfer	1,1	Kupfer	0,9
Mist Geflügel	Zink	1,7	Zink	2,2	Zink	1,4
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	1,7	Zink	2,3	Zink	1,4
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	0,9	Zink	1,1	Zink	0,7
Kompost Klasse 1	Cadmium	6,3	Cadmium	9,5	Cadmium	5,6
Kompost Klasse 2	Blei	1,7	Blei	1,1	Blei	0,7
Senkgrube	Zink	1,3	Kupfer	1,1	Kupfer	1,1

Die höchsten P-Frachten auf Äckern können durch *Rindergülle* sowie durch *Klärschlamm >BGW+200 %* ausgebracht werden (über 40 kg P/ha.a), durch *Schweinegülle* und *Schweinemist* nur 12 bis 16 kg P/ha.a.

Auf Grünland können die höchsten P-Frachten über *Rindergülle*, über *Klärschlamm >BGW+200 %* und *Kompost Klasse 1*, aufgebracht werden (jeweils über 50 kg P/ha.a). Auch auf Grünland liegt die ausbringbare P-Fracht durch *Schweinegülle* mit 15 bis 20 kg P/ha.a deutlich unter den höchsten Frachten.

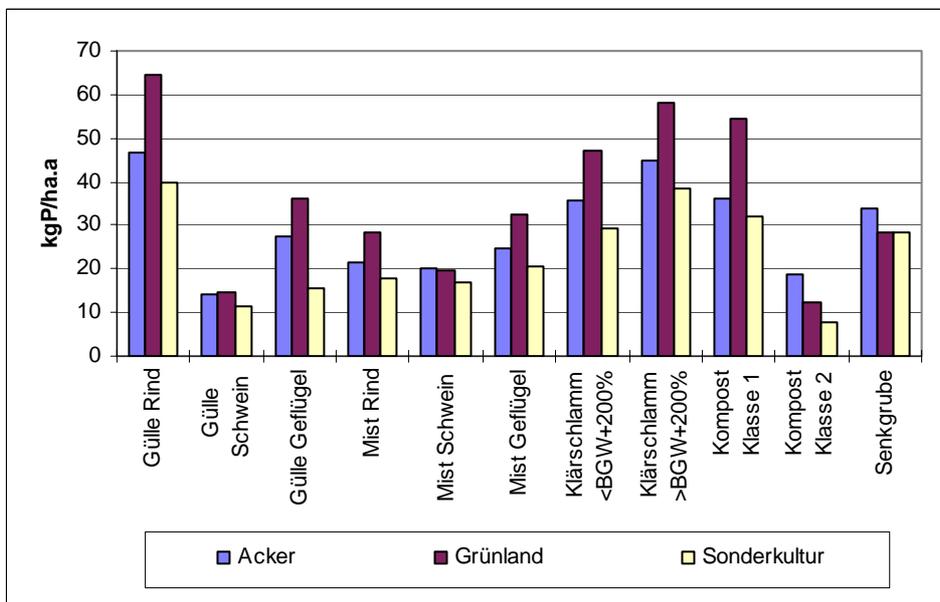


Abbildung 5-9: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 50 % in 500 Jahren

Nur durch *Rindergülle* und *Klärschlamm* >BGW+200 % können die nach den Empfehlungen der Richtlinien für Sachgerechte Düngung errechneten P-Frachten (41,5 kg P/ha.a für Ackerflächen) auf Acker aufgebracht werden. Der P-Entzug durch die Erntemengen kann jedoch auf Äckern durch *Rindergülle*, die beiden *Klärschlamm* und *Senkgrubeninhalte*, auf Grünland durch *Rindergülle*, *Klärschlamm* >BGW+200 % und *Kompost Klasse 1* gedeckt werden.

5.4.2.3.6 100 % Lagerveränderung in 500 Jahren - Spezifisch langfristig verwertbare Gütermengen

Die Aufbringungsmengen von *Kompost Klasse 1* auf Acker liegen etwa 15 % unter, auf Grünland jedoch fast 100 % über den Grenzen des Wasserrechtsgesetzes. Die Menge an aufbringbarem *Klärschlamm* <BGW+200 % liegt auf Äckern leicht (10 %), auf Grünland weit (250 %) über den nach der Bodenschutzprogrammverordnung erlaubten Mengen.

Tabelle 5-27: Gutspezifische, die Aufbringungsmenge begrenzende Stoffe sowie maximale Aufbringungsmengen

	Acker		Grünland		Sonderkultur	
	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS	begrenzend	t TS
100% in 500 Jahren						
Gülle Rind	Zink	6,6	Cadmium	12,0	Zink	7,7
Gülle Schwein	Zink	1,0	Kupfer	1,1	Kupfer	1,0
Gülle Geflügel	Zink	2,0	Zink	2,7	Zink	1,5
Mist Rind	Zink	6,0	Cadmium	8,0	Cadmium	6,2
Mist Schwein	Zink	1,7	Kupfer	1,8	Kupfer	1,7
Mist Geflügel	Zink	2,6	Zink	3,6	Zink	2,6
Klärschlamm <BGW+200%	Zink	2,7	Zink	4,2	Zink	2,8
Klärschlamm >BGW+200%	Zink	1,4	Zink	2,0	Zink	1,3
Kompost Klasse 1	Cadmium	10,4	Cadmium	22,0	Cadmium	13,6
Kompost Klasse 2	Blei	3,0	Blei	2,1	Blei	1,3
Senkgrube	Zink	2,1	Kupfer	1,8	Kupfer	1,8

Auf Grünland können durch *Kompost Klasse 1* und *Rindergülle* bis 125 kg P/ha.a, über die *Klärschlämme* zwischen 85 und 105 kg P/ha.a aufgebracht werden.

Acker: Durch *Rindergülle*, die *Klärschlämme*, *Kompost Klasse 1*, *Geflügelgülle* sowie die *Senkgrubeninhalte* kann der P-Bedarf nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung abgedeckt werden, durch *Geflügelmist*, *Rindermist* und *Kompost Klasse 2* kann zumindest der P-Entzug durch die Erntegüter (33 kg P/ha.a) abgedeckt werden.

Grünland: Durch *Kompost Klasse 1*, *Rindergülle* und die *Klärschlämme* kann der P-Bedarf nach den Richtlinien der sachgerechten Düngung abgedeckt werden. Ge-

flügelgülle, Geflügelmist und Senkgrubeninhalte können den P-Ernteentzug abdecken (46 kg P/ha.a). Die P-Fracht durch Rindermist liegt nur marginal unter dem Entzugswert.

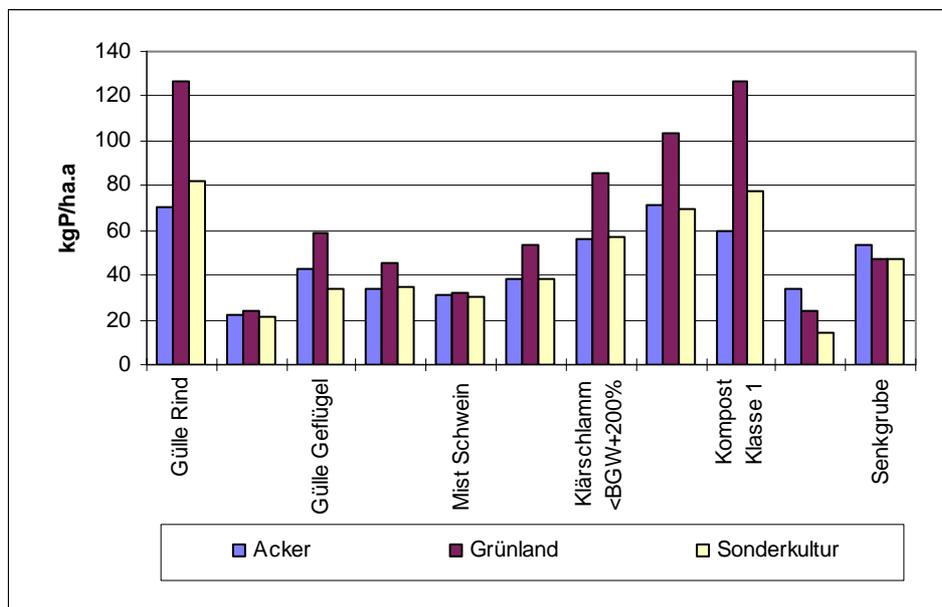


Abbildung 5-10: Phosphorfrachten in kg P/ha.a Variante + 100 % in 500 Jahren

5.4.2.3.7 Exkurs Klärschlamm-mengen

Folgt man dem Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzgesetz, [Stmk. LGBl. Nr. 66/1987] § 11 Aufbringung (1) so darf jährlich höchstens eine Klärschlamm-menge von 1,25 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Grünland und 2,5 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Ackerland aufgebracht werden. In den einzelnen dargestellten Varianten wurden z.T. jedoch erheblich höhere Klärschlamm-mengen errechnet.

Die in dieser Studie für die Berechnung der aufbringbaren TS-Menge verwendeten Klärschlammkonzentrationen unterscheiden sich wesentlich von den in der Klärschlammverordnung festgelegten Grenzwerten. Beispielsweise betragen die Zink- und Cadmiumkonzentrationen des Klärschlammes <BGW+200 % 486 mg Zn/kg TS bzw. 0,71 mg Cd/kg TS, die Konzentrationen des Klärschlammes >BGW+200 % 960 mg Zn/kg TS bzw. 1,48 mg Cd/kg TS. Im Vergleich dazu liegen die zulässigen Grenzwerte nach der Klärschlammverordnung bei 2000 mg Zn/kg TS bzw. 10 mg Cd/kg TS.

Werden die per Verordnung erlaubten TS-Mengen (2,5 t TS) und maximalen Stoffkonzentrationen in das verwendete Schichtenmodell eingesetzt, so errechnen sich die in der folgenden Tabelle dargestellten maximalen Aufbringungsmengen auf Äcker. Als Vergleich werden die Aufbringungsmengen des Klärschlammes $>BGW + 200\%$ (also des stärker mit Schwermetallen belasteten Klärschlammes) angeführt.

Tabelle 5-28: Vergleich der maximal ausbringbaren Mengen von Klärschlamm bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen

Klärschlamm in t TS/ha.a	2000 mg/kg TS Zn	10 mg/kg TS Cd	Ks>BGW+200 %
10 % in 100 Jahren	0,36	0,18	0,78
50 % in 100 Jahren	1,12	0,30	2,43
100 % in 100 Jahren	2,07	0,46	4,47
10 % in 500 Jahren	0,22	0,15	0,47
50 % in 500 Jahren	0,40	0,19	0,86
100 % in 500 Jahren	0,62	0,24	1,36

Insbesondere ergeben sich beim Schichtenmodell für Cadmium 5 bis 15 (Var. 10 % in 500 Jahren: 0,15 t TS/ha.a nach dem Schichtenmodell, 2,5 t TS nach der Ks-Verordnung) mal niedrigere Aufbringungsmengen als die nach der Verordnung entsprechenden zulässigen Mengen.

Die Verdoppelungszeiten des Bodenlagers (bezogen auf das aktuelle Bodenlager in 0-30 cm Bodentiefe) errechnen sich bei Ausbringung der Höchstmengen nach Klärschlammverordnung (2,5 t TS/ha.a) mit 86 Jahren für Zink und 23 Jahren für Cadmium. Wird die Lagerveränderung auf ein „geogenes“ Lager bezogen, so errechnet sich eine Verdoppelungszeit von 12 Jahren bei Cadmium und von 81 Jahren für Zink.

Fazit: das Schichtenmodell erlaubt in einzelnen Varianten die Ausbringung wesentlich größerer Mengen an Klärschlamm-Trockensubstanz als die Klärschlammverordnung, gleichzeitig werden jedoch auch in der „weichsten Variante (+100 % in 100 Jahren) jährlich weniger Schwermetalle eingetragen: bei Cadmium 5 mal weniger, bei Zink 20 % weniger als gesetzlich erlaubt.

5.4.3 Schwermetallbilanz der Region Raabtal

In diesem Abschnitt wird die IST-Situation der Region Raabtal in Hinblick auf die Schwermetallanreicherung durch die Aufbringung biogener Güter in der Region betrachtet. Dabei wird das oben entwickelte Schichtenmodell und die dargestellten Eingangsgrößen verwendet.

Zusätzlich werden folgende Annahmen bzw. Bedingungen aufgestellt:

- alle Güter werden auf alle Nutzungsformen gleichmäßig aufgeteilt
- die atmosphärische Deposition wird als zusätzlicher Stoffeintrag mit berücksichtigt

Zusätzliche Schwermetalleinträge durch Handelsdünger wurden nicht berücksichtigt.

Für die drei unterschiedenen Bodennutzungsarten Acker, Grünland und Sonderkulturen wurden die Lagerveränderungen in Anlehnung an die definierten Varianten (100 Jahre, 500 Jahre) für 500 Jahren abgeschätzt.

Für Ackerflächen wurden die nach [Diebold, 1999b] ausgewiesenen Flächen von 21.925 ha. herangezogen. Für Grünland wurde die Fläche der mehrmähdigen Wiesen (18.025 ha) verwendet, für die Sonderkulturen die Fläche der Obstanlagen, Weingärten, Forstbaumschulen etc. (3.110 ha).

Aus der Oststeiermark liegen keine verlässlichen Schwermetall-Depositionsmessungen vor [Pongratz, 1999]. Analysewerte von Schwermetalldepositionen gibt es aus dem Raum Kapfenberg, wobei die Messpunkte um ein Stahlwerk liegen [Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 1999]. Diese Messwerte dürften deshalb als Obergrenzen für die Region Raabtal angesehen werden. Aufgrund der geographischen Nähe von Kapfenberg zum Raabtal ist jedoch eine Beeinflussung nicht auszuschließen.

Diesen Depositionsmesswerten werden in Tabelle 5-29 Depositionsraten aus der Literatur gegenübergestellt (Zusammenstellungen z.B. in [Kernbeis et al., 1995, Lampert et al. 1997]). Die Messwerte von Zink und Kupfer liegen im Bereich der Literaturwerte, die Bleimesswerten hingegen über den Werten aus der Literatur. Für Cadmium liegen keine Messergebnisse vor.

Für die Berechnungen werden die Minimalwerte der beiden Messperioden 96/97 und 97/98 herangezogen. Für Cadmium wird ein mittlerer Wert aus der Literatur verwendet.

Folgende Bandbreiten der Schwermetalldepositionen wurden erhoben:

Tabelle 5-29: Schwermetall-Depositionsraten (Literaturwerte)

Deposition in g/ha.a	Literatur	Kapfenberg	verwendete Werte
	von - bis	von - bis	
Zink	300 - 1.000	416 - 1.808	416
Kupfer	60 - 240	74 - 235	74
Blei	13 - 31	53 - 221	53
Cadmium	1,4 - 2		1,7

Die in der Region verwendeten Gütermengen wurden anhand der Daten von [Diebold, 1999a] ermittelt. Die in den vorhergehenden Kapiteln erfolgte Unterteilung von Klärschlamm entfällt hier. Einzelkompost (760 t TS) wird in der Beurteilung der IST-Situation der Acker- Grünland und Sonderkultur-Standorten im Raabtal nicht berücksichtigt. Dieses Gut wird eigens in Kapitel 5.5.7 diskutiert.

Das auf die Trockensubstanz bezogene mengenmäßig bedeutendste Gut ist *Rindermist* (ca. 40 % der Gesamtmenge). *Rinder-* und *Schweinegülle* belaufen sich jeweils auf 20 % der Gesamtmenge. Auch *Schweinemist* ist mit 10 % der gesamten TS noch mengenmäßig bedeutend. Über alle anderen Güter zusammen werden die restlichen 10 % der anfallenden TS in die Böden eingetragen.

Tabelle 5-30: Aufbringungsmengen der Güter in t TS

Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein
16.263	15.802	2.580	30.816	7.155
Mist Geflügel	Klärschlamm	Kompost Klasse 1	Kompost Klasse 2	Senkgrube
1.929	920	1.300	50	390

Betrachtet man die durch die einzelnen Güter ausgebrachten Stofffrachten so ergibt sich folgendes Bild (siehe Abbildung 5-11: Relative Anteile der Güter an der Schwermetall-Gesamtfracht in %, sowie Anhang B Tabelle 16):

Zink: Mehr als ein Drittel des Zinks ist in der anfallenden *Schweinegülle* enthalten. Ähnlich bedeutend ist die *Deposition* mit 30 % der Gesamtmenge. *Rinder-* und *Schweinemist* tragen etwa zu jeweils 10 % der Zinkfracht bei. Die in allen anderen Güter zusammen enthaltene Zinkmenge beträgt etwa 10 %.

Kupfer: Bei Kupfer ist die *Schweinegülle* noch bedeutender: Annähernd 50 % der gesamten Cu-Menge sind in diesem Gut enthalten. Die *Deposition* trägt in etwa zu 20 %, *Schweinemist* zu 13 % und *Rindermist* zu 9 % zum Cu-Eintrag bei. Alle anderen Güter gemeinsam tragen weniger als 10 % zur Gesamtfracht bei.

Blei: Bei Blei dominiert der Eintrag über die *Deposition* (über 80 % der gesamten Bleimenge). Das mengenmäßig zweitwichtigste Gut ist *Rindermist* mit etwa 7 % der Pb-Menge. Alle anderen Güter tragen jeweils zu weniger als 3 % bei.

Cadmium: Auch bei Cadmium dominiert der Eintrag über die *Deposition* (über 60 %). *Rindermist* (15 %) und *Schweinegülle* (10 %) sind ebenfalls von Bedeutung.

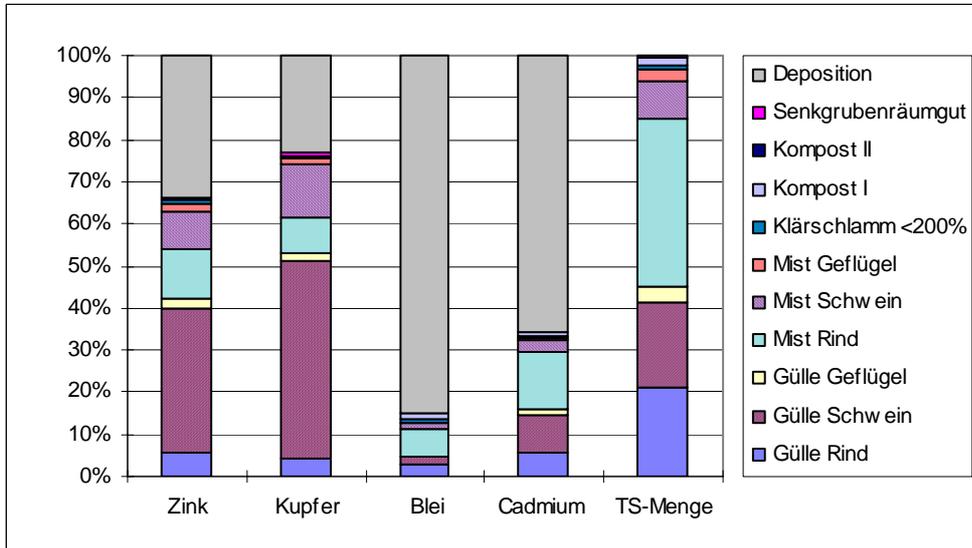


Abbildung 5-11: Relative Anteile der Güter an der Schwermetall-Gesamtfracht in %

Für die Auswertung der berechneten Lagerveränderung ist die jeweilige Bezugsebene von großer Bedeutung. In den folgenden Darstellungen werden deshalb die berechneten Lager (i) auf die derzeit vorliegende Bodenkonzentration sowie (ii) auf das „geogene“ Lager (Konzentration in der Tiefenstufe 20 bis 50cm bei Grünland und Sonderkultur bzw. Konzentration in der Tiefenstufe 50 – 70 cm bei Acker) bezogen. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang B Tabellen 17 und 18 dargestellt.

5.4.3.1 Acker

(i) Aktuelle Konzentration: Die rascheste Lagerveränderung findet beim Element Zink, die langsamste bei Blei statt. Die relative jährliche Zunahme an Cadmium verringert sich im Laufe der Zeit am stärksten, während jene von Blei sich auch nach 500 Jahren nur geringfügig ändert. Nach 500 Jahren hat sich das Zinklager um 92 %, das Cu-Lager um 73 % das Cd-Lager um 65 % und das Bleilager um 26 % erhöht. Langfristig strebt die Zink-Lagerveränderung auf Acker gegen 260 %, Kupfer gegen 210 %, Blei gegen 120 % und Cadmium gegen 100 %.

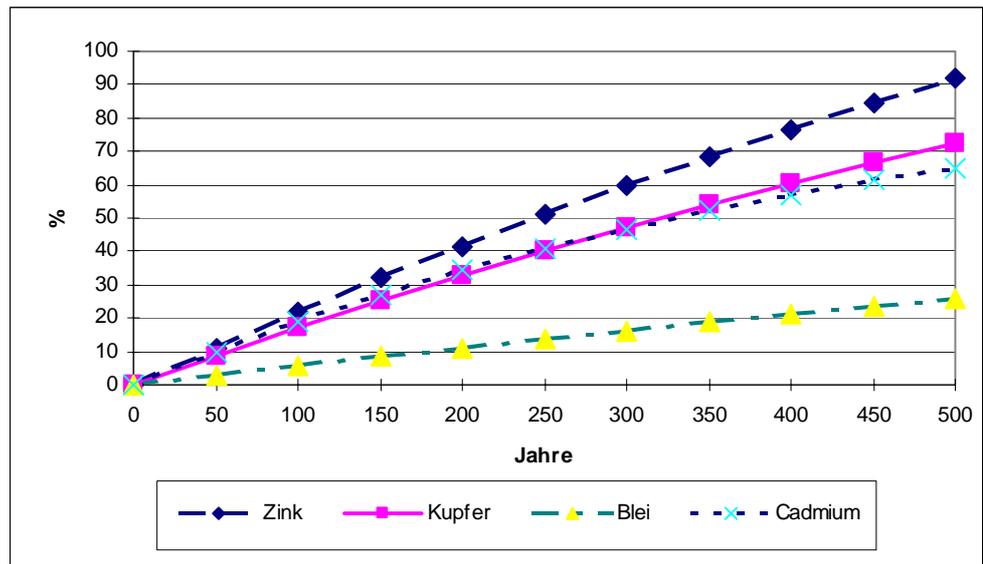


Abbildung 5-12: Konzentrationsveränderung von Ackerstandorten (0-30cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-30 cm) in %

(ii) „geogenes“ Lager: Nach 500 Jahren ist das Cd-Lager relativ zur Bezugsebene das am stärksten angereicherte Element, gefolgt von Zink, Kupfer und Blei.

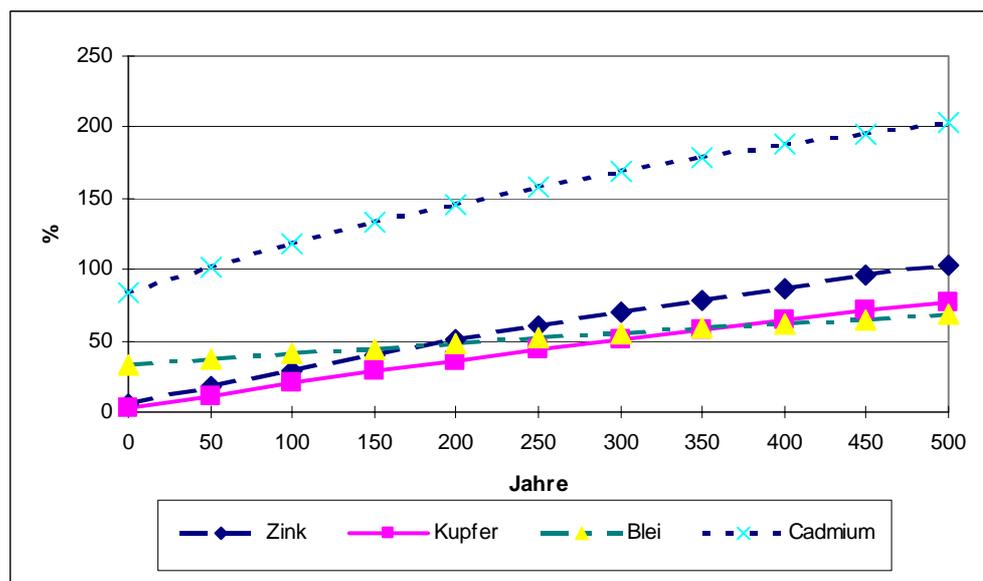


Abbildung 5-13: Konzentrationsveränderung von Ackerstandorten (0-30cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (50-70 cm) in %

Werden die Lagerveränderungen über einen noch längeren Zeitraum berechnet, so strebt Zink gegen 275 %, Kupfer gegen 220 %, Blei gegen 190 % und Cadmium gegen 270 %. Bei dieser Betrachtung ist somit Blei jenes Element, das sich langfristig am wenigsten stark anreichert.

Die Anreicherung von Cadmium und Zink liegt nach 50 Jahren über oder den definierten Zielvarianten von +10 % des (geogenen) Bodenlagers, während bei Blei diese Vorgabe erst nach rund 140 Jahren überschritten wird.

Die Vorgabe von +50 % wird bei Cadmium nach rund 150 Jahren, bei Zink nach 210 Jahren, bei Kupfer nach rund 300 Jahren überschritten. Blei überschreitet die 50 %-Vorgabe nicht innerhalb des Betrachtungszeitraumes (Das Bleilager würde nach rund 760 Jahren diesen Wert überschreiten). Eine annähernd 100 % Anreicherung wird für den Betrachtungszeitraum nur für Cadmium abgeschätzt (nach ca. 400 Jahren). Die Lagerveränderung liegt nur geringfügig darunter (+ 98 %).

5.4.3.2 Grünland

(i) Aktuelle Konzentration: Auch auf Grünland reichert sich Zink am stärksten an, wobei der Unterschied zu Kupfer sehr gering ist. Cadmium reichert sich in 500 Jahren etwa drei mal weniger stark an als Zn und Cu. Blei reichert sich im Betrachtungszeitraum 500 Jahre am wenigsten an (+ 30 %). Langfristig strebt die Zink-Lagerveränderung gegen 240 %, Kupfer gegen 225 %. Blei reichert sich auf um 100 %, Cadmium um (+ 65 %) an.

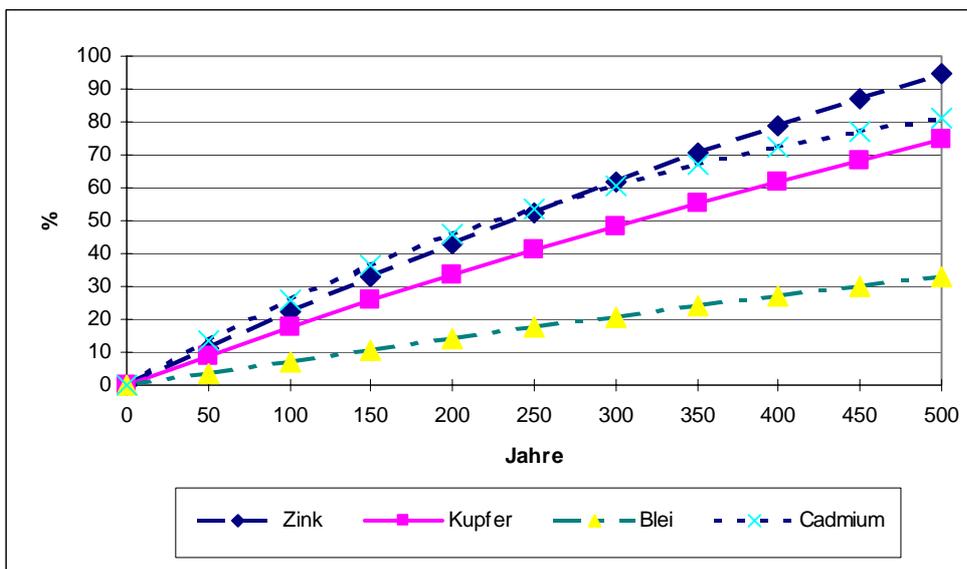


Abbildung 5-14: Lagerveränderung von Grünlandstandorten (0-10 cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm) in %

(ii) „geogene“ Konzentration: Die Cd-Ausgangskonzentration ist relativ am höchsten, die Lagerzunahme nimmt jedoch mit der Zeit stärker ab als etwa bei Zink und Kupfer. Nach 500 Jahren ist das Cd-Lager relativ noch etwa 25 % größer als das Zinklager. Die langfristige Berechnung zeigt in etwa ähnliche Anreicherungen für

Zink (290 %), Kupfer (250 %) und Cadmium (280 %). Das Bleilager beträgt maximal 170 % des „geogenen“ Lagers.

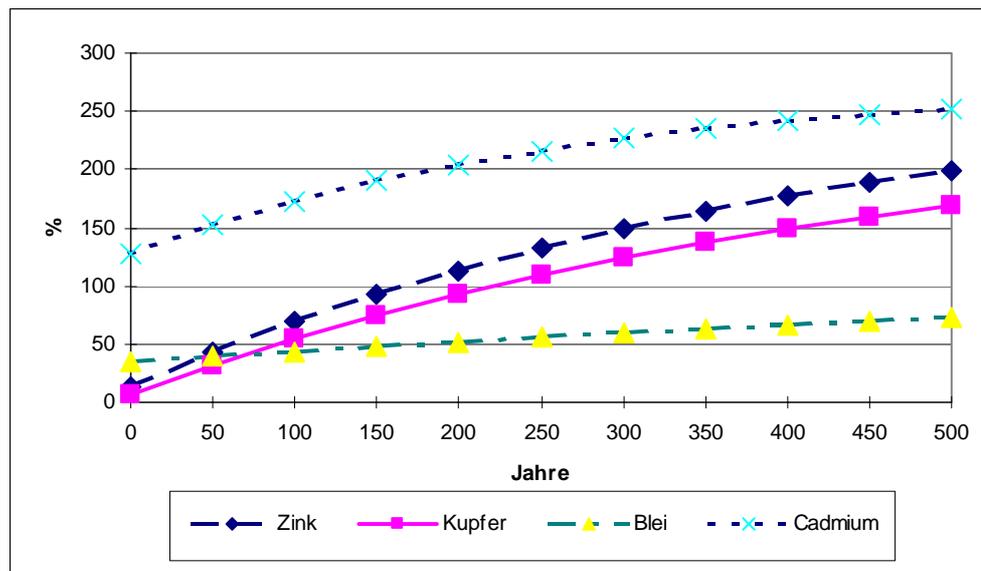


Abbildung 5-15: Lagerveränderung von Grünlandstandorten (0-10cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %

Von den hier dargestellten Ergebnissen der Berechnung der Lagerveränderung ist es nicht möglich, direkt auf die oben vorgegebenen Varianten (+ x % in y Jahren) zu schließen, da die verwendeten Bezugsebenen völlig unterschiedlich sind. Die Varianten beziehen sich auf eine potentielle Lagerveränderung eines 30 cm mächtigen Bodenkörpers mit „geogener“ Konzentration, während sich die Beurteilung der Ist-Situation der Grünlandstandorte auf eine 10 %-ige Anreicherung der obersten 10 cm ausgehend von der aktuellen Bodenkonzentration beziehen. Eine 10 %-ige Anreicherung in den Berechnungen der Varianten entspräche einer 30 %-igen Anreicherung in der Beurteilung der IST-Situation wenn die „geogene“ und die aktuelle Bodenkonzentration gleich groß wären.

Die Unterschiede zwischen geogener Konzentration und aktueller Bodenkonzentration (0-10 cm) betragen auf Grünlandstandorten bei Zink und Kupfer rund 10 %, bei Blei etwa 25 und bei Cadmium 55 %.

Als Anhaltspunkte sollen jedoch folgende Werte gegeben werden: Die Variante + 10 % wird für Kupfer und Zink innerhalb von 50 Jahren erreicht, durch Cadmium nach 100 Jahren und bei Blei nach 250 Jahren. Die Variante + 50 % wird bei Zink spätestens nach 400 Jahren erreicht. Die Variante + 100 % wird im Betrachtungszeitraum nicht erreicht.

5.4.3.3 Sonderkultur

(i) Aktuelle Konzentration: Bezogen auf das Ausgangslager (0-10cm) reichert sich wiederum Zink am stärksten an. Kupfer und Cadmium reichern sich aufgrund der hohen Ausgangskonzentrationen 5 bis 6 mal langsamer an und damit sogar noch langsamer als Blei. Auch langfristig nimmt das Zinklager mit +410 % am stärksten zu. Das Bleilager strebt gegen einen Wert von 295 %, Kupfer gegen 130 % und Cadmium gegen 55 % bezogen auf das aktuelle Bodenlager.

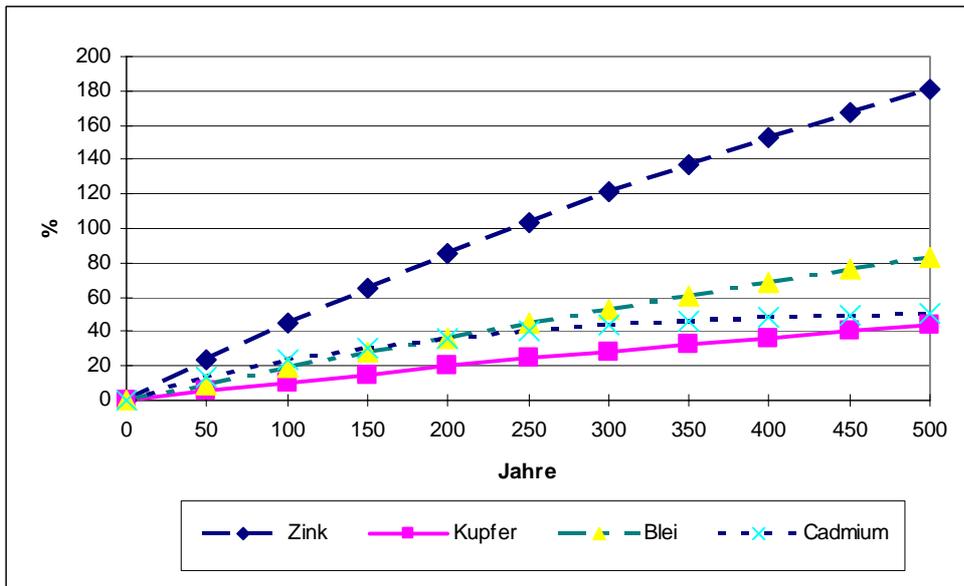


Abbildung 5-16: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10 cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm in %)

(ii) Relativ zum „geogenen“ Lager reichert sich Kupfer am stärksten an gefolgt von Zink und Cadmium. Blei ist im Zeitraum 500 Jahre wiederum jenes Element das sich relativ am langsamsten anreichert. Die maximalen (rechnerischen) Lagerveränderungen ergeben sich für Kupfer mit +685 %, für Zink +470 %, für Blei +370 % und für Cadmium mit 170 %.

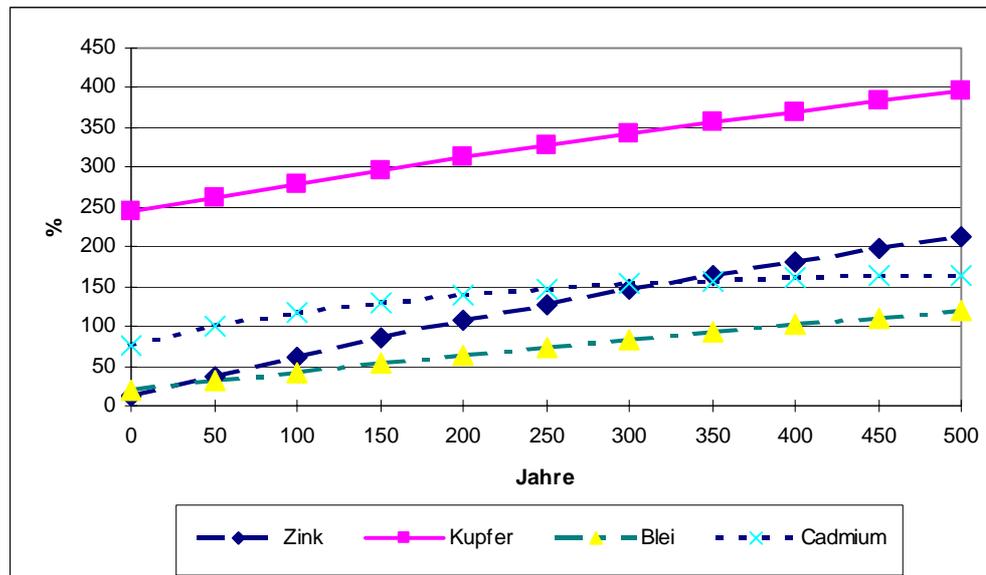


Abbildung 5-17: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10cm) bezogen auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %

Auch bei Sonderkulturstandorten ist der Vergleich mit den definierten Varianten aufgrund der verschiedenen Bezugsebenen nicht einfach möglich.

Die Unterschiede zwischen geogener Konzentration und aktueller Bodenkonzentration (0-10 cm) betragen auf Sonderkulturstandorten bei Zink 10 %, bei Kupfer rund 240 %(!), bei Blei etwa 15 % und bei Cadmium 75 %.

Als Anhaltspunkte sollen jedoch folgende Werte gegeben werden: Die Variante + 10 % wird für Zink innerhalb von 50 Jahren erreicht. Die Variante + 50 % wird bei Zink nach rund 500 Jahren erreicht. Die Variante + 100 % wird im Betrachtungszeitraum nicht erreicht.

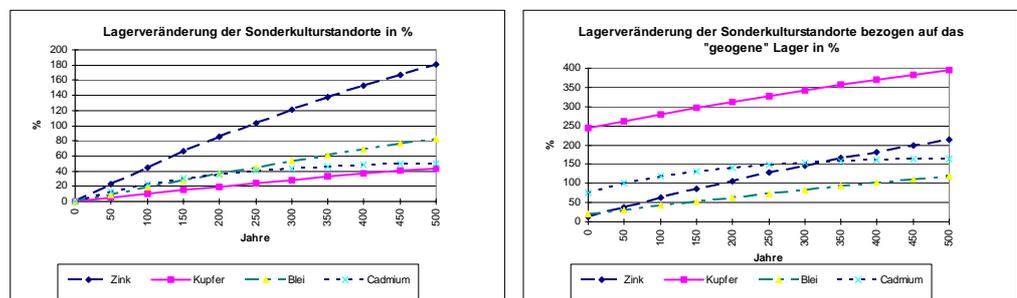


Abbildung 5-18: Lagerveränderung von Sonderkulturstandorten (0-10cm) bezogen auf die Ausgangskonzentration (0-10 cm) bzw. auf die „geogene“ Konzentration (20-50 cm) in %

Langfristig strebt das Zinklager gegen einem Wert der rund 650 % höher ist als derzeitige. Blei wird sich maximal um 285 %, Zink um 140 % und Cadmium um 60 % erhöhen.

Bezieht man jedoch die Lagerveränderung nicht auf das aktuelle Bodenlager sondern auf ein „geogenes“ Lager so reichert sich Zink und Kupfer um 825 %, Blei um 460 % und Cadmium um 280 % an.

5.4.4 IST-Zustand - Abfallwirtschaftsgesetz

Im folgenden werden insbesondere die abfallwirtschaftlich relevanten Güter *Kompost Klasse 1* und *2*, *Einzelkompost* als auch die *Klärschlämme* diskutiert. Teilweise wird dabei Ergebnissen aus dem folgenden Kapitel 5.5 vorgegriffen.

1 Ziel: Schutz des Menschen und der Umwelt:

Die Beurteilung des IST-Zustandes der Bewirtschaftung der biogenen Abfälle bezüglich Umweltbelastung (ausgewählte Schwermetalle) anhand des 1 Zieles des AWG's (Schutz des Menschen und der Umwelt) erfolgt nicht. Einerseits gibt das AWG keine quantitativen Vorgaben, wann das Ziel erreicht ist. Ebenso wird kein Zeithorizont definiert. Andererseits werden über die Deposition zusätzlich Schwermetalle eingetragen, die nicht auf die Bewirtschaftung der biogenen Abfälle zurückzuführen sind. Die Bilanzergebnisse zeigen, dass die aktuell geltenden Bodengrenzwerte sowohl in 100 als auch in 500 Jahren nicht überschritten werden. Gewährleisten die geltenden Bodengrenzwerte einen Schutz der Umwelt im Sinne des 1. Ziel des AWG's wäre somit diese Ziel auch bei der heutigen Nutzung erfüllt.

Auch die Aufbringung von Einzelkompost führt zu keiner Schwermetallanreicherung die über die geltenden Bodengrenzwerte hinausgeht.

2. Ziel: Schonung von Rohstoff- und Energiereserven:

Bezüglich Rohstoffschonung werden im AWG ebenfalls keine quantitativen Vorgaben gemacht werden. Je nach betrachteter Variante können alle Güter bzw. nur teilweise (etwa in der Variante +10 % in 500 Jahren) regional ausgebracht werden. Auf Ackerflächen sind auch in der strengsten Variante die Nährstoffnutzungsgrade beider Klärschlämme höher als jener von Schweinegülle. Auf Grünland hat der *Klärschlamm* $<BGW+200\%$ den niedrigsten NNG und könnte nicht verwertet werden. *Kompost Klasse 1* hat im Gegensatz zu *Kompost Klasse 2* sowohl auf Acker als auch auf Grünland einen relativ hohen NNG-Wert. D.h. „saubere“ Komposte tragen in allen Varianten zur Rohstoffschonung bei. *Klärschlämme* schonen auf Ackerkulturen mehr Rohstoffe als die Aufbringung von *Schweinegülle*. Mit dem erzeugten Einzelkompost kann der gesamte P-Bedarf der Nutz- und Ziergärten der Einzelkom-

postierer gedeckt werden, eine mineralische Zusatzdüngung ist nicht notwendig. Im folgenden Kapitel 5.5 wird der Beitrag der Rohstoffschonung (2. (Teil)Ziel des AWG's) durch die einzelnen Güter weiter diskutiert.

Das 2. (Teil)ziel „Schonung der Energiereserven“ wird durch die hier betrachteten Verfahren (landwirtschaftliche Kompostierung, Einzelkompostierung, Kläranlage) nicht direkt erreicht. Indirekt könnte jedoch berücksichtigt werden, dass etwa die Produktion von einer t P als Triple-Superphosphat 9,8 GJ und von einer t N als Kal-kammonsalpeter 38,9 GJ [Schilling, 1997] benötigt. Wird diese Energiemenge mit den P und N-Mengen der anfallenden Komposte und Klärschlämme multipliziert so errechnet sich eine eingesparte Energiemenge von ca. 3600 GJ. Dies entspricht etwa dem Energieinhalt von 120t Steinkohle. Von dieser eingesparten Energiemenge ist der Energieverbrauch zur Produktion der Komposte und Klärschlämme abzurechnen. Möglicherweise ist der Saldo (Energiegutschrift abzüglich Energie für Produktion) positiv insbesondere wenn diskutiert wird, zu welchem Anteil der Energieverbrauch einer Kläranlage der „Nährstoffproduktion“ oder der Hauptfunktion „Abwasserreinigung“ zugerechnet wird.

3. Ziel: Schonung von Deponievolumen:

Durch die Kompostierung biogener Abfälle (landwirtschaftliche Kompostierung, Einzelkompostierung) und der anschließenden Verwertung von Kompost sowie der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm wird Deponievolumen geschont.

4. Ziel: Nachsorgefreiheit: siehe Ziel 1

5.5 Ressourcennutzung

5.5.1 Limitierungen der flächenspezifischen Nährstoff- und TS-Mengen

Die aufbringbaren Gütermengen werden durch regionale Vorgaben, durch Gesetze und Verordnungen weiter eingeschränkt. Zusätzlich wird die ausbringbare TS-Menge je Flächeneinheit in der Praxis durch den Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen begrenzt. Das heißt, die nach dem Schichtenmodell (entsprechend den definierten Kriterien der Lagerveränderung und des Zeitraumes) errechneten langfristig aufbringbaren Gütermengen sind allenfalls entsprechend den Vorgaben und Gesetzen zu reduzieren. Dabei werden folgende „Filter“ ausgewählt bzw. berücksichtigt:

- N-Limitierung (Wasserrechtsgesetz)

- P-Versorgung der Böden (Richtlinien für sachgerechte Düngung)
- Kompost: TS-Menge/ha.a (ÖNORM S2200)
- Klärschlamm (Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz)

N-Limitierung: Die maximal aufbringbare Stickstoffmenge wird über das Wasserrechtsgesetz geregelt (175 kg N/ha.a auf Ackerkulturen, 210 kg für Grünland und N-zehrende Fruchtfolgen). In dieser Arbeit wird vereinfacht folgende Annahme getroffen: alle Ackerkulturen 175 kg N/ha. a, Grünland: 210 kg N/ha.a

5.5.1.1 Exkurs: gutspezifischer Nährstoffbedarf

Bei Stickstoff spielt die Rolle der Verfügbarkeit des Stickstoffs in den einzelnen Gütern eine wichtige Rolle, wenn es darum geht, der Nährstoffbedarf von Kulturen abzudecken.

Methodisch könnte die unterschiedliche Verfügbarkeit von Nährstoffen wie folgt berücksichtigt werden: Der Nährstoffbedarf einer Kultur ergibt sich aus dem Entzug durch die Ernte unter Berücksichtigung der gutspezifischen Gesamtwirksamkeit des eingebrachten Nährstoffes (= gutspezifischer Nährstoffbedarf).

Bsp.: Wirtschaftsdünger-Gesamtwirkung: 70 % [BMFL, 1991]; Ernteentzug: 150 kg N/ha.a;

gutspezifischer Nährstoffbedarf = $150/0,7 = 214$ kg Wirtschaftsdünger N/ha.a

[BMLF, 1991] unterscheiden beim Gesamtwirkungsgrad zwischen Acker und Grünland: Bei Ackerkulturen wird die „nicht wirksame“ Stickstoffmenge etwa zu einem Drittel auf die Ammoniakverdunstung, etwa die Hälfte auf Auswaschung und der Rest vor allem auf die Denitrifikation aufgeteilt. Bei Grünland hingegen sind mehr als drei Viertel der nicht-wirksamen Stickstoffmenge auf die Ammoniakverdunstung zurückzuführen.

Der Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen, wäre somit gutspezifisch unterschiedlich.

Die Gesamtwirkung von N in Komposten ist geringer, jene von Klärschlamm hingegen etwa gleich jener von Wirtschaftsdüngern. Die Diskussion über das Ausmaß der Gesamtwirkung der einzelnen Güter wird in dieser Arbeit nicht geführt.

Für die N-Limitierung könnten auch die Düngeempfehlungen der Richtlinien für die Sachgerechte Düngung [Danneberg et al., 1996] herangezogen werden. Diese Emp-

fehlungen beruhen auf kulturspezifischen N-Gaben bei mittlerer Ertragsersparung die an die Standorteigenschaften mittels Zu- und Abschlägen angepasst werden. Dabei werden folgende Standorteigenschaften berücksichtigt: Ertragsersparung, Gründigkeit, Bodenschwere, Bebrütungswert oder Humusgehalt, Wasserverhältnisse sowie Grobanteil. Diese Parameter wurden im Zuge dieser Arbeit nicht ausgewertet.

Für die ackerbaulichen Hauptkulturen im Raabtal, den Körner- und Silomais werden für mittlere Ertragslagen 120 bis 140 kg N/ha.a empfohlen. Die Entzugszahlen dieser beiden Kulturen aufgrund der Erntemengen wurden mit 145 bis 160 kg N/ha.a errechnet. Für das Raabtal kann somit (zumindest für die beiden Hauptkulturen) eine hohe Ertragsersparung angenommen werden. Bei hoher Ertragsersparung wird ein Zuschlag von 25 % empfohlen. Nimmt man zusätzlich einen mittleren Humusgehalt (+0 %), eine mittlere Gründigkeit (+0 %), trocken bis mäßig feuchte Wasserverhältnisse (+0 %), leichte Böden (-5 %) sowie einen gering bis mäßigen Grobanteil (+0 %) an, so ergibt sich insgesamt ein Zuschlag von 20 %. Entsprechend den Richtlinien für sachgerechte Düngung ergibt sich eine Düngermenge von 144 bis 168 kg N/ha.a. Nach [Löhr, 1983] ist bei Körner- und Silomais eine Reinstickstoffgabe von 140 bis 180 kg N/ha. vertretbar.

In [BMLF, 1991] werden für Körner- und Silomais maximale Aufwandmengen von 35 bis 50 m³ unverdünnter Rindergülle angegeben, wobei der N-Gehalt dieser Gülle zwischen 4,5 und 6 kg N schwankt - es errechnen sich über 200 kg N/ha.a (35 * 6 = 210; 50 * 4,5 = 225 kg N/ha.a). Wird berücksichtigt, dass die Gesamtwirkung der Wirtschaftsdünger (Direktwirkung + Summe aller Nachwirkungen) 70 bis 75 % beträgt [BMLF, 1991] errechnen sich bei einer Aufbringung von 210 kg N/ha.a (gutspezifischer (Wirtschaftsdünger) Nährstoffbedarf) ca. 150 bis 160 kg wirksamer N.

Die benötigte N-Menge in Wirtschaftsdüngern, (aber auch Komposten und Klärschlämmen) zur Abdeckung des Nährstoffbedarfes von Körner- und Silomais liegt somit in der gleichen Größenordnung wie die N-Limitierung durch das WRG.

Bei Dauergrünland liegt der für das Raabtal abgeschätzte Entzug mit etwa 150 kg N/ha.a unter den Maximalmengen des Wasserrechtsgesetzes von 210 kg N/ha.a. Entsprechend den Richtlinien für Sachgerechte Düngung gelten als Richtwert für Dauerwiesen je ha und Aufwuchs bei gehobener Bewirtschaftung zwischen 0-50 kg N. Bei angenommen drei Aufwüchsen entspräche dies maximal 150 kg N/ha.a. Die empfohlenen Güllemengen für Glatthaferwiesen bei einer Nutzungshäufigkeit von 2 - 3, beträgt 20 bis 40 m³/ha.a unverdünnter Gülle (Rindergülle?). Mit obigen N-Gehalten errechnen sich N-Mengen von 120 bis 180 kg N/ha.a. [Löhr, 1983] gibt für Lagen mit mittleren Ertragsmöglichkeiten (70-90 dt Heu, 3 Nutzungen) Stickstoffmengen von 40 - 70 kg N/Nutzung an - somit 120 bis 210 kg N. Die Empfehlungen

liegen somit im Mittel unter den nach dem Wasserrechtsgesetz bewilligungsfreien N-Mengen. Unter der Berücksichtigung der Gesamtwirksamkeit der in den Gütern enthaltenen N-Mengen erhöht sich jedoch der gutspezifische Nährstoffbedarf. Im folgenden wird deshalb der N-Bedarf von Grünland vereinfacht der bewilligungsfreien N -Menge nach dem WRG gleichgesetzt.

P-Versorgung: Für Phosphor werden die Richtlinien für Sachgerechte Düngung [Danneberg et al., 1996] herangezogen. In diesen Richtlinien werden die Böden in 5 verschiedene Gehaltsstufen (A: sehr niedrig bis E: sehr hoch) eingeteilt. Für die Gehaltsstufe C werden kulturspezifische Düngeempfehlungen gemacht. Ausgehend von diesen Düngeempfehlungen werden für die einzelnen Gehaltsstufen Zu- oder Abschläge von der Empfehlung festgeschrieben:

Gehaltsstufe A: + 50 %;

Gehaltsstufe B: + 25 %;

Gehaltsstufe D: P-Düngemenge unterbleibt ausgenommen bei niedriger Wasserlöslichkeit

Gehaltsstufe E: weitere Nährstoffzufuhr nicht zu empfehlen. Nährstoffe im hofeigenen Wirtschaftsdüngern bis zur Höhe des Pflanzenentzuges tolerierbar.

Tabelle 5-31: Einstufung von Böden entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung [Danneberg et al., 1996]

Gehaltsstufe	mg P ₂ O ₅ je 100g Feinboden	
	Ackerland, Wein- und Obstgärten, Feldgemüse	Grünland
A sehr niedrig	unter 6	unter 6
B niedrig	6 - 10	6 - 10
C ausreichend	11 - 25	11 - 15
D hoch	26 - 40	16 - 40
E sehr hoch	über 40	über 40

Die Probestellen der Bodenzustandsinventur im Raabtal wurden hinsichtlich der P-Gehalte (P₂O₅-Gehalte) ausgewertet. Im Mittel liegen die Grünlandstandorte in der Gehaltsstufe A, die Ackerstandorte in der Gehaltsstufe B (an der Grenze zu Gehaltsstufe C), sowie die Sonderkulturstandorte in der Gehaltsklasse C.

Tabelle 5-32: Bodenzustandsinventur: P₂O₅-Gehalte in Böden im Raabtal

Phosphat in mg/100g	0-5 cm	5-20 cm	20-50 cm	MW 0-10	Anzahl Probestellen
Grünland	9,4	4,7	1,0	5,4	10

Sonderkulturen	31,5	13,0	6,7	15,5	3
	0–20cm	20–50 cm	50-70 cm	MW 0-30	
Acker	13,9	3,8	2,4	10,95	16

Anhand der angebauten Kulturen wurden die empfohlenen spezifischen Düngemengen vorerst für die Gehaltsstufe C ermittelt. Für Ackerstandorte wurde eine Düngemenge von 33,2 kg P/ha.a, für Grünlandstandorte (mehrmähdige Wiesen) von 46 kg P/ha.a und für Sonderstandorte (Obstanlagen) von 15 kg P/ha.a errechnet. Im nächsten Schritt wurden entsprechend den Richtlinien vorgeschlagenen Zuschläge für die jeweiligen Gehaltstufen errechnet. Es ergeben sich Düngemengen von 41,5 kg P/ha.a für Ackerstandorte und 69 kg P/ha.a für Grünlandstandorte (siehe Anhang B Tabelle 6).

Begrenzung der Kompost TS-Mengen: Die Kompostmengen der Klasse II nach ÖNORM S2200 werden durch den Schwermetallgehalt begrenzt. Wie jedoch in Kapitel 4.2.3.1.2 dargestellt, ist die bestehende Regelung nicht praktikabel. In genanntem Kapitel wurde als Obergrenze für Komposte Klasse II bei einer Bearbeitungstiefe von 30 cm (Acker) 15 t TS (bei Ausschöpfung des Bleigrenzwertes) angegeben. Dieser Wert wird hier übernommen. Für Grünland wird diese Aufwandmenge gedrittelt.

Begrenzung der Klärschlamm TS-Mengen: Laut dem Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzgesetz [Stmk. LGBl. Nr. 66/1987] § 11 Aufbringung (1) darf jährlich höchstens eine Klärschlammmenge von 1,25 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Grünland und 2,5 Tonnen Trockensubstanz je Hektar Ackerland aufgebracht werden. Für Obstanlagen werden keine Angaben gemacht. Da auch bei Obstanlagen eine Durchmischung fehlt, werden für diese die Aufwandmengen von Grünland herangezogen.

Es wurden zusammenfassend somit folgende Grenzen eingezogen:

Tabelle 5-33: Begrenzungen der Aufbringungsmengen

Filter	Acker	Grünland	Sonderkultur
Wirtschaftsdünger	175 kg N/ha.a, 41,5 kg P/ha.	210 kg N/ha.a, 69 kg P/ha.a	175 kg N/ha.a; 15 kg P/ha.
Klärschlamm <BGW+200 %	2,5 t TS/ha.a, 41,5 kg P/ha.a	1,25 t TS/ha.a, 69 kg P/ha.a	1,25 t TS/ha.a, 15 kg P/ha.a
Klärschlamm >BGW+200 %	2,5 t TS/ha.a, 41,5 kg P/ha.a	1,25 t TS/ha.a, 69 kg P/ha.a	1,25 t TS/ha.a, 15 kg P/ha.a
Kompost Klasse 1	175 kg N/ha.a, 41,5 kg P/ha.a	210 kg N/ha.a, 69 kg P/ha.a	175 kg N/ha.a, 15 kg P/ha.a
Kompost Klasse 2	15 t TS/ha.a, 175 kg N/ha.a, 41,5 kg P/ha.a	5 t TS/ha.a, 210 kg N/ha.a, 69 kg P/ha.a	5 t TS/ha.a, 175 kg N/ha.a, 15 kg P/ha.a
Senkgrube	175 kg N/ha.a, 41,5 kg P/ha.a	210 kg N/ha.a, 69 kg P/ha.a	175 kg N/ha.a, 15 kg P/ha.a

Sind die die Ausbringungsmengen beschränkenden Faktoren bekannt, so können teilweise bereits entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden. Wird etwa die Ausbringungsmenge durch die Schwermetallmenge begrenzt, so erhöht eine Absenkung der Schwermetallkonzentrationen die Ausbringungsmengen. Ist der P-Gehalt der Güter limitierend, so könnte durch den Anbau von Kulturen mit höherem Nährstoffbedarf die ausbringbaren Mengen erhöht werden. Einer Limitierung durch den TS-Gehalt kann nur durch eine Lockerung der festgelegten Aufbringungsmengen entgegengesteuert werden.

Die berechneten langfristig ausbringbaren Gütermengen verstehen sich nicht als starre Vorgabe für den angegebenen Zeitraum. Verändern sich die Eingangsparameter, so sind die Aufbringungsmengen entsprechend zu adaptieren. Bsp.: Dadurch, dass in der Gehaltsstufe B über den Entzug gedüngt wird ist eine Anreicherung der Böden mit P zu erwarten. Das heißt, dass bei Änderung der Gehaltsstufe die ausbringbaren Gütermengen neu zu berechnen sind. Nur so kann das Ziel einer möglichst weitgehenden Schonung begrenzt vorkommender Ressourcen angenähert werden.

5.5.2 Berechnung der Nährstoffmenge in den biogenen Ausgangsmaterialien

siehe Kapitel 3.3

5.5.3 Bestimmung der regional zu verwertenden Gütermengen

5.5.3.1 Materialien die vor/nach dem Konsum von Nahrungsmitteln anfallen

Als Schlüssel dafür, wie viel der erzeugten Endprodukte aus genannten Materialien regional zu verwerten sind, wird die regionale (Nährstoff)Eigenversorgung $E_{v,r,K}$ herangezogen. (siehe Kapitel 4.2.4.1)

In der Region gelangen 25 bis 41 t P (176 - 214 t N) über pflanzliche und 35 bis 47 t P (410 - 444 t N) über tierische Nahrungsmittel in die Haushalte (in Summe 60 bis 88 t P (587 - 659 t N)). Die stofflichen Wirkungsgrade der lebensmittelverarbeitenden Industrie/Gewerbe (Verhältnis von Nährstoffmenge in den erzeugten Nahrungsmitteln zum gesamten Nährstoffinput in die Verarbeitung) wurden aus den Angaben von [Kroiss et al. 1997] errechnet. Dabei ergeben sich für die tierische Produktion ein Wirkungsgrad von 30 % für Phosphor (Mittelwert) sowie für die pflanzliche Produktion von 80 % (für N: tierische Produkte: 52 %; pflanzliche Produkte: 70 %): Dies bedeutet, das 30 % des tierischen sowie 80 % des pflanzlichen Gesamtinputs an Phosphor in die Verarbeitung letztlich im Endprodukt zu finden sind. (Die Werte für Stickstoff sind 70 % bei pflanzlichen und 48 % bei tierischen Produkten.)

Um obigen Verbrauch der Haushalte an P zu decken, müssen somit im Mittel 178 t P (1.100 t N) in den Ausgangsprodukten enthalten sein (41 t P (279 t N) für die pflanzlichen sowie 137 t P (821 t N) für die tierischen Nahrungsmittel).

Die P-Fracht (N-Fracht) der regionalen Pflanzenproduktion beträgt rund 920 t P (4.965 t N). Davon können etwa 830 t P (ca. 4.480 t N) Futtermitteln zugeordnet werden [Diebold, 1999]. Es verbleiben somit 90 t P (515 t N) „Nicht-Futtermittel“.

Mittels der regional erzeugten P-Menge in den „Nicht-Futtermitteln“ könnte somit rund 2 mal der P- und N-Verbrauch an pflanzlichen Nahrungsmitteln durch die Haushalte abgedeckt werden.

Auch die Produktion tierischer Produkte (aus regional erzeugten Futtermitteln werden etwa 200 t P in tierischen Rohprodukten eingebunden) übersteigt den regionalen Verbrauch (137 t P) durch die Haushalte.

Dies bedeutet: alle in der Region in den Haushalten anfallenden festen biogenen Abfälle sowie die Abwässer bzw. deren Endprodukte sind in der Region zu verwerten.

(Letztlich müssten die nicht in der Region anfallenden biogenen Abfälle und Abwässer bzw. deren Endprodukte aus der regionalen Produktion wieder ins Raabtal „importiert“ werden!)

5.5.3.2 biogene Materialien landwirtschaftlichen Ursprungs

Die landwirtschaftliche Produktion an Futtermitteln im Raabtal beträgt 831 t P (4.480 t N). Der Futtermittelverbrauch liegt mit 1.250 t P (5.800 t N) um 35 % (25 %) höher als die regionale Produktion. Als Erklärung für die unterschiedlichen Prozentsätze sind mehrere Möglichkeiten denkbar: (i) die P (N)-Frachten im Wirtschaftsdünger sind geringer (höher) als berechnet, (ii) die zugekauften Futtermittel weisen andere Verhältnisse von N : P auf als die lokal erzeugten Futtermittel (z.B. gezielte Anreicherung von Futtermittel, bspw. Mineralfuttermittel in der Rindermast, Milchviehwirtschaft und Kälberaufzucht, Ergänzungsfutter aber auch Alleinfuttermittel in der Schweinehaltung, Mineralfutter für Ferkel Ergänzungsfutter für Legehennen). Einzelne dieser genannten Futtermittel(zusätze) weisen P-Konzentrationen von > 7 %(!) auf.

Im Zuge des Projektes konnte jedoch nicht geklärt werden, wodurch obige Differenz zwischen dem Importbedarf durch Futtermittel an P bzw. N letztlich verursacht ist. In den Berechnungen wird deshalb im folgenden ein Schlüssel von 30 % verwendet, d.h. 30 % der anfallenden Wirtschaftsdünger können „exportiert“ werden, ohne als Verlust des Verfahrens gewertet zu werden. (Erläuterungen siehe 4.2.4.2)

5.5.3.3 biogene Materialien industriellen Ursprungs

Es wird nach tierischen oder pflanzlichen Materialien unterschieden.

Insgesamt sind im regional erzeugten Schlachtvieh 298 t P (1.341 t N) enthalten. Davon werden 148 t P (689 t N) „exportiert“. Zusätzlich werden in Form von Geflügel 76 t P (336 t N) „importiert“. In Summe werden somit in der Region Schlachtvieh mit 226 t P (988 t N) verarbeitet. Insgesamt liegen damit die regionalen Schlachtungen um 25 % unter der regionalen Schlachtviehproduktion. Bei der regional produzierten Schlachtviehmenge ist zu berücksichtigen, dass diese zu rund 35 % mit importierten Futtermitteln ernährt wurden, somit die tatsächlich regional erzeugte Schlachtviehmenge einem Gegenwert von rund 200 t P entspricht. Entsprechend dem gewählten Schlüssel sind somit die aus der Schlachtung anfallenden Abfälle und Abwässer zu etwa 90 % (200 t P / 226 t P) regional zu verwerten. (siehe Kapitel 4.2.4.3)

Die in der Region angesiedelten Obstverwertungsbetriebe verarbeiten eine geringere Menge an Obst als regional produziert wird. Die hier anfallenden Abfälle und Abwässer sind regional vollständig zu verwerten.

Lederindustrie: Die vorliegenden Daten über die Lederindustrie erlauben keine Abschätzung des Ausmaßes der regionalen Eigenversorgung. Es kann nur gesagt werden, dass mehr Häute verarbeitet werden als in der Region durch die Schlachtungen anfallen. Die anfallenden Abfälle und Abwässer bzw. Klärschlämme müssten somit nicht vollständig in der Region verwertet werden, sondern könnten anteilmäßig „exportiert“ werden.

Insgesamt muss gesagt werden, dass die zur Verfügung stehenden Daten über die industrielle Produktion und die dabei anfallenden biogenen Materialien sowohl was Angaben über Mengen als auch Qualitäten betrifft, mangelhaft sind. In weiterer Folge werden deshalb die in der industriellen/gewerblichen Produktion anfallenden Abwässer und Abfälle nicht weiter verfolgt.

Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass diese Abfälle ein relativ großes Nährstoffpotential darstellen.

5.5.3.4 Zusammenfassung regional zu verwertende Gütermengen

Die regionale Landwirtschaft produziert mehr tierische und pflanzliche Nahrungsmittel als regional verbraucht werden. Die in den Haushaltungen anfallenden biogenen Abfälle und Abwässer bzw. deren Verfahrensendprodukte sind somit vollständig regional zu verwerten.

Der Futtermittelbedarf der regionalen Landwirtschaft liegt über der regionalen Futtermittelproduktion. Die anfallenden Wirtschaftsdünger sind somit anteilmäßig regional zu verwerten. Es wurde ein Wert von 70 % regionaler Verwertung für die Wirtschaftsdünger errechnet.

Auf Grund der Datenlage werden Abfälle und Abwässer aus Industrie und Gewerbe nicht weiter betrachtet. Die aus den Schlachthöfen anfallenden Abfälle und Abwässer wären zu 90 % regional zu verwerten, jene der Obstverwertung hingegen zu 100 %. Die Lederproduktion ist von überregionaler Bedeutung, das heißt, dass anteilmäßig wiederum „exportiert“ werden dürfte.

5.5.4 Regional zur Verfügung stehende Verwertungsfläche

Die regional tatsächlich zur Verfügung stehende Fläche ergibt sich aus den vorhandenen Flächen der Region abzüglich der von der Verwertung auszuscheidenden Flächen.

Die Flächenerhebung wurde vom Büro Dr. Lengyel [BDL, 1999b] mit folgendem Ergebnis durchgeführt:

Für die Ausbringung von Kompost und Wirtschaftsdünger stehen potentiell die gleichen Aufbringungsflächen zur Verfügung. Bei biologisch wirtschaftenden Betrieben dürfen jedoch die aufgebrauchten Komposte bestimmte Schwermetallgrenzwerte nicht überschreiten (200 mg Zn/kg TS, 70 mg Cu/kg TS, 45 mg Pb/kg TS, 0,7 mg Cd/kg TS [EEC 2092/91]). Die durchschnittlichen Konzentrationen der Komposte Klasse 1 unterschreiten diese Werte, die verfügbare Aufbringungsfläche beinhaltet somit auch die biologisch wirtschaftenden Betriebe. Die gebildete Klasse *Kompost Klasse 2* überschreitet die genannten Grenzwerte. Es sind somit die biologisch bewirtschafteten Flächen zu erheben und von der gesamten Aufbringungsfläche abziehen. Österreichweit werden etwa 10 % der Flächen biologisch bewirtschaftet. Dieser Anteil wurde auch für das Raabtal angenommen und die Aufbringungsflächen entsprechend reduziert. (In Anbetracht, dass die Klasse 2 weniger als 0,5 % der Kompost TS ausmacht und somit zu erwarten ist, dass genügend Ausbringungsfläche für die alleinige Ausbringung dieses Gutes vorhanden ist, ist die Abschätzung ausreichend)

Die Flächen für Klärschlamm werden durch bestehende Einschränkungen stark eingegrenzt. Insbesondere kommt dabei die Steiermärkische Klärschlammverordnung [Stmk. LGBI. 11/1988] zu tragen, nach der die Aufbringung von Klärschlamm nur auf landwirtschaftliche Böden zulässig ist, die nach den von der Bundesanstalt für Bodenkultur erstellten Bodenempfindlichkeitskarten als „minder empfindlich“ oder „weitgehend tolerant“ eingestuft sind. Für Grünland bringt auch das ÖPUL-Programm weitere deutliche Einschränkungen.

Tabelle 5-34: Verfügbare Flächen zur Aufbringung von Wirtschaftsdüngern, Komposten und Klärschlamm

ha	Klärschlamm	Komp. Kl. 1	Komp. Kl. 2	Wirtschaftsdünger
Acker	7.051	21.925	19.730	21.925
Grünland	3.443	18.025	16.220	18.025
Sonderkultur	348	3.110	2.800	3.110

5.5.5 Bestimmung der verfahrensbedingten Nährstoffverluste

Bei der Behandlung und bei der Lagerung der biogenen Materialien aber auch bei der Ausbringung der erzeugten Endprodukte können Nährstoffverluste auftreten. Für die abschließenden Berechnungen wurden folgende Verfahrensverluste angesetzt:

Tabelle 5-35: Verfahrensbedingte Nährstoffverluste

	Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein	Mist Geflügel
P-Verlust	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
N-Verlust	25 %	25 %	25 %	30 %	26 %	30 %
	Klärschlamm <BGW+200%	Klärschlamm >BGW+200%	Kompost Klasse 1	Kompost Klasse 2	Senkgrubeneinhalte	Einzelkompost
P-Verlust	45 %	50 %	0 %	0 %	36 %	0 %
N-Verlust	90 %	88 %	24 %	22 %	36 %	35 %

5.5.6 Nährstoffnutzungsgrade der Güter

Die Darstellung der regionalen Nährstoffnutzungsgrade (NNG) für jedes der betrachteten Güter erfolgt wiederum getrennt in einzelnen Kapiteln entsprechend der gewählten Varianten. Zusätzlich wurde der NNG für die Summe der Wirtschaftsdünger errechnet. Neben den Werten für den Nährstoff Phosphor werden zusätzlich auch die Stickstoffwerte auf Acker und Grünland dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang B Tabellen 19 - 24 dargestellt.

Für Phosphor wurde für die Aufteilung der anfallenden Gütermengen für Acker und Grünland die Empfehlungen der Richtlinie für Sachgerechte Düngung, für Stickstoff die Vorgaben aus dem Wasserrechtsgesetz verwendet. Für Sonderkulturen wird keine Stickstoffauswertung durchgeführt.

Die Ergebnisse für das Gut „Einzelkompost“ werden in einem eigenen Unterkapitel 5.5.7 dargestellt.

5.5.6.1 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +10 % in 100 Jahren

Phosphor: Für jedes einzelne Gut steht genügend Ackerfläche zur Ausbringung zur Verfügung. Der NNG für die Summe der Wirtschaftsdünger beträgt auf Acker 0,4. Die höchsten Werte erzielen *Rindergülle* (0,83) und *Geflügelgülle* (0,50), die geringsten *Klärschlamm < BGW+200 %* (0,28) und *Schweinegülle* (0,26).

Auch Grünland steht bei Betrachtung der einzelnen Güter in ausreichendem Maße zur Verfügung. Hingegen steht für die Ausbringung der Summe der Wirtschaftsdünger etwa 15 % zu wenig Fläche zur Verfügung.

Diese Werte geben nur die Resultate der methodischen Betrachtung wieder: Wird bedacht, dass bei der Berechnung des NNG's ein „Export“ von 30 % der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen angenommen wird, so erhöhen sich in der Praxis bei dieser Variante die benötigten Grünlandflächen für die Summe der Wirtschaftsdünger von ca. 21.000 ja auf etwa 30.000 ha, und damit auf eine um zwei drittel größere Fläche als die tatsächlich regional verfügbare Grünlandfläche (ca. 18.000 ha). Bei den Ackerflächen sind bei einer vollständigen regionalen Verwertung der Wirtschaftsdünger die verfügbaren und benötigten Flächen praktisch gleich groß (3 % Flächenreserve).

Der NNG von *Kompost Klasse 1* (0,51) ist auf Grünland der zweithöchste nach jenem von *Rindergülle* (0,69). Die Ausbringung von *Klärschlamm <BGW+200 %* wird auf Grünland durch die erlaubte aufbringbare TS-Menge von 1,25 t TS/ha.a begrenzt.

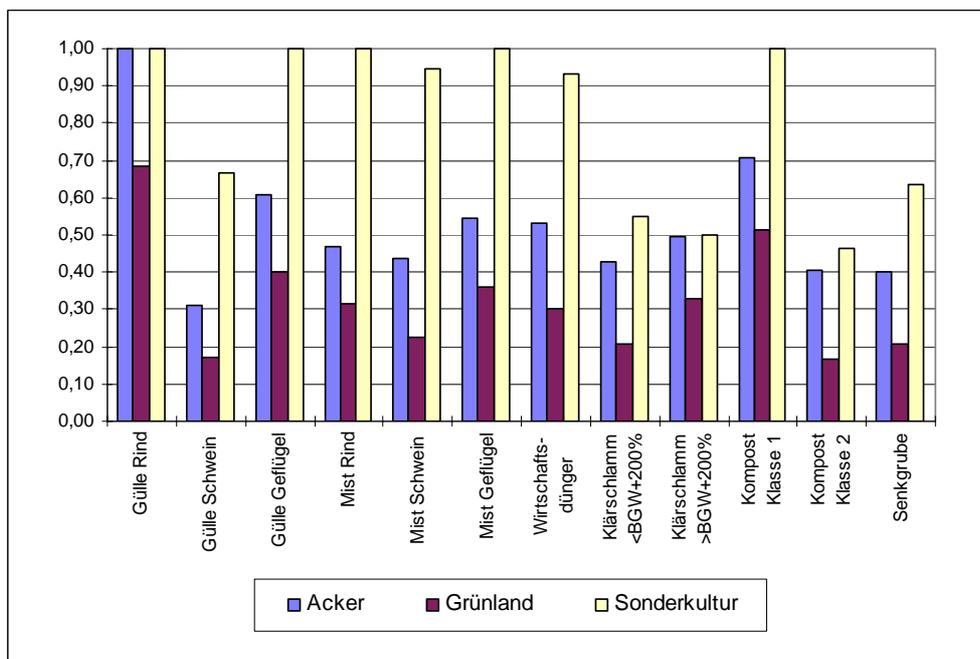


Abbildung 5-19: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 100 Jahren

Durch den geringen P-Bedarf der (angebauten) Sonderkulturen ist auf diesen Standorten der P-NNG am höchsten. Die Aufbringungsmenge von drei viertel der Güter wird durch die P-Limitierung begrenzt.

Der mittlere NNG liegt bei Acker bei 0,53, bei Grünland bei 0,33 und auf Sonderkulturstandorten bei 0,80.

Stickstoff: Stickstoff zeigt ein deutlich anderes Bild als die Nährstoffnutzungsgrade von Phosphor. Zwar weist auch hier *Rindergülle* den besten Wert auf, die anderen Güter liegen jedoch alle zumeist deutlich unter einem Wert von 0,3. Insbesondere bei *Klärschlämmen* kommen die geringe Einbindung des N aus dem Kläranlagenzulauf in den Klärschlamm, und damit die relativ niedrige N-Konzentration im Vergleich zur P-Konzentration im Klärschlamm zu tragen. Aber auch *Kompost Klasse 2* zeigt sehr geringe Werte ($<0,1$). *Kompost Klasse 1* liegt über dem Durchschnitt der Wirtschaftsdünger.

Die mittleren Werte betragen hier für Acker 0,26 und für Grünland 0,22.

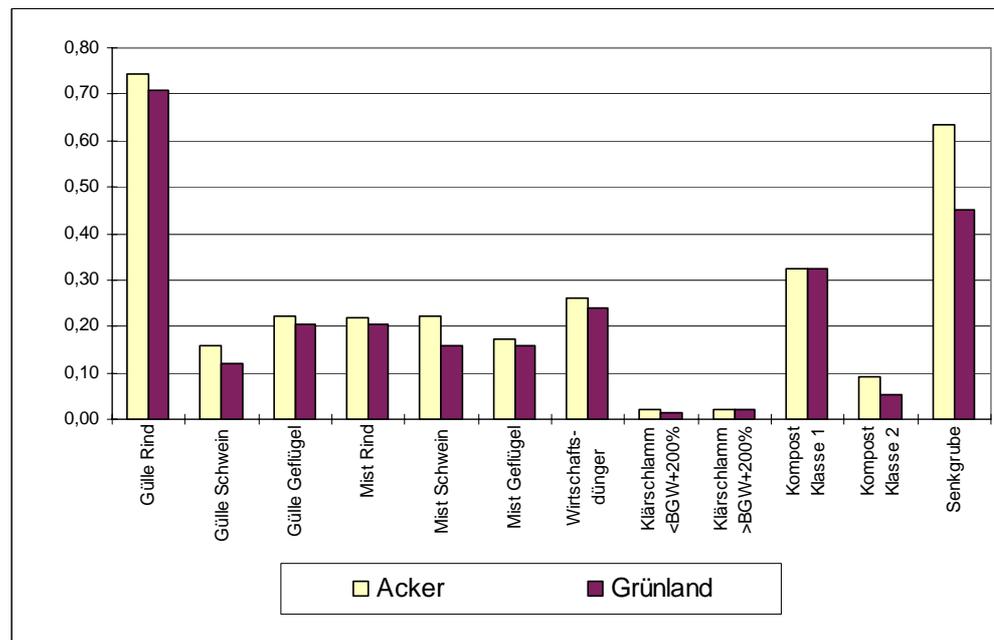


Abbildung 5-20: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 100 Jahren

5.5.6.2 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +50 % in 100 Jahren

Phosphor: Durch Berücksichtigung der Limitierungen der Aufbringungsmengen ergibt sich folgende Situation: Auf Sonderkulturstandorten werden alle Güter durch

die P-Limitierung in der Aufbringungsmenge beschränkt (das Schwermetallkriterium würde +810 % (!) mehr *Klärschlamm*>*BGW*+200 % erlauben). Auf Grünlandstandorten werden 7 Güter limitiert: *Geflügelgülle*, *-mist* und *Kompost Klasse 1* durch P (+23 bis +37 % mehr bis SM-Kriterium), *Rindergülle* (+185 %) und *Senkgrubenhälte* (+130 %) durch den N-Gehalt und die beiden *Klärschlämme* durch die TS-Menge (+145 bis +400 % bis Erreichung des Schwermetallkriteriums).

Auf Äckern wird mit Ausnahme der *Schweinegülle* kein Gut durch die Schwermetallfracht beschränkt: 10 durch P, 3 durch N und 2 durch die TS, wobei die strengste Limitierung bei 9 durch P, und bei einem durch N (Senkgrubenhälte) erfolgt.

Die *Klärschlämme* werden auf Grünland durch die TS-Menge und auf Äckern durch ihren P-Gehalt bei der Ausbringung begrenzt. Dadurch kommt die maximale Ausbringungsmenge auf Äcker mit 2,0 t TS/ha.a unter der im Bodenschutzgesetz vorgegebenen Menge von 2,5 t TS/ha.a zu liegen.

In dieser Variante stehen auch für die Summe der Wirtschaftsdünger genügend Flächen zur Verfügung (rund 2,5 bis 3 mal mehr verfügbare Fläche als benötigt). *Komposte Klasse 1* erreichen auf Grünland ebenso wie *Hühner-* und *Geflügelgülle* die maximalen NNG's von 1. Die Nährstoffnutzungsgrade steigen gegenüber der ersten Variante deutlich an; im Mittel auf 0,86 bei Acker und 0,68 bei Grünland bzw. auf 0,88 bei Sonderkulturen.

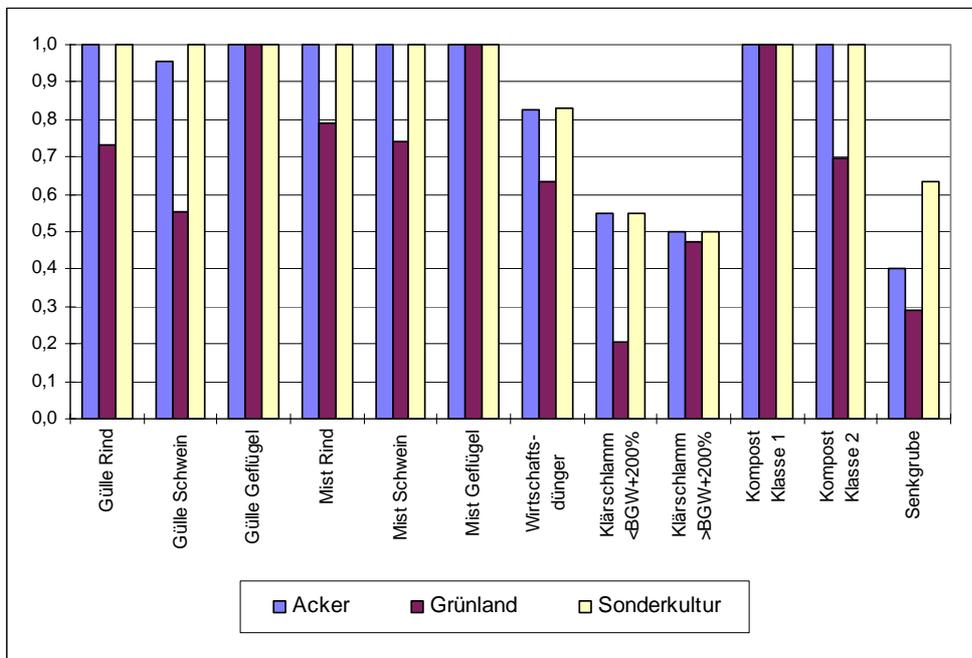


Abbildung 5-21: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 100 Jahren

Stickstoff: Die mittleren NNG's erhöhen sich von 0,26 auf 0,39 bei Acker bzw. 0,22 auf 0,42 bei Grünland). Die höchsten Werte auf Acker erzielt *Rindergülle* (0,75).

Die mit Abstand niedrigsten NNG's werden durch die *Klärschlämme* erzielt (< 0,05). *Kompost Klasse 1* liegt sowohl auf Acker als auch auf Grünland über dem Durchschnitt der Wirtschaftsdünger.

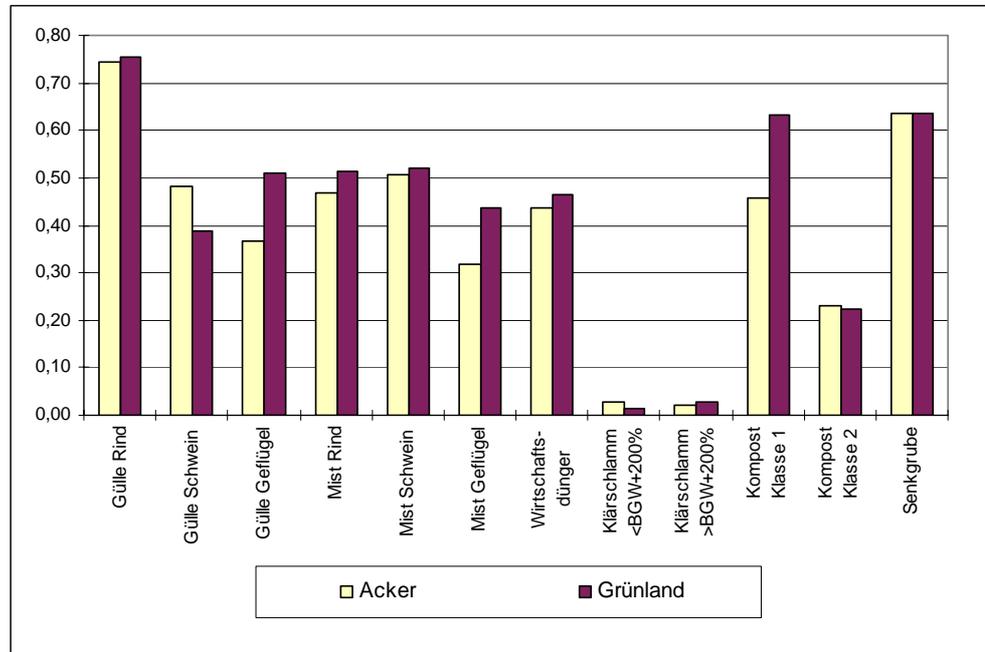


Abbildung 5-22: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 100 Jahren

5.5.6.3 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +100 % in 100 Jahren

Phosphor: Nach Berücksichtigung der Restriktionen der Aufbringungsmengen sind bei jeder Nutzung alle berechneten maximalen Aufwandmengen zu reduzieren. Auf Sonderkulturstandorten werden alle Güter durch die P-Limitierung in der Aufbringungsmenge beschränkt. Auf Grünlandstandorten werden 6 Güter durch P limitiert, 2 durch N, 3 durch die maximale TS-Obergrenze, auf Äckern 10 Güter durch P, 1 durch N.

Für *Kompost Klasse 1* ergibt sich eine maximale Aufbringungsmenge auf Acker von 7,3 t TS/ha.a und auf Grünland von 12 t TS/ha.a, wobei dieses Gut nicht durch das WRG N-limitiert sondern durch den P-Gehalt bei der Ausbringung limitiert wird. *Kompost Klasse 2* wird auf Acker ebenfalls durch den P-Gehalt limitiert, auf Grünland durch die TS-Begrenzung nach der ÖNORM.

Die beiden *Klärschlämme* werden auf Acker stärker durch die P-Fracht als durch die TS-Begrenzung, auf Grünland stärker durch die TS-Begrenzung als durch P limi-

tiert. Durch die P-Verluste in der Kläranlage steigt jedoch der NNG auf Acker nicht über 0,50 bzw. 0,55, auf Grünland bleibt er durch die TS-Begrenzung unter 0,5.

Alle Wirtschaftsdünger mit Ausnahme von *Rindergülle* auf Grünland (wird durch das WRG limitiert) erreichen auf allen Standorten den maximalen NNG. Durch die zunehmenden Limitierungen der einzelnen Güter (P-Fracht, N-Fracht, TS-Obergrenzen) steigt der mittlere NNG nur bei Grünland noch geringfügig an (+ 12 % bei Grünland gegenüber der Variante +50 % in 100 Jahren). Bei Sonderkultur-Standorten bleibt der Wert unverändert bei 0,88. Für die Wirtschaftsdünger stehen potentiell mehr als 3 mal mehr Flächen zur Verfügung als benötigt werden.

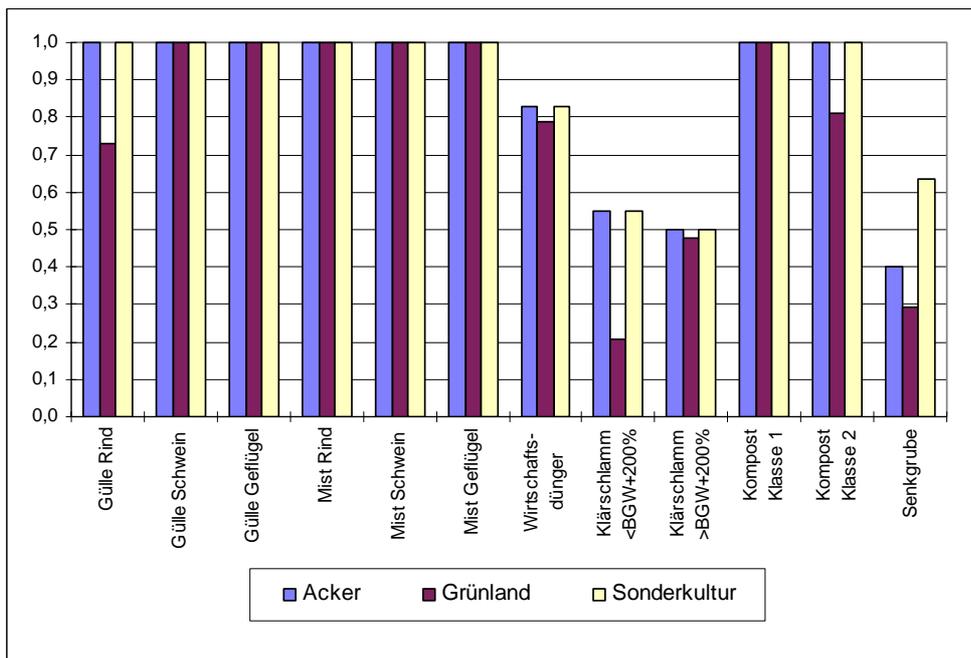


Abbildung 5-23: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 100 Jahren

Stickstoff: Die mittleren Stickstoff-Nährstoffnutzungsgrade steigen auf Acker nicht mehr, auf Grünland hingegen noch um ca. 15 % (von 0,42 auf 0,48). Die Werte von *Kompost Klasse 1* liegen leicht besser als jene der Summe der Wirtschaftsdünger.

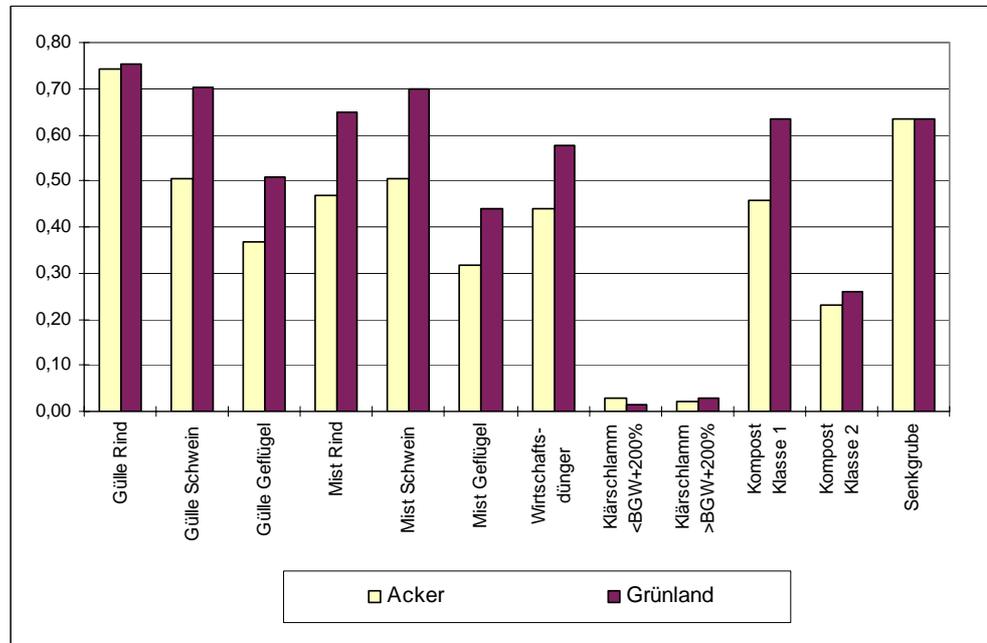


Abbildung 5-24: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 100 Jahren

5.5.6.4 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +10 % in 500 Jahren

Diese Variante ist die „strengste“ Variante.

Keines der Güter wird durch die jeweilige N oder P-Fracht bzw. durch Begrenzungen der erlaubten Aufbringungsmengen begrenzt. Somit kann durch kein Gut der flächenspezifische Nährstoffbedarf abgedeckt werden.

Phosphor: Die potenziell verfügbare Fläche reicht bei Betrachtung der einzelnen Gütern mit Ausnahme der *Schweinegülle* auf Grünlandflächen aus. Für dieses Gut stehen etwa 10 % zu wenig Grünlandflächen zur Verfügung. Für die Aufbringung der Summe der Wirtschaftsdünger steht in dieser Variante etwa 12 % (Ackerfläche benötigt: ca. 25.000 ha, verfügbar ca. 22.000 ha) bis 100 % (Grünland benötigt: 36.000 ha, verfügbar ca. 18.000 ha) zu wenig Fläche zur Verfügung.

Diese Werte geben nur die Resultate der methodischen Betrachtung wieder: Wird bedacht, dass bei der Berechnung des Nährstoffnutzungsgrades ein „Export“ von 35 % der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen angenommen wird, so erhöhen sich in der Praxis bei dieser Variante die zusätzlich benötigten Flächen für die Summe der Wirtschaftsdünger um etwa 25.000 ha auf 86.000 ha, und damit auf das doppelte der tatsächlichvorhandenen regionalen landwirtschaftlichen Fläche. Allein für das Gut Schweinegülle müsste die verfügbare Fläche nach dieser Variante um mehr als

10 % größer als die derzeitige gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Raabtales sein.

Der mittlere NNG liegt bei Acker bei 0,3 bei Grünland bei etwa 0,2, bei Sonderkulturen um 0,45. Der höchste P-Wert auf Grünland wird durch *Kompost Klasse 1* (0,42) erreicht. Auf Ackerstandorten liegen hingegen die Wirtschaftsdünger *Rindergülle*, *Geflügelgülle* und *-mist* vor *Kompost Klasse 1*. *Schweinegülle* erzielt vor den *Komposten Klasse 2* auf Acker die zweitschlechtesten auf Grünland die schlechtesten Werte. Die beiden Klärschlämme liegen sowohl auf Acker als auch auf Grünland über dem Mittel für die Wirtschaftsdünger.

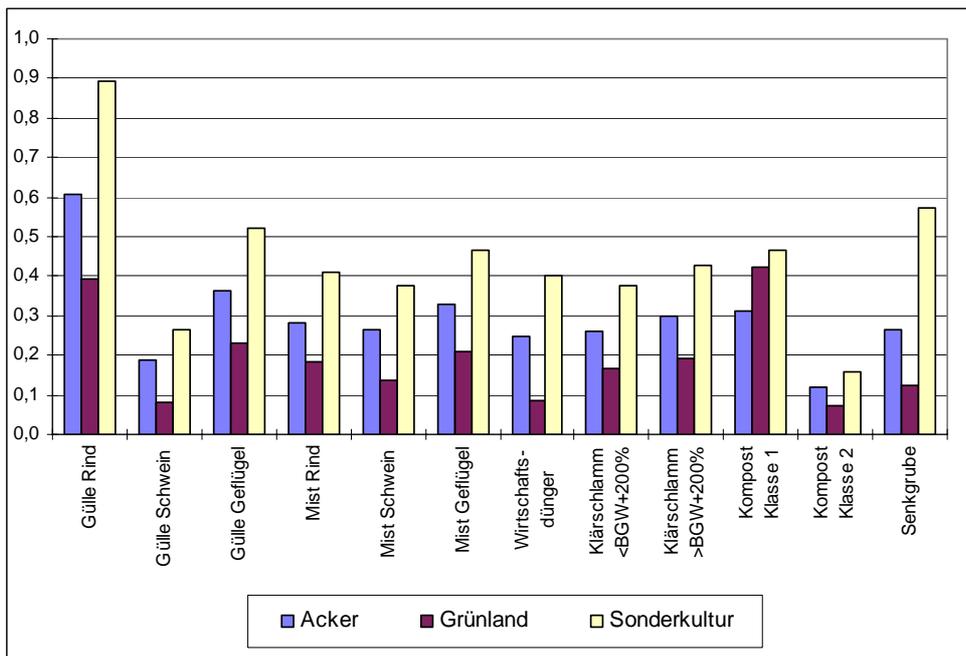


Abbildung 5-25: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 500 Jahren

Stickstoff: Der mittlere NNG von N liegt bei Acker und Grünland bei lediglich 0,15 bzw. 0,13. *Rindergülle* (0,45) und *Senkgrubeninhalte* (0,42) weichen auf Acker, *Rindergülle*, *Senkgrubeninhalte* und *Kompost Klasse 1* 0,27 auf Grünland deutlich nach oben vom Mittelwert ab. Die *Klärschlämme* und *Kompost Klasse 2* (jeweils maximal 0,03) weichen nach unten ab.

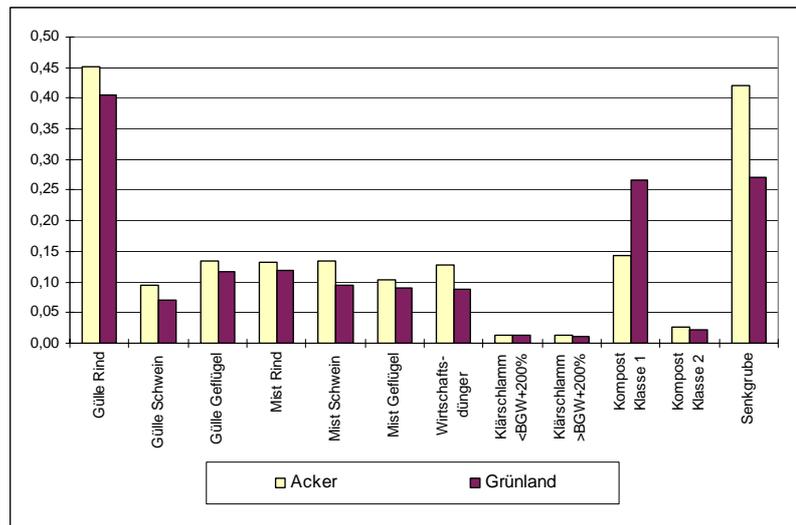


Abbildung 5-26: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +10 % in 500 Jahren

5.5.6.5 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +50 % in 500 Jahren

Phosphor: Auf Sonderkulturstandorten werden alle Güter mit Ausnahme von *Schweinegülle* und *Kompost Klasse 2* durch die P-Limitierung in der Aufbringungsmenge beschränkt.

Auf Grünlandstandorten werden 2 Güter limitiert: *Klärschlamm <BGW+200 %* durch die erlaubte maximale Aufbringungsmenge von 1,25 t TS/ha.a sowie *Rindergülle* durch N.

Auf Äckern wird *Rindergülle* sowie *Klärschlamm >BGW+200 %* (durch P) begrenzt.

Die für die Aufbringung der einzelnen Güter benötigten Ackerflächen liegen auf Acker zumindest um 65 %, auf Grünland um 45 % (*Schweinegülle*) unter den benötigten Flächen. Für die Summe der Wirtschaftsdünger ist ausreichend Ackerfläche (Polster von rund 10 %) vorhanden. Hingegen ist für die Ausbringung auf Grünland um 34 % zuwenig Fläche verfügbar.

In der Praxis (werden die methodisch erlaubten „Exporte“ von Wirtschaftsdüngern nicht berücksichtigt) ist die verfügbare Grünlandfläche um mehr als 30 % zu klein, bei den Ackerflächen verbleibt ein Polster von 10 % der Flächen.

Rindergülle weist die besten Werte auf Ackerstandorten auf. Auf Grünland liegt der Wert für *Kompost Klasse 1* am höchsten. Die Werte der *Klärschlämme* entsprechen in etwa jenen des *Schweinemists*. Die mittleren NNG's liegen mit 0,57 auf Acker und 0,4 auf Grünland rund doppelt so hoch wie in der Variante +10 % in 500 Jahren.

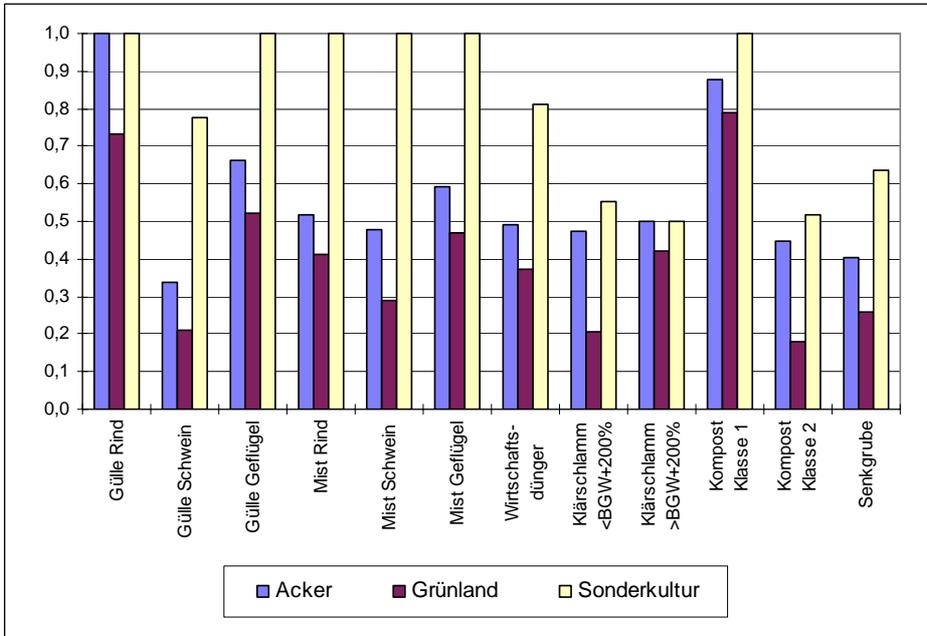


Abbildung 5-27: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 500 Jahren

Stickstoff: Rindergülle weist die besten Werte auf, gefolgt von Senkgrubeninhalten und auf Grünland von Kompost Klasse 1. Die mittleren Werte (0,27 bei Acker und Grünland) liegen etwa doppelt so hoch wie in der Variante + 10 % in 500 Jahren. Die Werte dieser Variante sind annähernd gleich hoch wie jene der Variante + 10 % in 100 Jahren.

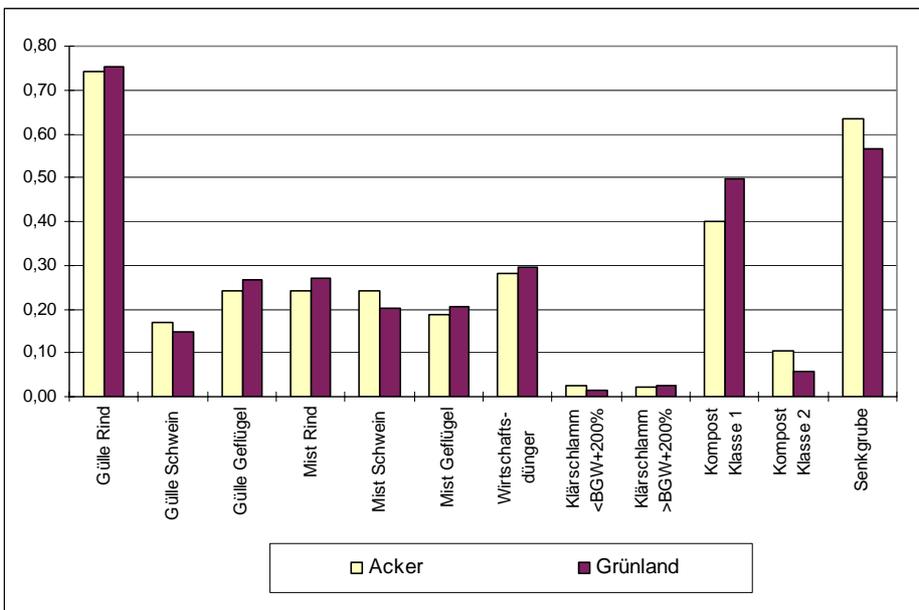


Abbildung 5-28: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +50 % in 500 Jahren

5.5.6.6 Nährstoffnutzungsgrade der Variante +100 % in 500 Jahren

Phosphor: Auf Sonderkulturstandorten werden alle Güter mit Ausnahme von *Kompost Klasse 2* durch die P-Limitierung in der Aufbringungsmenge beschränkt. Auf Grünlandstandorten werden fünf Güter, darunter die *Klärschlämme* sowie *Kompost Klasse 1*, limitiert (1 davon durch P, 2 durch N, 2 durch die maximale TS-Obergrenze). *Kompost Klasse 1* wird dabei durch P und nicht durch das WRG begrenzt. Auf Äckern werden 6 Güter begrenzt, wobei wiederum unter andern die Klärschlämme limitiert werden (5 davon durch P, 1 durch N).

Auf Sonderkulturstandorten wird ein NNG von 1 durch 7 Güter erreicht. Auf Grünlandstandorten weist nur *Kompost Klasse 1* einen Wert von 1 auf, auf Acker erreichen *Rindergülle*, *Geflügelgülle* und *Kompost Klasse 1* den Maximalwert von 1. Die schlechtesten NNG's haben auf Grünland *Klärschlamm <BGW+200 %* (0,21) und *Senkgrubeninhalte* (0,29), auf Acker *Klärschlamm >BGW+200 %* (0,50) und *Senkgrubeninhalte* (0,40).

Der mittlere Wert von Acker beträgt 0,54 jener von Grünland 0,55, auf Sonderstandorten 0,86.

Die Wirtschaftsdünger liegen im Durchschnitt vor den Klärschlämmen.

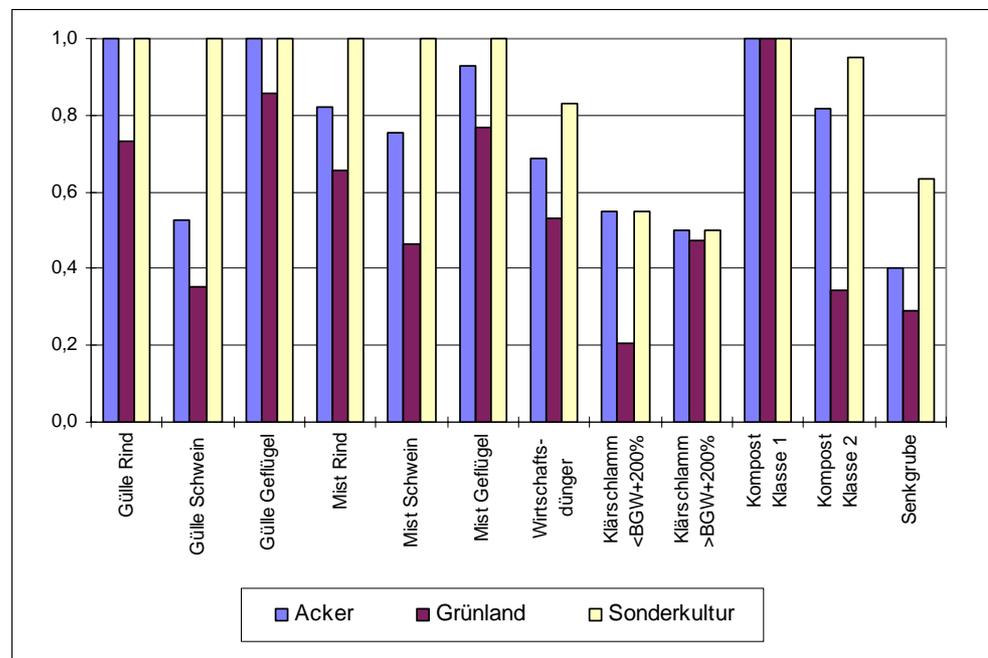


Abbildung 5-29: P-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 500 Jahren

Stickstoff: Die NNG's steigen deutlich an. Für Acker von 0,24 auf 0,34 und für Grünland von 0,27 auf 0,36. Sowohl auf Acker als auch Grünland hat *Rindergülle* den höchsten NNG, gefolgt von *Senkgrubeninhalten* und *Kompost Klasse 1*.

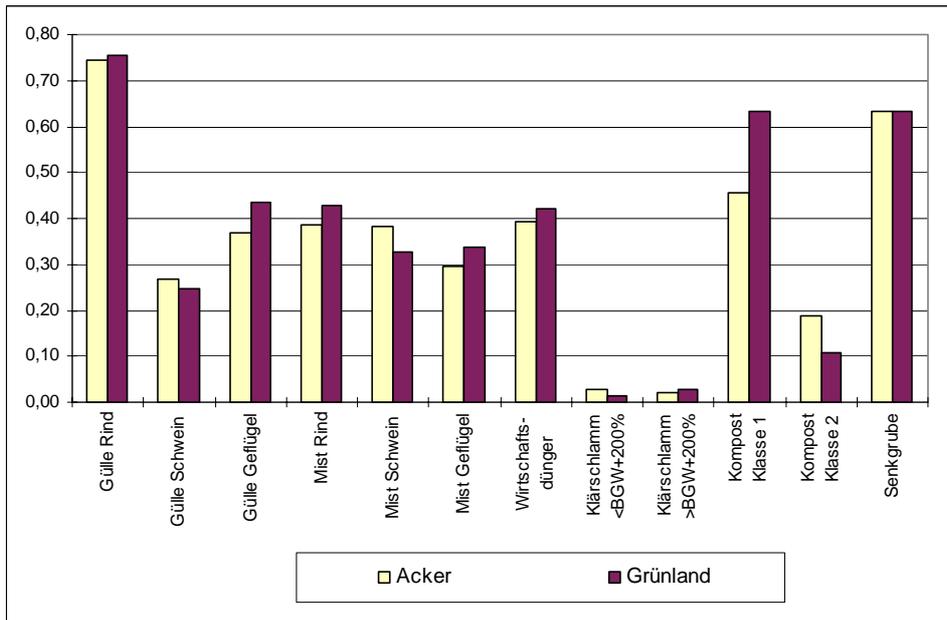


Abbildung 5-30: N-Nährstoffnutzungsgrade Variante +100 % in 500 Jahren

5.5.6.7 Vergleich der Varianten entsprechend der Aufbringungsmengen

In diesem Kapitel werden die nachhaltig aufbringbaren Trockensubstanzmengen (unter Berücksichtigung der verschiedenen Begrenzungen) in den berechneten Varianten miteinander verglichen. Die Vergleiche beschränken sich auf Acker und Grünlandstandorte.

Es zeigt sich, dass ein längerer Anreicherungszeitraum oder eine kleinere erlaubte Lageranreicherung keine proportionale Abnahme der Aufbringungsmengen mit sich bringt. Die detaillierten Ergebnisse der Variantenvergleiche können Abbildung 5-31, Abbildung 5-32 dem Anhang B Tabellen 13, 14 und 15 entnommen werden.

Vergleich der 100-Jahre Varianten:

Eine Zunahme der erlaubten Anreicherung von + 10 % auf + 50 % bringt eine Zunahme der aufbringbaren TS je nach vorliegender Begrenzung auf Äckern und Grünland zwischen 0 und 320 %. Am stärksten können dabei die Aufwandmengen von *Kompost Klasse 2* gesteigert werden. Auch die jährliche Aufbringung von *Schweinegülle* und *-mist* kann um über 200 % gesteigert werden.

Dadurch, dass bereits einige Güter der +50 % Variante durch ihren Nährstoffgehalt oder die TS-Menge bei der Aufbringung limitiert sind, bringt die Ausdehnung der erlaubten Lageranreicherung von +50 % auf + 100 % auf Acker nur bei *Schweinegülle* (+5 %) auf Grünland bei *Kompost Klasse 2*, *Rindermist*, *Schweinemist* und *Schweinegülle* zusätzliche aufbringbare Mengen.

Vergleich der 500-Jahre Varianten:

Je nach Gut steigen die Aufwandmengen zwischen rund 20 % (*Klärschlamm* <BGW+200 %, Grünland) und 275 % (*Kompost Klasse 2* auf Äckern). Die Wirtschaftsdüngermengen können dabei auf Äckern zwischen 65 und 85 %, auf Grünland zwischen 85 und 125 % gesteigert werden. Der Vergleich +50 % zu +100 % ergibt bei den meisten Gütern noch deutliche Ausweitungen der Aufbringungsmengen. So etwa rund 60 % mehr *Rindermist*, *Schweinemist*, *-gülle*, *Geflügelmist* auf Ackerstandorten. Auf Grünlandstandorten können die Aufwandmengen von Wirtschaftsdüngern (mit Ausnahme von *Rindergülle*) um 60 bis 65 % gesteigert werden. Auch die Aufbringung von *Kompost Klasse 2* kann noch um über 80 % gesteigert werden

Vergleich der 100-Jahre Varianten mit den 500 Jahre Varianten:

Wird der Anreicherungszeitraum von 100 auf 500 Jahre gesteigert, so sinken die Aufbringungsmengen in der +10 % Variante um 20 % (*Kompost Klasse 1*, Grünland) bis 70 % (*Kompost Klasse 2*, Acker). Die Aufbringungsmengen der Wirtschaftsdünger und *Klärschlamm* <BGW+200 % sinken um rund 40 %.

Die aufbringbaren Mengen in den beiden +50 %-Varianten unterscheiden sich stärker als die Mengen der 10 %-Varianten. Die Mengen an Wirtschaftsdüngern sinken bei Verlängerung des Anreicherungszeitraumes um 35 % (*Gülle Geflügel*, Acker) bis 65 % (*Schweinemist*, Acker) (Ausnahme *Rindergülle*: bleibt konstant). Die Aufbringung von *Kompost Klasse 1* sinkt um 12 % (Acker) bzw. 21 % (Grünland). Die Aufbringungsmengen von *Kompost Klasse 2* sinken um 55 % (Acker) bis 75 % (Grünland).

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Eine Verfünffachung (von + 10 % auf +50 %) der erlaubten Lageranreicherung erhöht auf Acker die aufbringbaren TS-Mengen der Wirtschaftsdünger maximal um 80 % (500 Jahre Variante) bis 200 % in der 100 Jahre Variante. Die Aufwandmengen von Komposten können stärker gesteigert werden. Bei allen Gütern ist die Steigerung der Aufbringungsmengen jedoch deutlich unterproportional.

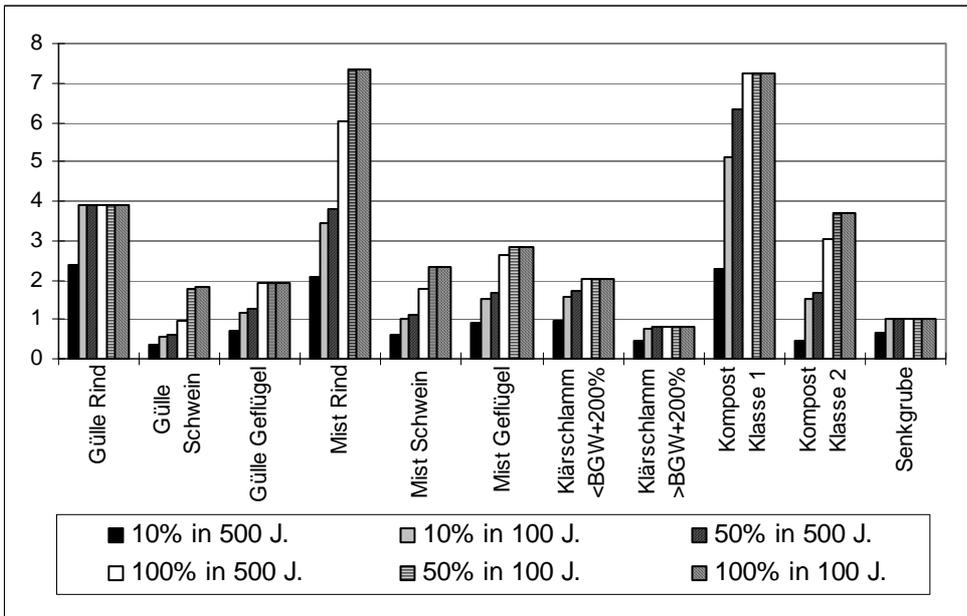


Abbildung 5-31: Maximale Aufbringungsmengen der Güter auf Acker in den betrachteten Varianten in t TS/ha.a

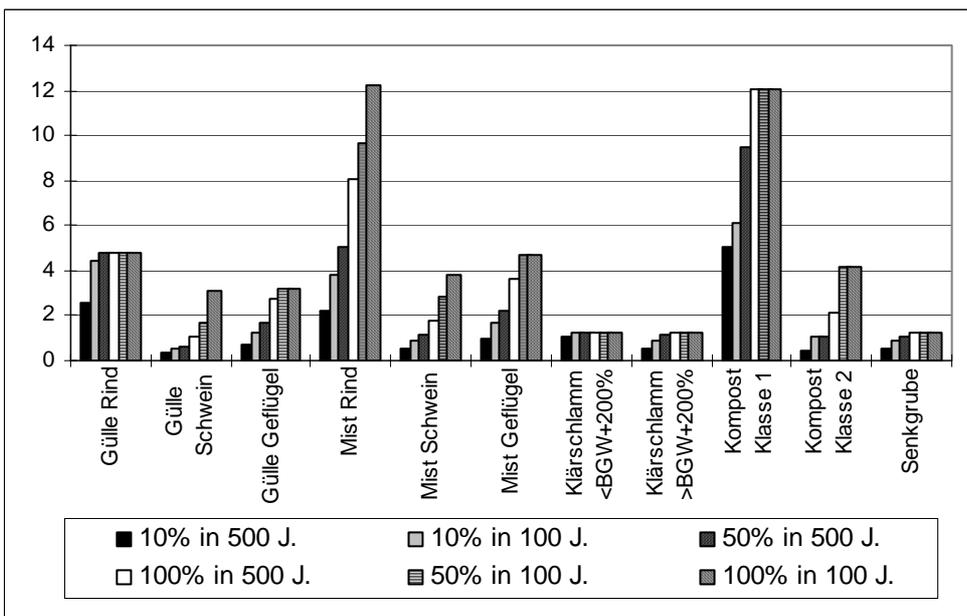


Abbildung 5-32: Maximale Aufbringungsmengen der Güter auf Grünland in den betrachteten Varianten in t TS/ha.a

5.5.6.8 Auswertung der die Aufbringungsmengen limitierenden Faktoren

Das Ausbringen der einzelnen Güter kann durch mehrere Begrenzungen gleichzeitig limitiert sein. Im folgenden wir hier nur eine kurze Übersicht über die jeweils am

stärksten limitierenden Faktoren dargestellt. Die Auswertung bezieht sich dabei auf die Bodennutzungen Acker und Grünland.

Generell können folgende Aussagen für das Raabtal getroffen werden:

- Die Ausbringung von Gütern wird auf Grünlandstandorten öfter durch das Schwermetallkriterium eingeschränkt als auf Äckern.
- Bei allen 500-Jahr-Varianten wird die Ausbringung vor allem durch den Schwermetallgehalt begrenzt, bei den 100 Jahr-Varianten hingegen nur die erste Variante (+10 %).
- Die Ausbringung bei den 100 jährigen Varianten wird vor allem durch den P-Bedarf und nicht durch das Wasserrechtsgesetz (N-Limitierung) begrenzt. Hierbei ist zu bedenken, dass die für Acker erhobene P-Versorgung (Versorgungsstufe B) stark an der Grenze zur Versorgungsstufe C liegt. Für die Stufe B wurden P-Düngergaben in Ansatz gebracht, die um 25 % über dem Ernteentzug liegen. Bei besser versorgten Böden, würde die P-Begrenzung noch wesentlich deutlicher wirksam werden. Dies gilt sinngemäß auch für Grünland: verschiebt sich die P-Versorgung des Grünlandes von der Gehaltsstufe A zur Stufe B so wird ein geringerer P-Bedarf in Ansatz gebracht (anstatt +50 % über dem Entzug +25 %).
- Die TS-Limitierung (Bodenschutzgesetz, ÖNORM S2200) kommt nur auf Grünlandstandorten zum Tragen.
- Wirtschaftsdünger werden mengenmäßig nur durch ihren Schwermetall- oder ihren P-Gehalt begrenzt. Ausnahme: *Rindergülle* wird auf Grünland durch ihren N-Gehalt begrenzt.
- Die *Klärschlämme* werden auf Grünland durch die Schwermetalle oder durch die TS-Begrenzungen limitiert, auf Acker durch die Schwermetalle oder die P-Gehalte.
- *Komposte* der *Klasse 1* und *2* werden auf Acker durch die Schwermetalle oder die P-Gehalte limitiert. Auf Grünland limitiert der Schwermetallgehalt oder der P-Gehalt die Ausbringung der *Komposte Klasse 1*, *Komposte Klasse 2* werden durch den Schwermetallgehalt oder die TS-Begrenzung limitiert.
- Die *Senkgrubenhälte* werden mengenmäßig durch die Schwermetall- oder die Stickstoffgehalte limitiert.

Die folgenden beiden Tabellen geben eine Übersicht, welche Güter in den einzelnen Varianten durch welche Limitierung mengenmäßig bei der Ausbringung begrenzt werden. Anhand dieser Tabellen können auch jene „Schrauben“ erkannt werden, die verstellt werden müssten, um größere Gütermengen je Flächeneinheit ausbringen zu können. Bsp. die Begrenzung „TS“ weist darauf hin, dass eine Lockerung der Begrenzungen der Aufbringungsmengen möglich ist, ohne das Schwermetallkriterium zu überschreiten. Eine Begrenzung „SM“ bedeutet, dass bei geringeren Schwermetallgehalten im entsprechenden Gut mengenmäßig mehr ausgebracht werden könnte. Doch die erhöhten Aufbringungsmengen durch die Lockerung der TS-Begrenzungen oder durch die Absenkung der Schwermetallgehalte werden wiederum durch die anderen begrenzenden Faktoren begrenzt. (Bsp.: Durch eine Lockerung der TS-Obergrenze werden sowohl mehr Schwermetalle als auch mehr Nährstoffe eingetragen, wodurch zunehmend das Schwermetallkriterium oder der P-Bedarf oder das Wasserrechtsgesetz begrenzend werden.)

Tabelle 5-36: Aufbringungsmengen-beschränkende Kriterien der einzelnen Wirtschaftsdünger

		Gülle Rind	Gülle Schwein	Gülle Geflügel	Mist Rind	Mist Schwein	Mist Geflügel
10% in 100 Jahren	Acker	P	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
	Grünland	Zn	Cu	Zn	Zn	Cu	Zn
50% in 100 Jahren	Acker	P	Zn	P	P	P	P
	Grünland	N	Cu	P	Cd	Cu	P
100% in 100 Jahren	Acker	P	P	P	P	P	P
	Grünland	N	P	P	P	P	P
10% in 500 Jahren	Acker	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
	Grünland	Zn	Cu	Zn	Zn	Cu	Zn
50% in 500 Jahren	Acker	P	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
	Grünland	N	Cu	Zn	Zn	Cu	Zn
100% in 500 Jahren	Acker	P	Zn	P	Zn	Zn	Zn
	Grünland	N	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn

Tabelle 5-37: Aufbringungsmengen-beschränkende Kriterien der einzelnen Klärschlämme und Komposte

		Klärschlamm <BGW+200%	Klärschlamm >BGW+200%	Kompost Klasse 1	Kompost Klasse 2	Senkgrube
10% in 100 Jahren	Acker	Zn	Zn	Cd	Pb	N
	Grünland	TS	Zn	Cd	Pb	Cu
50% in 100 Jahren	Acker	P	P	P	P	N
	Grünland	TS	TS	P	TS	N
100% in 100 Jahren	Acker	P	P	P	P	N
	Grünland	TS	TS	P	TS	N
10% in 500 Jahren	Acker	Zn	Zn	Pb	Pb	Cu
	Grünland	Zn	Zn	Cd	Pb	Cu
50% in 500 Jahren	Acker	Zn	P	Cd	Pb	N
	Grünland	TS	Zn	Cd	Pb	Cu
100% in 500 Jahren	Acker	P	P	P	Pb	N
	Grünland	TS	TS	P	Pb	N

Im Anhang B Tabellen 25 - 27 wird dargestellt, inwieweit die Ausbringungsmengen erhöht werden könnten, wenn die vorgegebene „erlaubte“ Schwermetallanreicherung im Boden voll ausgeschöpft werden würde. Ausgangsbasis ist dabei die ausbringbare TS-Menge unter Berücksichtigung aller Aufbringungs-Begrenzungen. Bsp.: Ein Wert von 50 % P-limit. bedeutet, dass die erlaubte ausbringbare TS-Menge um 50 % erhöht werden könnte, wenn der P-Bedarf der angebauten Kulturen um 50 % höher wäre.

5.5.7 Einzelkompostierung

Rund 80 % der Bevölkerung (80.760 E) betreibt Einzelkompostierung [BDL, 1999a]. Unter Einzelkompostierung wird dabei die Kompostierung biogener organischer Materialien nach deren getrennter Bereitstellung im Haushalt am Anfallort verstanden. Haushalte mit ausgewiesener Einzelkompostierung sind nicht an die Biomüllsammlung angeschlossen. Die Mehrheit der Einzelkompostierer (Ek) (rund 70 %) bringt den Bioabfallkompost auf Nutzgartenflächen auf, etwa 15 % der Befragten bringen den anfallenden Kompost auf Ziergarten auf, und etwa 10 % der Befragten nutzen die gesamte Gartenfläche für die Kompostaufbringung.

Es wurde folgende verfügbare Aufbringungsfläche abgeschätzt: Die durchschnittliche Nutzgartenfläche beträgt 22 m²/Ek, in Summe somit 178 ha. Potentiell stehen bei Nutzung aller Gartenflächen 2.124 ha zur Verfügung. Detaillierte Angaben über die Erhebungen finden sich in [BDL, 1999b].

Die von [BDL, 1999a] ausgewiesenen Einzelkompostmengen von 760 t TS beziehen sich auf den allein durch Speisereste aus den Haushaltungen erzeugten Kompost. Grünabfälle sind somit nicht enthalten. In der Praxis fallen jedoch die beiden Güter gemeinsam an. Die jährliche, flächenbezogene Grünmasseproduktion von Gartenpflanzen liegt in der Größenordnung von 1,5 bis 2,5 kg/m² [Wiemer & Sprick,

1996]. Auf den erhobenen Ziergarten- und Rasenflächen von rund 250 m²/Ek [BDL, 1999] werden somit jährlich im Mittel eine Grünmasse von 40.000 t FS produziert; bei einem Wassergehalt von 70 % entspricht dies 12.000 t TS. Der Organikanteil in der TS beträgt ebenfalls etwa 70 % [Wintzer et al. 1996]. Bei einem angenommenen Rotteverlust von 65 % der organischen TS [Wintzer et al. 1996] ergibt sich eine Kompostmenge von 6.540 t TS. Der hohe Abbaugrad kann vor allem durch die lange Rottezeit von über einem Jahr von Einzelkompost begründet werden.

In Summe fallen somit bei einer vollständigen Mitkompostierung des Grünschnitts 7.300 t TS Einzelkompost an. Dies entspricht etwa 150 kg Kompost/Ek.a (mit 40 % Wassergehalt).

Die Nährstoffgehalte in Bioabfallkomposten schwanken für N zwischen 0,4 und 2,8 % in der TS in Abhängigkeit von Sammelgebiet und Jahreszeit. Sie liegen im Mittel bei 1,2 % der TS. Die P₂O₅-Gehalte liegen im Mittel bei 0,8 % in der TS. Die Nährstoffkonzentrationen von Pflanzenabfallkomposten liegen u.a. aufgrund des Ausgangsmaterials unter jenen der Bioabfallkomposte (N im Mittel 0,9 % der TS, P₂O₅-Gehalte bei 0,43 %) [Wintzer et al. 1996].

Diesen Konzentrationen werden folgende eigene Abschätzungen gegenübergestellt: Beim Anfall der Grünmasse wird angenommen, dass es sich um Rasen handelt. Die Nährstoffkonzentrationen für Rasen wurden aufgrund der Literatur [Wintzer et al. 1996] für N mit 1 % N der TS, jene von P₂O₅ mit 0,5 % in der TS angenommen. Durch den Abbau der organischen Substanz kommt es zu einer Aufkonzentrierung der Nährstoffe, gleichzeitig geht insbesondere Stickstoff unter ungünstigen Bedingungen entweder gasförmig oder über das Sickerwasser verloren. Für die Stickstoffverluste wurden 35 % angesetzt. Dieser Kompost wurde mit dem von [Diebold, 1999a] dargestellten Kompost aus Speiseresten mengenmäßig gewichtet und folgende Nährstoffkonzentrationen für den Einzelkompost (Summe aus Rasen und Speiseresten) errechnet: N: 1,35 %N, P: 0,41 % der TS.

Von *Einzelkomposten* aus der Region liegen keine Analysewerte vor. Für die Schwermetallkonzentrationen wurden deshalb die Werte der *Komposte Klasse 1* verwendet.

Es ist unbekannt, welche Mengen an Grünschnitt tatsächlich mitkompostiert werden. In den im folgenden vorgestellten Varianten wird dabei angenommen, dass 100 % (Variante 1 und 3) bzw. (implizit) ca. 50 % des Grünschnitts mitkompostiert werden (Variante 2).

Folgenden Varianten werden betrachtet:

- (1) 70 % der anfallenden Kompostmenge von 7.300 t TS werden nur auf Nutzgarten aufgebracht. Nach [BDL, 1999b] stehen dabei 22 m² je Ek zur Verfügung (in Summe 178 ha). Die restlichen 30 % werden auf Ziergarten und Rasenflächen ausgebracht. Da etwa 90 % des Kompostausgangsmaterials von diesen Flächen entstammen, kann es hier durch den Einzelkompost bedingt zu keinen Schwermetallanreicherungen kommen, und wird deshalb nicht näher betrachtet.
- (2) Wie (1) jedoch doppelte Ausbringungsfläche (44 m² E/a); dieser Fall ist hypothetisch, da nur 22 m² /Ek Nutzgarten verfügbar sind. Der Fall entspricht jedoch der Situation, wenn etwa die Hälfte des Grünschnitts mitkompostiert wird. Diese Variante dient vor allem dazu die Auswirkungen unterschiedlicher Aufbringungsmengen auf die Schadstoffkonzentrationen im Boden zu demonstrieren.
- (3) 100 % der anfallenden Kompostmenge werden gleichmäßig auf Rasen, Zier- und Nutzgarten aufgebracht. Dabei stehen im Schnitt etwa 250 m² je Ek zur Verfügung (in Summe 2.154 ha).

Es werden folgende zusätzlichen Annahmen getroffen:

- Um den Schwermetallentzug über die (Gemüse)Ernte abzuschätzen, mussten gegenüber der Ackernutzung veränderte Transferkoeffizienten angenommen werden. Dies insbesondere deshalb, da die Haupt-Ackerkultur Mais besonders wenig, manche Gemüse jedoch besonders viel Schwermetalle akkumulieren (Blattgemüse und vor allem Spinat) [Lübben & Sauerbeck, 1991]. Die auf den Nutzgärten angebauten Gemüsearten sind nicht bekannt. Die Annahmen über die Transferkoeffizienten geben somit nur eine Größenordnung wieder. Folgende Transferkoeffizienten wurden in Variante (1) und (2) angenommen: Zink: 1 (0,33 Möhren - 3,24 Spinat); Kupfer: 0,35 (0,16 Blattsellerie - 0,42 Feldsalat); Blei: 0,04 (0,008 Möhren - 0,074 Radieschen); Cadmium: 1 (0,12 Erbsen - 5,34 Spinat). Für Variante (3) wurden die „Gemüse-Transferkoeffizienten“ sowie die für das Raabtal verwendeten Grünlandtransferkoeffizienten entsprechend den Flächenanteilen gewichtet: Zink: 0,85; Kupfer: 0,39; Blei: 0,04, Cadmium 0,54.
- Zur Berechnung des Stoffaustrages an Zn, Cu, Cd, Pb durch die Gemüsepflanzen wurden mittlere Erntemengen und durchschnittlichen Stoffkonzentrationen verwendet. Für die Variante (3) wurden die Entzüge über die Gemüsepflanzen mit den Entzügen von Rasen entsprechend der Flächen gewidmet.
- Für die Erosion wurde in Variante (1) und (2) die selbe Bodenmenge wie für die Äcker angenommen (1.425 kg/ha.a). Ebenso wurden für die Auswaschung die Werte der Ackerkulturen verwendet. In Variante (3) wurden die Erosionsansätze

für Acker und Grünland entsprechend der Fläche gewichtet. Es errechnet sich ein Bodenabtrag von 520 kg/ha.a.

- Als Durchmischungshorizont wurde sowohl im Nutzgarten als auch den Ziergarten- und Rasenflächen 15 cm angenommen.
- Für die Deposition wurden die selben Depositionsraten wie für das Raabtal in Ansatz gebracht.
- Als Ausgangskonzentration im Boden wurden die Konzentrationen der Ackerböden (0-30 cm) herangezogen.

Variante (1)

In dieser Variante werden 28,8 t TS/ha.a bzw. 2,9 kg TS/m².a aufgebracht (entspricht etwa 3,6 l FS/m²). Im Vergleich dazu geben [Vogtmann & Kehres, 1990] Anwendungsempfehlungen für Biomüllkompost für Gemüse-Starkzehrer von 4-6 kg FS/m², für Schwachzehrer 1-2 kg FS/m² und für Rasen 2-3 kg FS/m² an. Im Entwurf der Kompostverordnung [BMLFU, 2000] wird als Anwendungsempfehlung für den Hobbygarten eine jährliche Aufbringungsmenge von max. 10 l/m² (!) empfohlen.

In dieser Variante entstammen über 90 % des Zinks, Kupfers, Bleis und Cadmiums dem aufgebrauchten Einzelkompost.

Bezogen auf die aktuelle Bodenkonzentration ist die größte Schwermetallanreicherung für das Element Cadmium, gefolgt von Blei zu erwarten. Nach 100 (500) Jahren hat das Cadmiumlager um etwa 380 % (480 %), das Pb-Lager um fast 200 % (350 %) zugenommen. Zink steigt um etwa (150) 260 % und Kupfer um 75 % (150 %). Bei einem längeren Berechnungszeitraum als 500 Jahre findet bei allen 4 betrachteten Elementen praktisch keine weitere Anreicherung statt (am meisten bei Blei wo das Lager von 350 auf 360 % steigt).

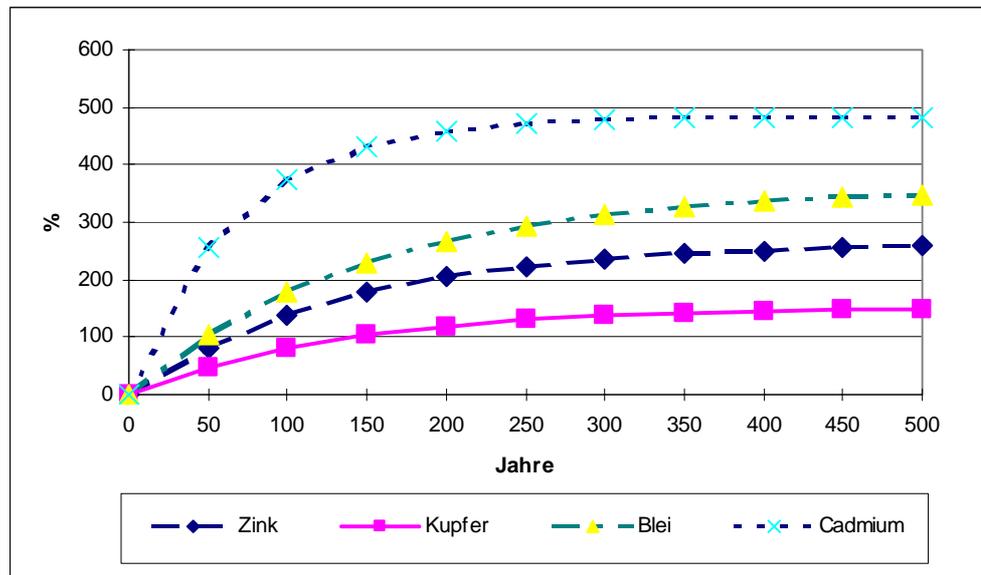


Abbildung 5-33: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 1 bezogen auf das Ausgangslager

Gäbe es keinen Schwermetalleintrag durch Deposition so würde eine Kompostmenge von 3,43 t TS/ha.a zu einer 50 %-igen Lagerveränderung innerhalb von 500 Jahren führen (Zink wirkt begrenzend), eine Kompostmenge von 1,3 t TS/ha.a zu einer 10 % Lagerveränderung im genannten Zeitraum (Blei wäre begrenzend). Diese Berechnung gilt nur für die verwendeten Stoffkonzentrationen. Sinkt die Deposition so würden auch die Schadstoffkonzentrationen im Ausgangsmaterial sinken, und damit im erzeugten Kompost. Dadurch wäre auch die Anreicherung geringer.

Variante (2)

In dieser Variante werden 14,4 t TS/ha.a bzw. 1,44 kg TS/m².a aufgebracht. Unter diesen Vorgaben entstammen etwa 15 % des Zinks, 10 % des Kupfers und Bleis sowie 20 % des Cadmiums der Deposition.

Bezogen auf die aktuelle Bodenkonzentration ist die größte Schwermetallanreicherung für das Element Cadmium und Blei zu erwarten. Nach 500 Jahren haben beide Lager um etwa 310 % zugenommen. Das Zinklager steigt um rund 225 %, das Cu-Lager um etwa 120 %. Noch längerfristig betrachtet steigen die Bodenlager von Blei auf 380 %, von Cadmium auf 315, von Zink auf 260 % und von Kupfer auf 135 %.

Wird der Betrachtungszeitraum noch weiter verlängert, so würde das Lager an Blei maximal um 275 %, an Zink um 155 % an Cadmium um 36 % und Kupfer um nicht ganz 30 % bezogen auf das derzeitige Lager erhöht werden.

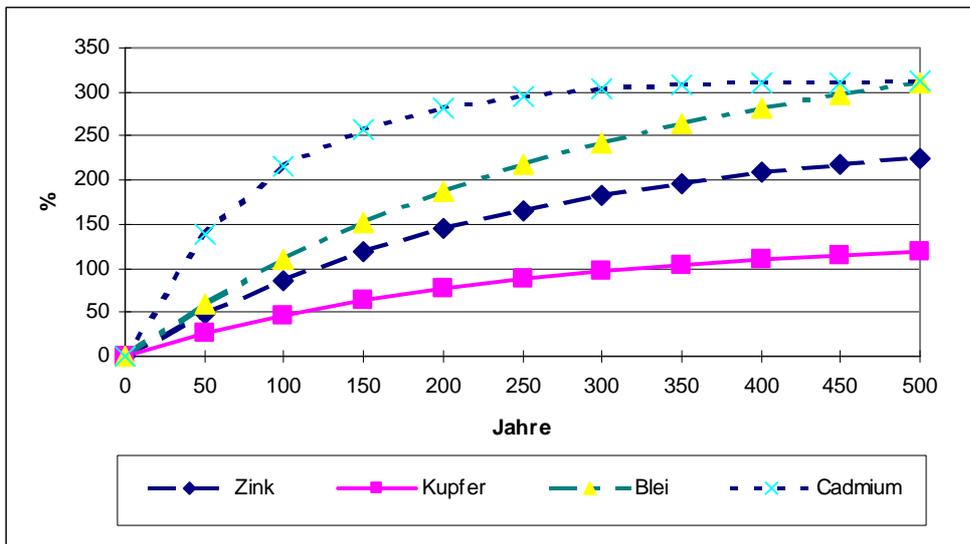


Abbildung 5-34: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 2 bezogen auf das Ausgangslager

Variante (3)

In dieser Variante werden 3,4 t TS/ha.a bzw. 0,34 kg TS/m².a aufgebracht. In dieser Variante entstammen knapp 45 % des Zinks, 35 % des Kupfers und Bleis sowie etwa 50 % des Cadmiums der Deposition.

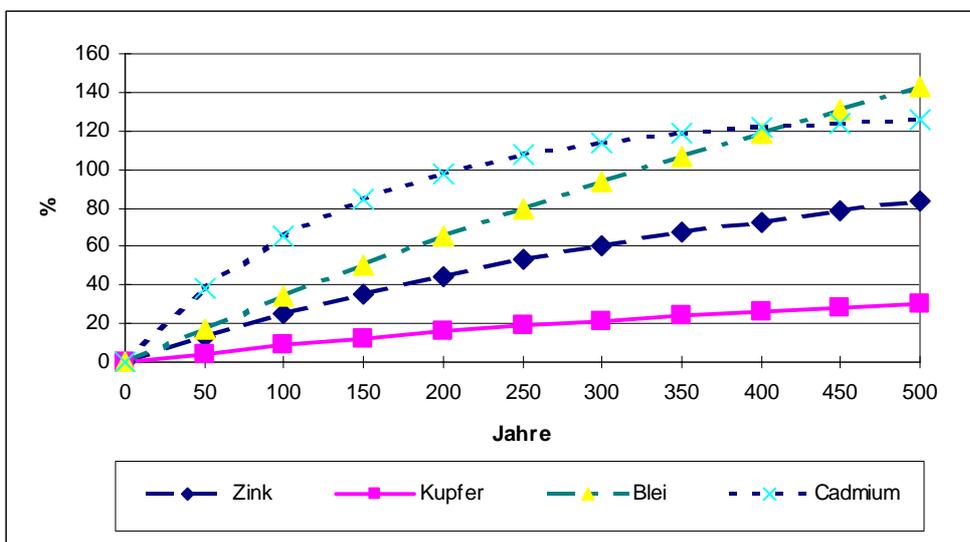


Abbildung 5-35: Berechnete Lagerveränderung bei Einzelkompostierung Variante 3 bezogen auf das Ausgangslager

Die stärkste Anreicherung in 500 Jahren errechnet sich für Blei (+ 140 %) gefolgt von Cadmium (+ 125 %), Zink (+85 %) und Kupfer (+30 %) jeweils bezogen auf das Ausgangslager. Noch längerfristig würde sich das Bleilager auf 390 %, das Cad-

miumlager auf 130 %, jenes von Zink auf 125 % und das Kupferlager auf 50 % erhöhen.

Einzelkompostierung und Bodengrenzwerte

Bei einer angenommenen Bearbeitungstiefe von 15 cm liegen die errechneten Stoffkonzentrationen nach 500 Jahren in Variante (1) von Zink 26 %, von Kupfer 50 %, von Blei 56 % und von Cadmium um 81 % unter dem geltenden Bodengrenzwert. In der Variante (2) ist das Polster zwischen den errechneten Konzentrationen nach 500 Jahren und dem Bodengrenzwert etwas größer; Zink liegt 33 %, Kupfer 57 %, Blei 60 % und Cadmium um 87 % unter dem Bodengrenzwert. In der Variante (3) liegen alle Stoffkonzentrationen mehr als 60 % unter den geltenden Grenzwerten: Zink 62 %, Kupfer 74 %, Blei 76 % und Cadmium 93 % unter dem Grenzwert.

Der Hauptunterschied zwischen den Varianten (1) und (2) liegt darin, dass sich die Böden vor allem in den ersten Jahrzehnten unterschiedlich rasch an Schwermetallen anreichern. Werden jedoch die Stoffkonzentrationen nach 500 Jahren verglichen, so zeigt sich, dass sich die Zink- und Bleikonzentrationen in den beiden Varianten ähnlich stark verändert haben. Bezogen auf diese Elemente bringt eine Verdoppelung der Ausbringungsfläche innerhalb von 500 Jahren eine nur geringfügig geringere Anreicherung. Bei Cadmium hingegen ist der Unterschied wesentlich größer: Bei Verdoppelung der Aufbringungsfläche ist die Cd-Konzentration im Boden nach 500 Jahren um 30 % niedriger.

Durch die gleichmäßige Aufbringung der Kompostmenge (Variante (3)) liegen die Schadstoffkonzentrationen nach 100 Jahren um 40 % (Blei) bis 65 % (Cadmium) tiefer als in der Variante (1). Auch nach 500 Jahren sind die Unterschiede vergleichbar groß (Blei 45 % tiefer, Cadmium 60 % tiefer).

Tabelle 5-38: Stoffkonzentrationen auf Einzelkompoststandorten verglichen mit den geltenden Bodengrenzwerten

mg/kg TS	Zink	Kupfer	Blei	Cadmium
Grenzwert bei 15 cm	400	133	133	2,7
Var. 1 nach 100 Jahren	196	48	36	0,4
Var. 1 nach 500 Jahren	294	66	58	0,5
Var. 2 nach 100 Jahren	153	39	27	0,3
Var. 2 nach 500 Jahren	267	58	53	0,4
Var. 3 nach 100 Jahren	102	29	17	0,1
Var. 3 nach 500 Jahren	150	35	32	0,2

Es ist zu diskutieren ob die streng nach der Bodenschutzprogrammverordnung durchgeführte Umrechnung des Grenzwertes auf die angenommenen Bearbeitungs-

tiefe von 15 cm (und damit die Erhöhung um ein Drittel) aus Sicht eines vorsorgenden Bodenschutzes sinnvoll ist. Wird berücksichtigt, dass bestimmte Gemüsesorten insbesondere für Cadmium hohe Transferfaktoren vom Boden in die Pflanze aufweisen, sollte vielmehr ein Umrechnung dahin gehend stattfinden, die Grenzwerte niedriger als bei anderen Nutzungen anzusetzen.

In all den Varianten zeigt sich die "Nicht-Linearität" der Veränderungen der Stoffkonzentrationen. Obwohl eine Verdoppelung der Ausbringungsfläche von 22 auf 44 m^2/E beispielsweise die Bleifracht je ha um 47 % reduziert, ist die errechnete Pb-Konzentration nach 500 Jahren ähnlich hoch. Die folgende Abbildung zeigt die flächenspezifische Bleifracht in Abhängigkeit der Ausbringungsfläche.

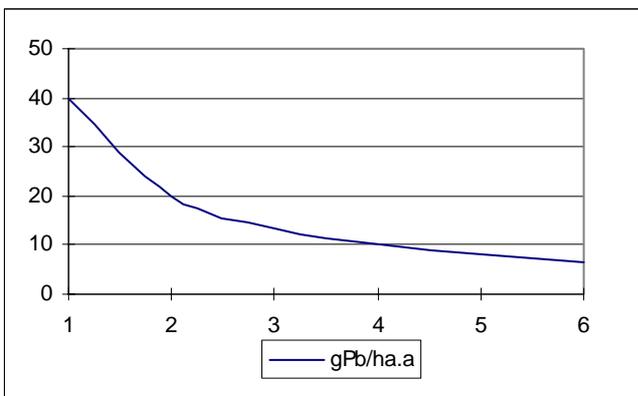


Abbildung 5-36: Abnahme der Pb-Fracht je ha in Abhängigkeit von der Aufbringungsfläche (1 = 22 m^2/E , 2 - 6: Vielfache von 1)

Einzelkompostierung und Nährstoffmengen:

Für die Variante (1) errechnen sich somit N und P-Frachten von 390 kg N/ha.a bzw. 120 kg P/ha.a, in Variante (2) halbieren sich die Frachten und in Variante (3) beträgt die Nährstofffracht 46 kg N/ha.a, bzw. 14 kg P/ha.a. Die meisten Gemüsesorten haben einen Nährstoffbedarf an P von 15 (Tomaten, Radieschen) bis 25 kg P/ha.a (Buschbohnen, Karfiol, Kohlrabi). Nur für einzelne Kulturen wie Kürbis, Rhabarber oder Eierfrucht wird ein höherer Bedarf angegeben (35 kg P/ha.a) [Löhr, 1983]. Wird ein mittlerer Bedarf von 20 kg P/ha.a angenommen, so ergibt sich eine maximale Kompost-TS-Menge von 4,8 t TS/ha.a bzw. 0,48 kg TS/ $\text{m}^2\cdot\text{a}$. Je Einzelkompostierer müssten somit 132 m^2 Nutzgarten zur Verfügung stehen, also einer 6 mal größeren Nutzgartenfläche als vorhanden. Diese Fläche von 1.050 ha entspricht in etwa 50 % der Gartenfläche der Ek im Raabtal.

In der Variante (3) kann der P-Entzug durch den Nutzgarten nicht gedeckt werden, jener von Rasenflächen wird geringfügig überschritten. Für den P-Entzug durch den Rasen wurde ein Wert von 13 kg P/ha.a errechnet. Für die gesamte Ziergarten- und Rasenfläche wurde ein P-Entzug von ca. 26 t P/a errechnet.

Unter der Annahme, dass der Grünschnitt im Kreis geführt wird, so ist nur interessant, ob der aus den Speiseresten erzeugte Einzelkompost mehr P enthält als den Nutzgärten entzogen wird. Im genannten Kompost sind etwa 0,7 t P mehr enthalten als über die Nutzgärten entzogen wird, dies entspricht etwa 15 %. Bei einer gleichmäßigen Verteilung ist somit diese P-(Überschuss)-Menge auf die potentiell verfügbare Fläche aufzubringen. Dieser P-Menge entspricht weniger als 3 % der P-Flüsse der Grünflächen. Bezogen auf das P-Lager im Boden (15 cm Tiefe, P- Konz. 500 bis 1000 mg/kg TS) beträgt der aufzunehmende P-Überschuss 0,1 bis 0,2 %. Die angenommenen P-Entzüge von Rasen in der Höhe von 13 kg P/ha.a sind als eher niedrig zu bewerten. Eine Zufuhr von P hat somit auch eine Erhöhung des P-Umsatzes durch die Biomasse zur Folge, was eine P-Anreicherung im Boden verlangsamt.

Bei einer Aufbringung der Komposte entsprechend dem P-Bedarf des angebauten Gemüses (unter genannten Annahmen 20 kg P/ha.a; 4,8 t TS) und einer anschließenden gleichmäßigen Verteilung des Kompostes auf die Grünflächen ist die Gefahr der Nährstoffanreicherung mit P in den Böden nicht zu erwarten.

Bei der Einzelkompostierung ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil der Kompostanwender auf die Rasenflächen, rund ein Viertel auch auf die Nutzgartenbeete zusätzlich zum Kompost mineralische Dünger aufbringen [Riezinger, 1997; Fischer et al., 1997]. Bei untersuchten Gartenböden wurde bei rund 90 % der Böden eine (extreme) Überdüngung mit P festgestellt [Hilger, 1994; Fischer et al., 1997]. Wird zusätzlich Handelsdünger aufgebracht, so ist auch bei einer gleichmäßigen Verteilung der Kompostmengen eine langfristige P-Anreicherung zu erwarten.

Einzelkompostierung und Hygiene

Untersuchungen von Einzelkompostanlagen [Riezinger, 1997] zeigen, dass in den meisten Fällen die Kerntemperatur unter 45°C liegt. Einzelkompostierung im Garten ist größtenteils eine „Kaltkompostierung“ [Krogmann, 1994]. Typisch für die Kleinkompostierung ist das geringe Temperaturniveau der Rotte, das aus den geringen aktiven Volumina resultiert [Wiegel, 1992]. Um den hygienischen Anforderungen an die erzeugten Komposte (Abtötung von Krankheitserregern, Parasiten, Insektenlarven, Unkrautsamen, etc.) dennoch gerecht zu werden, muss die Rottezeit entspre-

chend erhöht werden. Beispielsweise bedingen dauernde Kerntemperaturen von rund 40°C etwa eine Rottezeit von einem Jahr [Strauch, 1985]. Bei der Einzelkompostierung wird jedoch eine Temperatur von 40°C nicht über ein ganzes Jahr gehalten [Riezinger, 1997]. Ein gewisses Restrisiko kann somit nicht ausgeschlossen werden. Bei der Anwendung von Einzelkomposten sollte jedenfalls eine lange Rottezeit gewährleistet sein.

Zusammenfassung Einzelkompostierung:

Je Einzelkompostierer (Ek) wurde eine Kompostmenge von 150 kg FS/a abgeschätzt. Werden 70 % dieses Einzelkompostes auf die gesamte Nutzgartenfläche der Ek von 22m²/Ek ausgebracht, so werden die Bodengrenzwerte für Zink, Kupfer, Blei und Cadmium nicht überschritten und liegen nach 500 Jahren zumindest um 25 % (Zink) darunter (bei Cadmium 80 % darunter).

Um die Böden der Nutzgärten nicht mit P anzureichern, können jedoch nur 5 t TS/ha.a (= 0,5 kg TS/m².a = 0,83 kg FS/m².a bei 40 % WG) an Einzelkompost aufgebracht werden. Dafür wäre für die Ausbringung des Einzelkompostes jedoch rund 120 m² Nutzgarten je Ek notwendig. Dies entspricht etwa einer Versechsfachung der bestehenden Nutzgartenflächen. Die nicht auf die Nutzgartenflächen aufbringbaren Kompostmengen sind gleichmäßig über die Ziergarten- und Rasenflächen zu verteilen.

Die Stoffkonzentrationen im Boden erhöhen sich nicht linear. Eine (hypothetische) Verdoppelung der Aufbringungsflächen der Nutzgärten von 22m² auf 44 m² führt bei Zink und Blei zu vergleichbar starken Aufkonzentrierungen nach 500 Jahren. Die Anreicherung verläuft jedoch in den ersten Jahrzehnten unterschiedlich schnell.

Bei einer gleichmäßigen Verteilung des anfallenden Kompostes auf die gesamte Gartenfläche ist auch langfristig keine P-Anreicherung zu erwarten.

Ist die Einhaltung der bestehenden Schwermetallgrenzwerte im Boden das Ziel, so kann der gesamte Einzelkompost auf die Nutzgartenflächen ausgebracht werden (28,8 t TS/ha.a). Ist eine ausgeglichene Nährstoffbilanz das Ziel, so können, begrenzt durch die P-Fracht, maximal 5 t TS/ha.a (0,5 kg TS/m².a auf die Nutzgartenflächen aufgebracht werden. Der Rest ist gleichmäßig über die gesamte verfügbare Gartenfläche aufzuteilen. Gleichzeitig ist eine zusätzliche P-Düngung zu untersagen.

6 Regionales Nutzungskonzept

Für die Region Raabtal werden zwei Nutzungskonzepte erarbeitet: eine realistische Variante sowie eine Maximalvariante.

Die realistischen Variante unterscheidet sich vom IST-Zustand vor allem dahingehend, dass sich die Aufbringungsmengen der erzeugten Güter am P-Bedarf der Kulturen bzw. der enthaltenen Schwermetallmenge orientieren. Bsp.: In der Variante +50 % in 500 Jahren beträgt die erlaubte Menge an Schweinegülle auf Äckern 0,6 t TS/ha.a, auf Grünland 0,65t TS/ha.a. Mit diesen Mengen kann nur noch etwa ein Drittel des P-Bedarfs der Acker- und ein fünftel des P-Bedarfs der Grünlandkulturen abgedeckt werden. Realistisch bedeutet somit, dass zwar die gesamten Güterflüsse nur gering verändert werden, zum Teil jedoch durchaus stärkere Eingriffe in die bestehende Verwertungsstruktur bedeuten. Insbesondere viehhaltende Betriebe werden ihre Wirtschaftsdünger gleichmäßiger auf ihre eigenen Flächen aufbringen bzw. an viehlose Betriebe abgeben, bei manchen Gütern wird ev. sogar eine überregionale Verwertung anzustreben sein.

In der Maximalvariante werden neue, strengere Rahmenbedingungen eingeführt (z.B. Viehbestand maximal 2 GVE/ha) und die Stoffkonzentration in einzelnen Gütern abgeändert. Zusätzlich werden zwei neue Güter anstelle der Klärschlämme eingeführt.

Für die Ableitung der Konzepte werden nur die P-Nährstoffnutzungsgrade herangezogen. Dies deshalb, da P rohstoffmäßig limitiert ist. (Anm. Der N-Vorrat hingegen kann (fast) als unerschöpflich angesehen werden. Die Umwandlung von Luftstickstoff (N_2) in reaktive Stickstoffverbindungen benötigt jedoch Energie. Langfristig kann davon ausgegangen werden, dass nicht erneuerbare Energieträger zunehmend durch erneuerbare ersetzt werden und somit die Ressourcenfrage bei N in den Hintergrund rückt.)

Die hier abgeleiteten bzw. erstellten Nutzungskonzepte verstehen sich nicht als „die“ Lösung. Vielmehr sollen die Konzepte beispielhafter Natur sein. Dies umso mehr, da ja die gewählte Vorgehensweise nicht nur für das Raabtal gültig sein soll, sondern vielmehr als generelle Richtschnur konzipiert ist. Im folgenden werden deshalb zuerst kurz prinzipielle Ansätze von Rahmenbedingungen dargestellt und im Anschluss daran anhand von rasch realisierbaren („realistische Variante“) und möglicherweise zukünftig realisierbaren („Maximalvariante“) Randbedingungen konkretisiert.

Im Folgenden werden ökonomische Aspekte nicht berücksichtigt. Bevor die vorgeschlagenen Nutzungskonzepte umgesetzt werden, ist es notwendig, ihre Kosten und Nutzen abzuschätzen und zu vergleichen.

Dem NNG der Wirtschaftsdünger kommt insbesondere in jenen Fällen Bedeutung zu, in denen nicht genug verfügbare Fläche vorhanden ist.

Warum: Im IST-Zustand gibt es viehlose Betriebe. Durch die Zuordnung von Gütermengen zu Flächen kann es sein, dass viehhaltende Betriebe zu wenig Fläche verfügbar haben. Die Wirtschaftsdünger, die nicht auf hofeigene Flächen aufgebracht werden können, konkurrenzieren nun direkt mit den anderen Gütern um eine allfällige Verwertung auf den Flächen von viehlosen Betrieben. Ein (zukünftiges) Entscheidungskriterium für den Abnehmer/Käufer kann es sein, inwieweit das angebotene Gut Ressourcen nutzt; das heißt, der NNG könnte bei der Güterabwägung eine mitentscheidende Komponente werden.

6.1 Allgemeine Grundsätze

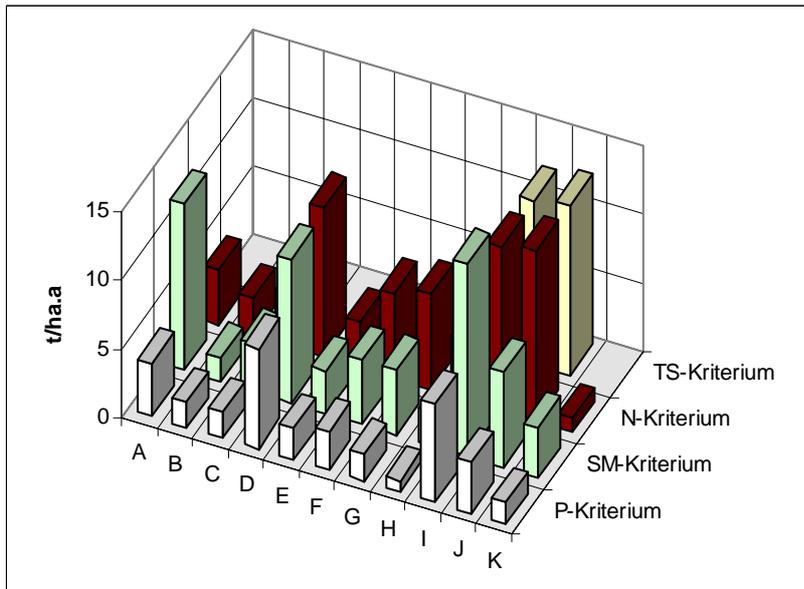
Bei der Ableitung des regionalen Nutzungskonzeptes wird wie folgt vorgegangen: *Güter mit höherem NNG werden jenen mit niedrigerem vorgezogen.* Diese Vorgangsweise bedeutet zweierlei:

- Es wird keine Rücksicht genommen auf allfällige Konkurrenzierungen - d.h. der IST-Zustand wird nicht festgeschrieben. Mit dem Problem von auftretenden Konkurrenzierungen umzugehen, das heißt, eine Güterabwägung vorzunehmen, ist eine Herausforderung für die Entscheidungsträger (Landwirtschafts-, Sozial-, Abfallwirtschafts-, Umwelt-, Wirtschaftspolitik, etc.), der nicht allein durch die in diesem Projekt entwickelten Kriterien „Umweltverträglichkeit“ und „Ressourcennutzung“ begegnet werden kann.
- Es wird nicht berücksichtigt, ob ein bestimmtes Gut viel oder wenig zum gesamten Nährstoffverbrauch in der Region beitragen kann.

Prinzipiell können für die Konzepterstellung die Rahmenbedingungen wie folgt verändert oder festgeschrieben werden:

- Definition der erlaubten Schwermetallanreicherung/ bzw. des Anreicherungszeitraumes: z.B. +50 % in 500 Jahren
- Veränderung der Schadstoffkonzentration: z.B. Senkung der Zn-Konzentration in Schweinegülle durch fütterungstechnische Maßnahmen um 20 %
- Änderung des Nährstoffbedarfs durch die Kulturen: z.B. Anhebung der P-Versorgung auf Gehaltsstufe B oder C, dadurch Abnahme des Düngedarfes
- Änderung/Aufhebung von gesetzlichen Beschränkungen: z.B. Beschränkungen der TS-Mengen durch die Klärschlammverordnung, Klärschlammverbot auf Grünland
- Festschreibung des IST-Zustandes: z.B. der Schweine- und Rinderbestand in der Region bleibt konstant
- Fixierung der Entsorgungswege: z.B. Aufbau von Güllebanken, die x % der Schweinegülle aus der Region „exportieren“; x % des anfallenden Klärschlamm muss in der Region landwirtschaftlich verwertet werden; bestimmte Güter dürfen nicht auf bestimmte Flächen aufgebracht werden
- Bevorzugung von Gütern die durch die Nährstofffracht und nicht durch das Schwermetallkriterium bei der Aufbringung begrenzt werden
- Überschreitung eines Mindest-NNG's bei Gütern die durch Schwermetalle begrenzt sind: z. B. nur Güter mit einem NNG > 0,4 dürfen ausgebracht/erzeugt werden)

Die folgende Abbildung soll beispielhaft für Acker verdeutlichen, bei welchen Gütern Maßnahmen denkbar wären (siehe auch im n 25 bis 27). Die Abbildung zeigt, welche Güter durch welches Kriterium begrenzt sind. Die Größenachse gibt an, wie viel t der einzelnen Güter ausgebracht werden könnten, wenn nur das jeweilige Kriterium limitierend wäre (Anm. Nur bei den Klärschlämmen und Komposten gilt ein TS Kriterium). Durch „schrauben“ an dem jeweils limitierenden Kriterium könnten die Ausbringungsmengen erhöht werden. In der gewählten Variante wird nur *Schweinegülle* (Gut B in der Abbildung) durch das Schwermetallkriterium limitiert. Durch senken der Schwermetallgehalte könnte die Ausbringungsmenge solange gesteigert werden bis die P-Begrenzung wirksam wird. In diesem Falle könnte die Ausbringungsmenge um rund 5 % gesteigert werden.



A ...Gülle Rind B ...Gülle Schwein C ...Gülle Geflügel
D ...Mist Rind E ...Mist Schwein F ...Mist Geflügel
G ...Klärschl. H ...Klärschl. >BGW+200 % I ...Kompost Klasse 1
<BGW+200 %
J ...Kompost Klasse 2 K ...Senkgrube

Abbildung 6-1: Maximale Aufbringungsmengen auf Acker in t/ha.a - Var. +50 % in 100 Jahren

6.2 Berechnung mittels Transportproblemes

Die Zuteilung der einzelnen Güter unter den definierten Rahmenbedingungen auf die einzelnen Flächen ist je nach Anzahl der Güter mehr oder weniger arbeitsaufwendig. Zur Arbeitserleichterung wurde in diesem Projekt ein aus der Betriebswirtschaft bekanntes Modell verwendet, das sogenannte Transport-Problem. Um Transportprobleme zu lösen gibt es vorgefertigte Software-Lösungen etwa von SAS, Mathcad oder Matlab. In diesem Projekt wird das Softwarepaket SAS benutzt.

Das Transportproblem kann wie folgt umrissen werden: Mehrere Produktionsstätten produzieren bestimmte Gütermengen. Diese Gütermengen sind zwischenzulagern, wobei mehrere Lagerhäuser zur Verfügung stehen. Die Transportkosten von den Produktionsstätten zu den Lagerhäusern sind dabei jeweils unterschiedlich hoch. Ziel ist es, die Transportkosten durch geeignetes Zuteilen der Güter zu den Lagerhäusern zu minimieren.

Für das Projekt RUNBA werden nun folgende Analogien hergestellt:

- Die Produktionsstätten entsprechen den betrachteten Gütern (Schweinegülle, Kompost Klasse 1, etc.).

- Die Produktionsmenge entspricht der für die Ausbringung der jeweilig anfallenden Gütermengen benötigte Aufbringungsfläche.
- Die Bodennutzungen (Acker, Grünland, Sonderkultur) entsprechen den Lagerhäusern.
- Die verfügbaren Aufbringungsflächen sind die Lagerkapazitäten der Lagerhäuser in denen die Güter untergebracht werden sollen.
- Die Differenz aus dem maximalen NNG (=1) und dem tatsächlichen NNG sind die „Transportkosten“ des Produktes. Dies bewirkt, dass die Güter mit dem höchsten NNG die geringsten „Transportkosten“ haben.
- In der Region fehlende Ausbringungsflächen werden als virtuelle Flächen eines virtuellen Lagerhauses (einer virtuellen Bodennutzung) ergänzt. Die Transportkosten zu diesen virtuellen Flächen sind prinzipiell maximal und werden mit 1 angesetzt. Dies hat zur Folge, dass die Güter weitestgehend auf den „nicht-virtuellen“ Flächen genutzt werden.
- Güter, die nicht landwirtschaftlich verwertet werden sollen, haben Transportkosten von 0 zu den virtuellen Flächen.
- Gütern die auf bestimmten Flächen nicht verwertet werden sollen, werden auf den auszuschließenden Flächen Transportkosten von >1 zugeordnet.

Die Ergebnisse können nicht direkt in Maßnahmen umgesetzt werden, da ja die Eingangsgröße „benötigte Ausbringungsfläche“ die Summe der durchschnittlich benötigten Acker-, Grünland- und Sonderkulturflächen ist. Bei der Zuteilung kann es nun sein, dass bestimmte Güter nur einer einzigen Fläche zugeordnet werden, die benötigte Fläche somit kleiner oder größer als die errechnete durchschnittliche Fläche sein kann. Das dargestellte Ergebnis kann somit nicht einfach mit der aufbringbaren TS-Menge je ha multipliziert werden. Das Ergebnis gibt nur einen starken Hinweis dahingehend, welche Güter auf welchen Flächen vorrangig zu verwerten sind. Das Ergebnis geht jedoch über die alleinige Betrachtung von Nährstoffnutzungsgraden hinaus, da die Konkurrenzierung der einzelnen Güter um die vorhandene Fläche miteinfließt.

Aus den Resultaten der Zuteilung der einzelnen Güter zu den Bodennutzungen unter den im folgenden definierten Rahmenbedingungen können wiederum neue Maßnahmen bzw. Rahmenbedingungen abgeleitet. Dies insbesondere in jenen Fällen, in denen die in der Region verfügbaren Flächen kleiner als die für die vollständige Ausbringung benötigten Flächen sind.

6.2.1 Auswahl der Varianten +50 % in 100 bzw. 500 Jahren

Bei der Auswahl der Varianten war neben den Aspekten der Schadstoffanreicherung zu berücksichtigen, dass die Ableitung einer realistischen Variante möglich ist.

- In der Variante +10 % in 500 Jahren sind regional deutlich zuwenig Flächen für die Ausbringung verfügbar (55 % zuwenig in der 500 Jahr-Variante). Im Schnitt können in dieser Variante nur etwa 20 % des P-Nährstoffbedarfes der Kulturen abgedeckt werden, bei gleichzeitiger Ausschöpfung des Schwermetallkriteriums. Eine Ableitung eines realistischen Konzeptes ist vor allem unter der erstgenannten Bedingung nicht möglich, denn auch unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung innerhalb der drei Bodennutzungsformen müssten die Tierbestände um teilweise über 50 % reduziert werden.
- Die +100 %-Varianten wurden ausgeklammert, da insbesondere bei Zink und Kupfer auf Ackerstandorten bei Ausschöpfung der „erlaubten“ Lagerveränderung nur noch ein geringer Spielraum bis zur Erreichung der gesetzlich festgelegten Bodengrenzwerte besteht (für beide Stoffe liegen die errechneten Bodenkonzentrationen noch etwa 20 % unter den Bodengrenzwerten (Bezugstiefe 30 cm)). Auf Grünland ist dieser Pufferbereich mit 35 bis 50 % deutlich größer. Zusätzlich kann durch die aufgebrauchten Güter der Nährstoffbedarf der Kulturen teilweise nicht abgedeckt werden, wodurch eine zusätzliche Düngung und damit ein zusätzlicher Schwermetalleintrag verbunden ist. Werden bei der Berechnung der Lagerveränderung außerdem auch die Stoffeinträge durch die atmosphärische Deposition mitberücksichtigt, so wird der Puffer von 20 % rasch aufgefüllt, die Bodengrenzwerte erreicht oder überschritten.
- In Bezug auf die Bodengrenzwerte bieten die 50 % Varianten auf Acker einen rund doppelt so großen Pufferbereich als die 100 % Varianten (bei Zink und Kupfer). Bei Blei ist dieser verbleibende Puffer ca. 75 %, bei Cadmium rund 90 %. Außerdem liegen bei Cadmium und Blei die höchsten in der Bodenzustandsinventur erhobenen Werte der Tiefenstufe 20-50 cm über den maximal erlaubten Cd-Konzentrationen der 50 %-Varianten. Die 50 % Variante erlaubt maximale Bodenkonzentrationen die zum Teil unter den Stoffkonzentrationen einzelner Probenahmepunkte vorliegenden „geogenen“ Konzentrationen.
- Die Variante +10 % in 100 Jahren ist nur unwesentlich strenger als die Variante +50 % in 500 Jahren. Die Konzepte dieser Varianten würden somit ähnliche Ergebnisse liefern.

Aus genannten Argumenten ergibt sich somit die Auswahl der Varianten +50 % in 100 sowie + 50 % in 500 Jahren als Basis für die Konzepterstellung.

6.2.2 Realistische Variante - Rahmenbedingungen

In der hier vorgestellten realistischen Variante werden vor allem Maßnahmen vorgestellt, die die einzelnen Güter bestimmten Bodennutzungsarten zuordnen bzw. deren Einsatzmenge zusätzlich begrenzt. Ebenso soll anhand von Klärschlamm die Möglichkeiten einer Verbesserung bestehender Regelwerke diskutiert werden.

Wirtschaftsdünger

Eine gezielte Bestandesführung lässt sich besser erreichen, wenn mit Gülle nur ein bestimmter Grundstock für die N-Versorgung gelegt wird, um dann mit Handelsdüngerstickstoff bedarfsgerecht zu ergänzen. Düngungsversuche auf Grünland zeigen, dass eine kombinierte organisch-mineralische N-Zufuhr die Wirkung des Güllestickstoffs stets erheblich verbessert [Vetter & Steffens, 1986].

Gülle ist ein Mehrnährstoffdünger. Insbesondere in Betrieben mit sehr hohem Gülleanfall sollte sich, wie bei anderen Mehrnährstoffdüngern auch, die Bemessung der Güllegaben im Mittel der Jahre nach dem Nährstoff richten, der den Bedarf der Pflanzen zuerst abdeckt. Das ist bei der Rindergülle in der Regel zunächst das Kalium, bei der Schweinegülle und der Hühnergülle in der Regel das Phosphat [Guellex, 1996]. Es ist auch zu berücksichtigen, dass mit der Gülle auch organische N-Verbindungen zugeführt werden, die in ihrer Wirkung nur schwer kalkulierbar sind. Ihre Freisetzung ist nach Menge und Zeit stark von der Witterung und den jeweiligen Bodenbedingungen abhängig. Wollte man die Stickstoffversorgung der Pflanzen allein über Güllegaben abdecken, gelingt es nicht, das Stickstoffangebot dem zeitlichen Verlauf des Stickstoffbedarfes befriedigend anzupassen.

Die Ausbringung von Rindergülle ist sowohl in der 100-jährigen als auch der 500-jährigen Variante auf Acker durch Phosphor, auf Grünlandstandorten durch den Stickstoffgehalt begrenzt.

Rahmenbedingung: durch Rindergülle dürfen maximal 80 % der bewilligungsfreien Stickstoffmenge der Acker- und Grünlandflächen aufgebracht werden.

Die Ausbringung von Hühnergülle auf Grünlandflächen sollte aus seuchenhygienischen Gesichtspunkten möglichst ganz unterbleiben (Übertragung von Salmonellen).

Rahmenbedingung: Hühnergülle und Hühnermist dürfen nicht auf Grünland und Sonderkulturstandorten verwertet werden.

Rahmenbedingung: alle Wirtschaftsdünger werden regional ausgebracht, das heißt es finden keine „Exporte“ statt.

Klärschlamm

In der Variante +50 % in 100 Jahren wird der Klärschlamm <BGW+200 % auf Äckern durch P (und die TS) begrenzt. Eine Lockerung der KS-Verordnung erhöht somit nicht die aufbringbaren TS-Mengen. Auf Grünland wird die Aufbringung vor allem durch die Klärschlammverordnung (TS-Menge) aber auch die P-Menge begrenzt. Ohne KS-Verordnung könnten 400 % mehr TS, ohne P-Begrenzung 85 % mehr TS aufgebracht werden. Durch eine Lockerung der KS-Verordnung könnten somit bis zu 85 % mehr Klärschlamm je ha aufgebracht werden. In der Variante +50 % in 500 Jahren wird die Aufbringung dieses Klärschlammes auf Äckern durch das Schwermetallkriterium, auf Grünland wiederum durch die Klärschlammverordnung begrenzt. Dabei könnten auf Grünland bis zu 80 % mehr Klärschlamm aufgebracht werden bevor eines der anderen Kriterien, in diesem Fall das Schwermetallkriterium begrenzend wirken würde. In beiden Varianten könnten somit die Menge an Schlamm < BGW+200 % auf Grünland um zumindest 80 % erhöht werden. Eine Lockerung der Klärschlammverordnung wäre somit unter den hier definierten Kriterien denkbar.

In der Region sind jedoch genügend Ackerflächen verfügbar um die anfallenden Klärschlammengen aufzunehmen. In den beiden Varianten werden im IST-Zustand rund 1.100 ha Ackerland benötigt (verfügbare Flächen: rund 7.000 ha).

Rahmenbedingung: der anfallende Klärschlamm wird nur auf Ackerflächen aufgebracht.

Rahmenbedingung: der gesamte in der Region anfallende Schlamm der die Vorgaben der Klärschlammverordnung in Bezug auf die Schwermetallkonzentrationen erfüllt, wird vollständig regional verwertet.

Senkgrubenräumgut: im IST-Zustand sind 28 % der Bevölkerung nicht an eine Kläranlage angeschlossen. Eine Behandlung dieser Abwässer in Klein- bzw. Kleinstkläranlagen ist zweckmäßig, da eine Ausbringung von Senkgrubenhaltigen aus hygienischer Sicht bedenklich ist. Allenfalls ist ersatzweise ein Grubendienst, der die gesammelten Fäkalschlämme einer Kläranlage zuführt, einzurichten. Für das realistische Szenario wird angenommen, dass Kleinkläranlagen eine Vorreinigung und eine biologische Stufe aufweisen. Der Primärschlamm aus der Vorreinigung der Klein- und Kleinstanlagen ist aus hygienischen Gründen einer größeren Kläranlage zuzuführen [Wasserwirtschaft, 1993]. Der anfallende Schlamm aus der biologischen Stufe (Sekundärschlamm) wird aerob stabilisiert, und landwirtschaftlich verwertet.

Folgende (vereinfachten) Annahmen werden getroffen: Grubendienst für 5 % der Bevölkerung im Raabtal; aus dem entsorgten Fäkalschlamm (Grubendienst und

Kleinstkläranlagen) wird anteilmäßig (=entsprechend dem IST-Zustand) Klärschlamm < BGW+200 % bzw. Klärschlamm > BGW+200 % erzeugt. Die Stoffkonzentrationen verändern sich nicht, die Klärschlammengen steigen entsprechend der zusätzlich behandelten EW. Der Sekundärschlamm der biologischen Stufe der Kleinkläranlagen entspricht stofflich den *Klärschlämmen*<BGW+200 %.

Es errechnen sich folgende neuen TS-Mengen:

Klärschlamm< BGW+200 %: 1965 t TS (bisher 1.430)

Klärschlamm> BGW+200 %: 119 t TS (bisher 105)

Rahmenbedingung: die bestehende Flächennutzung wird nicht verändert

Rahmenbedingung: durch die aufgebrachten Güter werden maximal 80 % des N-Bedarfs abgedeckt

Die in der realistischen Variante gesetzten Rahmenbedingungen beeinflussen die Ausbringungsmengen z.T. stark. In der folgenden Tabelle ist dargestellt, inwieweit die unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen aufbringbaren TS-Mengen den spezifischen P-Bedarf der Acker - und Grünlandkulturen abdecken können. In der 500 Jahre Variante kann durch *Schweinegülle* weniger als 30 %, durch *Schweinemist* etwa 40 % und durch *Rindermist* maximal die Hälfte des spezifischen P-Bedarfs der Acker- und Grünlandkulturen aufgebracht werden. Durch *Geflügelmist-* und *-gülle* können rund zwei Drittel des P-Bedarfs der Äcker abgedeckt werden. Durch *Rindergülle* kann auf Acker der Bedarf zu etwa 80 % auf Grünland zu 60 % abgedeckt werden.

Tabelle 6-1: Abdeckung des spezifischen P-Bedarfs durch die einzelnen Güter in der realistischen Variante in % (100 % Acker = 41,5 kg P/ha.a, 100 % Grünland = 69 kg P/ha.a)

% des Bedarfes	Acker		Grünland	
	50% in 100 J.	50% in 500 J.	50% in 100 J.	50% in 500 J.
Gülle Rind	81	81	59	59
Gülle Schwein	88	29	56	21
Gülle Geflügel	100	67	100	52
Mist Rind	77	49	79	41
Mist Schwein	100	39	74	29
Mist Geflügel	100	60	100	47
Klärschlamm <BGW+200%	100	87	37	37
Klärschlamm >BGW+200%	100	100	95	84
Kompost Klasse 1	86	45	100	79
Kompost Klasse 2	64	17	68	18

6.2.2.1 Nährstoffnutzungsgrade der realistischen Variante

Acker: Die aus den gesetzten Rahmenbedingungen resultierenden Nährstoffnutzungsgrade zeigen insbesondere folgende Ergebnisse für die Ackerstandorte: In den 100 jährigen Varianten zeigen die *Wirtschaftsdünger* von *Geflügel* sowie *Schweinemist* die höchsten Nutzungsgrade vor *Schweinegülle*, *Kompost Klasse 1* und den *Rinder-Wirtschaftsdüngern*.

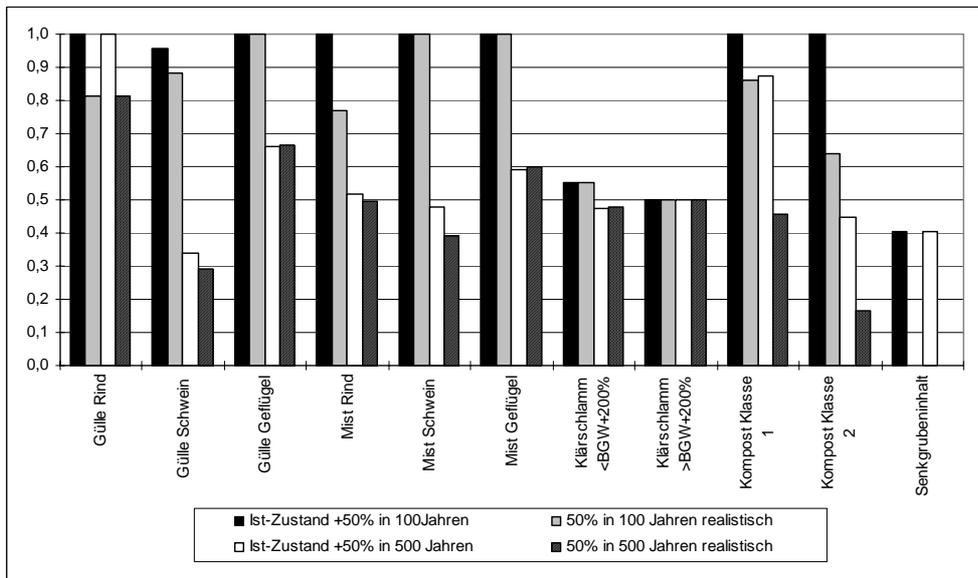


Abbildung 6-2: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter des IST-Zustandes und der "realistischen Variante" auf Acker

In dieser Variante liegen beide *Komposte* (Klasse 1 und 2) über jenen der *Klärschlämme*.

Bei der 500-jährigen Variante kommt es zu deutlichen Verschiebungen: Mit Ausnahme von *Rindergülle* und *Klärschlamm >BGW+200 %* sinken die NNG's bezogen auf die 100 Jahr-Variante um bis zu 75 % (*Kompost Klasse 2*). Stark verlieren *Schweinemist* (um 60 %) und *Schweinegülle* (67 %). Die niedrigsten Werte weisen *Kompost Klasse 2* (0,17) und *Schweinegülle* (0,29) auf.

Kompost Klasse 2 wird vor durch das sehr immobile Element Blei limitiert, die aufbringbaren TS-Mengen sinken von 2,4 t TS/ha.a (100 Jahre) auf 0,6 t TS/ha (500 Jahre), entsprechend sinkt auch der P-Eintrag auf die Fläche und damit der NNG. Die beiden *Klärschlämme* verbessern sich in der Reihenfolge.

Grünland: Auf Grünland hat *Kompost Klasse 1* den höchsten Nährstoffwirkungsgrad (1) vor *Rinder-* und *Schweinemist* sowie *Kompost Klasse 2*. Dahinter folgen *Rinder-* und *Schweinegülle*. Wie auf den Ackerstandorten sinkt der NNG der *Schweine-Wirtschaftsdünger* und von *Kompost Klasse 2* in der 500 Jahre-Betrachtung stark ab (zwischen minus 60 und 75 %). *Kompost Klasse 1* bleibt das Gut mit dem höchsten NNG, während *Kompost Klasse 2* auf den letzten Platz zurückfällt.

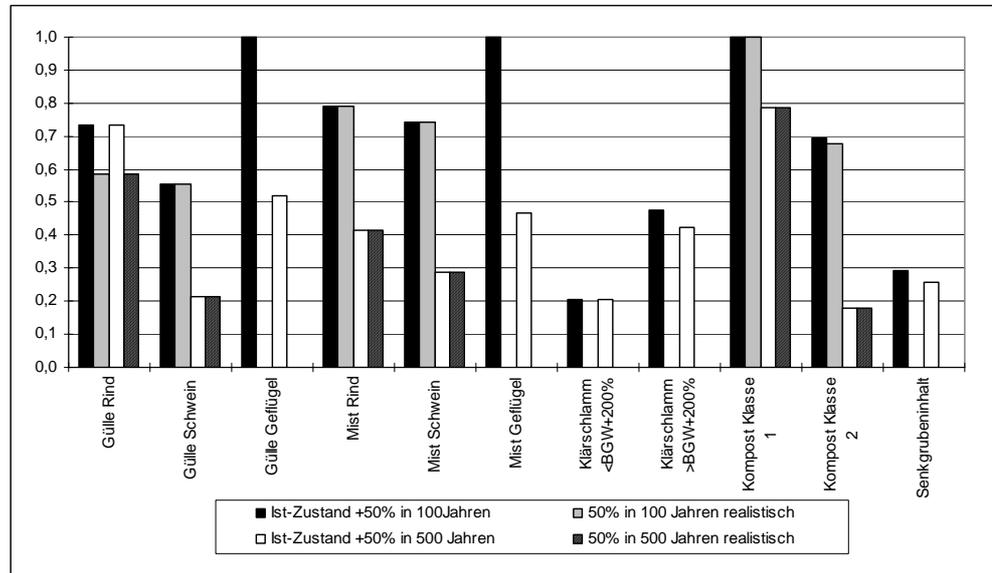


Abbildung 6-3: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter des IST-Zustandes und der "realistischen Variante" auf Grünland

6.2.2.2 Fazit NNG realistische Variante

Fazit Kompost: je längerfristig die Betrachtung desto schlechter der NNG. Das heißt, bei langen Zeiträumen muss verstärkt eine geringe Schwermetallbelastung der *Komposte* gefordert werden. *Kompost Klasse 1* liegt in allen Varianten zumindest im Mittelfeld, auf Grünland an der Spitze.

Fazit Klärschlamm: der NNG nimmt nur geringfügig bzw. nicht ab, da die Schlämme in der 100 Jahre Variante durch P limitiert sind. Durch die geringere Ausbringungsmenge bei einem Betrachtungszeitraum von 500 Jahren wird die P-Limitierung aufgeweicht bzw. aufgehoben (*Klärschlamm < BGW+200 %* wird nun durch das Schwermetall Zink limitiert).

Fazit Schweinegülle und Schweinemist: Bei einer 100 jährigen Betrachtung ist der NNG sehr hoch. Bei längeren Zeiträumen kommt jedoch die Zn (auf Acker) bzw. Cu Limitierung (Grünland) stark zum tragen, wobei die Cu bzw. Zn-Limitierung fast gleich stark wirkt. Bei einem Zeitraum von 500 Jahren fallen diese beiden Güter noch hinter die Klärschlämme zurück.

Fazit Rindergülle und Rindermist: Bei kurzfristiger Betrachtung liegen die Nährstoffnutzungsgrade dieser beiden Güter im Mittelfeld. Je längerfristig die Betrachtung desto relativ besser fällt die Beurteilung aus.

6.2.3 Maximalvariante

Wirtschaftsdünger

Der maximale Tierbestand wird in Anlehnung an das ÖPUL-Programm 98 für biologische Wirtschaftsweise mit max. 2,0 GVE/ha.a angenommen. Eine GVE produziert jährlich 60 kg N „feldfallend“. Somit kann die je Hektar eingebrachte maximale Nährstoffmenge mit 120 kg N errechnet werden. Durch diesen neuen „Filter“ verändern sich die Nährstoffnutzungsgrade der Wirtschaftsdünger, was bei der Konzepterstellung zu berücksichtigen ist.

Rahmenbedingung: maximal 120 kg N/ha.a. durch Wirtschaftsdünger

Rahmenbedingung: Hühnergülle und Hühnermist darf nicht auf Grünland- und Sonderkulturstandorte ausgebracht werden

Die Zink und Kupferkonzentrationen in Schweinegülle und Schweinemist werden abgesenkt. Für den IST-Zustand wurde mit folgenden Zn- und Cu-Konzentrationen gerechnet: Schweinegülle: 1270 mg Zn/kg TS, 453 mg Cu/kg TS, Schweinemist: 733 mg Zn/kg TS, 276 mg Cu/kg TS (Mittelwerte aus [Aichberger, 1995]). Die Schwankungsbreite der Schwermetallgehalte in diesen Düngern ist sehr hoch, da Kupfer und Zink dem Futter der Tiere als leistungssteigernde Elemente zugesetzt werden [Wintzer et al. 1996]. Insbesondere fördert Kupfer den Fleischansatz. Werte aus „alter“ Literatur (zitiert in [Menzi et al., 1993]) zeigen Richtwerte für die Zink- und Kupferkonzentration in Schweinevollgülle von 513 mg Zn/kg TS bzw. 256 mg Cu/kg TS (Median). Untersuchungsergebnisse von 46 Schweinegülle im Zeitraum 1988 bis 1990 [Menzi et al., 1993] ergeben einen Median von 965 mg Zn/kg TS sowie 224 mg Cu /kg TS. Die Literaturzusammenstellung in [Wintzer et al. 1996] zeigt eine Bandbreite der Mediane für Schweinegülle von 691 bis 1.181 mg Zn/kg TS sowie 294 bis 759 mg Cu/kg TS. Die Schwankungsbreite bei Schweinemist liegt nach [Aichberger, 1995] zwischen 279 – 2.630 mg Zn/kg TS bzw. 92 bis 603 mg Cu/kg TS.

Rahmenbedingungen: Senkung der Zink- und Kupferkonzentrationen in Schweinegülle auf 800 mg Zn/kg TS bzw. 300 mg Cu/kg TS; bei Schweinemist Senkung auf 600 mg Zn/kg TS bzw. 250 mg Cu/kg TS.

Rahmenbedingung: Auf Ackerstandorten 5-jährige Fruchtfolge, 1 Jahr davon Leguminosenanbau, wobei keine Düngung erfolgt.

Im Mittel liegen sowohl die Grünlandstandorte als auch die Ackerstandorte in der Gehaltsstufe A. Für den P-Bedarf der Acker- und Grünlandkulturen wurde deshalb eine P-Menge die 50 % über der durch die Ernte entzogenen Menge liegt in Ansatz gebracht.

Rahmenbedingung: Die Ackerstandorte liegen bezüglich der P-Versorgung in der Gehaltsstufe C und die Grünlandstandorte in der Gehaltsstufe B; dies bedeutet einen maximalen P-Eintrag über die Düngung auf Acker in Höhe des Ernteentzuges, auf Grünland ein Eintrag der 25 % über dem Ernteentzug liegt. Dies sind: 33,2 kg P/ha Acker und 57,5 kg P/ha Grünland.

Abwasserwirtschaft

Als „Maximalmaßnahme“ soll ANS = Anthropogenic nutrient solution = Urinseparierung diskutiert werden. Urin hat einen Anteil am häuslichen Abwasserstrom von weniger als 1 %. Darin sind jedoch rund 80 % des Stickstoffs sowie 50 bis 80 % des Phosphors des Abwasserstroms enthalten [Berger, 1960; Consolatoio et al., 1963; Pimparkar, 1961; Jelinek & Lonny, 1939]. Gleichzeitig sind die Schwermetallgehalte im Urin gering [Schroeder et al., 1967; Wester, 1973; Kehoe et al., 1940; Schroeder & Balassa, 1961; Goldwater & Hoover, 1967]. Eine Zusammenstellung genannter Autoren findet sich z.B. in [Lampert et al., 1997].

Ein Großteil der Mikroverunreinigungen (Hormone, Pharmaka) ist im Urin enthalten (Literaturhinweise dazu in [Larsen & Udert, 1999]). Bei entsprechend langer Lagerung (mindestens 6 Monate) oder Behandlung des Urins können diese Stoffe zum Teil mineralisiert werden.

Derzeit werden verschiedene Systeme zur Sammlung des Urins diskutiert bzw. erprobt. Ausgangspunkt ist bei allen Systemen eine „No-Mix-Toilette“. Bei diesen Toiletten ist die Schüssel zweigeteilt: Die vordere zur Sammlung von Urin, die hintere für Fäkalien. Der Urin wird zusammen mit einer geringen Spülwassermenge (z.B. 0,1 l/Spülung) in einem Tank gespeichert.

Das System von [Larsen & Gujer, 1996] basiert auf der zeitlichen Trennung von Urin und Abwasser. Der Urin wird in speziellen Toiletten gesammelt, in kleinen Zwischentanks in den Gebäuden zwischengelagert und bei Trockenwetter nachts über die bestehende Kanalisation der Kläranlage zugeleitet. Dort wird er in besonderen Behandlungsanlagen zu Dünger verarbeitet. Die Schwierigkeit dieses Konzeptes stellt dabei vor allem (i) die Umwandlung des Harnstoffes durch das Enzym Urease in Ammoniak und Kohlendioxid (gleichbedeutend mit Nährstoffverlust), (ii) eine

allfälliges Urin-Speicherproblem etwa während der Schneeschmelze sowie (iii) mögliche Akzeptanzprobleme beim Umbau von Toiletten [Larsen & Gujer, 1996] dar.

Andere Systeme sind bei der Nutzung des Urins unabhängig von bestehenden Kanalsystemen. Der Urin wird über die speziellen Toiletten in einen Urin-Tank geleitet; ist dieser voll wird er von einem Entsorgungsunternehmen entleert und weiterbehandelt/bzw. gelagert. Nach einer Lagerungszeit von 6 Monaten kann davon ausgegangen werden, dass allfällig enthaltene pathogene Keime abgetötet worden sind (abhängig von Keimtyp, Temperatur, pH-Wert, Verdünnung) (siehe z.B. [Jönsson et al., 1999]). Kot und Grauwasser werden entweder in eine Senkgrube eingeleitet oder über das Mischkanalsystem entsorgt.

Im Urin der an die Kläranlage angeschlossenen Einwohner befinden sich maximal 1 % der Schwermetallmenge der Zulauffracht zur Kläranlage.

Durch die Abtrennung des Urins nimmt die N-Fracht bzw. P-Fracht im Zulauf um 55 % bzw. 50 % ab. Durch die Abtrennung von Urin ist ein Rückgang der sich bildenden Klärschlamm-TS Menge zu erwarten. Wird allein das häusliche Abwasser betrachtet, so befindet sich nach [Lange & Otterpohl, 1997] im Urin 14 %, in den Fäkalien 46 % und im Grauwasser 41 % des organischen Kohlenstoffs. Die Fracht an zugeleitetem organischen Kohlenstoff bestimmt maßgeblich die gebildete Klärschlammmenge.

Nach [Zessner, 1999] ist die Konzentration an Schwermetallen im Ablauf relativ konstant. Das heißt, bei einer geringeren Wassermenge im Zulauf verringert sich die Fracht im Ablauf. Bleibt die Schwermetallfracht im Zulauf gleich, so nimmt die Schwermetallkonzentration im Schlamm zu. Durchschnittlich werden je Einwohner 51 l Wasser täglich für die WC-Spülung verwendet (Gesamtwasserverbrauch: 170 l/E.d) [NÖ Lreg. 1995]. Durchschnittlich gibt der Mensch 1-2 mal pro Tag Fäkalien ab (1-2 mal / Woche bis 4 mal / Tag) [Pieper, 1987]. Der größere Teil des Spülwassers wird somit für den Transport von Urin verwendet. Durch das ANS System sinkt somit die Wassermenge im Zulauf.

Folgende Annahmen werden für das System ANS getroffen:

Alle Haushalte verfügen über ein ANS-System, wobei der anfallende Urin zu 90 % erfasst wird. Die Abwässer der derzeit nicht an eine Kläranlage angeschlossenen Einwohner (rund 28 %) werden über einen Grubendienst bzw. durch weitere Anschlüsse an das Kanalsystem über eine Kläranlage entsorgt.

Die Abtrennung von Urin hat keine Auswirkung auf die Schadstofffrachten im Kläranlagenzulauf.

Die zusätzlich angeschlossenen Haushalte bzw. der Grubendienst erhöhen die Schwermetallfracht die in den Kläranlagen behandelt werden.

Entsprechend der durch die Urinabtrennung geringeren zugeleiteten Kohlenstoffmenge wird die produzierte Klärschlammmenge anteilig verringert. Durch die vermehrten Anschlüsse bzw. den Grubendienst erhöht sich die organische Fracht im Zulauf und damit die produzierte Klärschlammmenge anteilig.

Die Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm bleiben konstant.

Für N wird angenommen, dass die N-Konzentration im Klärschlamm unverändert bleibt (der N-Wirkungsgrad der Kläranlage steigt somit). Für P wird angenommen, dass 80 % des im Zulauf enthaltenen P in den Klärschlamm eingebunden werden bzw. durch die P-Fällung aus dem Abwasser entfernt werden.

Bei der Lagerung von ANS treten keine Nährstoffverluste auf.

weitere Rahmenbedingungen:

Klärschlamm wird nicht auf Grünland oder Sonderkulturen ausgebracht

ANS kann überall ausgebracht werden

Die bestehende Flächennutzung wird nicht verändert

Tabelle 6-2: verwendete Stoffkonzentrationen von ANS und Klärschlamm

	mgZn/kg TS	mgCu/kg TS	mgPb/kg TS	mgCd/kg TS	gP/kgTS	gN/kg TS
Klärschlamm	571	88,5	29	0,84	16	26,5
ANS	8,9	0,9	0,6	0,036	24	176

Eine tabellarische Zusammenstellung aller verwendeten Stoffkonzentrationen findet sich im Anhang B Tabelle 28.

Rahmenbedingung: Durch keines der aufgebrachten Güter darf mehr als 120 kg N/ha.a aufgebracht werden.

6.2.3.1 Nährstoffnutzungsgrade der Maximalvariante

Acker: In der 100 Jahre Variante werden alle Güter durch P limitiert. Bei *Rindergülle* und *ANS* wirkt jedoch das N-Kriterium und bei *Klärschlamm* das TS-Kriterium noch stärker. In der 500 Jahre Variante werden nur *ANS* und *Rindergülle* sowohl von

N als auch P begrenzt, wobei bei ANS die N-Begrenzung bei Rindergülle die P-Begrenzung stärker wirkt. Zusätzlich werden *Komposte Klasse 1* durch P limitiert. (Detaillierte Ergebnisse über die zusätzlich aufbringbaren Mengen bis zur Erreichung des Schwermetallkriteriums siehe Anhang B Tabellen 25 - 27)

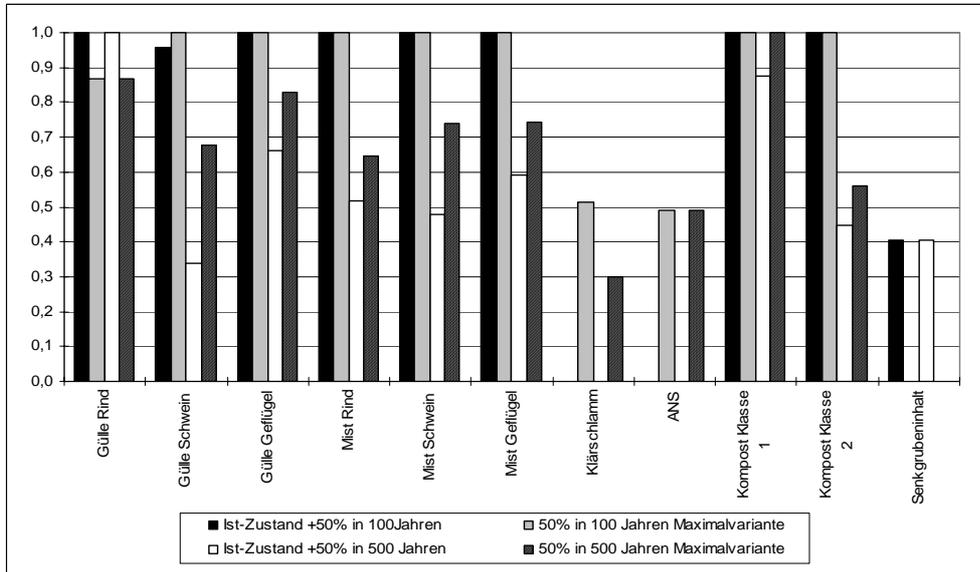


Abbildung 6-4: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter für den IST-Zustand und für die „Maximalvariante“ auf Acker

Bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren erreichen mit Ausnahme von *Rindergülle* (0,87), *ANS* (0,49) und *Klärschlamm*(0,51) alle Güter den maximalen NNG.

Verglichen mit der 500 Jahr Variante sinken die NNG's mit Ausnahme von *Rindergülle* (0,87), *ANS* (0,49) und *Kompost Klasse 1*. Die NNG's der anderen Wirtschaftsdünger fallen um 20 bis 35 % und *Kompost Klasse 2* um 45 %.

In der 500-Jahre Variante weist *Kompost Klasse 1* (1) vor *Rindergülle* (0,87) und *Geflügelgülle* (0,83) den besten NNG auf. *Klärschlamm* zeigt den niedrigsten NNG (0,3).

Grünland: Auf Grünland wirkt in der 100 jährigen Betrachtung die N-Limitierung verglichen mit Acker stärker als die P-Limitierung (8 Güter werden durch N und 7 durch P limitiert). Im Gegensatz zu Acker wird *Kompost Klasse 1* vor allem durch N begrenzt. Werden 500 Jahre betrachtet so werden 3 Güter durch N (*Rindergülle*, *ANS*, *Kompost Klasse 1* sowie *Senkgrubeneinhalte*) und 2 durch P (*Rindergülle*, *ANS*) begrenzt, wobei die N-Begrenzung stärker wirkt. (Detaillierte Ergebnisse über die

zusätzlich aufbringbare Mengen bis zur Erreichung des Schwermetallkriteriums (siehe Anhang B Tabellen 25 bis 27)

In der 100 Jahre Variante sind die *Komposte* der *Klassen I* und *II* die Güter mit den höchsten NNG's (über 0,8). *Rindermist*, *Schweinegülle* und *-mist* liegen knapp darunter (0,72 bis 0,74). *ANS* erreicht einen Wert von 0,28.

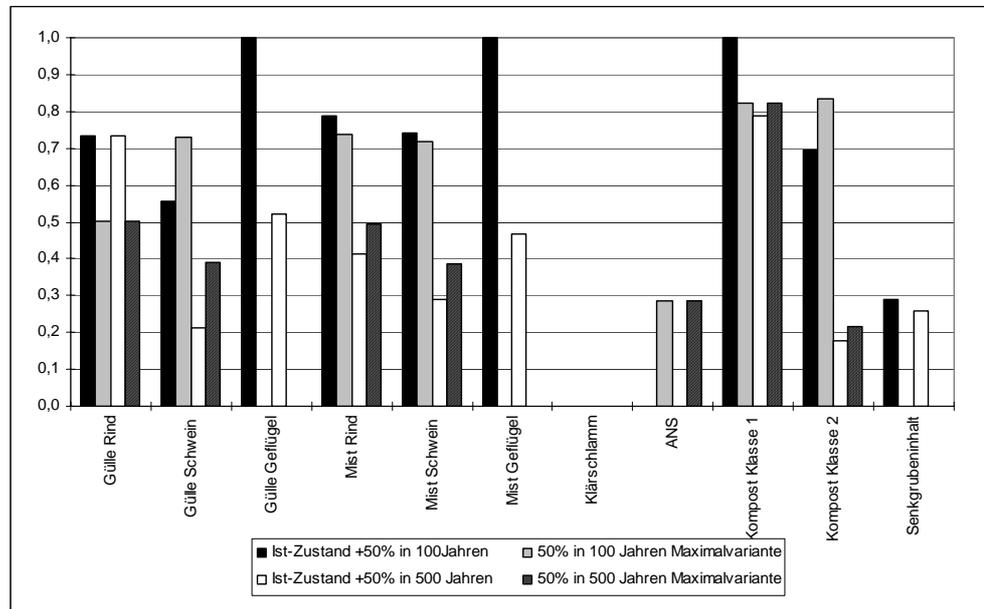


Abbildung 6-5: Vergleich der P-Nährstoffnutzungsgrade der Güter für den IST-Zustand und für die „Maximalvariante“ auf Grünland

Verglichen mit der 100 Jahre Variante sinkt der NNG bei der 500 jährigen Betrachtung bei *Schweinemist*- und *-gülle* um rund 45 %, jener von *Kompost Klasse 2* um 74 %. Alle anderen Güter bleiben gleich, da diese weiterhin durch N limitiert sind.

Kompost Klasse 1 (0,82) hat in der 500 Jahre Betrachtung den höchsten NNG, *ANS* (0,28) und *Kompost Klasse 2* (0,22) den geringsten.

6.2.3.2 Fazit NNG Maximalvariante

Verglichen mit dem IST-Zustand sinken die NNG's von *Rindergülle* und *Senkgrubeninhalten*, alle anderen Güter weisen höhere Werte auf. Am stärksten ist die Auswirkung für *Schweinegülle*, deren NNG auf Acker um über 100 % zunimmt (detaillierte Ergebnisse siehe Anhang B Tabelle 29).

Fazit ANS: *ANS* wird insbesondere durch seine hohe N-Konzentration limitiert. Dies kommt durch die gewählte Begrenzung von max. 120 kg N/ha.a besonders stark zum tragen. Wäre die N-Limitierung bei 175 kg N/ha.a so würde der NNG sowohl in der 100 als auch der 500 Jahre Variante auf 0,6 steigen. Der Schwermetalleintrag von

ANS ist jedoch äußerst gering, um durch das Schwermetallkriterium limitiert zu werden, könnte die TS-Menge von 0,7 t TS/ha a auf über 170 t auf Acker und fast 130 tTS/ha.a. auf Grünland gesteigert werden.

Fazit Klärschlamm: *Klärschlamm* wird in der 100 Jahre Variante durch die TS-Limitierung ansonsten durch das Schwermetall-Kriterium begrenzt.

Fazit Schweinegülle und Schweinemist: die Absenkung der Zink- und Kupfergehalte bewirkt, dass die Ausbringung nicht mehr durch den Schwermetallgehalt sondern durch die N- und vor allem aber durch die P-Begrenzung limitiert wird. Vor allem in der 500-Jahr-Variante steigt der NNG verglichen mit dem IST-Zustand bei *Schweinegülle* zumindest um 80 %, von *Schweinemist* von zumindest 30 % an.

Fazit Geflügelgülle und -mist: auf Ackerstandorten weisen diese Güter sowohl bei 100 Jahren als auch 500 Jahren mit die höchsten NNG's auf. Verglichen mit dem IST-Wert steigen die NNG für beide Güter in der 500-Jahre Variante auf Acker um 25 %.

Fazit Rindergülle und Rindermist: In der 100 jährigen Betrachtung liegt *Rindergülle* eher im Mittelfeld, da durch N limitiert. Bei der langfristigen Betrachtung hat jedoch *Rindergülle* auf Acker und auf Grünland den zweithöchsten NNG. *Rindermist* zeigt auf Acker in der kurzfristigen Variante den Maximalwert. Auch auf Grünland liegt dieses Gut im Spitzenfeld.

6.3 Ergebnisse aus den Konzeptvarianten

Im folgenden werden ausführlich die Resultate der realistischen Variante +50 % in 500 Jahren dargestellt. Insbesondere soll auf die verwendete Zuordnung der einzelnen Güter auf die Bodennutzungsformen eingegangen werden. Die Ergebnisse der anderen Varianten werden anschließend überblicksmäßig dargestellt.

6.3.1 Variante +50 % in 500 Jahren - realistische Variante

In einem ersten Schritt werden die berechneten NNG's entsprechend den Anforderungen des verwendeten Soft-Ware-Paketes SAS aufbereitet. Die Datenstruktur ist dabei (prinzipiell) wie folgt:

Tabelle 6-3: Schema der Datenstruktur

	benötigte Fläche	Acker	Grünland	Sonderkultur	Virtuell	
		21.898	18.025	3.110		verfügbare Fläche

Gülle Rind	4749	0,19	0,41	0,0	1	1 - Nährstoff- nutzungsgrad
------------	------	------	------	-----	---	--------------------------------

Nach dem Einlesen der Daten berechnet SAS jene Zuteilung der einzelnen Güter zu den Bodennutzungsformen, die in Summe die geringsten „Kosten“ verursacht (Kosten: 1 minus Nährstoffnutzungsgrad)“.

Für die realistische Variante erhält man das folgende (linear) optimierte Ergebnis:

Tabelle 6-4: Ergebnis der Flächenzuteilung mittels Transportproblem

Gut	Acker	Grünland	Sonderkultur	virtuell	benötigte Fläche
Gülle Rind	4.749	0	0	0	4.749
Gülle Schwein	0	16.819	0	9.625	26.444
Gülle Geflügel	2.987	0	0	0	2.987
Mist Rind	6.229	955	0	0	7.183
Mist Schwein	3.975	0	3.110	0	7.085
Mist Geflügel	1.674	0	0	0	1.674
Ks <BGW+200%	2.065	0	0	0	2.065
Ks >BGW+200%	219	0	0	0	219
Kompost Klasse 1	0	251	0	0	251
Kompost Klasse 2	0	0	0	60	60
Summe	21.898	18.025	3.110	9.685	52.718

In dieser Variante stehen anfänglich rund 10.000 ha zuwenig Fläche zur Verfügung. Insbesondere *Schweinegülle* wird auf die virtuellen Flächen zugeteilt. Die SAS-Berechnung ergibt folgende Hinweise: *Rinder-* und *Geflügelgülle* sowie *Geflügelmist* und die *Klärschlämme* sind vollständig auf den Äckern auszubringen, *Rindermist* sowie *Kompost Klasse 1* auf Grünland. *Rindermist*, *Schweinegülle* und *Schweinemist* sind aufzuteilen. Wird die berechnete Flächenzuteilung auf Basis der NNG mit auf diesen Bodennutzungsformen erlaubten aufbringbaren Gütermengen multipliziert, so werden im gewählten Fall Flächen frei (ca. 3 % der Acker- und rund 9 % der Grünlandflächen), die durch die Güter mit den höchsten NNG's aufgefüllt werden. *Rindermist* schließt die Ackerlücke. Fast derer gesamte *Schweinemist* von den Sonderkulturen wandert auf die Grünlandflächen. Die freiwerdenden Sonderkulturflächen werden durch *Schweinegülle* aufgefüllt.

Letztlich können rund 30 % der *Schweinegülle* sowie 100 % des *Kompost Klasse 2* unter den getroffenen Randbedingungen nicht regional landwirtschaftlich verwertet werden.

Tabelle 6-5: Optimierte Zuordnung von Gütern zu Bodennutzungsformen in ha bzw. t (realistische Variante +50 % in 500 Jahren)

Gut	Acker	Grünland	Sonderkultur	Virtuell in t
Gülle Rind	5.117	0	0	0
Gülle Schwein	0	15.416	2.093	4.669
Gülle Geflügel	2.031	0	0	0
Mist Rind	7.903	410	0	0
Mist Schwein	4.431	2.062	1.017	0
Mist Geflügel	1.141	0	0	0
Ks 1	1.124	0	0	0
Ks 2	150	0	0	0
Kompost Klasse 1	0	137	0	0
Kompost Klasse 2	0	0	0	50
Gesamtfläche	21.898	18.025	3.110	

Aus diesen Ergebnissen können wiederum neue (z.T. durch die Entscheidungsträger zu setzende) Forderungen abgeleitet werden: z.B.

- Aufbau einer überregionalen Wirtschaftsdüngerbewirtschaftung,
- Reduzierung des Tierbestandes von Schweinen/Rindern/Geflügel
- etc.

6.3.2 Sonstige Konzeptergebnisse

realistische Variante +50 % in 100 Jahren:

Es sind ausreichend Flächen für die Verwertung verfügbar. Dabei werden die Sonderkulturflächen vollständig belegt, Äcker zu rund 90 %. Auf Grünland gelangt nur *Kompost Klasse 1*. Die Sonderkulturflächen werden dabei durch *Rindergülle* beschickt. Eine weitere Optimierung wurde nicht durchgeführt, da sowohl Acker als auch Grünlandflächen nicht vollständig belegt wurden.

Maximalvariante +50 % in 100 Jahren:

Es stehen genügend Flächen zur Ausbringung zur Verfügung. Das heißt, alle Güter werden ausgebracht. Die Ackerflächen und Sonderkulturflächen werden dabei vollständig belegt, Grünland bleibt zu rund 50 % frei. Die Ergebnisse der SAS-Berechnung ergeben folgendes Bild: *Geflügelgülle* und *-mist*, *Schweinemist* und *-gülle* sowie *Klärschlamm* werden ausschließlich auf Acker, *Rindermist* und die *Komposte* auf Grünland ausgebracht. *Rindergülle* wird mengenmäßig zu über 90 % auf Grünland und zu knapp 10 % auf Sonderkulturen aufgebracht. *ANS* wird auf den Sonderkulturen ausgebracht.

Eine Optimierung wurde nicht durchgeführt.

Maximalvariante +50 % in 500 Jahren:

In dieser Variante stehen regional rund 3.500 ha zu wenig Ausbringungsfläche zur Verfügung. Anhand der SAS-Berechnung ergibt sich folgendes Resultat: *Rinder-* und *Geflügelgülle* sowie *Geflügelmist* sollten nur auf Ackerstandorte ausgebracht werden (für die Geflügel-Wirtschaftsdünger war dies eine Rahmenbedingung). *Schweinegülle* sollte jeweils zu rund 15 % auf Acker und Sonderkulturen und zu 65 % auf Grünland verwertet werden. *Kompost Klasse 1* und *Rindermist* sollten nur auf Grünland eingesetzt werden. Rund 20 % des ANS könnten auf den Sonderkulturstandorten verwertet werden, der Rest wird den virtuellen Flächen zugeteilt. *Klärschlamm* und *Kompost Klasse 2* wären vollständig von der Verwertung ausgeschlossen. Ausgeschlossen heißt, sie können nicht aufgebracht werden, ohne die definierten Kriterien Lagerveränderung innerhalb des definierten Zeitraumes zu überschreiten. Überraschend ist, dass das sehr schadstoffarme Gut ANS nicht in einem ersten Schritt verwertet werden kann. Dies ist bedingt durch die hohe N-Konzentration und die gewählte restriktive N-Limitierung von 120 kg N/ha.a, wodurch ANS einen relativ niedrigen P-Nährstoffnutzungsgrad aufweist. Zur Abdeckung der Nährstoffdefizite kann dieses Gut jedoch ohne die Gefahr eines größeren Schadstoffeintrages eingesetzt werden (siehe hierzu auch das folgende Kapitel 6.3.3).

Wie erwähnt beruht die Zuteilung auf die einzelnen Flächen auf einem durchschnittlichen Flächenanspruch. Durch die Zuteilung der Güter zu jenen Flächen, auf denen der NNG maximal ist, ändern sich die benötigten Flächen. Werden die einbringbaren TS-Mengen mit den optimierten Zuteilungen multipliziert, so bleiben knapp 5 % der Acker- und Grünlandflächen unbenutzt. Diese Flächen werden entsprechend der NNG's der Güter verschoben bzw. aufgefüllt. Von den Grünlandflächen wird *Schweinegülle* auf die Ackerflächen verschoben. Die „freiwerdende“ Grünlandfläche wird mit *Schweinegülle* aus den Sonderkulturflächen aufgefüllt, welche wiederum durch ANS aus den virtuellen –Flächen aufgefüllt werden. In der folgenden Tabelle ist die endgültige Zuteilung unter vollständiger Flächenausnutzung erfolgt.

Nach wie vor können der *Klärschlamm* und *Komposte Klasse 2* nicht regional landwirtschaftlich verwertet werden. Rund 60 % des ANS können auf die Sonderkulturflächen ausgebracht werden.

Tabelle 6-6: Optimierte Zuordnung von Gütern zu Bodennutzungsformen in ha (Maximalvariante +50 % in 500 Jahren)

	Acker	Grünland	Sonderkultur	Virtuell in t
Gülle Rind	5.970	0	0	0
Gülle Schwein	3.158	11.768	1.330	0
Gülle Geflügel	2.048	0	0	0
Mist Rind	0	6.100	0	0
Mist Schwein	5.212	0	0	
Mist Geflügel	1.151	0	0	0
Klärschlamm	0	0	0	1.720
ANS	0	0	1.780	775
Kompost Klasse 1	0	158	0	0
Kompost Klasse 2	0	0	0	50
Gesamtfläche	17.540	18.025	3.110	

6.3.3 Abdeckung der fehlenden Nährstoffmenge

Je nach betrachteter Variante, können die aufbringbaren Gütermengen in unterschiedlichem Ausmaß den Nährstoffbedarf der Kulturen abdecken. Die Differenz zwischen den aufbringbaren Gütermengen und dem Nährstoffbedarf muss jedoch durch andere Güter, beispielsweise durch mineralische oder organische Handelsdünger abgedeckt werden. In Fällen, in denen zu wenig Fläche für die Ausbringung der anfallenden Güter zur Verfügung steht, könnten auch die regional nicht verwertbaren Güter zusätzlich aufgebracht werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Handelsdüngern ebenfalls je nach Typ unterschiedlichste Schwermetallfrachten eingetragen werden. Die folgenden Darstellungen beziehen sich, sofern nicht andere Literatur angeführt wird, auf Analyseergebnisse anorganischer Düngemittel von [Boysen, 1992]:

Stickstoff: Stickstoffdünger wie Kalkammonsalpeter insbesondere jedoch Harnstoff weisen sehr geringe Schwermetallgehalte je kg TS auf. Bei Kalkammonsalpeter liegen jedoch die Pb-Konzentrationen (11,3 mg Pb/kg TS) etwas höher als bei den Wirtschaftsdüngern (3-7 mg Pb/kg TS). Werden die Schwermetallgehalte der Düngemittel auf den Reinnährstoff bezogen so sind die berechneten Frachten je kg Nährstoff bezogen so liegen auch die Pb-Frachten von Kalkammonsalpeter unter jenen der „bleiarmeren“ Wirtschaftsdünger. Zusätzlich werden die Wirtschaftsdünger bei der Ausbringung nicht durch den Bleigehalt sondern durch die Nährstoff- oder durch die Zink-, Kupfer oder Cadmiumgehalte limitiert. Das heißt, bei den Wirtschaftsdüngern besteht ein relativ großes „Pb-Polster“. Die *Komposte* und *Klärschlämme* weisen bezogen auf den Stickstoff bei allen Elementen deutlich schlechtere Werte als die Handelsdünger auf.

ANS kann fast mit der Reinheit von Harnstoff gleichgesetzt werden, wobei Harnstoff deutlich weniger mit Schwermetallen belastet ist als etwa Kalkammonsalpeter.

Phosphor: Bei P-Düngern spielt Cadmium eine besondere Rolle. Je nach Herkunft des Phosphatgesteins schwanken die Cd-Gehalte (Halbinsel Kola: 1 mg Cd/kg TS, Taiba / Senegal: 68 – 11 mg Cd/kg TS) [Sauerbeck & Rietz, 1980]. Der österreichische Grenzwert für die Cadmiumgehalte in Düngemitteln liegt bei 75 mg Cd/kg P₂O₅ [Düngemittelverordnung, 1994]. Der Cadmiumgehalt der P-hältigen Düngemittel (in Österreich) liegt bei rund 40 mg Cd/kg P₂O₅ [Agrolinz, 1996]. [Boysen, 1992] gibt für Superphosphat und Triplesuperphosphat einen durchschnittlichen Gehalt von 54 mg Cd/kg P₂O₅ an.

Die genannten Gehalte in Handelsdüngern liegen rund dreimal höher als jene in den betrachteten Wirtschaftsdüngern (Ausnahme *Rindermist*). Auch die betrachteten Klärschlämme weisen eine spezifische Cd-Fracht von 10 bis 15 mg Cd/kg P₂O₅ auf. ANS ist bei allen Elementen weniger belastet als die P-Handelsdünger.

Rindermist und *Kompost Klasse 1* haben etwa die selben spezifischen Frachten wie die genannten Phosphatdünger (ebenfalls rund 40 mg Cd/kg P₂O₅). In Bezug auf die Cd-Fracht ist Thomasphosphat der mit Abstand „sauberste“ Handelsdünger, allerdings liegen in diesem Nebenprodukt der Stahlherstellung sehr hohe Konzentrationen schwerflüchtiger Metalle wie z.B. Chrom vor (Durchschnitt nach [Boysen, 1992]: 11.800 mg Cr/kg P₂O₅).

Bei allen anderen betrachteten Elementen sind die durch die Handelsdünger eingebrachten spezifischen Frachten (auf P₂O₅ bezogen) wesentlich geringer (um zumindest einen Faktor 10).

Die aufbringbaren Gütermengen der Wirtschaftsdünger von *Schweinen* und *Geflügel* wird in den „strengen“ Varianten von den Schwermetallen Zink oder Kupfer und in den weicheren Varianten teilweise bereits durch den Phosphor begrenzt. Das heißt, dass bei diesen Gütern ein zusätzliches Cd-Polster besteht. Die *Klärschlämme* werden bei der Ausbringung in diversen Varianten entweder durch Zink (in den strengeren Varianten) sowie durch den P-Gehalt oder die Beschränkung der TS-Menge nach der Klärschlammverordnung beschränkt. Bei der TS-Begrenzung besteht somit ein zusätzliches Cd-Polster. Bei *Kompost Klasse 1* wird die Aufbringung in den weicheren (+100%) Varianten sowohl auf Acker als auch auf Grünland durch P begrenzt. Auf Grünland ist in den strengeren Varianten zumeist Cadmium für dieses Gut limitierend. Angesichts der vergleichsweise hohen P-Fracht die je ha durch diese Komposte ausgebracht werden kann ist jedoch nur eine relativ geringe zusätzliche P-Düngung, und damit zusätzlicher Cadmium-Eintrag notwendig. Die Aufbringung von *Kompost Klasse 2* wird entweder durch Blei oder die TS-Begrenzung beschränkt. Es besteht somit ein Cd-Polster. *Rindergülle* wird entweder durch Zink (in den strengen Varianten) oder durch den enthaltenen Stickstoff (und etwas weni-

ger rasch durch den P) bei der Ausbringung begrenzt. Somit ist auch hier ein zusätzliches Cd-Polster vorhanden.

Auch die Kalidüngemittel sind geringer mit Schwermetallen belastet als die betrachteten biogenen Güter.

Fazit:

Durch die aufgebrauchten Güter kann der Nährstoffbedarf der Kulturen nur zum Teil abgedeckt werden. Die Differenz muss beispielsweise durch Handelsdünger abgedeckt werden. Denkbar ist auch jene Gütermengen zu verwerten die bislang von der Verwertung ausgeschlossen wurden (vor allem ANS, das von der Reinheit zumindest mit den Handelsdüngern gleichgesetzt werden kann). Dabei wird jedoch mit Ausnahme von ANS in Kauf genommen, Güter einzusetzen, die höhere Schadstofffrachten als viele Mineraldünger aufweisen. Ein Vergleich der Schadstoffbelastung zwischen den betrachteten Gütern und mineralischen Handelsdüngern zeigt, dass die Handelsdünger wesentlich weniger mit (zumindest den betrachteten) Schwermetallen belastet sind. Eine Ausnahme stellt das Element Cadmium in gewissen Super- und Triplephosphat-düngern dar, die aus stark Cd-hältigen Rohphosphaten gewonnen wurden. Hier kann die Cd-Fracht je Nährstoffmenge größer als bei den betrachteten Gütern sein. Eine genauere Auswertung der einzelnen Güter in Hinblick auf die die Ausbringungsmenge limitierenden Faktoren (Schwermetall-Gehalt, Nährstoffgehalt oder rechtliche Vorgaben) zeigt jedoch, dass bei den meisten Gütern ein zusätzliches Cd-Polster (Polster: Differenz aus Bodengrenzwert und berechneter Cd-Lagerveränderung der jeweiligen Variante) besteht. Auch nach der vollständigen Abdeckung des Nährstoffbedarfes stehen noch große „Polster“ zur Verfügung um die depositionsbürtigen Schwermetallfrachten aufzunehmen.

6.3.4 Fazit Konzepte

In den 100-Jahre-Varianten steht ausreichend Fläche zur Verwertung aller Güter zur Verfügung. Die Optimierung zeigt jedoch, dass einzelne Güter in den jeweiligen Varianten bestimmten Bodennutzungen zugeordnet werden können.

In den 500-Jahre Varianten limitiert die Fläche mengenmäßig die Ausbringung einzelner Güter. Insbesondere *Schweinegülle* in der realistischen Variante sowie *Klärschlamm* in der Maximalvariante können nicht vollständig in der Region verwertet werden.

Kompost Klasse 1 kann im Gegensatz zur *Klasse 2* in allen Varianten regionalen verwertet werden; und ist aus Sicht der Nährstoffnutzung höher als einzelne Wirtschaftsdünger einzustufen.

Auch die Klärschlämme der realistischen Variante können landwirtschaftlich verwertet werden. Es ist dabei zu betonen, dass die in diesem Projekt gebildeten Klärschlammgruppen wesentlich sauberer sind, als die Mindestanforderungen nach der gültigen Klärschlammverordnung.

Zur Erstellung der Konzepte sind Rahmenbedingungen vorzugeben (Definition des SOLL-Zustandes). Die Ergebnisse der Konzepte können wiederum als Ausgangsbasis für weitere Maßnahmen bzw. neue Rahmenbedingungen dienen.

Um ein Konzept umzusetzen sind Rahmenbedingungen als auch Maßnahmen von den Entscheidungsträgern festzulegen. Es ist abzuwägen bzw. vorzugeben,

- ob bestehende Strukturen weitgehend konserviert werden, und dadurch der Wettbewerb zwischen den einzelnen Gütern zurück gedrängt wird
- ob Maßnahmen gesetzt werden, Schadstoffgehalte von Gütern zu senken (Bsp.: Zn-, Cu-Beimischungen zu Futtermitteln strenger reglementieren, Schwermetallgehalte von Klärschlämmen absenken)
- ob bestimmte Wirtschaftsweisen gefördert werden (Bsp. Biolandbau mit Obergrenzen von 2 GVE/ha)
- welche Güter autonom, d.h. regional und welche überregional zu verwerten sind
- welche Güter von bestimmten Flächen ausgeschlossen sind
- welche regionalen/überregionalen Verwertungsstrukturen geschaffen werden
- welche Anreicherung welches Stoffes innerhalb welchen Zeitraumes akzeptabel ist

7 Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

Die Schlussfolgerungen lassen sich in folgende Bereiche gruppieren: (i) methodisch, (ii) rechtlich (iii) konzeptionell. Dabei werden Folgerungen zumeist mit einem Handlungsbedarf verknüpft.

ad (i): methodische Schlussfolgerungen/Handlungsbedarf:

- Die Festlegung von Bodengrenzwerten allein durch Angabe einer maximalen Konzentration ist unzureichend um langfristig Bodenschutz zu betreiben. Grenzkonzentrationen sind um die Angabe einer Zeitdimension zu erweitern (Bsp. 300 mg Zn/kg TS nach 500 Jahren). Um diesen Vorgaben die Bewirtschaftungspraxis anpassen zu können, müssen Modelle zur Berechnung der Schwermetallanreicherung eingesetzt werden, die sowohl den festgelegten Bodenkonzentrationen als auch dem vorzugebenden Zeithorizont Rechnung tragen.
- Schadstoff-Nährstoff-Verhältnisse charakterisieren die Belastung von Düngern wesentlich besser als die alleinige Angabe von Stoffkonzentrationen. Anhand dieser Verhältnisse kann unmittelbar vom Nährstoffbedarf auf die eingebrachte Schadstoffmenge umgerechnet werden. Durch die Berücksichtigung der anthropogenen Zusatzfracht kann die Charakterisierung insbesondere von Gütern mit einem hohen Anteil einer langfristig stabiler Bodenmatrix noch weiter differenziert werden.
- Stoffkonzentrationen, das Schadstoff-Nährstoffverhältnis und die anthropogene Zusatzfracht sind unzureichend um Nährstoff-Nutzungskonzepte abzuleiten. Eine Erweiterung insbesondere mit den Austrägen aus dem Boden (Erosion, Auswaschung, Pflanzenentzug) ist notwendig. Das entwickelte Schichtenmodell erlaubt die Berechnung der maximal ausbringbaren Gütermengen unter Berücksichtigung der verschiedenen Austräge. Die Verknüpfung dieser errechneten Mengen mit den Nährstoffkonzentrationen liefert z.T. jedoch Werte die über geltenden rechtlichen Vorgaben bzw. Normen zu liegen kommen. Ebenso wird nicht berücksichtigt, wie hoch die Nährstoffverluste vom Ausgangsprodukt bis zum erzeugten Endprodukt sind. Damit ist auch das Schichtenmodell nur eingeschränkt geeignet ein Nutzungskonzept zu erstellen.
- Gleiche Stofffrachten des selben Gutes bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Aufbringungsmengen weisen unterschiedliche Anreicherungszeiträume auf. Niedrigere Stoffkonzentrationen verlängern bei höheren jährlichen Aufbringungsmengen (t TS Endprodukt) bei gleicher eingetragener Fracht die Dauer der Aufkonzentrierung und umgekehrt. Der Grund dafür ist der „Verdünnungseffekt“ der aufgebrachten stabilen Matrix. Die Stoffanreicherung im Boden strebt deshalb trotz (angenommener) jährlich gleichbleibender aufgebrachter Stofffrachten einem "Grenzwert" zu.
- Der NNG ermöglicht den Vergleich unterschiedlichster Produkte in Hinblick auf Nährstoffnutzung, Umweltbelastung und Bedarfsabdeckung. Diese sind teilweise stark von den regionalen Gegebenheiten beeinflusst. **Nutzungskonzepte** basie-

rend auf dem NNG **sind** somit **regional zu erstellen**, eine Übertragbarkeit der regionale Ergebnisse auf andere Regionen ist nur bedingt möglich.

(i) rechtliche Schlussfolgerungen/Handlungsbedarf

- Die meisten Güter werden bei der Ausbringung durch ihren P-Gehalt und nicht durch den N-Gehalt limitiert. Dies, obwohl im Raabtal die P-Versorgung der Böden nur der Gehaltsstufe A (Grünland) bzw. B (Acker) entspricht und deshalb eine P-Fracht die 50 % (bzw. 25 %) über dem Ernteentzug liegt für den P-Bedarf in Ansatz gebracht wurde. Wären die Böden besser mit P versorgt, so würde die P-Begrenzung noch wesentlich stärker wirksam werden.
- Die Bodenschutzprogrammverordnung bzw. die Klärschlammverordnung sind in Bezug auf die bestehenden Grenzwertregelungen zu überarbeiten. Sowohl die Absenkung des Bodengrenzwertes bei größerer Bearbeitungstiefe als auch die Erhöhung des Grenzwertes bei geringerer Bearbeitungstiefe ist unbefriedigend. Der langfristige Schutz des Menschen und der Umwelt ist bei der Grenzwertfestlegung jedenfalls zu berücksichtigen.
- Das Land Steiermark hat keine eigene Kompostverordnung. Die Praxis lehnt sich deshalb an die ÖNORM S2200 an. Die Grundintentionen der genannten Norm für Kompostklasse II sowie des Steiermärkischen Bodenschutzgesetzes sind jedoch unterschiedlich. Die ÖNORM zielt darauf ab, bestimmte Bodenkonzentrationen innerhalb von 100 Jahren nicht zu überschreiten (Erhöhung der Aufbringungsmengen mit steigender Bearbeitungstiefe), während das Bodenschutzgesetz einen frachtbezogenen Ansatz verfolgt (Absenkung der Grenzwerte mit zunehmender Bearbeitungstiefe).
- Die mengenmäßige Ausbringung der Kompostklasse I nach ÖNORM S2200 wird durch das Wasserrechtsgesetz reglementiert. Bei den erhobenen Kompostqualitäten wird jedoch die Ausbringung nicht durch den N-Gehalt sondern durch den P-Gehalt limitiert (die eingetragene P-Fracht bei Ausschöpfung der Vorgaben des Wasserrechtsgesetzes übersteigt die Empfehlungen nach den Richtlinien der Sachgerechten Düngung). Eine Erweiterung bei der Berechnung der Ausbringungsmengen der Kompostklasse I nach der ÖNORM S2200, die sich nur an der N-Beschränkung nach dem Wasserrechtsgesetz orientiert, ist je nach N- und P-Gehalt angezeigt. Die erlaubten Aufbringungsmengen sollten entsprechend der N- und der P-Fracht begrenzt werden.

- Die Berechnung der erlaubten Ausbringungsmengen für die Kompostklasse II nach ÖNORM S2200 sollte klarer formuliert werden. Insbesondere die Formulierung „Schwermetallanreicherung“ ist zu präzisieren. Die Berechnung der Schwermetallanreicherung beinhaltet allfällige weitere Einträge sowie alle Austräge aus dem Boden. Die Vorgabe „in 100 Jahren“ bedarf zusätzlich der Anwendung nicht-linearer Modelle, da sich die Austräge mit zunehmender Bodenkonzentration ebenfalls, wen auch nicht zwingend proportional, verändern. Der einfachste Weg erscheint jedoch, analog der Klärschlammverordnung bzw. des Bodenschutzgesetzes die Ausbringungsmengen und/oder die erlaubten Schadstoff-Höchstfrachten je Fläche und Zeiteinheit zu limitieren.
- Eine Abänderung der Aufbringungsmengen nach üblichen Bewertungsmaßstäben (Grenzwerte, Nährstoff-Schadstoffverhältnisse, Frachten) für Komposte sollte sicherstellen, dass in jedem denkbaren Fall die erlaubten Schadstofffrachten der Kompostklasse II unter jenen der Klasse I zu liegen kommen. Begründung: bedingt durch den Abbau der organischen Substanz und der Lösung/ Auswaschung/Aufnahme der löslichen Anteile findet eine Aufkonzentrierung der verbleibenden Stoffe statt. Die sich allein durch das eingebrachte Gut maximal einstellende Konzentration im betrachteten Bodenkörper strebt je nach Ausgangskonzentration im Gut einem anderen „Grenzwert“ zu (je höher die Ausgangskonzentration desto höher der „Grenzwert“).
- Bei einer Bearbeitungstiefe von 20 cm kann bei voller Ausnutzung der Schwermetallgrenzwerte der Kompostklasse I und entsprechendem (eher niedrigem) N-Gehalt der Fall auftreten, dass die erlaubten Gesamtfrachten an einzelnen Schwermetallen bei der Kompostklasse I (die vermeintlich „saubere“ Klasse) höher zu liegen kommen als bei Kompostklasse II (die vermeintlich „belastete“ Klasse).
- Eine Begrenzung der Schadstoffmengen anhand der anthropogenen Zusatzfracht macht eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Klassen unnötig. Dazu ist es jedoch notwendig, geeignete Bestimmungsmethoden für die langfristig abbaubare organische Substanz sowie die stabile anorganische Matrix zu entwickeln und zu standardisieren.
- Die ÖNORM S2200 erlaubt je nach Bearbeitungstiefe der Äcker unterschiedliche Schadstofffrachten bei der Kompostklasse II. Für Grünland sind nach dieser Norm die Mengen zu halbieren. Es wäre zu präzisieren, auf welche Acker-Bearbeitungstiefe Bezug genommen wird (z.B. 20 cm).

- Bei der gesetzlichen Festlegung der Aufwandsmengen für Kompost kann die Ausgangstrockensubstanz als Anhaltspunkt dienen. Bei einem angenommenen Rotteverlust von 55 % der TS ergibt sich für eine Menge von 17,5 t TS (175 kg N, 1 % N-Gehalt) eine Ausgangstrockensubstanz von rund 40 t TS. Bezogen auf den TS-Entzug je ha durch die Ernte (Annahme 5 t TS/ha.a) bedeutet dies eine 8-fach größere TS-Menge! Für die praktische Umsetzung ist jedoch die Zusammenlegung von Jahresfrachten notwendig.
- Das Wasserrechtsgesetz ist in Bezug auf die erlaubten N-Mengen je ha Acker (175 kg N/ha.a) und Grünlandfläche (210 kg N/ha.a) und der Bindung des Viehbestandes an die Fläche (3,5 GVE je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche und Jahr) nicht konsistent. Eine Abstufung des „bewilligungsfreien“ Viehbestandes sollte analog der N-Begrenzung je ha nach Acker und Grünland erfolgen (Bsp. 2,9 GVE/ha.a Ackerland, 3,5 GVE/ha.a Grünland).
- Die Düngeempfehlungen entsprechend den Richtlinien für Sachgerechte Düngung für Standorte der Gehaltsstufe E sollten überarbeitet werden. Für diese Gehaltsstufe wird folgende Empfehlung formuliert: „weitere Nährstoffzufuhr nicht zu empfehlen. Nährstoffe im hofeigenen Wirtschaftsdüngern bis zur Höhe des Pflanzenentzuges tolerierbar“. Ziel sollte es sein, die Böden auf ein vernünftiges P-Niveau abzureichern (und damit die P-Einträge in die Oberflächengewässer und letztlich in das Eutrophierungserscheinungen zeigende Schwarze Meer zu reduzieren). Dazu ist es notwendig, ein regionales Wirtschaftsdünger-Management (z.B. in Form von Güllebanken) zu etablieren. Auch die Möglichkeiten der Güllevergärung mit anschließender P-Fällung, Trocknung und regionaler/überregionaler Verwertung ist ein denkbarer Weg.
- Das Steiermärkische Landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz und die darauf aufbauende Klärschlammverordnung sollten besser aufeinander abgestimmt werden. Die erlaubten Höchstfrachten an Schwermetallen je Fläche ergeben sich aus der Bodenschutzverordnung (2,5 t TS/ha.a bei Ackerflächen) mal den Schwermetallgrenzwerten (Klärschlammverordnung). Liegen Konzentrationen im Klärschlamm unter den Grenzwerten, werden die erlaubten Maximalfrachten unterschritten - eine Aufweichung der 2,5 t TS-Limitierung erschiene in diesen Fällen konsequent. *Prinzipiell sind jedoch die erlaubten maximalen Schwermetallfrachten insbesondere für Cd viel zu hoch* (Lagerverdoppelung im Bodenhorizont 0-30 cm innerhalb von 20 Jahren bei jährlicher Ausbringung der Höchstfracht). Eine Reduzierung der erlaubten Höchstfrachten ist somit angezeigt. Dies kann vor allem durch eine Senkung der Klärschlammgrenzwerte erreicht werden. Zusätzlich sollte in der Klärschlammverordnung bei der Begrenzung der Ausbrin-

gungsmengen der P-Gehalt miteinbezogen werden. Übersteigt die eingetragene P-Fracht einen bestimmten Wert (z.B. Empfehlungen entsprechend der Richtlinien zur Sachgerechten Düngung für die jeweilige Kultur und jeweiliger Nährstoffversorgung des Bodens) so ist die P-Fracht limitierend.

- Je nach betrachteter Variante ergeben sich nach dem Schichtenmodell für **Cadmium 5 bis 15 mal niedrigere Aufbringungsmengen** als die nach der Klärschlammverordnung entsprechenden zulässigen Mengen. Die Klärschlammgrenzwerte insbesondere von Cadmium sind zu senken.
- In Bezug auf Schwermetalle sind insbesondere Wirtschaftsdünger aus der Schweinehaltung mit Klärschlämmen vergleichbar. Mengenmäßig fallen diese Dünger in wesentlich höherem Ausmass an als etwa Klärschlämme. Vergleichbare Regelungen wie für die Klärschlammausbringung oder die Kompostausbringung sind im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes angezeigt.

(iii) Konzeptionelle Schlussfolgerungen/Handlungsbedarf

- Je nach definiertem Anreicherungszeitraum (100 Jahre - 500 Jahre) oder Anreicherungs-Ausmaß (+10, +50 %, +100 %) können unterschiedliche Schwermetalle die Aufbringung des selben Gutes begrenzen.
- Bei allen 500-Jahr-Varianten wird die Ausbringung vor allem durch den Schwermetallgehalt begrenzt, bei den 100 Jahr-Varianten hingegen nur die erste Variante (+10 %).
- Je mehr Schwermetalle in den einzelnen Varianten „zugelassen“ sind, desto stärker werden die Güter bei der Ausbringung durch rechtliche Regelungen bzw. Empfehlungen begrenzt. Die maximalen Aufbringungsmengen der einzelnen Güter verändern sich nicht proportional mit der erlaubten Lagerveränderung oder dem Anreicherungszeitraum. Eine Verfünfachung (von + 10 % auf +50 %) der erlaubten Lageranreicherung erhöht die aufbringbaren TS-Mengen maximal um rund das 2 (500 Jahre Variante) bis 3-fache in der (100 Jahre Variante).
- Die aktuellen Aufbringungsmengen an Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten führen auf den verfügbaren Acker- und Grünlandflächen zu einer stärkeren Schwermetallanreicherung als dies nach den „strengen“ Varianten (+10 % in 100 Jahren, +10 % in 500 Jahren) aber auch in der Variante +50 % in 500 Jahren zulässig ist.

- Um die Blei- und Cadmiumanreicherung in den Böden zu verlangsamen, sind vor allem Maßnahmen zur Reduzierung der Pb- und Cd-Emissionen in die Luft zu setzen.
- Die Kupferanreicherung in den Böden kann vor allem durch Maßnahmen in der Schweineernährung vermindert werden.
- Nährstoffnutzungskonzepte die allein anhand der Kriterien Ressourcennutzung und Umweltverträglichkeit abgeleitet werden, vernachlässigen sowohl die ökonomischen als auch die sozialen Rahmenbedingungen. Die Politik hat Kriterien und Rahmenbedingungen vorzugeben innerhalb derer die Nutzung von Nährstoffen optimiert werden kann.

7.1 Forschungsbedarf

- Zur Charakterisierung der einzelnen Güter und um die langfristige Anreicherungswirksamkeit der Güter abzuschätzen, sind Kennwerte über den Gehalt an langfristig stabiler organischer (nicht abbaubar) und anorganischer (im Bodenmilieu nicht löslich) Matrix notwendig (Stichwort Verdünnungseffekt).
- Die Datenlage über Stoffkonzentrationen und Anfallsmengen in der Einzelkompostierung ist unbefriedigend.
- Die Datenlage über regionale Stoffkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern ist unzureichend. Von besonderem Interesse sind dabei die Zn- und Cu-Konzentrationen in Schweinegülle und Schweinemist.
- Über die Deposition gelangen jährlich große Schwermetallmengen (insbesondere Blei und Cadmium) auf die Böden. Die Messung dieser Mengen in einem mehrjährigen Turnus ist notwendig (z.B. alle 5 Jahre).
- Die Daten über Abfälle und Abwässer in Bezug auf Mengen und Qualitäten aus Industrie und Gewerbe sind unzureichend. Diese Güter stellen jedoch ein wichtiges Nährstoffpotential dar.
- Das Wissen um langfristig tolerierbare Schadstoffmengen muss vermehrt werden.

8 Zusammenfassung

8.1 Ziel des Projektes

Ziel des Projektes „Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Materialien - Entwurf eines regionalen Bewirtschaftungskonzeptes“ ist die Entwicklung eines aus Sicht der Ressourcenschonung und der Umwelt-verträglichkeit optimierten regionalen Bewirtschaftungskonzeptes für biogene Abfälle und Abwasserschlämme aus dem Siedlungsbereich einschließlich Industrie, Gewerbe sowie der in der Landwirtschaft anfallenden Wirtschaftsdünger.

Die Nutzung biogener Materialien erscheint sinnvoll, um die darin enthaltenen Nährstoffe zu verwerten (Ressourcenschonung, 2. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG)). Die Berücksichtigung der enthaltenen Schwermetalle in den Endprodukten trägt dem ersten Ziel des AWG's „Schutz des Menschen und der Umwelt“ Rechnung. Ebenso kann durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm und Kompost Deponievolumen eingespart werden (3. Ziel des AWG).

Es gilt somit Nährstoffe zu verwerten, ohne die Böden langfristig mit Schwermetallen über ein Ausmaß anzureichern, das den Schutz des Menschen und der Umwelt nicht mehr gewährleistet.

Als Nährstoffe wurden Stickstoff und Phosphor, als Schwermetalle Zink, Kupfer, Blei und Cadmium ausgewählt.

Die betrachtete Region ist das Steiermärkische „Raabtal“. Die Gesamtfläche beträgt rund 980 km². Davon werden etwa 50 % landwirtschaftlich genutzt. 1997 betrug die Einwohnerzahl nach der Landesstatistik 98.504, dies ergibt mit genannter Fläche eine Bevölkerungsdichte von 100,6 E/km².

8.2 Anfallende Nährstoffmengen in biogenen Materialien

In Summe werden aus den anfallenden biogenen Materialien rund 80.000 t TS Endprodukte erzeugt. Dabei überwiegen bei weitem die Wirtschaftsdünger (rund 90 % der Gesamtmenge). Die erzeugten Komposte tragen mengenmäßig etwa 3 % die Klärschlämme etwa 2 % zur Gesamtmenge bei (*Frage 1*).

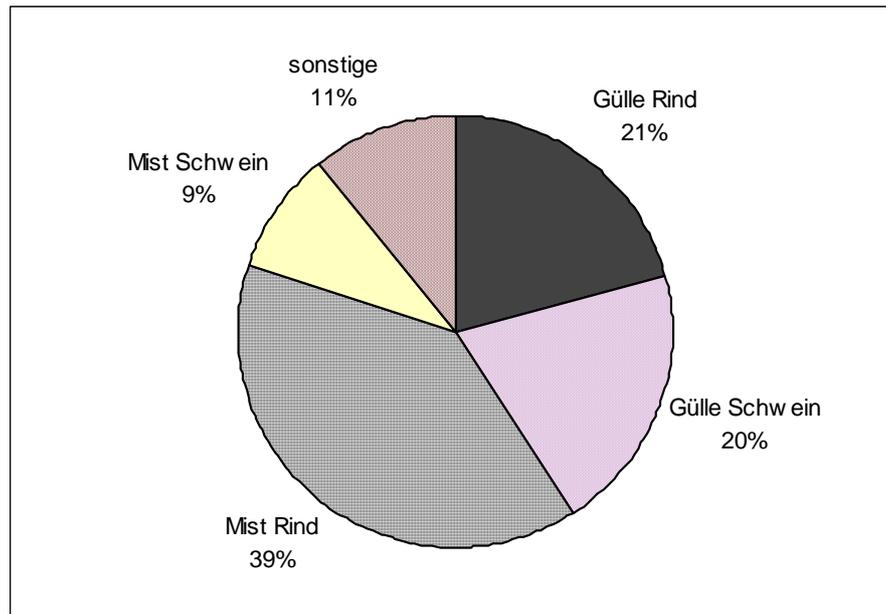


Abbildung 8-1: Regional anfallende Düngermengen in t TS (100 % = 78.600 t)

In Summe fallen in der Region jährlich rund 5.600 t N und 1.170 t P in biogenen (Abfall)Materialien an, die in unterschiedlichen Verfahren behandelt werden.

Unter dem Begriff „Verfahren“ wird in dieser Arbeit sowohl eine gezielte (bio)technische Behandlung, aber auch die Lagerung von biogenen Materialien verstanden. Im Sinne dieser Definition wurden folgende Verfahren betrachtet (*Frage 3*): Einzelkompostierung, landwirtschaftliche Kompostierung, Senkgruben, kommunale Kläranlage, betriebliche Kläranlage, betrieblich-landwirtschaftliche Vergärung sowie die Wirtschaftsdüngerlagerstätten. Diese Verfahren erzeugen (Verfahrens-)Produkte (=Güter) wie beispielsweise Einzelkompost, Senkgrubeninhalte, Kompost, Klärschlamm und die verschiedenen Wirtschaftsdünger.

Die größten N- und P-Flüsse stehen mit der Landwirtschaft in unmittelbarem oder mittelbarem Zusammenhang: Wirtschaftsdüngern, Ernteprodukte, Futtermittelimporte, Ausfuhr tierischer und pflanzlicher Produkte aus dem Raabtal. Der große Einfluss der Landwirtschaft wird verstärkt durch die ihr nachgeschalteten Betriebe der Nahrungsmittelindustrie, insbesondere durch Schlachthöfe.

Die Erzeugung tierischer Nahrungsmittel übersteigt den lokalen Bedarf. Es werden um 70 % mehr Rinder und um 120 % mehr Schweine in der Region gemästet, als in der Region tatsächlich geschlachtet werden. Betrachtet man die in regionalen Schlachthäusern erzeugten Fleischmengen aus regionalen Beständen (d.h. ohne

Importe von Geflügel), so wird um 40 % mehr Fleisch erzeugt als regional verzehrt wird.

Zur Deckung des regionalen Bedarfes an Trinkmilch und anderen Milchprodukten sind etwa 40 % der regionalen Rohmilchproduktion ausreichend.

Die regionale Futtermittelproduktion kann rund 70 % des Nährstoffbedarfes der Tierbestände abdecken, die restlichen 30 % werden in die Region eingeführt.

Frage 2, 4, 5: In den im Raabtal anfallenden biogenen Materialien überwiegen gemessen an der Stickstofffracht bei weitem die Wirtschaftsdünger aus der Landwirtschaft, wobei der größte Teil als Stallmist Jauche oder Gülle unmittelbar ausgebracht wird. Die jährlich anfallenden Frachten an N und P in den Wirtschaftsdüngern belaufen sich auf 3.600 t N und 810 t P. Durch die großen N-Verluste während der Lagerung und Ausbringung reduzieren sich die Stickstoffmengen auf etwa 2.700 t N.

Auch bei den anderen Verfahren treten Nährstoffverluste auf: Die Verluste in den kommunalen Kläranlage betragen etwa 45 –50 % des Phosphors und rund 90 % des Stickstoffs. Die Verluste in der landwirtschaftlichen Kompostierung wurden mit rund 25 % des N, jene der Einzelkompostierung mit ca. 35 % des N und für Senkgrubeninhalte sowohl für N als auch P Verluste von etwa 35 % angesetzt (*Frage 11*, siehe auch 8.3.4.1).

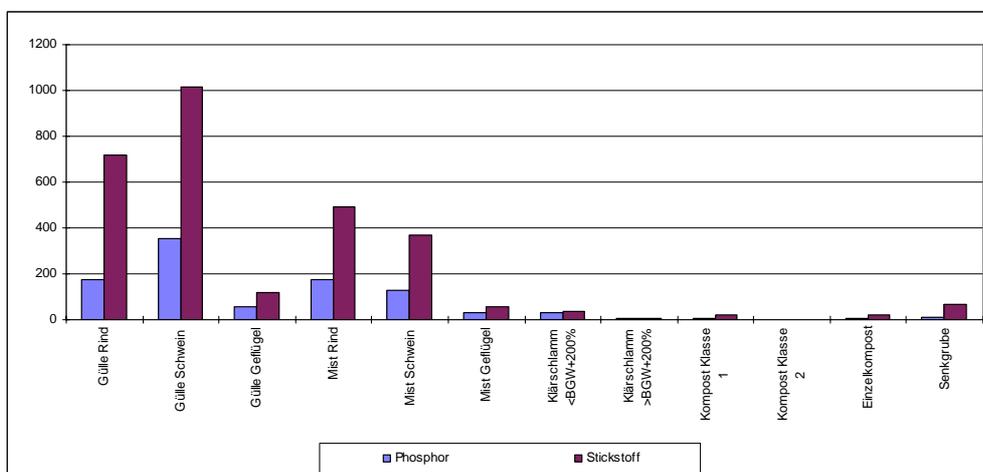


Abbildung 8-2: Nährstoffmengen in den erzeugten Endprodukten in t/a

Rund ein Viertel der anfallenden Nährstofffrachten stammen aus Abwasser und Abfällen aus Industrie, Gewerbe und Handel. Ein großer Teil der Abfälle fällt dabei als Schlachtabfälle an, und ist somit auf Grund der Tierkörperverwertungsverordnung [Stmk. LGBl. 90/1996] einer regionalen Verwertung nicht direkt zugänglich.

Die Abwässer aus der Lederindustrie bilden einen großen Teil der betrieblichen Abwässer (ca. 90 %). Die Datenlage über gewerblich anfallenden Abfälle und Abwässer bezüglich Mengen, Nährstoff- und Schadstoff-Frachten ist jedoch unzureichend und unsicher. Diese biogenen Materialien wurden deshalb in den weiteren Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt.

Abwässer resp. biogene Abfälle aus den Haushaltungen beinhalten eine Nährstoffmenge von 8 resp. 1 % des Stickstoffs sowie 5 % resp. 1 % des Phosphors.

Der größere Teil der biogenen Abfälle aus Haushaltungen wird in der Einzelkompostierung verwertet und gelangt nicht auf den landwirtschaftlichen Boden (Einzelkompostierungsgrad 80 %). Die kommunalen Klärschlämme werden zu rund 60 % auf regionale landwirtschaftliche Böden ausgebracht, der Rest wird außerhalb der Region verwertet.

In den erzeugten Endprodukten befinden sich etwa 40 t Zink, 12 t Kupfer, 0,5 t Blei sowie etwa 40 kg Cadmium (siehe hierzu auch Abbildung 8-4) (*Frage 2*). Bei Zink stammt über 50 % aus der *Schweinegülle*, aus *Rindermist* rund 20 % und aus *Schweinemist* etwa 15 %. Alle anderen Güter liegen unter 10 % (*Klärschlamm* rund 2 %, *Komposte* <1 %). Die größte Kupferfracht ist ebenfalls in *Schweinegülle* (60 %) enthalten. Weitere 17 % stammen aus *Schweinemist* und 11 % aus *Rindermist*. In *Klärschlämmen* und *Komposten* ist jeweils etwa 1 % des Kupfers enthalten. Die größte Bleimenge ist mit über 40 % im *Rindermist* zu finden. 17 % sind in *Rindergülle* und etwa 15 % und in den *Komposten* enthalten. *Schweinegülle* und die *Klärschlämme* enthalten jeweils fast 10 % der Bleimenge. Cadmium ist mengenmäßig vor allem in *Rindergülle* (rd. 40 %), in *Schweinegülle* (etwa 25 %) und *Rindergülle* (15 %) zu finden. Die *Komposte* und *Klärschlämme* enthalten jeweils weniger als 3 % der Cadmiumgesamtmenge.

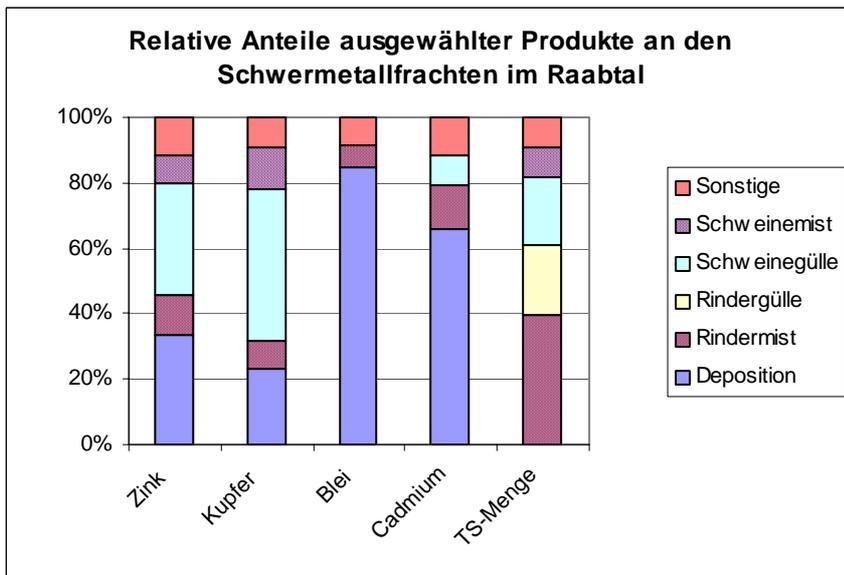


Abbildung 8-3: Relative Anteile ausgewählter Produkte an den Schwermetallfrachten im Raabtal

Für die Ausbringung von Kompost und Wirtschaftsdünger stehen potentiell die gleichen Aufbringungsflächen zur Verfügung. Die Flächen für Klärschlamm werden stark eingegrenzt. Insbesondere kommt dabei die Steiermärkische Klärschlammverordnung [Stmk. LGBl. 11/1988] zu tragen, nach der die Aufbringung von Klärschlamm nur auf landwirtschaftliche Böden zulässig ist, die nach den von der Bundesanstalt für Bodenkultur erstellten Bodenempfindlichkeitskarten als „minder empfindlich“ oder „weitgehend tolerant“ eingestuft sind. Für Grünland bringt auch das ÖPUL-Programm weitere deutliche Einschränkungen (Frage 7).

In Summe steht für die Klärschlammausbringung etwa ein Drittel der Ackerfläche (ca. 7.000 ha) und ein Fünftel der Grünlandfläche zur Verfügung (ca. 4.000 ha) (Frage 8). Diese Flächen sind jedoch völlig ausreichend um den anfallenden Klärschlamm auszubringen, denn auch in der strengsten Variante (+10 % in 500 Jahren) beträgt die benötigte Ackerfläche nur etwa 720 ha und die Grünlandfläche etwa 900 ha. Für Wirtschaftsdünger sowie den Kompost Klasse 1 gibt es keine Einschränkungen der Aufbringungsfläche.

8.3 Bewertung der biogenen Materialien

Bei der Bewertung der einzelnen Güter war es notwendig den Verfahrensbegriff noch spezifischer zu fassen: *Unter dem Begriff „Verfahren“ wird gutspezifisch sowohl eine gezielte (bio)technische Behandlung, aber auch die Lagerung von biogenen Materialien verstanden. Bsp.: „Lagerung von Schweinegülle und deren Ausbringung“, „Erzeugung von Kompost Klasse 1“.*

Um ein nachhaltig umweltverträgliches Nutzungskonzept zu erstellen sind Randbedingungen vorzugeben bzw. Voraussetzungen zu erfüllen:

- Es ist vorzugeben, welche Schadstoffbelastung der Böden akzeptabel ist (dies passiert z.B. in den Bodenschutzgesetzen durch die Festlegung von Grenzwerten) **und** innerhalb welcher Zeitspanne diese Grenze erreicht werden darf.
- Die einzelnen Güter (diverse Wirtschaftsdünger, Komposte, Klärschlämme, etc.) müssen bezüglich ihrer langfristigen „Anreicherungswirksamkeit“ hin beurteilt werden.

Folgende Güter wurden berücksichtigt: Rinder-, Schweine- und Geflügelgülle, Rinder-, Schweine- und Geflügelmist, Klärschlamm <BGW+200 % (BGW...Bodengrenzwert), Klärschlamm >BGW+200 %, Kompost Klasse 1, Kompost Klasse 2, Einzelkompost, Senkgrubeninhalte.

Die einzelnen Güter werden unabhängig von allfälligen konkurrenzierenden Gütern beurteilt. In der Erstellung der Nutzungskonzepte wird jedoch sehr wohl der IST-Zustand, d.h. bestehende Konkurrenzierungen berücksichtigt werden. Wie jedoch mit den Konkurrenzierungen umgegangen wird, ist in den Randbedingungen zu definieren.

Die Güter wurden nach den folgenden Kriterien beurteilt (*Frage 9*): (i) Stoffkonzentrationen, (ii) Schadstoff-Nährstoffverhältnis, (iii) anthropogene Zusatzfracht, (iv) Schichtenmodell, (v) regionaler Nährstoffnutzungsgrad.

8.3.1 Stoffkonzentrationen

Stoffkonzentrationen geben die Belastung von Gütern quantitativ wieder. Um die einzelnen Stoffe untereinander zu gewichten, wurden die Verhältnisse von Stoffkonzentrationen in den Gütern mit den entsprechenden Stoffkonzentrationen im Boden (Tiefenstufe 20 bis 50 cm) gebildet. Als Kriterium gilt: Je größer das Verhältnis (der Quotient) desto belasteter ist das jeweilige Gut. Die größten Quotienten (d.h. die größte Belastung) wurde für *Klärschlamm >BGW+200 %* (Cadmium) sowie *Schweinegülle* errechnet (Zink und Kupfer).

Entsprechend dieser Auswertung liefern im Mittel die Cadmiumkonzentrationen der Güter die größten Quotienten, jene von Blei die geringsten. Daraus abzuleiten, dass die Cadmium-Stoffkonzentrationen im Boden durch aufbringen der betrachteten

Güter am schnellsten ansteigen ist nicht zulässig, da die einzelnen Stoffe aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften im Boden unterschiedlich mobil sind. So ist etwa Cadmium in den Böden wesentlich mobiler als Blei.

8.3.2 Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis

Durch die Relation von Schadstoff und Nährstoff kann unmittelbar durch Kenntnis des gewünschten Nährstoffeinsatzes (z.B. 20 kg P/ha.a) auf die eingetragene Metallmenge je Fläche geschlossen werden. Je kleiner die Schadstoff-Fracht bezogen auf die Nährstoff-Fracht ist, desto geringer belastet ist das betrachtete Gut. Um die einzelnen Stoffe untereinander zu gewichten, wurden die einzelnen ermittelten Stofffrachten je kg Phosphor dem Bodenlager in 20 bis 50 cm Bodentiefe des jeweiligen Stoffes gegenübergestellt. Nach dieser Bewertung liegen die mittleren Cadmium-Werte am tiefsten. Das am meisten belastete Gut ist hier *Rindermist* (Cadmium) sowie *Kompost Klasse 1* (ebenfalls Cadmium). Die am wenigsten belasteten Güter sind *Schweinegülle* und *Hühnergülle* (Blei).

Die Reihenfolge der Güter entsprechend ihrer Belastung verglichen mit den Ergebnissen des Beurteilungskriteriums Stoffkonzentration wird z.T. deutlich verändert. Insbesondere werden relativ nährstoffarme Güter, wie etwa die Komposte, als stärker belastet eingestuft.

Schadstoff-Nährstoff-Verhältnisse alleine ermöglichen jedoch ebenfalls noch keine Aussagen über das Ausmaß der Stoffanreicherung im Boden. Wiederum ist u.a. zusätzlich die unterschiedliche Mobilität im Boden zu berücksichtigen.

8.3.3 anthropogene Zusatzfracht

Stoffkonzentrationen oder Verhältnisse von Schadstoff zu Nährstoff berücksichtigen nicht, dass durch die Aufbringung der verschiedenen Güter in unterschiedlichem Ausmaß auch längerfristig stabile Matrix aufgebracht wird. Das Ausmaß ist dabei sowohl vom abbaubaren Anteil der organischen Substanz als auch vom löslichen Anteil der anorganischen Substanz des aufgebrachten Gutes abhängig. Dieser eingebrachten stabilen Matrix wird eine geogene Konzentration zugebilligt (geogene Stofffracht), welche nicht anreicherungswirksam ist. Die insgesamt eingebrachte Fracht ergibt sich aus dieser ersten, „geogenen“ Fracht und einer anreicherungswirksamen Fracht, die als *anthropogene Zusatzfracht* bezeichnet wird.

Die *anthropogene Zusatzfracht* kann sowohl auf die Ausgangstrockensubstanz als auch auf die Nährstoffmenge (*spezifische anthropogene Zusatzfracht*) bezogen werden, was insbesondere für die Landwirtschaft interessant ist.

Je höher der Anteil an stabiler Matrix und je geringer die Differenz zwischen der geogenen Stoffkonzentration und der Konzentration in einem Gut ist, desto positiver wirkt sich die Berücksichtigung der anthropogenen Zusatzfracht aus, das heißt desto geringer ist das Ausmaß der Schadstoffanreicherung durch das betrachtete Gut.

Durch den „Verdünnungseffekt“ der aufgebrachten stabilen Matrix ergibt sich, dass gleiche Stofffrachten des selben aufgebrachten Gutes bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Aufbringungsmengen zu unterschiedlich langen Anreicherungszeiträumen von Schadstoffen im Boden führen. Geringere Stoffkonzentrationen verlängern bei größeren jährlichen Aufbringungsmengen (t TS Endprodukt) die Zeiten der Aufkonzentrierung und umgekehrt.

Wie beim Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis wurden die spezifischen anthropogenen Zusatzfrachten auf das aktuelle Bodenlager (20 bis 50 cm Tiefenstufe) bezogen. Nach diesem Kriterium sind *Rindergülle* (Cadmium) und *Kompost Klasse 1* die am stärksten belasteten Güter (wie beim Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis), sowie *Schweinegülle* und *Schweinemist* (Blei) die am geringsten belasteten Güter.

Die spezifische anthropogene Zusatzfracht differenziert stärker als das Schadstoff-Nährstoff-Verhältnis. Dabei ändert sich nicht nur die relative Belastung der Güter zueinander sondern es ändert sich, wenn zumeist auch nur ein bis zwei Ränge, auch die absolute Reihenfolge der Güter.

Auch die spezifische anthropogene Zusatzfracht kann letztendlich die Güter nicht auf ihre tatsächliche Anreicherungswirksamkeit beurteilen. Nach wie vor wird das unterschiedliche Verhalten der Stoffe im Boden (Mobilität, Pflanzenverfügbarkeit) nicht berücksichtigt. Hinzu kommt, dass je nach Verhältnis von Stofffracht zu stabiler Matrix eines Gutes sich eine unterschiedliche maximal mögliche Aufkonzentrierung im Boden durch das betrachtete Gut ergibt. Diese maximale Aufkonzentrierung wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

8.3.4 Schichtenmodell

Um die tatsächliche Anreicherung sowie den jeweiligen Zeitraum der Anreicherung im Boden abzuschätzen, müssen sowohl alle anderen Einträge (Deposition, etc.) als auch Austräge (Erosion, Auswaschung, Pflanzenentzug) berücksichtigt werden. Es wurde deshalb ein Modell - das Schichtenmodell - entwickelt, welches im Gegensatz

zu konventionellen Modellen sowohl den Eintrag an stabiler Matrix in den Boden (Berücksichtigung der anthropogenen Zusatzfracht!) als auch die Veränderung der Austräge in Abhängigkeit von der Bodenkonzentration berücksichtigt. Das Modell kann sowohl die Anreicherungswirksamkeit eines einzelnen Gutes als auch der Summe von verschiedenen Gütern beurteilen.

Die Eingangsparameter wurden je nach Datenlage anhand regionsspezifischer (z.B. Stoffkonzentrationen in den Gütern, Stoffkonzentrationen in den Böden, Stoffaustrag durch die angebauten Kulturen, Erosionsabschätzung) oder Daten aus der Literatur (z.B. Auswaschung, Transferfaktoren Boden-Pflanze, Depositionsraten) festgelegt.

Anhand des Schichtenmodells können (iterativ) jene Gütermengen errechnet werden, die unter den festgelegten Zielvorgaben (Lagerveränderung innerhalb eines bestimmten Zeitraumes) je Flächeneinheit ausgebracht werden können. Durch multiplizieren mit den Nährstoffkonzentrationen der Güter wird die je Flächeneinheit aufbringbare Nährstoffmenge errechnet, welche für die Bewertung der einzelnen Güter als Kriterium dient. Ein wesentliches Ergebnis ist die Identifizierung jenes Elementes das die Aufbringungsmenge eines Gutes limitiert.

Als Zielvorgabe wurde eine Orientierung an „geogenen“ Lagern (Hintergrundwerte) gewählt. Da keine regionalen Hintergrundwerte vorliegen, wurden für Grünland und Sonderkulturstandorte die in der Bodenzustandsinventur erhobenen Werte der Tiefenstufe 20 bis 50 cm, für Ackerstandorte die Tiefenstufe 50 – 70 cm als „geogene“ Werte herangezogen.

Bei der Berechnung der maximal aufbringbaren Gütermenge je Flächeneinheit wurden keine anderen zusätzlichen Einträge berücksichtigt. Würden etwa die z.T. stark anthropogen beeinflussten Depositionsraten bei der Berechnung der Anreicherung mit einbezogen, so wird in der strengsten Variante alleine durch die Deposition die vorgegebene „erlaubte“ Lagerveränderung innerhalb des festgelegten Zeitraumes erreicht. Um Spielraum für weitere Einträge (wie die Deposition oder Handelsdünger) zu haben, wurden mehrere unterschiedlich **restriktive** Varianten definiert, um wie viel sich das Stofflager im Boden allein durch die gezielt aufgebrauchten Güter verändern darf.

Bei der Festlegung der tolerierbaren Schadstoffanreicherung wurde nicht auf die Toxizität der verschiedenen Stoffe Rücksicht genommen, sondern es wurde einheitlich für alle Stoffe geltend, eine maximal erlaubte Lagerveränderung festgelegt.

Folgende tolerierbare Stoffanreicherungen und Anreicherungszeiträume durch die Aufbringung der betrachteten Güter wurden festgelegt:

1. geogenes Lager + 10 % in 100 Jahren

2. geogenes Lager + 50 % in 100 Jahren
3. geogenes Lager + 100 % in 100 Jahren
4. geogenes Lager + 10 % in 500 Jahren
5. geogenes Lager + 50 % in 500 Jahren
6. geogenes Lager + 100 % in 500 Jahren

Auf alle Felder dürfen derart große Güter- respektive Stoffmengen aufgebracht werden, bis die Lageränderung bzw. Konzentrationsänderung in der betrachteten Bodenschicht x Prozent (10, 50 bzw. 100 %) des Stofflagers eines „geogenen“ Bodenkörpers mit einer Mächtigkeit von 30 cm entspricht.

Bsp.: Ein Boden mit einer Konzentration von 0,09 mg/kg TS Cd im Oberboden und 0,06 mg/kg TS „geogener“ Konzentration darf sich bei der Festlegung *plus 10 %* auf 0,096 mg/kg TS anreichern, also etwa um 6,7 % gegenüber der derzeitigen Konzentration.

Die je Flächeneinheit aufbringbaren Gütermengen wurden für alle 6 Varianten, alle Güter, die vier Schwermetalle und für die Bodennutzungsformen Acker, Grünland und Sonderkultur (Obst) berechnet.

Für die Beurteilung der Güter nach dem Schichtenmodell wurde die jeweils kleinste ausbringbare Gütermenge je Gut mit der zugehörigen Nährstoffkonzentration multipliziert. Das Ergebnis aus dem Schichtenmodell ist somit eine Nährstofffracht je Flächeneinheit, die für die weitere Beurteilung der Güter herangezogen wird.

Im folgenden werden die beiden extremsten Varianten (+10 % in 500 Jahren bzw. +100 % in 100 Jahren) kurz dargestellt:

Variante + 10 % in 500 Jahren (die „strengste“ Variante): Die langfristig aufbringbare Menge an *Kompost Klasse 1* auf Äcker liegt rund 5 mal, jene auf Grünland mehr als 2 mal tiefer als nach dem Wasserrechtsgesetz erlaubt ist. Die *Klärschlamm* (K_s)-Aufbringungsmengen auf Äcker liegen zwischen 60 % (0,95 t TS/ha.a $K_s < BGW + 200$ %) und 80 % (0,5 t TS/ha.a $K_s > BGW + 200$ %) unter jenen nach der Bodenschutzprogrammverordnung erlaubten Mengen von 2,5 t TS/ha.a.

Die größte P-Fracht je ha kann durch *Kompost Klasse 1* auf Grünlandstandorte (29 kg P/ha.a) aufgebracht werden. Durch *Rindergülle* und *Klärschlamm* $> BGW + 200$ % können auf Acker und Grünland rund 25 kg P/ha.a aufgebracht werden. Mit Abstand

folgen *Klärschlamm* < BGW+200 % sowie *Geflügelgülle* und *-mist*. Die geringsten P-Mengen können über *Kompost Klasse 2* (< 5 kg P/ha.a) aufgebracht werden.

Durch keines der Güter kann der P-Entzug durch die Erntegüter auf den unterschiedlichen Bodennutzungen gedeckt werden.

Variante + 100 % in 100 Jahren (die „weichste“ Variante): In dieser Variante könnten *Klärschlamm* mengen von 9 t TS/ha.a auf Äckern und über 12 t TS/ha a auf Grünland aufgebracht werden, also deutlich größere Mengen als nach der steiermärkischen Bodenschutzprogrammverordnung erlaubt sind. Die maximal ausbringbaren Mengen an *Kompost Klasse 1* liegen auf Acker und Grünland um mehr als 100 % über den nach dem Wasserrechtsgesetz erlaubten Mengen.

Auf Acker- und Grünlandstandorten kann am wenigsten P durch *Schweinegülle* aufgebracht werden. Am meisten P kann auf Grünland durch *Klärschlamm* > BGW+200 %, auf Acker durch *Rindergülle* aufgebracht werden. Durch alle Güter wird mehr als 50 kg P/ha.a auf Acker und mehr als 70 kg P auf Grünland aufgebracht. Sowohl auf Acker als auch auf Grünland kann der P-Bedarf abgedeckt werden.

8.3.4.1 Schwermetallbilanzen für das Raabtal

Mit Hilfe des Schichtenmodells wurden Schwermetallbilanzen für die Bodennutzungen Acker, Grünland und Sonderkulturen über einen Zeitraum von 500 Jahren gerechnet. (*Frage 11*)

Mehr als ein Drittel des gesamten Zinkeintrags stammt aus der *Schweinegülle*, etwa 30 % aus der Deposition. *Rinder-* und *Schweinemist* tragen etwa zu jeweils 10 % der Zinkfracht bei. Bei Kupfer ist die *Schweinegülle* noch bedeutender: Annähernd 50 % der gesamten Cu-Menge sind in der *Schweinegülle*, etwa 20 % stammen aus der Deposition, aus *Schweinemist* 13 % und *Rindermist* 9 %. Über 80 % des Bleieintrages stammt aus der Deposition. Auch bei Cadmium dominiert der Eintrag über die Deposition (über 60 %). *Rindermist* (15 %) und *Schweinegülle* (10 %) sind ebenfalls von Bedeutung.

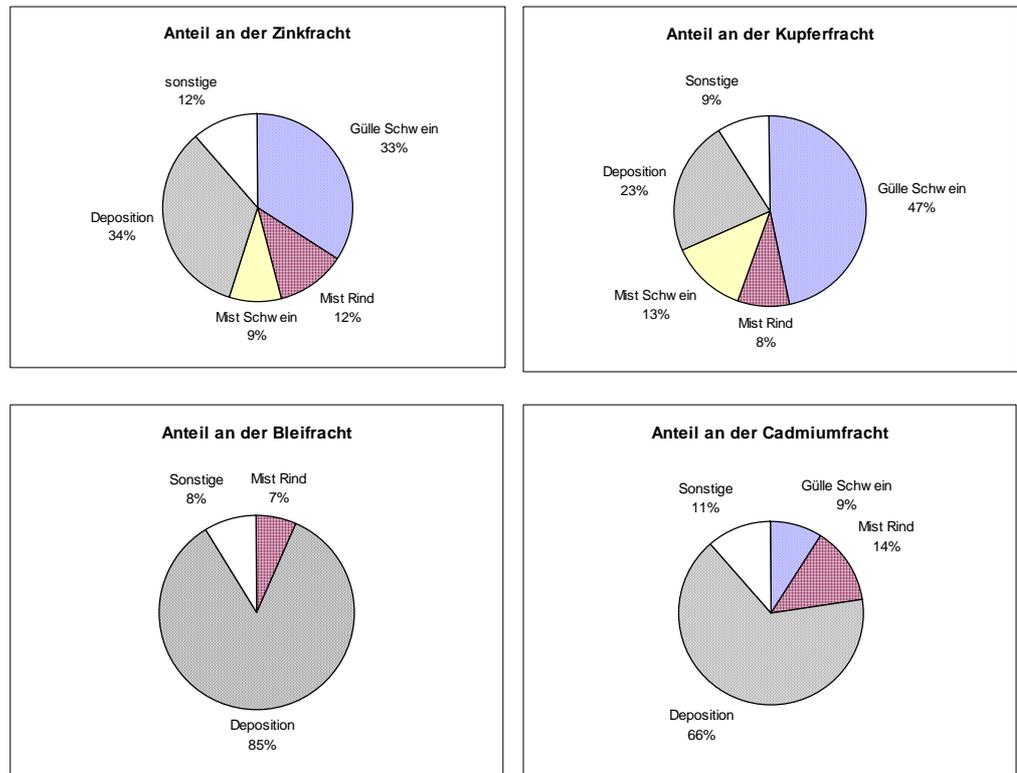


Abbildung 8-4: Relative Anteile der Güter am gesamten Schwermetalleintrag

Bezogen auf das aktuelle Bodenlager (0-30cm) findet auf Ackerböden die rascheste Lagerveränderung beim Element Zink, die langsamste bei Blei statt. Die jährliche Zunahme an Cadmium verringert sich im Laufe der Zeit stark. Nach einem Zeitraum von rund 200 Jahren ist Zink jenes Element das sich am stärksten anreichert. Blei reichert sich im betrachteten Zeitraum am wenigsten stark an. Langfristig strebt die Zink-Lagerveränderung auf Acker gegen 260 %, Kupfer gegen 210 %, Blei gegen 120 % und Cadmium gegen 100 %.

Auf Grünland reichert sich, bezogen auf die aktuelle Bodenkonzentration (0-10 cm) das Element Zink am stärksten an, wobei der Unterschied zu Kupfer gering ist. Cadmium reichert sich etwa drei mal weniger stark an als Zn und Cu. Am wenigsten nimmt die Bleimenge im Betrachtungszeitraum 500 Jahre zu (+30 %). Langfristig strebt die Zink-Lagerveränderung gegen 240 %, Kupfer gegen 225 %. Blei reichert sich um 100 %, Cadmium um (+ 65 %) an.

Tabelle 8-1: Lagerveränderung bezogen auf das Ausgangslager von Acker (0-30 cm) und Grünland (0-10 cm)

Lagerveränderung in %		Zink	Kupfer	Blei	Cadmium
Acker	100 Jahre	22	18	7	26
	500 Jahre	95	74	33	81
	Maximal	260	213	150	111
Grünland	100 Jahre	49	44	6	20
	500 Jahre	165	150	28	55
	Maximal	243	227	100	66

Vergleich IST-Zustand und Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes (AWG) (*Frage 11*):

Generell fehlen dem AWG quantitative Vorgaben.

Ziel 1 „Schutz des Menschen und der Umwelt“ wird erfüllt, wenn davon ausgegangen wird, dass die geltenden Bodengrenzwerte den Schutz des Menschen und der Umwelt gewährleisten. Zum Ziel 2 „Schonung der Rohstoff- und Energiereserven“ wird ebenfalls ein Beitrag geleistet. Durch die landwirtschaftliche Verwertung von Kompost und Klärschlamm können Handelsdünger, und damit Rohstoffe, eingespart werden.

Ziel 3 „Schonung von Deponievolumen“: Durch die Erzeugung von Komposten und deren landwirtschaftliche Verwertung bzw. deren Verwertung in den Haushaltungen sowie der Ausbringung von Klärschlamm wird Deponievolumen geschont.

Die ursprünglich gestellte Frage „mit welchen alternativen Bewirtschaftungskonzepten die Ziele des AWG's besser angenähert werden“, kann nur insoweit beantwortet werden: Im Gegensatz zum IST-Zustand wurde in den beiden abgeleiteten Konzepten die maximal tolerierte Lagerveränderung mit +50 % gegenüber dem heutigen „geogenen“ Lager festgelegt. Die Ergebnisse der Schwermetallbilanzen für das Raabtal zeigen jedoch je nach Stoff höhere Lagerveränderungen. Die Bilanz des IST-Zustandes wird jedoch teilweise stark durch die Deposition beeinflusst. Ein Vergleich mit Lageranreicherungen, die allein durch die Bewirtschaftung von biogenen Materialien verursacht werden, ist somit kaum möglich.

8.3.5 Einzelkompostierung

Rund 80 % der Bevölkerung (80.760 E) betreibt Einzelkompostierung. Es wurden drei Varianten berechnet, inwieweit sich Schwermetalle bzw. Phosphor in den Gärten anreichert. Werden 70 % des erzeugten Einzelkompostes auf die vorhandene Nutzgartenfläche der Einzelkompostierer (Ek) von 22m²/Ek ausgebracht, so werden die Bodengrenzwerte für Zink, Kupfer, Blei und Cadmium nicht überschritten und liegen nach 500 Jahren zumindest um 25 % (Zink) bis 80 % (Cadmium) darunter.

Um die Böden der Nutzgärten nicht mit P anzureichern, können jedoch nur 5 t TS/ha.a (= 0,5 kg TS/m².a = 0,83 kg FS/m².a bei 40 % WG) an Einzelkompost aufgebracht werden. Dafür wäre für die Ausbringung des Einzelkompostes jedoch rund 120 m² Nutzgarten je Ek notwendig. Dies entspricht etwa einer Versechsfachung der bestehenden Nutzgartenflächen. Die nicht auf die Nutzgartenflächen aufbringbaren Kompostmengen sind gleichmäßig über die Ziergarten- und Rasenflächen zu verteilen. Eine Verdoppelung der Aufbringungsflächen der Nutzgärten von 22 m² auf 44 m² führt bei Zink und Blei zu vergleichbar starken Aufkonzentrierungen nach 500 Jahren. Die Anreicherung verläuft jedoch in den ersten Jahrzehnten unterschiedlich schnell.

Auch wenn der gesamte Einzelkompost auf die Nutzgartenflächen ausgebracht wird (2,9 kg TS/m².a) können die bestehenden Schwermetallgrenzwerte im Boden eingehalten werden. Eine ausgeglichene P-Bilanz ist jedoch nur bei einer Aufbringungsmenge von maximal 0,5 kg TS/m².a auf die Nutzgartenflächen möglich. Dies ist nur bei einer gleichmäßigen Verteilung des Kompostes auf die gesamten Nutz-, Rasen- und Ziergartenflächen erreichbar.

8.3.6 Nährstoffnutzungsgrad (NNG)

Die nach dem Schichtenmodell errechneten aufbringbaren Gütermengen werden durch Gesetze und Verordnungen weiter eingeschränkt. Zusätzlich wird die ausbringbare TS-Menge je Flächeneinheit in der Praxis durch den Nährstoffbedarf der angebauten Kulturen begrenzt. Das heißt, die nach dem Schichtenmodell (entsprechend den definierten Kriterien der Lagerveränderung und des Anreicherungszeitraumes) errechneten langfristig aufbringbaren Gütermengen sind allenfalls entsprechend den Vorgaben und Gesetzen zu reduzieren. Dabei wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- N-Limitierung (Wasserrechtsgesetz)
- P-Versorgung der Böden (Richtlinien für sachgerechte Düngung)
- Kompost: TS-Menge/ha.a (ÖNORM S2200)
- Klärschlamm: TS-Menge/ha.a (Bodenschutzprogrammverordnung)

Weiters hängt die langfristig regional verwertbare Güter- und damit Nährstoffmenge von der regional tatsächlich zur Verfügung stehenden Aufbringungsflächen ab.

Abschließend wurde auch der Grad der regionalen Eigenversorgung bestimmt, um die regional zu verwertenden Gütermengen zu berechnen. Dies ist notwendig, da die hier entwickelte Bewertungsmethodik Nährstoffe, die nicht regional verwertet wer-

den, als Verluste eines Behandlungsverfahrens betrachtet. Es ist somit nicht möglich, Endprodukte in beliebigem Ausmaß aus der Region zu „exportieren“. Eine umgekehrte Situation ist es, wenn eine Region überdurchschnittlich dicht bevölkert ist oder eine industrielle Produktion von überregionaler Bedeutung ausweist, jedoch nur wenig landwirtschaftliche Produktionsfläche verfügbar ist. Es wurde deshalb festgelegt, welche Mengen „exportiert“ werden dürfen, ohne dass diese „Exporte“ zu einem (zumindest methodischen) Nährstoffverlust des betrachteten Behandlungsverfahrens werden und damit Einfluss auf den NNG nehmen. Das heißt, die Definition der Region umfasst somit das Versorgungs- aber auch das Entsorgungs-„Hinterland“ der betrachteten Region; eine Systemabgrenzung nach rein politischen Grenzen oder des hydrographischen Einzugsgebietes reicht somit nicht (*Frage 6*).

Der Nährstoffnutzungsgrad errechnet sich wie folgt:

Division der langfristig ausbringbaren Nährstoffmenge durch die regional zu verwertende Nährstoffmenge des jeweiligen biogenen Ausgangsmaterials mal dem Verhältnis von flächenspezifisch ausbringbarer Nährstoffmenge zum flächenspezifischen Nährstoffbedarf.

Der NNG ist bei jenem Verfahren am höchsten bei dem (i) die größten Nährstoffmengen in Bezug auf die Nährstoffmenge im Ausgangsmaterial langfristig regional genutzt werden können (geringste Nährstoffverluste) und bei dem (ii) der flächenspezifische Nährstoffbedarf am weitestgehenden durch das aufgebrachte Gut gedeckt werden kann. Der flächenspezifische Nährstoffbedarf „deckelt“ gleichsam den NNG nach oben.

Der Begriff „Verluste“ wird dabei weit gefasst, und umfasst die gesamte nicht zielgerecht nutzbare Nährstoffmenge der biogenen Ausgangsmaterialien.

Der NNG berücksichtigt somit einerseits die Menge an zu verwertenden Nährstoffen im Verhältnis zu den verwertbaren Nährstoffmengen und andererseits das Verhältnis von je Flächeneinheit aufbringbarer Nährstoffmenge zum Nährstoffbedarf.

Der NNG ist unabhängig von einer allfälligen Konkurrenzierung durch andere biogene Materialien. D.h. der IST-Zustand wird nicht als unveränderliche Größe festgeschrieben.

Der NNG ist unabhängig davon, wie viel ein Gut zum gesamten regionalen Nährstoffhaushalt beiträgt.

Die Ergebnisse können auch so interpretiert werden: je höher der Nährstoffnutzungsgrad ist, desto positiver ist das jeweilige Gut nach dem 2. (Teil)Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes, die Schonung von Rohstoffen, zu beurteilen.

Ergebnisse der Nährstoffnutzungsgrade:

Für jedes der betrachteten Güter sowie zusätzlich für die Summe der Wirtschaftsdünger wurde der NNG von Phosphor und Stickstoff für Acker, Grünland und Sonderkultur errechnet.

Im folgenden werden die Ergebnisse der beiden extremsten Varianten, nämlich +10 % in 500 Jahren sowie +100 % in 100 Jahren dargestellt.

Variante + 10 % in 500 Jahren:

Phosphor: Keines der Güter wird durch die jeweilige N oder P-Fracht bzw. durch die maximal erlaubte Aufbringungsmenge begrenzt.

Die potenziell verfügbare Fläche reicht bei Betrachtung der einzelnen Gütern mit Ausnahme der *Schweinegülle* auf Grünlandflächen aus. Für dieses Gut stehen etwa 10 % zu wenig Grünlandflächen zur Verfügung. Für die Aufbringung der Summe der Wirtschaftsdünger steht in dieser Variante etwa 12 % (Ackerfläche benötigt: ca. 25.000 ha, verfügbar ca. 22.000 ha) bis 100 % (Grünland benötigt: 36.000 ha, verfügbar ca. 18.000 ha) zu wenig Fläche zur Verfügung.

Diese Werte geben nur die Resultate der methodischen Betrachtung wieder: Wird bedacht, dass bei der Berechnung des Nährstoffnutzungsgrades ein „Export“ von 35 % der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen angenommen wird, so erhöhen sich in der Praxis bei dieser Variante die zusätzlich benötigten Flächen für die Summe der Wirtschaftsdünger um etwa 25.000 ha auf 86.000 ha, und damit auf das doppelte der tatsächlichvorhandenen regionalen landwirtschaftlichen Fläche. Allein für das Gut Schweinegülle müsste die verfügbare Fläche nach dieser Variante um mehr als 10 % größer als die derzeitige gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Raabtales sein.

Der mittlere NNG liegt bei Acker bei 0,3 bei Grünland bei etwa 0,2, bei Sonderkulturen um 0,45. Der höchste P-Wert auf Grünland wird durch *Kompost Klasse 1* (0,42) erreicht. Auf Ackerstandorten liegen hingegen die Wirtschaftsdünger *Rindergülle*, *Geflügelgülle* und *-mist* vor *Kompost Klasse 1*. *Schweinegülle* erzielt vor den *Komposten Klasse 2* auf Acker die zweitschlechtesten, auf Grünland die schlechtesten Werte.

Stickstoff: Der mittlere NNG von N liegt bei Acker und Grünland bei lediglich 0,15 bzw. 0,13. *Rindergülle* (0,45) und *Senkgrubeninhalte* (0,42) weichen auf Acker, *Rindergülle*, *Senkgrubeninhalte* und *Kompost Klasse 1* 0,27 auf Grünland deutlich nach oben vom Mittelwert ab. Die *Klärschlämme* und *Kompost Klasse 2* (jeweils maximal 0,03) weichen nach unten ab.

Variante + 100 % in 100 Jahren:

Phosphor: Nach Berücksichtigung der Restriktionen der Aufbringungsmengen sind bei jeder Nutzung alle berechneten maximalen Aufwandmengen zu reduzieren. Auf Sonderkulturstandorten werden alle Güter durch die P-Limitierung in der Aufbringungsmenge beschränkt. Auf Grünlandstandorten werden 6 Güter durch P limitiert, 2 durch N, 3 durch die maximale TS-Obergrenze, auf Äckern 10 Güter durch P, 1 durch N.

Für *Kompost Klasse 1* ergibt sich eine maximale Aufbringungsmenge auf Acker von 7,3 t TS/ha.a und auf Grünland von 12 t TS/ha.a, wobei dieses Gut nicht durch das WRG N-limitiert sondern durch den P-Gehalt bei der Ausbringung begrenzt wird. *Kompost Klasse 2* wird auf Acker ebenfalls durch den P-Gehalt limitiert, auf Grünland durch die TS-Begrenzung nach der ÖNORM.

Die beiden *Klärschlämme* werden auf Acker stärker durch die P-Fracht als durch die TS-Begrenzung, auf Grünland stärker durch die TS-Begrenzung als durch P limitiert. Durch die P-Verluste in der Kläranlage steigt jedoch der NNG auf Acker nicht über 0,50 bzw. 0,55, auf Grünland bleibt er durch die TS-Begrenzung unter 0,5.

Alle Wirtschaftsdünger mit Ausnahme von *Rindergülle* auf Grünland (wird durch das WRG limitiert) erreichen auf allen Standorten den maximalen NNG. Durch die zunehmenden Limitierungen der einzelnen Güter (P-Fracht, N-Fracht, TS-Obergrenzen) steigt der mittlere NNG nur bei Grünland noch geringfügig an (+ 12 % bei Grünland gegenüber der Variante +50 % in 100 Jahren). Bei Sonderkultur-Standorten bleibt der Wert unverändert bei 0,88. Für die Wirtschaftsdünger stehen potentiell mehr als 3 mal mehr Flächen zur Verfügung als benötigt werden.

Stickstoff: Die mittleren Stickstoff-Nährstoffnutzungsgrade steigen auf Acker nicht mehr, auf Grünland hingegen noch um ca. 15 % (von 0,42 auf 0,48 bei Grünland). Die Werte von *Kompost Klasse 1* liegen leicht besser als jene der Summe der Wirtschaftsdünger.

Fazit ausbringbare TS-Mengen: Eine Verfünfachung (von + 10 % auf +50 %) der erlaubten Lageranreicherung erhöht die aufbringbaren TS-Mengen maximal um rund das 3 (100 Jahre Variante) bzw. 2-fache in der 500 Jahre Variante.

Die Veränderung der Aufbringungsmengen ist somit nicht proportional der erlaubten Lagerveränderung.

Die Bewertung wird insbesondere durch folgende (regionale) Faktoren maßgeblich beeinflusst (*Frage 10*):

- P-Bedarf der angebauten Kulturen, welcher wiederum stark durch die regionale P-Versorgung der Böden beeinflusst wird
- Schad- und Nährstoffkonzentrationen in den anfallenden Gütern
- vorhandene Verfahren und zugehörige Verfahrensverluste
- aktuelle Stoffkonzentrationen in den Böden
- angebaute Kulturen (Entzug durch Pflanze, Erosionsgefährdung)
- Erosion
- verfügbare Flächen

überregional:

- Begrenzungen der aufbringbaren TS-Mengen (z.B. Klärschlammverordnung)
- Wasserrechtsgesetz
- Vorgabe der erlaubten maximalen Anreicherung und des Anreicherungszeitraumes (kann auch innerhalb des gesetzlichen Rahmens regional vorgegeben werden)

8.3.7 Nutzungskonzepte

Es wurden zwei Nutzungskonzepte abgeleitet: eine „realistische Variante“, sowie eine „Maximalvariante“. Die realistischen Variante unterscheidet sich vom IST-Zustand vor allem dahingehend, dass sich die Aufbringungsmengen der erzeugten Güter am P-Bedarf der Kulturen bzw. der enthaltenen Schwermetallmenge orientieren. In der Maximalvariante werden neue, strengere Rahmenbedingungen eingeführt (z.B. Viehbestand maximal 2 GVE/ha) und die Stoffkonzentration in einzelnen Gütern abgeändert. Zusätzlich werden zwei neue Güter anstelle der Klärschlämme eingeführt.

Als Basis für die erstellten Konzepte wurden die P-Nährstoffnutzungsgrade der Varianten +50 % in 100 bzw. in 500 Jahren verwendet.

Die Ableitung bzw. Erstellung der Nutzungskonzepte versteht sich nicht als „die“ Lösung, sondern geschieht beispielhaft.

Die realistische Variante unterscheidet sich vom IST-Zustand vor allem darin, dass die Ausbringung der Güter mengenmäßig durch ihren Schwermetall- und teilweise durch den Nährstoffgehalt limitiert wird (*Frage 12*). Dies hat jedoch z.T. bereits deutliche Auswirkungen. Bsp.: In der Variante +50 % in 500 Jahren beträgt die tolerierbare Menge an Schweinegülle auf Äckern 0,55 t TS/ha.a, auf Grünland 0,65 t/ha.a. Mit diesen Mengen kann nur noch etwa ein Viertel des P-Bedarfs der Acker- oder Grünlandkulturen abgedeckt werden.

In der Maximalvariante wurden zusätzlich neue strengere Rahmenbedingungen gesetzt (z.B. Viehbestand maximal 2 GVE/ha), ebenso wurde ein neues Verfahren (ANS Anthropogenic Nutrient Solution = Urinseparierung) eingeführt.

Prinzipiell wurde bei der Zuteilung der Güter zu den Flächen wie folgt vorgegangen: In einem ersten Schritt wurden Rahmenbedingungen für die einzelnen Güter definiert (z.B. keine Hühnergülle auf Grünland). Anschließend wurden die Güter den Bodennutzungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen zugeteilt, wobei Güter mit höheren NNG's jenen mit niedrigeren vorgezogen wurden. Zur Arbeitserleichterung beim Zuteilen der Güter wurde ein aus der Betriebswirtschaft bekanntes Modell, das sogenannte Transport-Problem, verwendet. Nach Herstellung der Analogien wurde mit Hilfe eines SAS Software-Paketes die Zuteilung berechnet.

In den 100-Jahre-Varianten sind ausreichend Fläche verfügbar um alle Güter regional unterzubringen. Dabei werden die Sonderkulturstandflächen vollständig, die Ackerkulturen zwischen 90 und 100 % und die Grünlandflächen zwischen 5 (realistische Variante) und 50 % (Maximalvariante) belegt. Die Auswertung zeigt, dass einzelne Güter bestimmten Bodennutzungen zugeordnet werden können (z.B. *Komposte* zu Grünland, *Schweinemist* und *Schweinegülle* zu Acker).

In den 500-Jahre Varianten limitiert die Fläche mengenmäßig die Ausbringung einzelner Güter. Insbesondere *Schweinegülle* in der realistischen Variante sowie *Klärschlamm* in der Maximalvariante können nicht vollständig in der Region verwertet werden. *Kompost Klasse 2* kann in beiden Varianten nicht ausgebracht werden.

ANS kann aufgrund seines relative geringen P-Nährstoffnutzungsgrades in einem ersten Schritt nicht vollständig ausgebracht werden. Aufgrund seiner geringen Schadstoffbelastung kann jedoch dieses Gut jedenfalls zur Abdeckung der fehlenden Nährstoffmengen verwendet werden.

Anhand der Resultate der Zuteilung der einzelnen Güter zu den Bodennutzungen unter den definierten Rahmenbedingungen können wiederum neue Maßnahmen bzw. Rahmenbedingungen abgeleitet werden. Dies insbesondere in jenen Fällen in denen die in der Region verfügbaren Flächen kleiner sind, als die für die vollständige

Ausbringung benötigten Flächen. Um ein Konzept erstellen zu können sind die Rahmenbedingungen für die Modell-Eingangparameter zu bestimmen (*Frage 14*). Besondere Bedeutung hat dabei die Festsetzung der maximal erlaubten Schwermetallanreicherung sowie des entsprechenden Zeitrahmens. Erst im Anschluss daran kann die Güterabwägung vorgenommen werden.

8.3.8 Güterbezogene Ergebnisse

Einzelkompostierung: Die Einzelkompostierung ersetzt Rohstoffe. Eine Überschreitung der Schwermetallgrenzwerte im Boden innerhalb von 500 Jahren ist nicht zu erwarten. Um jedoch eine ausgeglichene P-Bilanz in den Böden zu erreichen, ist eine Verteilung des Kompostes auf die gesamte Rasen-, Zier- und Nutzgartenfläche zu gewährleisten. Dabei sollen jährliche Aufwandmengen von 0,85 kg Kompost/m² (entspricht etwa 1 l/m²) nicht überschritten werden (Entwurf der Kompostverordnung: max. 10 l/ m².a!).

Kompost Klasse 1: Die Erzeugung „sauberer“ Komposte schont Rohstoffe. Komposte der Klasse 1 sind in Hinblick auf die Nährstoffnutzung konkurrenzfähig. *Kompost Klasse 1* liegt dabei auf Acker in allen Varianten zumindest im Mittelfeld, auf Grünland an der Spitze der Güter. Die Ausbringungsmengen werden auf Acker in den strengeren Varianten durch Blei oder Cadmium, ansonsten durch den P-Gehalt begrenzt. Auf Grünland wird dieses Gut durch Cadmium oder durch die eingetragene P-Fracht begrenzt. Die maximalen Aufwandmengen schwanken dabei zwischen 2,3 und 7,3 t TS/ha.a auf Acker sowie 5,1 und 12 t TS/ha.a auf Grünland. Nach der ÖNORM S 2200 wären auf Acker 12 t und auf Grünland 14,4 t TS/ha.a zulässig.

Kompost Klasse 2: Mit Zunahme des Betrachtungszeitraumes fällt der NNG stark ab. Das heißt, bei langen Zeiträumen muss verstärkt eine geringe Schwermetallbelastung des Kompostes gefordert werden. Die Aufbringungsmenge wird dabei insbesondere durch den Bleigehalt begrenzt bzw. in den weicheren Varianten auf Grünland durch die TS-Limitierung durch die ÖNORM S2200, bzw. auf Acker durch den P-Gehalt. Die maximal aufbringbaren Gütermengen betragen auf Acker zwischen 0,45 und 3,7 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 0,45 und 5 t TS/ha.a. Die Aufbringungsmengen liegen damit auf Acker weit unter jenen nach der ÖNORM S2200 erlaubten Mengen (15 t TS/ha.a bei 30 cm Bearbeitungstiefe und N-Fracht <175 kg N/ha.a).

Klärschlamm<BGW+200 %: Auf Acker wird die Ausbringung in den strengeren Varianten durch den Zink-, in den weicheren Varianten durch den P-Gehalt limitiert. Auf Grünland wird die Ausbringung mit Ausnahme der strengsten Variante immer

durch die TS-Begrenzung durch die Klärschlammverordnung (1,25 t TS/ha.a) begrenzt. Je nach Variante können auf Acker zwischen 0,95 und 2,0 t TS/ha.a (nach Klärschlammverordnung 2,5 t TS/ha.a), auf Grünland zwischen 1,0 und 1,25 t TS/ha.a aufgebracht werden.

Der NNG dieses Klärschlammes ist in den strengen +10 %-Varianten höher als jener von *Schweinegülle*. *Klärschlamm <BGW+200 %* liegt in den strengeren Varianten vor *Kompost Klasse 2*. In den weniger strengen Varianten wird zunehmend die TS-Begrenzung nach der Klärschlammverordnung begrenzend, wodurch der NNG nicht weiter ansteigt.

In Bezug auf die vorhandenen Flächen wäre eine Aufbringung von Klärschlamm (<BGW+200, > BGW+200 %) auf Grünland nicht notwendig. Die anfallenden Klärschlammengen könnten in der weichsten Variante auf 3 % der gesamten, bzw. 10 % der tatsächlich verfügbaren Ackerfläche untergebracht werden. In der strengsten Variante wären 7 % der gesamten Ackerfläche bzw. rund 25 % der tatsächlich verfügbaren Flächen für eine vollständige Verwertung notwendig.

Klärschlamm > BGW+200 %: Auf Acker wird die Ausbringung in den strengeren Varianten durch den Zink-, in den weicheren Varianten durch den P-Gehalt limitiert. Auf Grünland wird die Ausbringung in den strengeren Varianten durch Zink ansonsten durch die TS-Begrenzung durch die Klärschlammverordnung (1,25 t TS/ha.a) begrenzt. Je nach Variante können auf Acker zwischen 0,5 und 0,8 t TS/ha.a (nach Klärschlammverordnung 2,5 t TS/ha.a), auf Grünland zwischen 0,5 und 1,25 t TS/ha.a aufgebracht werden.

Der NNG dieses Klärschlammes ist höher bzw. zumindest gleich hoch wie jener von *Klärschlamm <BGW+200 %*.

Senkgrubeninhalte: Diese werden in den 100-Jahre Varianten vor allem durch den N-Gehalt, in den 500 Jahr Varianten durch den Cu-Gehalt limitiert. Der NNG ist in den strengeren Varianten im unteren Mittelfeld, bei weicheren Varianten wird dieses Gut verstärkt durch den N-Gehalt limitiert, wodurch der NNG zunehmend relativ schlechter wird. Dieses Gut ist in etwa mit den Klärschlämmen vergleichbar. Die Aufbringungsmengen schwanken auf Acker zwischen 0,7 und 1,0 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 0,5 und 1,2 t TS/ha.a.

Schweinegülle: Bei einer 100 jährigen Betrachtung ist der NNG in der +50 % und +100 % Variante sehr hoch. Bei längeren Zeiträumen kommt jedoch auf Acker die Zink-, auf Grünland die Cu Limitierung stark zum tragen, wobei auf beiden Nutzungen die Kupfer bzw. Zink-Limitierung fast gleich stark wirkt. Eine Absenkung des Zink und Kupfergehaltes würde die Konkurrenzfähigkeit dieses Gutes stark erhöhen.

In der Variante +100 % in 100 Jahren wird die Aufbringungsmenge nicht durch Zn oder Cu, sondern durch den P-Gehalt limitiert. Bei einem Zeitraum von 500 Jahren fällt Schweinegülle auf Äckern bei der +10 % und der +50 % Variante hinter die Klärschlämme zurück. Die Aufbringungsmengen liegen auf Acker zwischen 0,35 und 1,85 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 0,3 und 3,1 t TS/ha.a.

Schweinemist: Schweinemist ist ähnlich wie Schweinegülle zu beurteilen, wobei der NNG in allen Varianten etwas höher liegt. Auch bei Schweinemist sinkt der NNG bei 500 jähriger Betrachtung stark ab. Auch hier wirkt Zink auf Acker und Cu auf Grünland bzw. in der weichsten Variante P limitierend. Der NNG auf Acker ist höher als jener auf Grünland. Die Aufbringungsmengen liegen auf Acker zwischen 0,6 und 2,3 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 0,5 und 3,8 t TS/ha.a.

Rindergülle: In den strengen Varianten (+10 %) zeigt Rindergülle den höchsten NNG auf Acker und auf Grünland. Die Aufbringungsmenge wird dabei auf Acker von P, auf Grünland von Zink limitiert. In allen anderen Varianten wird die Ausbringung auf Acker durch P, auf Grünland durch N begrenzt. In den langfristigen Varianten ist Rindergülle in Bezug auf den NNG immer unter den besten 4 Gütern zu finden.

Die Ausbringungsmengen liegen auf Acker zwischen 2,4 und 3,9 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 2,6 und 4,8 t TS/ha.a.

Rindermist Der Nährstoffnutzungsgrad von Rindermist liegt in allen Varianten im Mittelfeld, wobei bei längerfristiger Betrachtung die Beurteilung relativ besser ausfällt. Rindermist zeigt dabei ähnliche NNG's wie Schweinemist (in der langfristigen Betrachtung etwas höhere Werte). Die Ausbringung wird in der +50 % in 100 Jahren Variante auf Acker sowie in der +100 % in 100 Jahren auf Acker und Grünland durch P begrenzt, ansonsten durch Zn (auf Acker) oder durch Zink bzw. Cadmium. Die Aufbringungsmengen liegen zwischen 2,1 und 7,4 t TS/ha.a auf Acker bzw. 2,2 bis 12,2 t t S/ha.a auf Grünland.

Geflügelgülle: Geflügelgülle liegt in allen Varianten immer unter den ersten 3 Gütern. Die Ausbringung wird dabei bei in den 100-Jahre Varianten +50 % und +100 % sowohl auf Acker als auch auf Grünland durch den P-Gehalt begrenzt, ansonsten durch Zink. Die Aufbringungsmengen schwanken auf Acker zwischen 0,7 und 2,8 t TS/ha.a, auf Grünland zwischen 0,7 und 3,2 t TS/ha.a.

Geflügelmist: Geflügelmist ist ähnlich zu beurteilen wie Geflügelgülle, wobei der NNG in allen Varianten jedoch etwas weniger hoch ist (Ausnahmen: in den Varianten +50 % bzw. + 100 % in 100 Jahren weisen beide Güter den maximalen NNG von 1 auf. Auch Geflügelmist wird durch Zink, in den weichsten Varianten durch P

limitiert. Die Aufbringungsmengen liegen auf Acker zwischen 0,9 und 2,8 t TS, auf Grünland zwischen 1,0 und 4,7 t TS/ha.a.

8.3.9 Schlussfolgerungen

- Stoffkonzentrationen, das Schadstoff-Nährstoffverhältnis und die anthropogene Zusatzfracht sind unzureichend um Nährstoff-Nutzungskonzepte abzuleiten die sowohl die Ressourcennutzung als auch die Schadstoffanreicherung im Boden berücksichtigen. Eine Erweiterung insbesondere mit den Austrägen aus dem Boden (Erosion, Auswaschung, Pflanzenentzug) sowie den Nährstoffverlusten zwischen Ausgangsmaterial und Endprodukt ist notwendig.
- Bodengrenzwerte sind häufig angewandte Instrumente, um Schadstoffbelastungen zu begrenzen. Grenzwerte sind um eine Zeitdimension zu erweitern, damit sie als Randbedingung (z.B. Schwermetallkriterium) für die Ableitung eines Nutzungskonzepte verwendet werden können.
- Gleiche Stofffrachten des selben Gutes bei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Aufbringungsmengen können unterschiedliche Anreicherungszeiträume aufweisen („Verdünnungseffekt“ der aufgebrachten Matrix).
- Die maximalen Aufbringungsmengen der einzelnen Güter verändern sich nicht proportional mit der erlaubten Lagerveränderung oder dem Anreicherungszeitraum.
- Der NNG (Nährstoffnutzungsgrad) ermöglicht den Vergleich unterschiedlichster Güter in Hinblick auf Nährstoffnutzung, Bedarfsabdeckung und teilweise der Umweltbelastung. Die regionalen Gegebenheiten beeinflussen den NNG stark.
- Die die Ausbringungsmengen mitbestimmenden gesetzlichen Vorgaben, Normen und Empfehlungen (ÖNORM S2200, Wasserrechtsgesetz, Richtlinien der Sachgerechten Düngung, Steiermärkische Klärschlammverordnung, Stmk. Bodenschutzgesetz, Bodenschutzprogrammverordnung) sind teilweise zu präzisieren (Bsp. Aufbringungsmengen, GVE-Obergrenzen) bzw. weitergehend zu harmonisieren (Bsp. Frachtbezogene Ansätze - Grenzwerte). Zum Teil sollten auch Änderungen vorgenommen werden. (Neufestlegung von Bodengrenzwerten, Senkung von Schwermetallgrenzwerten in den Gütern, Miteinbeziehen des P-Gehaltes, etc.).
- Es besteht ein rechtliches Ungleichgewicht in der Reglementierung der einzelnen betrachteten Güter (Wirtschaftsdünger – Klärschlamm – Kompost).

- Bei allen 500-Jahr-Varianten wird die Ausbringung vor allem durch den Schwermetallgehalt begrenzt, bei den 100 Jahr-Varianten hingegen nur die erste Variante (+10 %).
- Die meisten Güter werden bei der Ausbringung durch ihren P-Gehalt und nicht durch den N-Gehalt limitiert. Wären die Böden im Raabtal besser mit P versorgt (anstatt in der Gehaltsstufe A (Grünland) bzw. B (Ackerland) beispielsweise in der Stufe B bzw. C, wäre P noch wesentlich stärker limitierend.
- Um die Blei- und Cadmiumanreicherung in den Böden zu verlangsamen, sind vor allem Pb- und Cd-Emissionen in die Luft zu reduzieren. Infolge der weiträumigen Verfrachtung von luftgetragenen Schadstoffen sind hier an erster Stelle überregionale und internationale Maßnahmen notwendig.
- Die Kupferanreicherung in den Böden kann vor allem durch Maßnahmen in der Schweinehaltung reduziert werden.

Fazit

Nährstoff-Nutzungs-Konzepte sind regionale Konzepte (*Frage 14*). Sie müssen maßgeschneidert für jede Region entwickelt werden. Die natürlichen und die vom Menschen geschaffenen regionalen Gegebenheiten, wie das Klima, die Bevölkerungsdichte, Wirtschaftskraft, landwirtschaftliche Praxis, die Nährstoffversorgung der Böden, die Stoffkonzentrationen in den erzeugten Gütern, etc. und die definierten Rahmenbedingungen (insbesondere die zu definierende maximale Schadstoffanreicherung und der Anreicherungszeitraum) bestimmen die Möglichkeiten zur Bewirtschaftung der Nährstoffe.

Das Ergebnis dieser Studie ist somit keine „Positivliste“ von Gütern, die landwirtschaftlich verwertet werden sollen; sondern es sind „Spielregeln“ für die Bewirtschaftung von Gütern, die Nähr- und Schadstoffe beinhalten.

Voraussetzung eines ressourcenschonenden Nutzungskonzeptes sind geeignete, einheitlich anwendbare Beurteilungskriterien für Güter, die sowohl den Zeithorizont, die erlaubte Lagerveränderung im Boden als auch die Nährstoffnutzung berücksichtigen. Die Entwicklung einer solchen Methode ist eine wissenschaftliche Aufgabe. Darauf aufbauend können Konzepte zur Nährstoffbewirtschaftung erstellt werden, wenn die entsprechenden Randbedingungen definiert werden. Diese Definition des SOLL-Zustandes ist eine gesellschaftspolitische Herausforderung. Sie umfasst eine anspruchsvolle Güterabwägung und muss ökonomische, ökologische, soziale und technologische Aspekte miteinbeziehen. Letztendlich wird ein auf wis-

senschaftlicher Basis aufgebautes regionales Nährstoffbewirtschaftungskonzept nur dann Erfolg haben, wenn diese Güterabwägung auf Akzeptanz stößt, und das Konzept durch die betroffenen Akteure aus privaten Haushaltungen, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, Verwaltung und Wirtschaft auch regional umgesetzt wird.

9 Literaturverzeichnis

Agrolinz (1996): persönliche Auskunft

Aichberger, K. (1995): Die Ergebnisse einer Untersuchung von Wirtschaftsdüngern in Oberösterreich, Bundesamt für Agrarbiologie, Linz

Alge, G., Wenzel, W.W. (1993) Statusbericht Boden, IST-Zustand und Entwicklungstendenzen in Österreich. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (1999): Staubdepositionsmessungen Kapfenberg Bericht Lu 2-99 vom Februar 1999

Anonym (1995): Konzept zur zukünftigen Entsorgung von Klärschlamm; Zum Beschluss des Bayerischen Ministerrates vom 30.05.1995, Stand: Dezember 1995

Baccini, P.; Brunner, P. (1991) Metabolism of the Anthroposphere. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

BayLfU, (1997): Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Bioabfallkompostierung - Verfahren und Verwertung; Schriftenreihe Heft 139

BDL, (1999a): Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Abfälle (RUNBA) Endbericht der ersten Teilstudie

BDL (1999b): Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Abfälle (RUNBA) Endbericht der zweiten Teilstudie

Berger, E.Y. (1960): in Comar and Bronner, Mineral Metabolism, Vol.1, part A, Academic press, New York, p.249.

BBodSchV. (1998) Bundes-Bodenschutzverordnung. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes, Deutschland

BGBI. Nr. 1975/440: Forstgesetz 1975, in der Fassung der Bundesgesetze BGBI. Nr. 1977/231 und 1978/142:

BGBI. Nr. 1987/576: Forstgesetz-Novelle

BGBI.1990/252 Novelle des Wasserrechtsgesetzes

BGBI. 1996/164 Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung)

- BGBI. Nr. 1994/155: Abfallwirtschaftsgesetz
- Bgld. LGBl. Nr. 82/1991 Burgenländische Klärschlamm - und Müllkompostverordnung
- Bgld. LGBl. Nr. 87/1990 Burgenländisches Bodenschutzgesetz
- Blum, W.E.H., Wenzel, W.W. (1989): Bodenschutzkonzeption - Bodenzustandsanalyse und Konzepte für den Bodenschutz in Österreich; Arbeitsgruppe Bodenschutz der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft
- Blume, H.-P. (1990) Handbuch des Bodenschutzes. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech
- BMLF (1991): Wirtschaftsdünger Richtige Gewinnung und Anwendung; Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Sonderausgabe der Zeitschrift „Förderungsdienst“; Wien
- BMLF (1996): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 4. Auflage; Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien
- BMLFU (2000): Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Entwurf der Verordnung über Qualitätsanforderungen an Kompost aus Abfällen (Kompostverordnung) Ziffer: 32 3504/74-III/2/99
- Bodenschutzbericht (1998): Rechtsabteilung 8; Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark
- Boysen P. (1992) Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln, UBA Berlin
- Bunke, D., Eberle, U., Griebhammer, R. (1995): Umweltziele statt Last Minute-Umweltschutz, Nationale und internationale stoffbezogenen Zielvorgaben; Öko-Institut e.V. Freiburg
- Candidas, T., Siegenthaler, A. (1992): Klärschlamm und Kompost in der Landwirtschaft, Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 9; Herausgeber: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene Liebefeld-Bern
- Claussen, T. (1989) Problematische Schwermetallgrenzwerte in der Umweltzeichenvergabeberichtlinie für Komposterzeugnisse. Wasser und Boden (3/89), zitiert in [Werner, 1997]
- Consolatio et al. (1963): Physiological Measurement of Metabolic Functions in Men, Mc. Graw-Hill, New York, p.437.
- Danneberg, O.H., K. Aichberger, H. Amann, R. Barisich, K. Buchgraber, M. Dachler, G. Dersch, E. Edlinger, H. Feitzlmayer, H. Holzner, J. Humer, E.

- Pötsch, F. Raab, E. Rossoll, E. Unger, W. Wunderer: Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 4. Auflage, Wien 1996
- Diebold, W. (1999) unveröffentlichte Auswertung der Schwebstoff- und Nährstofffrachten der Raab
- Diebold, W. (1999a): Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Abfälle, Endbericht der ersten Teilstudie, Judenburg
- Diebold, W. (1999b): Ressourcenschonende und umweltverträgliche regionale Nutzung biogener Abfälle, Endbericht der zweiten Teilstudie, Judenburg
- Diez, Th., Krauss, M., Wurzinger, A., (1991) Schwermetall- und Nährstoffgehalte von Klärschlämmen bayerischer Kläranlagen. Landwirtschaftliches Jahrbuch 68, 521-528
- Dott, W., Fricke, K., Oetjen, R. (1990): Biologische Verfahren der Abfallbehandlung, Ef-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin
- Düngemittelverordnung (1994): BGBI. 1007/1994
- EEC 2092/91 Council Regulation on organic production of agricultural products and indications referring there to on agricultural products and foodstuffs of 24 June 1991
- Fischer, P., Baudach, A., Schmitz, H.J. (1996): Untersuchung von Komposten und damit gedüngten Böden, FH Weihenstephan, in: Gartenratgeber 1/96
- Gisi, U. (1990) Bodenökologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Goldwater & Hoover (1967): Arch. environm. Hlth, 15, 60; zitiert in Lentner C. (1981): Geigy Scientific Tables 1. International Medical and Pharmaceutical Information, Ciba-Geigy, Basle.
- Gronauer, A., Helm, M. (1994) Bioabfallkompost im ökologischen Landbau - ein Januskopf? Ökologie und Landbau 22, zitiert in [Werner, 1997]
- Guellex (1996): Fachinformation über die Grundlagen der umweltgerechten Flüssigmistdüngung. erstellt im Rahmen des BMFT-Projektes 02WA9342/2
- Hackenberg, S., Wegener H.R. (1999): Schadstoffeinträge in Böden durch Wirtschafts- und Mineraldünger, Komposte und Klärschlamm sowie durch atmosphärische Deposition. Regionale Frachtenmodelle zur Bewertung relevanter Schadstoffeinträge; Witzenhausen 1999; Abfall-Wirtschaft - Neues aus Forschung und Praxis; BAEZA-Verlag Witzenhausen
- Hilger, W. (1994) Eigenkompostierung im Landkreis München, Bayern, Stand März 1994; Müll und Abfall 8/94, 532 - 533
- Huber, J. (1995) Nachhaltige Entwicklung: Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik; Ed. Sigma, Berlin

- Kehoe et al. (1940) *J. Nutr.*, 19, 579; zitiert in Lentner C. (1981): Geigy Scientific Tables 1. International Medical and Pharmaceutical Information, Ciba-Geigy, Basle. Kernbeis, R., Stark, W., Brunner, P.H. (1995): Der relative Beitrag von Kompost und Klärschlamm zu ausgewählten Stoffbilanzen des Bodens, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abtlg. für Abfallwirtschaft; TU Wien, erstellt im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung, Wien
- Jelinek & Lonny (1939): *J. biol. chem.*, 128, 621.
- Jönsson, H., Vinneras, B., Höglund, C., Stenström, T.-A., (1999): Source separation of urine; *Wasser & Boden*, 51/11, 21-25; Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin
- Jourdan, B. (1988): Zur Kennzeichnung des Rottegrades von Müll- und Müllklärschlammkomposten; Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 30, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- Krainer, W (2000): Landwirtschaftliches Versuchszentrum Steiermark, Bodenschutzabteilung; Telefonat vom 1.3.00
- Krogmann, U. (1994): Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung. Hamburger Berichte 7, Technische Universität Hamburg-Harburg, Bonn
- Kroiss, H., Zeßner, M., Deutsch, K., Schaar, W., Kreuzinger, N. (1997): Nährstoffbilanzen der Donauanrainerstaaten - Erhebungen für Österreich, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abtlg. für Wassergütewirtschaft; TU Wien
- Lampert, Ch., Stark, W., Kernbeis, R., Brunner, P.H. (1997) "Stoffflußanalyse der Siedlungsentwässerung der beiden Regionen 'Gresten' und 'Grafenwörth' (NÖKS-R)". Hrsg. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft, TU-Wien.
- Lampert, Ch, Brunner, P.H. (1999): Erhöhung der Aussagekraft von Analyseparametern durch Berücksichtigung der anthropogenen Additionsfracht; in: 111 VDLUFA-Kongress in Halle /Saale; „Richtwerte, Vorsorgewerte und Grenzwerte - Bedeutung für Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt“; VDLUFA-Schriftenreihe 52/1999; VDLUFA-Verlag Darmstadt
- Lampert, C. (2000): Dissertation in Vorbereitung; Arbeitstitel „Beurteilung verschiedener Verfahren der Behandlung ausgewählter biogener Güter nach stofflichen Kriterien“ TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
- Lange, J. Otterpohl, R. (1997): Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft, Mall-Beton-Verlag Donaueschingen-Pföhren
- Larsen, T.A., Gujer, W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions; *Wat. Sci. Tech.*, 34, (3-4), 87-94

- Larsen, T., Udert, K. (1999): Urinseparierung - ein Konzept zur Schließung der Nährstoffkreisläufe; *Wasser & Boden*; 51/11, 6-9 Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- Löhr, L. (1983): Faustzahlen für den Landwirt, 6. Auflage, Leopold Stocker Verlag, Graz
- Lübben, S., Sauerbeck, D. (1991): Transferfaktoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetallübergang Boden -Pflanze. Forschungszentrum Jülich GmbH, Berichte aus der ökologischen Forschung, Band 6, 180 - 223
- Menzi, H., Haldemann, C., Kessler, J., (1993): Schwermetalle in den Hofdüngern - ein Thema mit Wissenslücken; *Schweiz. Landw. Fo. Recherche agronom en Suisse* 32 (1/2) 1993
- Merian E. (1984) Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel.
- Nö Lreg. (1995): Abwasserreinigung im ländlichen Raum – leitfaden für Niederösterreich; Hrsg. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung B/9 - Wasserwirtschaft
- ON (1993) ÖNORM S 2200 „Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖFZ Seibersdorf (1994), Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ermittlung und Bewertung von Basisdaten zur Bilanzierung umweltrelevanter Schwermetalle in landwirtschaftlich genutzten Böden, Projekt 3379
- ÖPUL: Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (Ö P U L)
- Pieper, W. (1987): Das Scheiß-Buch; Pieper, Löhrbach
- Pimparkar et al. (1961): Amer. J. Med., 30, 910 and 927.
- Pongratz, T (1999): Amt der Steiermärkischen Landesregierung FA 1a, email vom 21.10.99
- Riezinger, I., (1997): Vor- und Nachteile der Eigenkompostierung im Hausgarten gegenüber einer Biotonnenabfuhr zu einer kommunalen Anlage, Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abtl. Abfallwirtschaft der TU Wien
- Sauerbeck D., Rietz E., (1980) Zur Cadmiumbelastung von Mineraldüngern in Abhängigkeit von Rohstoff und Herstellungsverfahren, Landw. Forschung, Sdhft. 37, 685
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P. (1992) Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage. Enke Verlag, Stuttgart

- Schilling, G. (1997): Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft -Einführung und Gesamtübersicht; in: Kongressband 1997 Leipzig der VDLUFA, Vorträge zum Generalthema Stoff und Energiebilanzen in der Landwirtschaft, VDLUFA-Schriftenreihe 46/1997
- Schroeder and Balassa (1961): J. Chron. Dis., 14, 408; zitiert in Lentner C. (1981): Geigy Scientific Tables 1. International Medical and Pharmaceutical Information, Ciba-Geigy, Basle.
- Schroeder et al. (1962): J. Chron. Dis., 15, 51; zitiert in Pfannhauser W. (1988): Essentielle Spurenelemente in der Nahrung. Springer Verlag, Berlin.
- Schütze G. (1998) Methodik zur Beurteilung von flächenhaften Einträgen von Blei und Cadmium in Böden. In: Hackenberg & Wegener (1999): Schadstoffeinträge in Böden durch Wirtschafts- und Mineraldünger, Komposte und Klärschlamm sowie durch atmosphärische Deposition. Regionale Frachtenmodelle zur Bewertung relevanter Schadstoffeinträge; Witzhausen 1999 (Abfall-Wirtschaft - Neues aus Forschung und Praxis) BAEZA-Verlag Witzhausen
- STAWIKO 1995 Steiermärkisches Abfallwirtschaftskonzept 1995, Band 3 zur Informationsreihe Abfallwirtschaft des Landes Steiermark, Fachabteilung 1c - Abfallwirtschaft
- Stmk. LGBI. Nr. 65/1976: Gesetz vom 30.Juni 1976 über den Schutz der Natur und die Pflege der Landschaft (Steiermärkisches Naturschutzgesetz 1976 - NschG 1976) Stammfassung: LGBI. Nr. 65/1976 Novellen: (1) LGBI. Nr. 79/1985
- Stmk. LGBI. Nr. 66/1987: Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz
- Stmk. LGBI. Nr. 87/1987: Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 14. Dezember 1987 mit der ein landwirtschaftliches Bodenschutzprogramm erlassen wird (Bodenschutzprogrammverordnung)
- Stmk. LGBI. Nr. 89/1987: Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 14. Dezember 1987 über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden (Klärschlammverordnung)
- Stmk. LGBI. Nr. 90/1996: Tierkörperverwertungsverordnung
- Stmk. LVo 87/1987: Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 14. Dezember 1987, mit der ein landwirtschaftliches Bodenschutzprogramm erlassen wird (Bodenschutzprogrammverordnung)
- Strauch, D. (1985): Behandlung von Klärschlamm zur Entseuchung, in Müllhandbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung; Band 4; Kennzahl 5030; Erich Schmidt Verlag

- Strauss, P. (1995) Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Universität für Bodenkultur, persönliche Auskunft, Wien
- Strobel (1999) Amt der steiermärkischen Landesregierung, persönliche Auskunft
- van den Daele, W. (1993): Sozialverträglichkeit und Umweltverträglichkeit Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, FS II 93-303 in [Huber, 1995]
- Vetter, H. und Steffens, G., (1986): Gülledüngung im Ackerbau, In: Gülle - Erzeugung, Lagerung, Technik, Verwertung, Bauförderung Landwirtschaft (Hrsg.), BauBriefe Landwirtschaft, Heft 29, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup
- Vogtmann, H., Kehres, B., (1990): Anwendung von Bioabfallkomposten in der Landwirtschaft und Gartenbau; in: Dott et al. 1990
- Wasserwirtschaft (1993): Regionales Klärschlammkonzept für die Bezirke Feldbach und Radkersburg, Land Steiermark
- Werner, W., Brenk, Ch. (1997): Entwicklung eines integrierten Nährstoffversorgungs-Konzepts als Basis eines umweltverträglichen, flächendeckenden Recyclings kommunaler Abfälle (Sekundärrohstoffdünger) in Nordrhein-Westfalen und regionalisierte Bilanzierung der Schwermetallflüsse; Forschungsberichte Heft Nr. 48 der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich - Wilhelms - Universität Bonn, Bonn
- Wester, O. P. (1973): Acta med. scand., 194, 505; zitiert in Lentner C. (1981): Geigy Scientific Tables 1. International Medical and Pharmaceutical Information, Ciba-Geigy, Basle.
- WGEV, (1995): Wasserwirtschaftskataster/Umweltbundesamt: Wassergüte in Österreich Jahresbericht 1994
- Wiegel, U. (1992): Eigenkompostierung - Teilkonzept der Abfallwirtschaft, Dissertation an der Technischen Universität Berlin
- Wiemer, K., Sprick, W. (1996): Die Bedeutung der Eigenkompostierung im Gesamtkonzept der biologischen Abfallbehandlung; in: Biologische Abfallbehandlung III, Abfall-Wirtschaft Neues aus Forschung und Praxis, , M.I.C.Baeza Verlag Witzhausen
- Wiesböck, J. (1999) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, persönliche Auskunft am 27.5.99
- Wintzer, D., Leible, L., Rösch, C., Bräutigam, R., Fürniß, B., Sardemann, G. (1996): Wege zur umweltverträglichen Verwertung organischer Abfälle; Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse; Abfallwirtschaft und Praxis Band 97, Erich Schmidt Verlag