

10 Jahre Lysimeterversuche

Zum Einsatz von gereiftem Baggergut zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft

Dr. Michael Henneberg & Ricarda Neumann

Oktober 2011

Um sichere Aussagen zur eventuellen Grund- bzw. Oberflächenwassergefährdung machen zu können, waren mehrjährige Lysimeterversuche zur exakten Erfassung der quantitativen und qualitativen Veränderung des Sickerwassers beim Einsatz von Baggergut erforderlich. Die Versuche an der Universität Rostock sollten hierzu praxisrelevante Aussagen zu Stofffrachten in Richtung Grundwasser und zu ihren Auswirkungen auf die Grundwasserqualität nach Baggerguteinsatz bringen.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2
TABELLENVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
0 EINLEITUNG	4
1 METHODIK / VERSUCHSAUFBAU	5
2 RAHMENBEDINGUNGEN DES LYSIMETERVERSUCHES	8
2.1 Bodeneigenschaften	8
2.2 Witterungsverlauf	9
2.3 Kulturpflanze	11
3 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	12
3.1 Sickerwasser	16
3.1.1 Sickerwassermenge	16
3.1.2 Sickerwasserqualität	18
3.1.3 Stoffaustrag	22
3.2 Veränderungen der Bodeneigenschaften im Oberboden	25
3.2.1 Grundeigenschaften	25
3.2.2 Schadstoffe	27
3.2.3 Nährstoffe und Mikronährstoffe	28
3.3 Ernteerträge	29
3.3.1 Quantität	29
3.3.2 Qualität	30
4 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	32
LITERATUR	37
ANLAGEN	37

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Versuchsanstellung, Unterteilung der Varianten	5
Tabelle 2: Verwendete Daten für die Darstellung des Witterungsverlaufes	7
Tabelle 3: Bodenaufbau in den Lysimetern	8
Tabelle 4: Abnahme des Gehaltes an Salzen und Phosphor im Oberboden, Austrag über Sickerwasser + Entzug Pflanzen im Mittel der 4 Varianten mit 840 t TM BG/ha; MD2 nach 10 Jahren	27
Tabelle 5: Vergleich der Mittelwerte im Sickerwasser mit Prüfwerten der BBodSchV und Entwurf Mantelverordnung 2011	18
Tabelle 6: Grad der Konzentrationsänderung - Nebenversuche	34
Tabelle 7: Grad der Konzentrationsänderung - Hauptversuch	34
Tabelle 8: Grad der Austragsänderung	34
Tabelle 9: Grad der Veränderung der Bodeneigenschaften	35
Tabelle 10: Grad der Veränderung der Bodeneigenschaften	36

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Wetterstation neben der Lysimeteranlage	7
Abbildung 2: Niederschlag der Jahre 2000 bis 2010 am Standort der Lysimeterstation	9
Abbildung 3: Temperaturverlauf über die hydrologischen Jahre sowie die LJM	10
Abbildung 4: Klimatische Wasserbilanz der 10 Untersuchungsjahre	10
Abbildung 5: Sickerwassermenge nach Varianten abhängig von der Aufwandmenge und der Düngung	12
Abbildung 6: Austräge an Nitrat und Phosphor	13
Abbildung 7: Stoffausträge über 10 Jahre bei unterschiedlichem C _{org} -Ausgangsniveau	14
Abbildung 8: Stoffaustrag nach Herbst- und Frühjahrsausbringung	15
Abbildung 9: als Sickerwasser angefallener Niederschlag in % in Abhängigkeit der Baggergutaufwandmenge und der Düngung	17
Abbildung 10: Sickerwassermenge Hauptversuch in den HJ 2000/01 bis 2009/10	17
Abbildung 11: Mittlere Schwermetallgehalte im Sickerwasser bis 2005	21
Abbildung 12: mittlere Ernteerträge nach Frisch- und Trockenmasse über die 10 Versuchsjahre	30
Abbildung 13: Schwermetallgehalte im Kolben im Mittel über die 10 Versuchsjahre	31
Abbildung 14: Schwermetallgehalte im Restmais im Mittel über die 10 Versuchsjahre	31

0 EINLEITUNG

Das in Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns anfallende Nassbaggergut ist oftmals organikhaltig und deshalb gemäß diesbezüglichen Richtlinien (OSPAR, HELCOM) an Land abzusetzen. Damit ist es nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) als Abfall einzustufen. Es kann aber wegen seiner meist günstigen stofflichen Zusammensetzung im Land- oder Landschaftsbau als Bodenverbesserungsmittel bzw. als Kulturbodenschicht eingesetzt werden.

Zur Beurteilung des Stoffpfades Boden – Grundwasser/Oberflächengewässer gab es 1993 bis 1997 erste orientierende Sickerwasseruntersuchungen auf dem Versuchsstandort Rastow bei Ludwigslust (HENNEBERG, JANZEN 1997). Das Auffangen von Sickerwasser unterhalb der Ackerkrume mittels vereinfachter Lysimeter lieferte erste Anhaltspunkte zum Austrag von Nähr- und Schadstoffen sowie Salzionen. Auf diesem sandigen Versuchsstandort wurden z.T. deutlich erhöhte Gehalte an Nährstoffen, wie auch an Salzionen ermittelt. Vor allem der Schwefelpool im Baggergut bildete eine langanhaltende Sulfatquelle, die Auswirkungen auf potenzielle Grundwasserleiter im Bereich der Aufbringung haben kann.

Belastbare Aussagen zur potenziellen Grund- bzw. Oberflächenwasserbeeinträchtigung erfordern ein differenzierteres Herangehen, das nur mehrjährige Lysimeterversuche mit einer genauen Erfassung der quantitativen und qualitativen Veränderung des Sickerwassers beim Einsatz von Baggergut gewährleisten. Die Lysimeteranlage Rostock ermöglichte ab 2000 den auf 10 Jahre angesetzten Lysimeterversuch zur Analyse des Stoffpfades Boden-Grundwasser und Boden-Pflanze beim Einsatz von Baggergut als Bodenverbesserungsmittel in der Landwirtschaft. Auftraggeber waren die Hansestadt Rostock, die Bundesanstalt für Gewässerkunde und das Landesamt für Umwelt und Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Im Mittelpunkt stand die Untersuchung der Auswaschungsgefährdung des hohen Salzionenpotenzials im Baggergut aufgrund seiner Herkunft aus Brackgewässern. Wegen der hohen gesellschaftlichen Brisanz der Schadstoffproblematik im Baggergut wurden trotz relativ niedriger Gehalte im Rostocker Baggergut auch Schwermetalle und Organische Schadstoffe geprüft. Den dritten Untersuchungsschwerpunkt bildete die Nährstoffverfügbarkeit im Baggergut aufgrund seiner sehr hohen Nährstoffgehalte..

1 METHODIK / VERSUCHSAUFBAU

Die Lysimeteranlage in Rostock (68 Lysimetern) bot die Möglichkeit, 17 Varianten mit jeweils 4 Wiederholungen durchzuführen. So konnte einerseits eine große Vielfalt an Einsatz- bzw. Aufbringungsvarianten für gereiftes Baggergut erprobt und andererseits mit 4 Wiederholungen noch ein hohes Maß an Absicherung der erhobenen Daten erreicht werden. Die damit sehr differenzierte Versuchsanstellung wurde in drei Teilversuchen gegliedert (Tabelle 1), die im Folgenden mit ihren Rahmenbedingungen dargestellt wird (s. auch Versuchsschema auf der beiliegenden CD, Anlage 1 der Abschlussberichte).

Tabelle 1: Versuchsanstellung, Unterteilung der Varianten

Versuch	Bezeichnung	C _{org} - Ausgangsniveau	Baggergut- gabe in t/ha	Ausbringung	Düngung
HV	HV 0, MD0	1,05%	0	-	MD 0
	HV 0, MD1	1,05%	0	-	MD 1
	HV 0, MD2	1,05%	0	-	MD 2
	HV 280, MD0	1,05%	280	HA	MD 0
	HV 280, MD1	1,05%	280	HA	MD 1
	HV 280, MD2	1,05%	280	HA	MD 2
	HV 420, MD0	1,05%	420	HA	MD 0
	HV 420, MD1	1,05%	420	HA	MD 1
	HV 420, MD2	1,05%	420	HA	MD 2
NV I	NV 0, MD2, C _{org} 1	0,93%	0	-	MD 2
	NV 840, MD2, C _{org} 1	0,93%	3 x 280	HA	MD 2
	NV 840, MD2, C _{org} 2	1,24%	0	-	MD 2
	NV 840, MD2, C _{org} 2	1,24%	3 x 280	HA	MD 2
NV II	NV 140, MD2, HA	0,98%	140	HA	MD 2
	NV 840, MD2, HA	0,98%	3 x 280	HA	MD 2
	NV 140, MD2, FA	0,98%	140	FA	MD 2
	NV 840, MD2, FA	0,98%	3 x 280	FA	MD 2

Versuch: HV - Hauptversuch, NV - Nebenversuch

Ausbringung: H A- Herbstausbbringung, FA – Frühljahrsausbringung

Düngung: MD 0 - keine Düngung;

MD 1 - N1 (100 kg/ha/a), P und K nach Bedarf;

MD2 – N2 (200 kg/ha), P und K nach Bedarf

Die Versuchskonzeption sollte in Bezug auf Sickerwasseranfall und -zusammensetzung die nachfolgend aufgeführten Fragen klären:

1. Welche Veränderungen bewirken unterschiedliche Aufwandmengen an Baggergut sowie ein differenziertes Mineraldüngungsniveau (Hauptversuch)?
2. Wie wirkt sich die Splittung einer größeren Aufwandmenge an Baggergut, verteilt auf mehrere Ausbringungsjahre, bei unterschiedlichem C_{org} -Ausgangsniveau aus (Nebenversuch I)?
3. Welchen Einfluss hat eine Differenzierung nach Herbst- bzw. Frühjahrsausbringung des Baggergutes (Nebenversuch II)?

Die Wasserprobennahme erfolgte bei Wasseranfall bis 2005 generell am 1. und 15. des Monats, ab 2005 nur noch am 1. des Monats. Bei erhöhtem Wasseranfall wurden Zwischenproben genommen. Die Mischung der Proben eines Monats erfolgte variantenabhängig. Die LUFA Rostock analysierte diese Mischproben.

Das differenzierte Analytikprogramm (s. CD Abschlussberichte Anlage 2) beachtete folgende Aspekte:

- ab wann ändert sich wie die Konzentration eines Parameters im Sickerwasser und
- ab wann stabilisiert sich die Konzentration eines Parameters im Sickerwasser auf welchem Niveau

Baggergut und Boden in den Lysimetern wurden zu Beginn der Versuche zur Ermittlung des Ausgangszustandes hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Inhaltsstoffe untersucht. Jährlich nach der Ernte Ende September/Anfang Oktober erfolgte eine Bodenprobennahme zur Beobachtung der Veränderung der Eigenschaften im jeweils neu gemischten Oberboden. Die Bodenproben wurden variantenabhängig gemischt und in der LUFA Rostock analysiert.

Da die Lysimeterversuche nicht am Kalenderjahr, sondern am hydrologischen Jahr (01.11. bis zum 31.10. des Folgejahres) ausgerichtet werden, beziehen sich alle Angaben auf die jeweiligen hydrologischen Jahre.

Alle durchgeführten Arbeiten wurden in Versuchsjournalen dokumentiert.

Der Witterungsverlauf wurde durch die meteorologischen Parameter Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer und Wind dokumentiert. Es wurden die Daten der in Tabelle 2 aufgeführten Messstationen genutzt.

Tabelle 2: Verwendete Daten für die Darstellung des Witterungsverlaufes

Zeitraum	Station	Datenausgabe
1961 - 1990	Groß Lüsewitz	LJM Temperatur
1976 - 2000	Satower Straße	LJM Niederschlag
1961 - 1990	Warnemünde	LJM Sonnenscheindauer, zum Vergleich LJM Niederschlag und Temperatur
2000 - 2010	Rostock-Warnemünde	monatliche Sonnenscheindauer; zum Vergleich auch Niederschlag und Temperatur
2000 - 2004	Groß Lüsewitz	monatliche und tägliche Temperatur, beides auch zum Vergleich ab 2005
	Satower Straße	monatliche und tägliche Niederschläge, beides auch zum Vergleich ab 2005
2005 - 2010	Lysimeter Satower Str.	Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung, Luftfeuchte; Daten der anderen Stationen weiterhin zum Vergleich

Um den Witterungsverlauf der hydrologischen Jahre einordnen zu können, wurden die aktuellen Werte mit den langjährigen Mittelwerten (LJM) verglichen. Zur Beurteilung der Niederschlagsereignisse wurde das LJM der Versuchsstation Satower Str. (1976-2000) herangezogen, zur Beurteilung des Temperaturverlaufes die LJM der Messstation Groß Lüsewitz (1961 – 90). Die aktuellen Daten und das LJM zur Sonnenscheindauer (1961 – 1990) lieferte die Station des Deutschen Wetterdienstes in Rostock-Warnemünde.



Abbildung 1: Wetterstation neben der Lysimeteranlage

2 RAHMENBEDINGUNGEN DES LYSIMETERVERSUCHES

Die Aufenthaltsdauer des Wassers und somit der Stoffe im Oberboden und in der bis 1 m Tiefe untersuchten ungesättigten Unterbodenzone ist von den Randbedingungen Bodenaufbau, meteorologische Verhältnisse sowie Bewirtschaftung abhängig.

2.1 Bodeneigenschaften

Der Bau der 68 Behälter umfassenden Lysimeteranlage erfolgte 1977/78. Eine umfassende Einführung zur Geschichte und Versuchsaufbau der Lysimeteranlage findet sich auf der beiliegenden CD.

Innerhalb der Lysimeter gab es zwei Varianten des Bodenaufbaus, die für die Verhältnisse in Nordostdeutschland typisch sind.

Tabelle 3: Bodenaufbau in den Lysimetern

Variante	Lysimeter Nr.	Bodenaufbau
a)	1 – 34	Sl 2/Su 2 schwach lehmiger Sand über schwach schluffigem Sand
b)	35 – 68	Sl 2/Sl 3 schwach lehmiger Sand über mittel lehmigem Sand

Die Behälter wurden mit den ausgewählten Böden befüllt und von Hand verdichtet.

Die Lysimeteranlage diente dann seit Ende der 70er Jahre gut 10 Jahre für Gülleversuche und bis Ende der 90er Jahre für den Vergleich von Bodennutzungssystemen.

Anfang der 90er Jahre erfolgte ein Austausch der obersten Bodenschicht (30 cm). Der neue Krumenboden ist nun ein mittel lehmiger Sand (Sl 3).

Zu Beginn des Lysimeterversuches im Jahr 2000 wurde kein neuerlicher Bodenaustausch durchgeführt. Zur Status quo Bestimmung erfolgte eine Untersuchung des Oberbodens hinsichtlich pH-Wert, Körnung sowie Gehalt an Nähr- und Schadstoffen. Der Oberboden in den Lysimetern wies günstige bodenfruchtbarkeitsbestimmende Parameter auf. Die Qualität des Ausgangsbodens (0 – 30 cm) und des aufgebrauchten Baggergutes ist aus dem Zwischenbericht 2000/2001 auf der beiliegenden CD zu entnehmen.

2.2 Witterungsverlauf

Die erhobenen Wetterdaten zeigen innerhalb der 10 Untersuchungsjahre deutliche Schwankungen und Extrema, auch im Vergleich zu den langjährigen Mitteln.

Es gab z. T. große monatliche Abweichungen in Niederschlag und Temperatur, die Auswirkungen auf den Sickerwasseranfall und das Pflanzenwachstum hatten.

Aus Sicht des Niederschlages wird vor allem das hydrologische Jahr 2006/2007 als deutlich zu nass (+315 mm) und im Gegensatz dazu das hydrologische Jahr 2002/2003 als zu trocken (- 113 mm) im Vergleich zum langjährigen Mittel eingeschätzt.

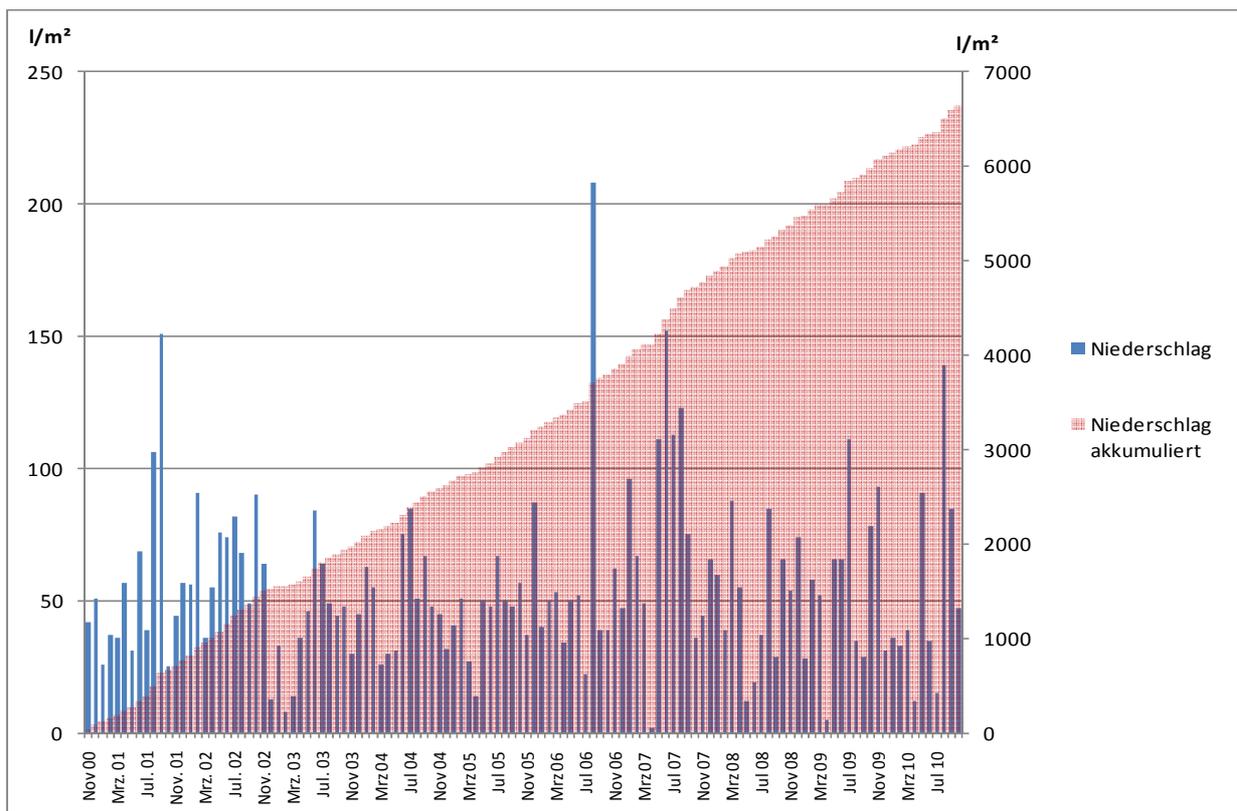


Abbildung 2: Niederschlag der Jahre 2000 bis 2010 am Standort der Lysimeterstation

Aus Sicht des Temperaturverlaufes waren bis auf das hydrologische Jahr 2009/2010 (- 0,6 °C) alle Jahren zu warm.

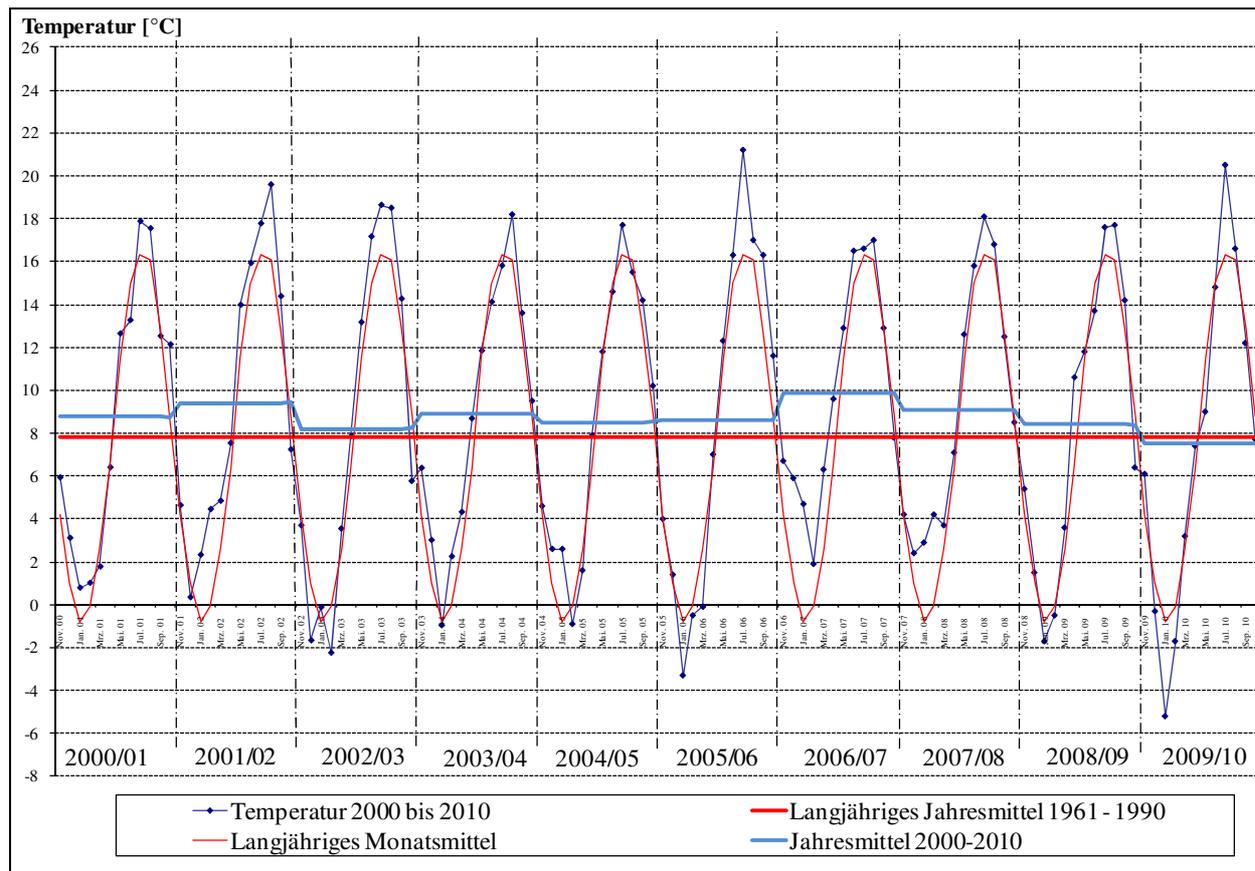


Abbildung 3: Temperaturverlauf über die einzelnen hydrologischen Jahre sowie die LJM

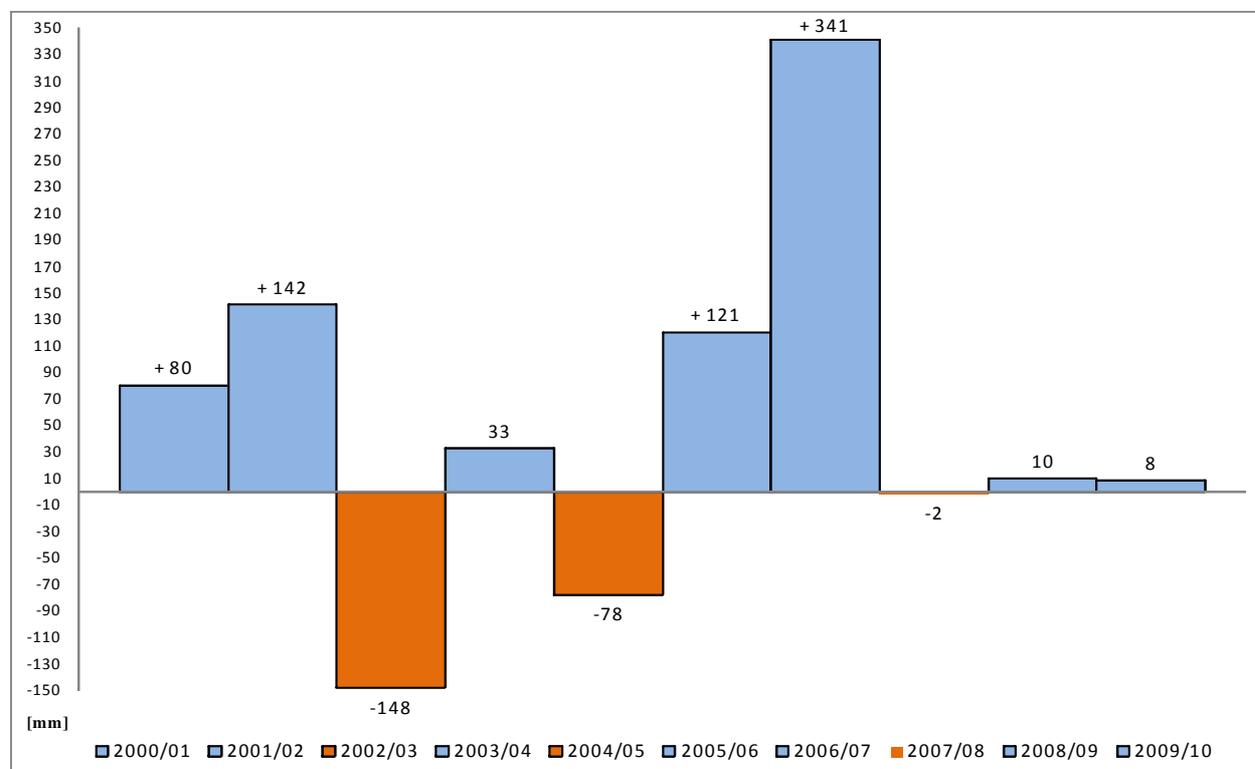


Abbildung 4: Klimatische Wasserbilanz der 10 Untersuchungsjahre

2.3 Kulturpflanze

In den 10 Versuchsjahren wurde auf der gesamten Versuchsfläche (Lysimetern und Randbereiche) immer Mais angebaut.

Maisanbau bietet folgende Vorteile:

- fruchtfolgetechnisch mit sich selbst verträglich ist (Nachbau ohne Bodenermüdung, keine Krankheits- und Schaderregerhäufung)
- einfacher Anbau und Ernte
- einfache Ertragsermittlung und Inhaltsstoffbestimmung

3 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Mit der komplexen Versuchsanstellung konnten wesentliche, noch offene Fragen zur Risiko- und Gefährdungsabschätzung bei der praktischen Baggergutverwertung im Land- und Landschaftsbau geklärt werden.

Über den Gesamtuntersuchungszeitraum wurden folgende grundsätzlichen Effekte festgestellt:

1. Durch den Baggerguteinsatz ändern sich die **Menge** und die **stoffliche Zusammensetzung** des **Sickerwassers**.
2. Mit zunehmender Aufwandmenge an **Baggergut** und durch die **mineralische Stickstoff-Düngung**, ist ein **geringerer Sickerwasseranfall** zu verzeichnen. Hier wirkt sich das sehr hohe Wasserspeichervermögen des Baggergutes aufgrund der hohen Gehalte an $C_{org.}$, Ton und Schluff aus. Des Weiteren verbessern sich die Wachstumsbedingungen durch die N-Düngung, was eine verstärkte Wasseraufnahme durch die Pflanze ermöglicht.

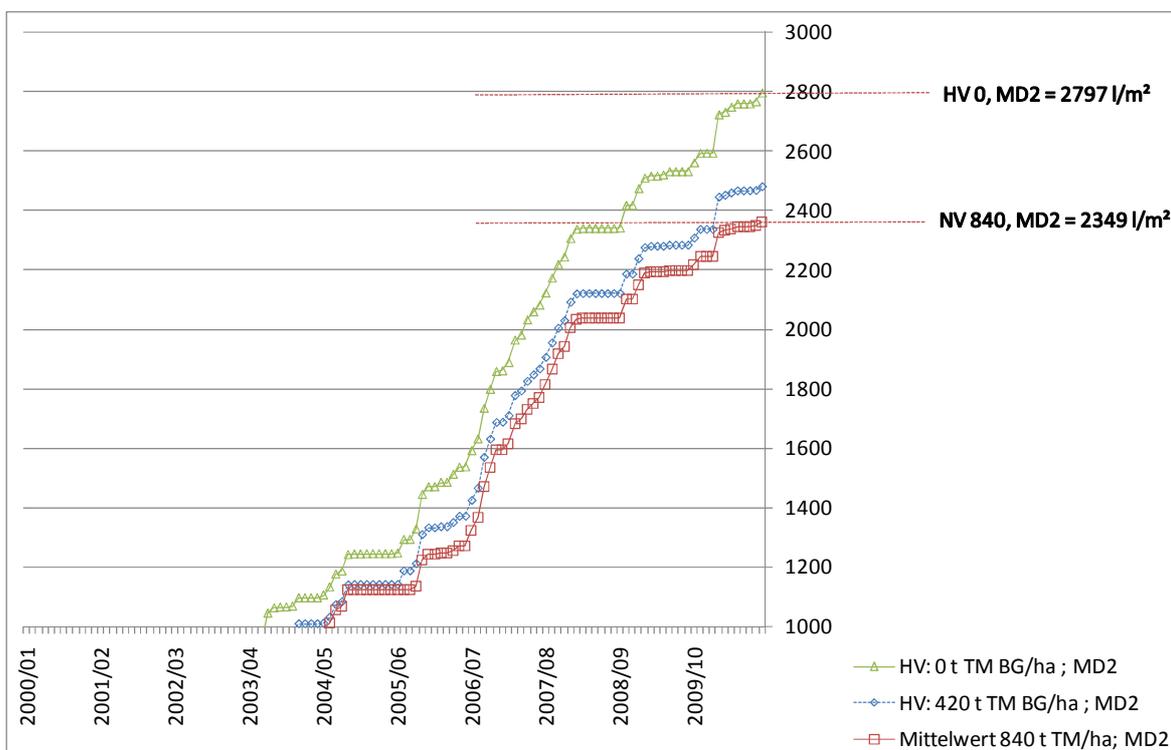


Abbildung 5: Sickerwassermenge nach Varianten abhängig von der Aufwandmenge und der Düngung

3. Wird **einmalig** eine relativ **großen Menge** an **Baggergut** (420 t TM BG/ha) ausgebracht, sind **im ersten Versuchsjahr** nach einem **starken Austrag** vor allem der leicht auswaschbaren Ionen auch nach 9 weiteren Versuchsjahren meist (Ausnahme Chlorid) noch leicht erhöhte Konzentrationen an Nährstoff- und Salzionen (Sulfat, Magnesium, Kalzium) festzustellen.
4. Die **Aufteilung** einer maximalen **Menge** an **Baggergut** (840 t TM BG/ha) **auf mehrere Teilgaben** in drei aufeinander folgenden Jahren (3 x 280 t TM BG/ha) verhindert einen extrem hohen Austrag von Salz- und Nährstoffionen zu Beginn. Der Austrag in den nachfolgenden Jahren ist etwas höher als bei der Vergleichsvariante im Hauptversuch (HV 420, MD2). In der Summe liegt zwar der Gesamtaustrag an Salzen und Nährstoffen bei den Varianten mit 840 t TM BG/ha i.d.R. (Ausnahme P und N) deutlich höher als bei 420 t TM BG/ha, es erfolgt aber keine Verdoppelung (Mehraustrag nur 30 % bis 70%).
5. Die Aufbringung von **Baggergut führt zu keinem erhöhten Austrag an Nitrat und Phosphor** (Ausnahme Stickstoff NV I – 840 t TM/ha bei C_{org} 2, hier evt. durch den hohen C_{org}-Ausgangsgehalt bedingt). Stickstoff und Phosphor sind fest im Baggergut gebunden, es erfolgt nur eine sehr langsame Freisetzung.

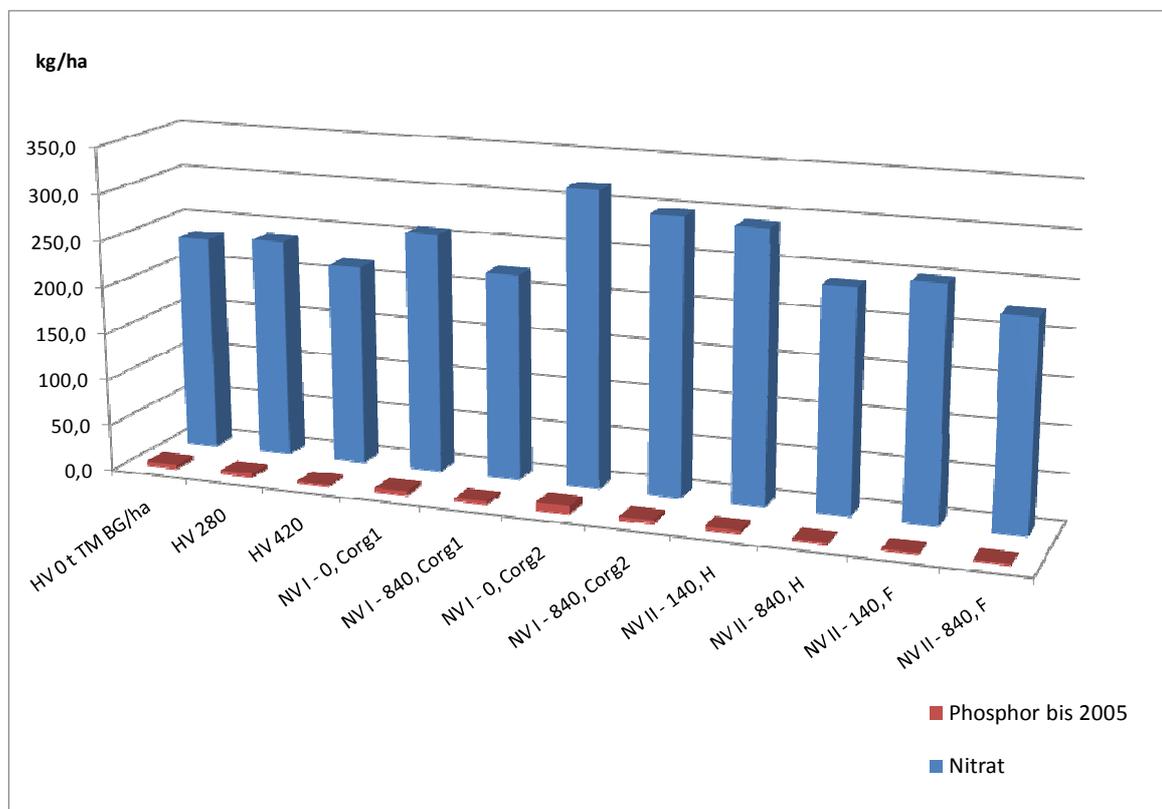


Abbildung 6: Austräge an Nitrat und Phosphor

Steinbeis Transferzentrum Angewandte Landschaftsplanung

c/o Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl Landschaftsplanung und -gestaltung
 Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock Fon: (0 381) 498 3246 Fax: (0 381) 498 3242
 ricarda.neumann@uni-rostock.de michael.henneberg@uni-rostock.de

6. Im Nebenversuch I mit mehrmaliger Baggergutausbringung bei **unterschiedlichem C_{org}-Ausgangsgehalt** ergibt sich **kein signifikanter baggergutbedingter Unterschied beim Gesamtaustrag an Nährstoff- und Salzionen** zwischen den Varianten mit einem niedrigerem C_{org}-Ausgangsniveau (0,93%) und den Varianten mit einem höheren C_{org}-Ausgangsniveau (1,24%, Ausnahme Nitrat-Stickstoff siehe 5.)

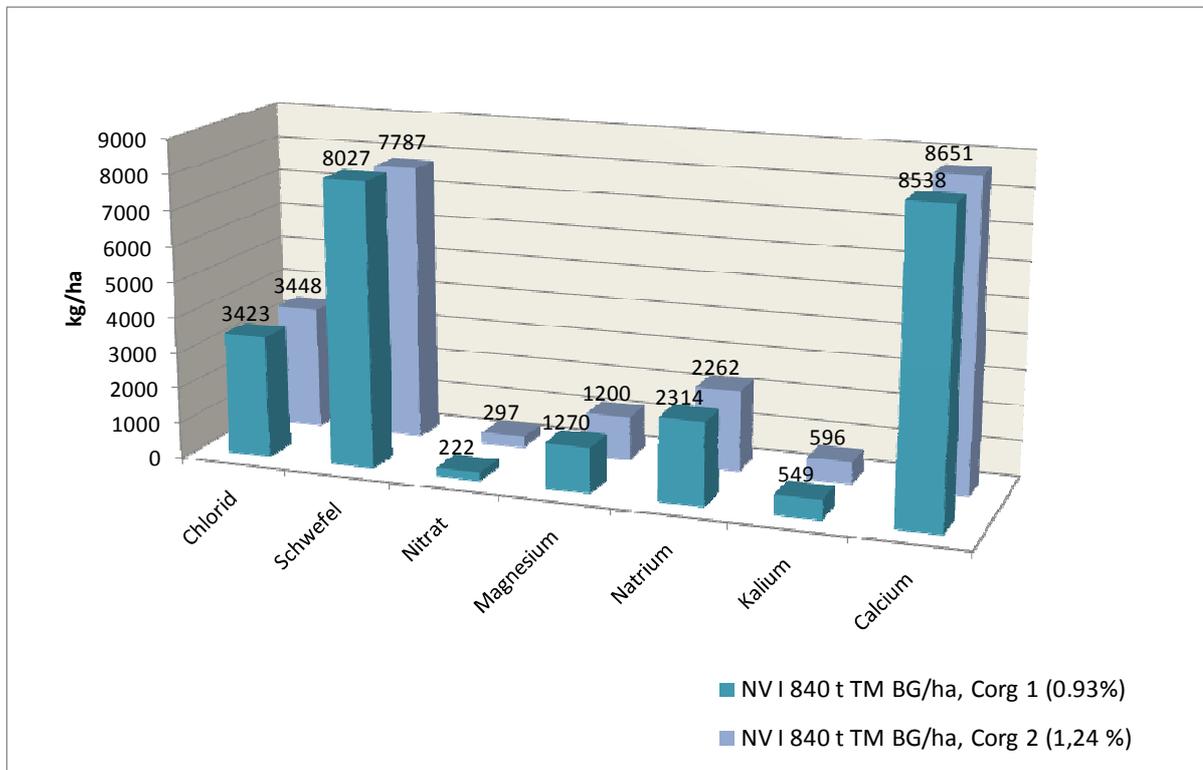


Abbildung 7: Stoffausträge über 10 Jahre bei unterschiedlichem C_{org}-Ausgangsniveau

7. Bei **Frühjahrsausbringung** erfolgte im Vergleich zur Herbstausbringung **teilweise bis zum Versuchsende ein geringerer Gesamstoffaustrag (Ausnahmen Schwefel und Calcium)**, aber vor allem im ersten Jahr ist die Wirksamkeit der nicht ausgewaschenen Salzionen auf die Kulturpflanze stärker.

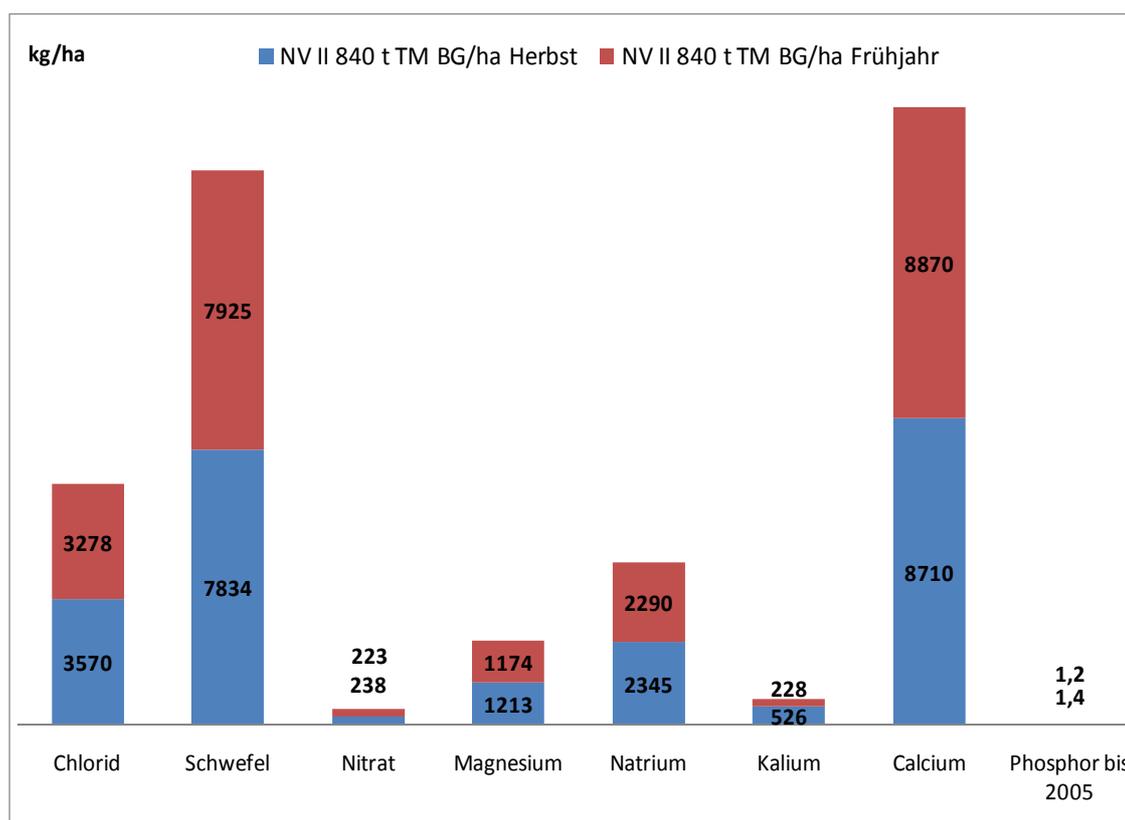


Abbildung 8: Stoffaustrag nach Herbst- und Frühljahrsausbringung

8. Das **Baggergut beeinflusst nicht die Konzentrationen** und damit auch **nicht die Austräge an Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Sickerwasser**.
9. Von den **Zinnorganika** wurden übereinstimmend bei allen Varianten (auch ohne Baggerguteinsatz) **nur die Abbauprodukte Dibutylzinn und Monobutylzinn in äußerst geringen Konzentrationen** nachgewiesen. Das deutet auf Rückstände von Pflanzenschutzmittelanwendungen aus vorangegangenen Versuchsanstellungen hin. Die Stoffquelle Baggergut spielte offensichtlich keine Rolle.
10. Die Zufuhr von **Baggergut verbessert** deutlich **die Bodenstruktur, das Wasser- und Nährstoffbindungsvermögen sowie den Nährstoffpool des Bodens**. Durch die unterschiedlich hohe Baggergutaufbringung ist eine deutliche Anhebung der bodenfruchtbarkeitsbestimmenden Eigenschaften in den einzelnen Varianten feststellbar.
11. Bei **Baggerguteinsatz** kann in Hinblick auf hohe Erträge nicht auf eine **ausreichende mineralische Stickstoff-Düngung** verzichtet werden, aber eine Reduzierung des Aufwandes anderer Nährstoffe wie Phosphor, Kalium und Magnesium ist möglich.

12. Im Hauptversuch führte unabhängig von der Baggergutaufbringung die doppelte N-Gabe zur Aussaat zu einer deutlichen Ertragssteigerung. Die unter 10. erwähnten Vorteile der Baggergutvarianten mit dreimaliger Aufbringung ergaben für die Pflanzen einen weiteren Massezuwachs, da **durch das Baggergut** auch **schlechte Witterungsbedingungen** eher **ausgeglichen** werden. Das macht deutlich, dass bei den Pflanzen in den baggergutreichen Varianten die Wachstumsvorteile überwiegen.
13. In den untersuchten **Pflanzenbestandteilen** waren **keine Anreicherungen von Schwermetallen und andere Schadstoffe** in den Varianten mit Baggergutaufbringung gegenüber den Nullvarianten nachweisbar (gleich bleibende Qualität).
14. Im **Boden** kam es gegenüber den Nullvarianten durch die Baggergutaufbringung zu einer **geringfügigen Erhöhung** der **Schwermetallkonzentration** bei den Elementen Zink, Arsen, Nickel, Cadmium und Quecksilber. Kupfer, Blei und Chrom zeigten einen marginalen Konzentrationsanstieg durch den Baggerguteinsatz (Untersuchung nur bis 2005).

3.1 Sickerwasser

Bildliche Darstellungen zu den folgenden Aussagen entnehmen Sie bitte den Anhängen der Berichte 2004/05 (Schadstoffe, Mikronährstoffe) und 2009/10 (alle weiteren Parameter) auf der beiliegenden CD.

3.1.1 Sickerwassermenge

Der Sickerwasseranfall ist niederschlags- und vegetationsabhängig, wird aber auch vom Anteil des Baggergutes im Boden beeinflusst. Die nachfolgenden Abbildungen 9 und 10 zeigen deutlich diese Abhängigkeit. Die Varianten mit einem großen Anteil an Baggergut und höchster Düngung zeichnen sich durch ein hohes Wasserspeichervermögen aus.

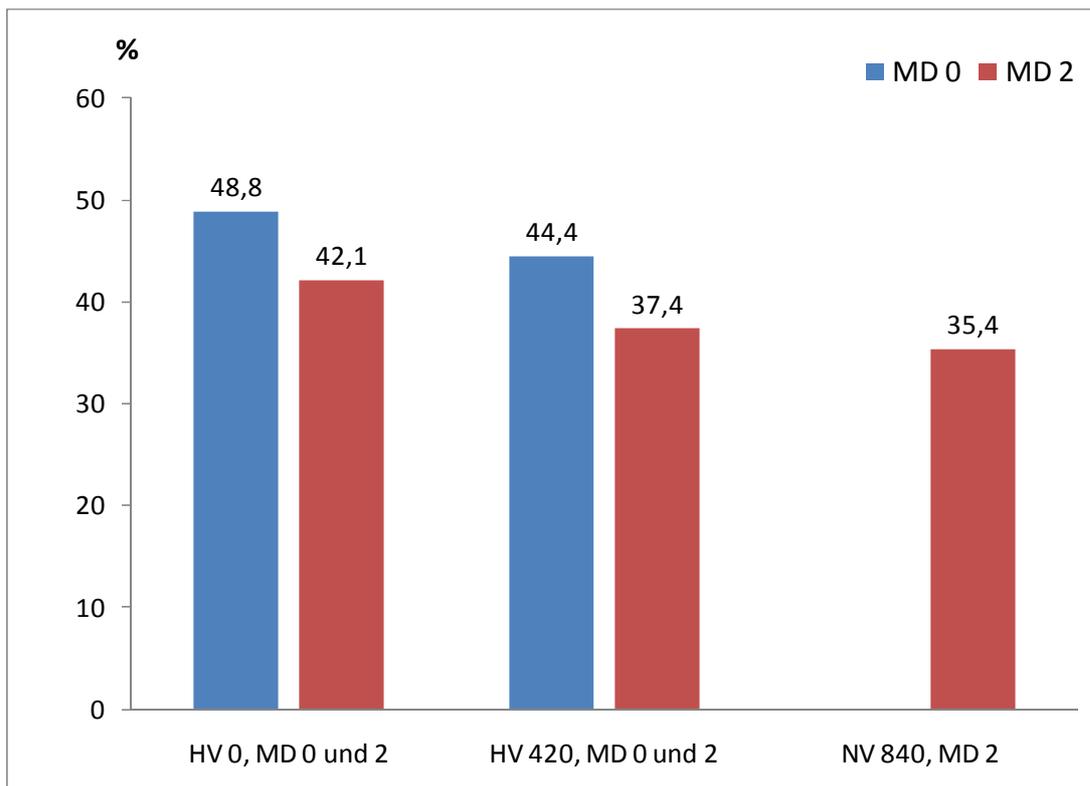


Abbildung 9: als Sickerwasser angefallener Niederschlag in % in Abhängigkeit der Baggergut-aufwandmenge und der Düngung

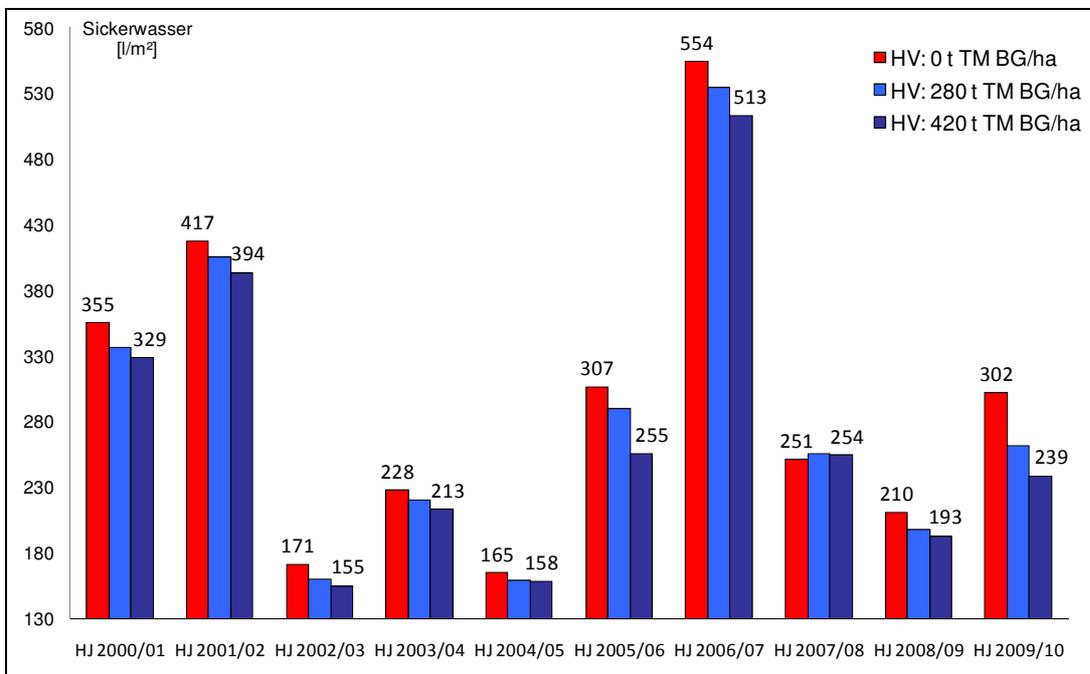


Abbildung 10: Sickerwassermenge Hauptversuch in den HJ 2000/01 bis 2009/10 (im Mittel der Varianten, keine Differenzierung nach Düngung)

3.1.2 Sickerwasserqualität

Die Gehalte der einzelnen Parameter wurden im Sickerwasser mindestens monatlich in den 17 Teilvarianten durch die LUFA Rostock ermittelt. Die Leitfähigkeit wurde bei den Probenahmen gemessen. Einen Überblick über die Sickerwasserqualität gibt die Tabelle 5.

Tabelle 4: Vergleich der Mittelwerte im Sickerwasser mit Prüfwerten der BBodSchV und Entwurf Mantelverordnung 2011 (Artikel 3, Novelle BBodSchV) (Fett gedruckt = Überschreitung, Klammerausdruck Einzelwert)

Parameter	Einheit	BBodSchV Prüfwert 1999*	Entw. Mantel- verordnung, Art. 3 2011**	HV 0, MD2	HV 42, MD2	NV 84, MD2
Blei	µg/l	25	7	< 10	< 10	< 10
Cadmium	µg/l	5	0,25	< 0,4	0,5	< 0,4
Kupfer	µg/l	50	14	6,8 (23)	5,7 (22)	5,1
Nickel	µg/l	50	20	< 10	< 10	< 10
Quecksilber	µg/l	1	0,05	n.n.	n.n.	n.n.
Zink	µg/l	500	58	20	23	22
Chlorid	mg/l		250	30	230	200
Sulfat	mg/l		250	25	950	1415
Nitrat	mg/l		50	33	46	48
Ammonium	mg/l		0,5	0,6 (5,34)	0,5	0,3
Mineralölkohlen- wasserstoffe	µg/l		200	0,2	0,2	-

* Prüfwert Wirkungspfad Boden – Grundwasser am Ort der Beurteilung (Übergang ungesättigte zur wassergesättigten Bodenzone)

** Prüfwert zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser nach § 8 Absatz 1 Satz 2 Nummer 1 BBodSchG für die Konzentration anorganischer und organischer Stoffe im Sickerwasser am Ort der Beurteilung

Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit als Parameter für die Summe aller gelösten Stoffe im Wasser gibt hier einen Überblick über die gelösten Salze im Sickerwasser. Verursachte der Baggerguteinsatz anfangs einen starken Anstieg der Leitfähigkeit, sanken im Hauptversuch die Werte bei Varianten mit Baggerguteinsatz nach der ersten Auswaschungsperiode im Winter 2000/01 deutlich ab und bewegten sich ab dem Zeitraum Sommer 2007 nahezu auf dem gleichen, niedrigen Ausgangsniveau um ca. 500 µs/cm. Nur wenn nach stärkeren Niederschlägen die Auswaschung zunahm, stieg kurzfristig die Leitfähigkeit an. In den Nebenversuchen ergaben sich durch die Mehrfachaufbringung mehrere Perioden mit

deutlicher Zunahme der Leitfähigkeit. Aber auch bei diesen Varianten nahm sie langfristig gesehen ab. Seit Sommer 2007 hat sich ein gleichbleibendes Niveau eingestellt, wobei die Leitfähigkeit der Varianten mit der höchsten Baggergutaufwandmenge immer noch um das 2- bis 3-fache höher war als bei den Varianten ohne Baggerguteinsatz.

pH-Wert

Die pH-Werte des Sickerwassers bewegten sich mit Werten zwischen 7,2 und 8,9 im schwach bis mäßig basischen Bereich. Die im HJ 2000/01 festgestellte Differenzierung zwischen den Varianten mit Baggerguteinsatz = niedrigere pH-Werte und den Varianten ohne Baggergutaufbringung = höhere pH-Werte, verblasste in dieser Deutlichkeit im Laufe des Untersuchungszeitraums. Der jahreszeitliche Gang (höhere Werte im Herbst, niedrigere Werte im Frühjahr) war in allen Varianten gegeben. Die Werte streuten jedoch stark.

Chlorid (Cl⁻)

Im Hauptversuch erfolgte nach der Baggergutaufbringung ein rascher Anstieg des Konzentrationsniveaus im Sickerwasser. Nach dem Maximum im auswaschungsintensiven Winter des ersten Untersuchungsjahres fiel das Niveau sehr stark ab und erreichte bereits im zweiten Untersuchungsjahr das Niveau der Nullvariante. Dieses niedrige Konzentrationsniveau blieb bis zum Versuchsende bestehen.

In den Nebenversuchen ergaben sich bei den Varianten mit mehrfacher Baggergutaufbringung zunächst nach jeder weiteren Baggergutgabe auch weitere Konzentrationsmaxima, welche aber deutlich unter dem ersten Maximum lagen. Danach sanken auch bei diesen Varianten die Gehalte auf das Niveau der Nullvarianten ab. Zeitweise wurden nur noch geringe Schwankungen durch die höhere Auswaschungsintensität in den Herbst- und Wintermonaten augenfällig. Zudem wurden Effekte durch die Auswaschung vorhandener Düngesalze in den vergleichsweise sorptionsschwächeren, nicht bzw. wenig mit Baggergut versorgten Varianten, in den letzten Jahren sichtbar.

Sulfat (SO₄²⁻), Natrium (Na⁺), Magnesium (Mg²⁺), Kalzium (Ca²⁺), Kalium (K⁺)

Bei einmaliger Baggergutaufbringung im Hauptversuch sanken nach einem Konzentrationsmaximum im Winter des ersten Untersuchungsjahres 2000/01 die Gehalte im Sickerwasser zögernd aber stetig. Die Niveaus erreichten nach 5 -7 Jahren das der Nullvarianten (Natrium, Kalium) bzw. lagen nur geringfügig darüber, was auch bis zum Versuch-

sende anhielt (Sulfat, Magnesium, Kalzium). Bei Kalium war nach 5 Jahren das Ausgangsniveau am schnellsten erreicht.

In den Varianten mit mehrmaliger Baggergutaufbringung stiegen anfänglich die Gehalte im Sickerwasser deutlich an, meist ohne das Konzentrationsmaximum der Baggergutvarianten des Hauptversuches zu erreichen und schwankten dann bis zu Beginn des HJ 07/08 auf hohem Niveau mit erheblicher Amplitude (meist im Sommer geringer und dann im Winter wieder etwas höher). Dann sanken die Gehalte stetig, lagen aber immer noch, weitaus deutlicher als im Hauptversuch, über dem Niveau der Nullvarianten (Ausnahme Natrium). Für die weiterhin erhöhten Gehalte bei den Varianten mit der höchsten Baggergutgabe war der große Vorrat im Baggergut ausschlaggebend, der weiterhin Ionen nachlieferte. Nur die Konzentration an Na^+ nahm innerhalb der letzten 2 Jahre fast bis auf das Niveau der Nullvarianten ab.

Die Konzentrationsentwicklung bei Kalium wurde über die Versuchsdauer durch die Vorversuche in der Lysimeteranlage, insbesondere der Gülleversuche von 1978 – 87, beeinflusst und teilweise überdeckt (s.a. Bericht 2009/10 Pkt. 3.2.5 auf der CD).

Nitrat (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+) und Phosphor (P_{ges})

Es ließ sich kein interpretierbarer Unterschied bei Nitrat, Ammonium und Phosphor zwischen den Varianten im Hauptversuch bzw. in den Nebenversuchen erkennen. Für den gesamten Untersuchungszeitraum wurde infolge des Baggergutes kein Mehraustrag induziert. Das Baggergut war also in der Lage, sowohl das düngungsbedingt zugeführte als auch das aus dem Baggergut frei werdende leicht auswaschbare Nitrat und Ammonium durch das höhere Sorptionsvermögen zurückzuhalten. Phosphor wurde aus dem Baggergut nicht ausgewaschen. Im Gegenteil: das Baggergut ist in der Lage gedüngtes bzw. bodenbürtiges Phosphor vor der Auswaschung zurückzuhalten (niedrigeres Konzentrationsniveau als bei Nullvarianten, siehe Bericht 2004/05 auf der CD).

Der Trend der jahreszeitlichen Schwankungen war bei allen Versuchsvarianten zu beobachten. Die Untersuchungen auf Phosphor und Ammonium wurden wegen gegebener Aussagesicherheit nach dem HJ 2004/05 eingestellt.

Gehalte an Mikronährstoffen

Trotz hoher Gehalte an verfügbarem **Bor, Molybdän, Mangan und Eisen** im Baggergut war im Sickerwasser oft kein anderes Niveau als bei den Nullvarianten zu erkennen. Das ermittelte Konzentrationsniveau bei den in der Mantelverordnung aufgeführten Mikro-

nährstoffen Bor und Molybdän lag deutlich unter den Grenzwerten (Entwurf April 2011, Artikel 1 Änderungen der Verordnung zum Schutz des Grundwassers). Nur bei hoher Auswaschungsintensität war bei den Varianten mit Baggergutgabe erhöhte Mikronährstoffkonzentrationen festzustellen, dann eher bei den Varianten mit nur einmaliger Baggergutgabe. Es ist zu vermuten, dass bei den Varianten mit der höchsten Gabe trotz hoher Bodengehalte die bessere Sorptionsfähigkeit eine Auswaschung verhinderte. Da bei allen Mikronährstoffen seit Frühjahr 2001 kein direkter Baggerguteinfluss nachweisbar war, wurde keine Frachtenberechnung bezüglich einer Grundwasserbeeinflussung durchgeführt und die Untersuchung mit dem HJ 2004/05 eingestellt.

Gehalte an Schadstoffen

Schwermetalle

Der Lysimeterversuch zeigte, dass es selbst bei den Varianten mit 840 t TM Baggergut je ha zu keiner Konzentrationserhöhung von Schwermetallen im Sickerwasser kam (Abbildung 11).

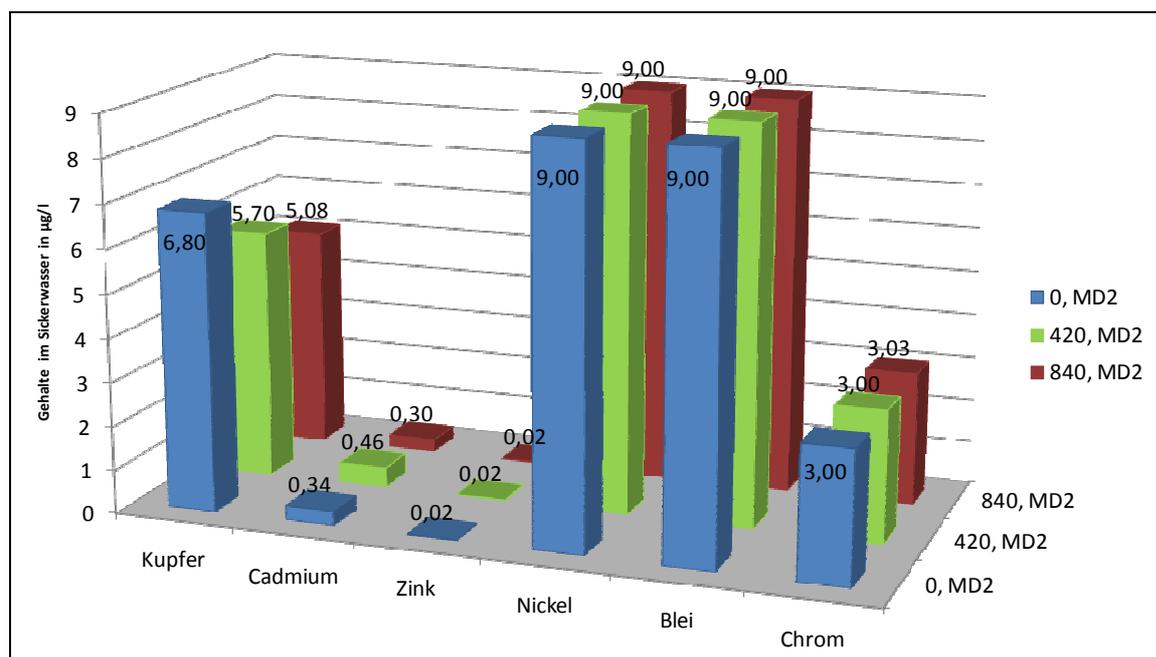


Abbildung 11: Mittlere Schwermetallgehalte im Sickerwasser bis 2005

Organische Schadstoffe

Die Gehalte an Kohlenwasserstoffen und Zinnorganika lagen im Bereich der Nachweisgrenze bzw. konnten nicht nachgewiesen werden. Eine Beeinflussung durch das Bag-

gergut wurde nicht festgestellt. Deshalb wurde die Untersuchung auf Schadstoffe im Sickerwasser mit dem HJ 2004/05 eingestellt.

3.1.3 Stoffaustrag

Der Stoffaustrag wird aus dem Sickerwasseranfall und der Stoffkonzentration im Sickerwasser berechnet. Eine hohe Konzentration im Sickerwasser bedeutet daher nicht automatisch den höchsten Stoffaustrag. Von der Bezugsebene Lysimeteroberfläche (Ausstrag in g/Lysimeter) wurde zunächst auf die Grundeinheit g/m² umgerechnet und dann auf die relevante landwirtschaftliche Vergleichsebene je Hektar (Ausstrag in kg/ha) hochgerechnet.

Chlorid und Kalium

Bei den Varianten mit einmaliger Baggergutausbringung war schon im Herbst 2001 ein Großteil des Chlorids ausgewaschen. So konnte ab dem HJ 2001/02 im Vergleich zu den Nullvarianten nur noch ein minimal erhöhter Austrag verzeichnet werden. Trotz wiederholter Baggergutgabe der Nebenversuche I und II ging auch hier der Austrag deutlich zurück. Entgegen der doppelten Aufwandmenge zum Hauptversuch lag der Austrag nur um 22 % höher.

Im Oberboden der Varianten mit mehrfacher Baggergutaufbringung wurde nach dem ersten größeren Austrag durch das verbesserte Sorptions- und Wasserhaltevermögen ein Teil des Chlorids zurückgehalten. Nach den relativ geringen Austrägen in den Jahren 2004/05 und 2005/06 ist der Austrag an Chloridionen im Jahr 2006/07 durch den enormen Sickerwasseranfall in allen Varianten noch einmal angestiegen.

Die Berechnung des Chloridaustrages bis zum Ende des HJ 2006/07 ergab, dass bereits über 95 % des Chlorids ausgewaschen waren. So wurden später selbst bei Starkniederschlagsereignissen nicht mehr in großem Umfang leicht lösliches Chlorid ausgewaschen. In den letzten Jahren war auffällig, dass meist Varianten ohne Baggergut den höheren Chloridaustrag zeigten (geringeres Sorptions- und Wasserhaltevermögen).

Dass es sich in den letzten Jahren beim ausgetragenen Chlorid vorwiegend um Chlorid aus der Mineraldüngung handelt, zeigte ein Vergleich gedüngter und ungedüngter Varianten des Hauptversuches. So wies die Variante HV 0, MD 0 einen Austrag von ca. 98 kg Chlorid/ha auf, bei der Variante HV 0, MD 2 lag der Austrag bei ca. 370 kg/ha. In der Variante des Hauptversuches mit einer Baggergutaufbringung von 420 t TM BG/ha und

höchster Mineraldüngungsstufe (MD 2) wurde dagegen nur 256 kg Chlorid/ha errechnet.

Kalium wurde ähnlich wie Chlorid leicht ausgewaschen, so dass der Hauptaustrag im Hauptversuch bei den Baggergutvarianten in den ersten beiden Jahren lag (bis HJ 2001/02 - HV 0 ca. 90 kg/ha; HV 420 ca. 310 kg/ha). Insbesondere der seit Versuchsbeginn relativ hohe Austrag bei der Variante mit einer Frühjahrsausbringung von 140 t TM BG/ha hängt aber möglicherweise auch mit Nachwirkungen der Vorversuche bei den betreffenden Lysimetern zusammen.

Deutlich spiegelte sich auch bei Kalium das auswaschungsintensive hydrologische Jahr 2006/07 in allen Varianten (auch Nullvarianten) mit höheren Austrägen wider.

Sulfat, Magnesium, Kalzium und Natrium

Die Austräge an Sulfat, Magnesium und Kalzium sowie Natrium sind abhängig von Baggergutaufwandmenge, Düngung und Sickerwasseranfall. Bei allen Varianten mit Baggergut, ist in den ersten Jahren ein höherer Austrag nach der ersten Baggergutaufbringung deutlich zu erkennen. Abhängig von der Baggergutaufwandmenge und des Sickerwasseranfalls nahm der Stoffaustrag in den Jahren nach der Baggergutaufbringung zum Teil ab. Ursache für die starke Erhöhung der Austräge bei Natrium erst im 2. Jahr, aber auch für die Unterschiede zwischen den Varianten, ist die relativ langsame Verlagerung des Natriums (HJ 00/01 HV 420 ~ 260 kg/ha; HJ 01/02 HV 420 ~ 750 kg/ha). Dass die Erhöhung bei den Varianten mit zweiter Baggergutgabe stärker und länger anhaltend war als bei den Varianten mit einmaliger Aufbringung, liegt an der absolut größeren Gesamtmenge, die aufgebracht wurde.

Gut zu erkennen ist bei allen genannten Parametern das sehr niederschlags- und damit auswaschungsintensive Jahr 2006/07. Bei den Varianten mit mehrfacher Baggergutaufbringung (Gesamt 840 t TM BG/ha) war bis zum HJ 2006/07 nur ein etwas höherer Austrag zu verzeichnen als bei der Variante mit einmaliger Aufbringung von 420 t TM BG/ha (Sulfat bis 2005/06 insgesamt: HV 420 ~ 12.000 kg/ha; HV 840 ~ 13.850 kg/ha). Das änderte sich mit dem HJ 2006/07 als aufgrund der intensiven Auswaschung bei diesen Varianten ein deutlich höherer Austrag erfolgte, z. T. das 7fache gegenüber der Variante mit 420 t TM BG/ha im Hauptversuch (Sulfat 2006/07: HV 420 ~ 860 kg/ha (insges. 12.840 kg/ha); HV 840 ~ 6040 kg/ha (insges. 19.900 kg/ha)). Selbst das durch die sehr hohe Baggergutaufwandmenge von 840 t TM BG/ha deutlich verbesserte Sorptions- und

Wasserhaltevermögen im Oberboden konnte in diesem niederschlagsreichen HJ die angefallenen Wassermengen nicht mehr zurückhalten, so dass auch bei diesen Varianten ein erhöhter Sickerwasseranfall verbunden mit einem erhöhten Stoffaustrag auftrat. Das heißt, von den bisher im Bodenkörper gehaltenen großen Mengen an Ionen (Nachlieferung durch hohes Stoffpotential im Baggergut), war bis zum HJ 2005/06 nur ein Teil ausgewaschen. Die Austräge bei den Varianten mit einmaliger Baggergutausbringung waren geringer, da ein Großteil der Ionen hier bereits ausgewaschen war. In den folgenden weniger auswaschungsintensiven HJ bis zum Versuchsende ging der Stoffaustrag bei allen Varianten mit Baggergutaufbringung wieder zurück. Im letzten Versuchsjahr wurden bei Sulfat, Magnesium und Natrium im Haupt und Nebenversuch mit Baggergutaufbringung die geringsten Austräge seit Versuchsbeginn ermittelt, was auch mit den bisher geringsten Gehalten im Sickerwasser korreliert.

Austrag an Nitrat und Phosphor

Durch den Einsatz von Baggergut waren im Hauptversuch kaum Unterschiede beim Austrag von Nitrat feststellbar. Insgesamt war der Nitrataustrag in der Variante mit 420 t BG/ha geringer (215,9 kg/ha) als der Austrag der Nullvariante (232,8 kg/ha). In den Nebenversuchen war der Gesamtaustrag der Nullvariante (bzw. 140 t BG/ha) ebenfalls leicht erhöht gegenüber den Varianten mit Baggergutaufbringung.

Der Versuch zeigte, dass Baggergut den Austrag an Nitrat bei Starkniederschlagsereignissen effektiv zurückhält.

Phosphor wurde nur bis zum Jahr 2005 gemessen. Doch zeigte sich auch ein fast identisches Verhalten wie bei Nitrat (HV 0 = 4,2 kg/ha; HV 420 = 1,6 kg/ha).

3.2 Veränderungen der Bodeneigenschaften im Oberboden

Grundlage der Bewertung sind die Ergebnisse der Bodenprobenahme vor Einrichtung der Lysimeterversuche Ende Oktober 2000, die bodenchemische Kennzeichnung des Baggergutes vor Aufbringung sowie die Ergebnisse der Bodenprobenahmen zum Ende der HJ 2000/01 – 2009/10 nach Abschluss der Vegetationsperiode. Die fruchtbarkeitsbestimmenden Eigenschaften verbesserten sich mit zunehmender Baggergutaufwandmenge. Zu Versuchsbeginn stiegen die Gehalte an Chlorid, Sulfat und Natrium im Oberboden infolge der Baggergutaufbringung und des damit verbundenen Salzeintrags deutlich an. In den Folgejahren sanken durch Auswaschung die Gehalte auf das Niveau der Nullvarianten wieder ab. Bei einigen Schwermetallen kam es zu einer leichten Erhöhung der Gehalte im Oberboden.

In den Grafiken der einzelnen Jahresberichte sind zusätzlich zu Vergleichszwecken für die Nährstoffe, in Abhängigkeit der Bodenart, die anzustrebenden, optimalen Bodengehalte nach LUFA Rostock sowie für Schadstoffe die ebenfalls bodenartabhängigen Vorsorgewerte der BBodSchV aufgeführt. Die den gesamten Untersuchungszeitraum umfassenden Grafiken des letzten Jahresberichtes 2009/10 sowie die Grafiken zu den Schadstoffen (Untersuchungsabschluss 2005) sind der beiliegenden CD zu entnehmen.

3.2.1 Grundeigenschaften

Wassergehalt

Aufgrund des sehr guten Wasserspeichervermögens des Baggergutes wird mit steigender Baggergutaufwandmenge ein höherer Wassergehalt im Oberboden erreicht. Zum Beispiel konnte durch die Aufbringung von 840 t TM Baggergut/ha eine Anhebung des Wassergehaltes um ca. 10 % erzielt werden, die auch zum Versuchsende noch Bestand hatte.

pH-Wert, Kalkgehalt (CaCO₃)

Der hohe Kalkgehalt sowie die dadurch bedingte schwach basische Reaktion des Baggergutes führten durch die Baggergutaufbringung zu einer deutlichen pH-Wertanhebung (eine pH-Stufe). Die Zunahme des Kalkgehaltes mit steigender Baggergutaufwandmenge unterstützt diese Aussage.

Gehalt an Organischer Substanz (C_{org} bzw. $TOC * 1,724$)

Mit zunehmender Baggergutaufwandmenge erhöhten sich die Gehalte an Organischer Substanz. Das erhöhte Niveau blieb über den gesamten Untersuchungszeitraum erhalten. Das zeigt die hohe Stabilität der über das Baggergut aufgebrauchten Organischen Substanz im Verbund mit dem hohen Feinanteil (mineralisch-organische Komplexe). Diese hohe Aggregatstabilität wurde auch bei anderen Anwendungen (z.B. Rekultivierung von Deponien) belegt und ist längerfristig nachweisbar.,

Ton

Da sich der Tongehalt im Boden nach der Baggergutaufbringung nur sehr langsam ändert (Tonverlagerung dauert Jahrhunderte (Gisi 1997)), erfolgte je Variante nur eine Untersuchung nach der Aufbringung. Die dritte Baggergutgabe, bei einer Gesamtaufwandmenge von 840 t TM BG/ha, führte zu einer Verdopplung des Tongehaltes im Vergleich zum Ausgangsniveau.

Kationenaustauschkapazität (T-Wert)

Der T-Wert ändert sich nur in Abhängigkeit der Gehalte an Organischer Substanz und Ton. Da die Baggergutaufbringung nachweislich die Gehalte an Organischer Substanz und Ton erhöhte, wurde auch die Kationenaustauschkapazität in den Varianten mit Baggergutaufbringung deutlich verbessert. Die dritte Baggergutgabe führte bei den entsprechenden Varianten im Vergleich zu den Varianten ohne Baggergutaufbringung zu einer Verdopplung des T-Wertes. Damit war ein deutlich verbessertes Stoffbindungsvermögen gegeben, das aufgrund der Stabilität der beiden Rahmenparameter (Organische Substanz, Ton) bis zum Versuchsende erhalten blieb.

Salzkonzentration

Die Salzkonzentration ist deutlich von der Baggergutaufwandmenge abhängig. Nach einem Anstieg in Folge der Baggergutaufbringung sank die Salzkonzentration im Laufe der Untersuchungsjahre aller Varianten mit Baggergutgabe deutlich, fast bis auf das Niveau der Nullvarianten, ab.

Sulfat-Schwefel (SO_4^{2-} -S)

Die Gehalte an Sulfat stiegen nach der Baggergutaufbringung zunächst stark an, z.B. nach einmaliger Aufbringung von 420 t BG TM/ha um das 420fache. Danach sanken sie bis zum Abschluss der Versuche auf ein Niveau wie bei den Varianten ohne Baggergut-

aufbringung. Die erhöhten Sulfatausträge über das Sickerwasser zeigen jedoch, dass noch beachtliche Mengen aus dem im Boden vorhandenen Schwefel nachgelöst werden, da der über das Baggergut eingebrachte Schwefelvorrat noch lange nicht aufgebraucht ist (s. Tabelle 4).

Tabelle 5: Abnahme des Gehaltes an Salzen und Phosphor im Oberboden, Austrag über Sickerwasser + Entzug Pflanzen im Mittel der 4 Varianten mit 840 t TM BG/ha; MD2 nach 10 Jahren

	Einheit	Sulfat	Schwefel	Chlorid	Natrium	Phosphor
Gehalt im Baggergut	mg/100 g	418	4490	389	457	180
Zufuhr mit 840 t TM BG	kg/ha	3511	37716	3268	3839	1512
Entzug durch Pflanzen	kg/ha	0,04	0,04	0,18		0,1
Austrag über Sickerwasser	kg/ha	23876	7879	3424	2317	4,8
Entzug + Austrag gesamt	kg/ha	23876	7879	3424	2317	4,9
relativ zur Zufuhr*	%	680	21	105	60	0,3

* vernachlässigt wird die Zufuhr über die Düngung

Austauschbares Natrium (Na⁺)

Bei den Varianten mit einmaliger Baggergutaufbringung waren die Gehalte an austauschbarem Natrium nach kurzzeitig starkem Anstieg (2001) bereits bis zum Herbst 2003 zum Teil deutlich zurückgegangen. Bei den Varianten mit mehrfacher Baggergutgabe führte jede Teilgabe erneut zu einer starken Anhebung (ca. das 20-fache zum Ausgangswert). Aber auch bei diesen Varianten sanken die Gehalte bis zum Versuchsende fast wieder auf das Ausgangsniveau zurück.

Chlorid

In den Varianten mit Baggergutgabe stiegen die Gehalte im ersten Jahr nach der Aufbringung bzw. bei Mehrfachaufbringung bis zum Jahr nach der letzten Gabe an, um aber dann rasch wieder auf das Ausgangsniveau zu sinken. Ursachen für kleinere Schwankungen sind die Salzeinträge durch die Mineraldüngung im Frühjahr und die Auswaschungsintensität im Jahresverlauf sowie die Variabilität der Messwerte auf diesem niedrigen Konzentrationsniveau.

3.2.2 Schadstoffe

Schwermetalle (Gesamtgehalte)

Während bei **Blei**, **Kupfer** und **Chrom** kein Einfluss des Baggergutes auf die Gehalte im Oberboden zu verzeichnen war, kam es bei **Nickel**, **Quecksilber**, **Zink**, **Cadmium** und

Arsen zu einer sehr geringen Erhöhung. Bis zum Versuchsende sanken die Konzentrationen außer bei Arsen wieder leicht ab.

Organische Schadstoffe

Die untersuchten Organischen Schadstoffe **PAK** und **PCB** lagen auf einem sehr niedrigen Niveau.

3.2.3 Nährstoffe und Mikronährstoffe

Gehalt an N_{\min} - (NO_3 -N + NH_4 +-N)

Die Gehalte an N_{\min} zeigten eine Abstufung in Abhängigkeit der Baggergutgabe. Dabei wurde die Höhe der Gehalte durch die Auswaschungsintensität und den Pflanzenentzug bestimmt. Bis zum Herbst 2005 lagen die Gehalte auf ähnlichem Niveau, sanken in den Jahren 2006 und 2007 etwas ab, um 2008 aufgrund der fast völlig ausgebliebenen Auswaschung in der Vegetationsperiode das höchste Niveau während der gesamten Versuchszeit zu erreichen. In den letzten beiden Versuchsjahren verringerten sich die Werte aufgrund der erheblichen Niederschläge wieder.

Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor

Aufgrund der hohen Phosphor-Düngung im Frühjahr 2001 und der geringen P-Mobilität lag der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor zu Beginn des Versuchs auf einem sehr hohen Niveau. Waren in den ersten zwei Jahren noch in allen Varianten ähnliche Gehalte festzustellen, so differenzierten sie danach immer stärker in Abhängigkeit der Baggergutgaben. Bei den Varianten mit Baggergut sank das Niveau geringfügig ab, bei Varianten ohne Baggergut halbierte es sich jedoch. Die Ursache liegt im hohen Phosphorvorrat in der Organischen Substanz des Baggergutes, der langsam aber stetig freigesetzt wird. Über alle Varianten wurde ein leichtes Absinken des P-Niveaus im Vergleich zu den Vorjahren ermittelt. Somit war zum Versuchsende das niedrigste Niveau seit zu verzeichnen. Es lag aber weiterhin deutlich über dem für landwirtschaftlich genutzte Böden anzustrebendem Niveau.

Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium

Bis Frühjahr 2002 erfolgte keine mineralische Kalium-Zusatzgabe, da ausreichend pflanzenverfügbares Kalium vorhanden war. In den Frühjahren 2006 und 2007 wurde nochmals nach Bedarf gedüngt, da die Gehalte zum Teil deutlich abgesunken waren. Über den Versuchsverlauf blieb der gegenüber den Nullvarianten erhöhte K-Gehalt bei Bag-

gergutanwendung im Boden erhalten. Die ab Frühjahr 2008 eingestellte K-Gabe führte zum Absinken der Gehalte auf ein optimales Maß.

Dies ist ein Zeichen, dass Kalium stärker als andere Nährstoffe der Auswaschung unterliegt und im Abstand mehrerer Jahre wieder nachgedüngt werden muss.

Gehalt an pflanzenverfügbarem Magnesium

Aufgrund der sehr hohen Gehalte im Baggergut führte eine steigende Aufwandmenge zu einem deutlichen Anstieg an pflanzenverfügbarem Magnesium im Oberboden. Im Laufe des Untersuchungszeitraums sank der Gehalt geringfügig aber stetig ab, lag aber nach 10 Versuchsjahren noch immer oberhalb des anzustrebenden, optimalen Gehalts im Boden.

Pflanzenverfügbare Gehalte an Mikronährstoffen

Da das Baggergut auch sehr hohe pflanzenverfügbare Gehalte an den Mikronährstoffen **Bor, Zink, Molybdän, Mangan** und **Kupfer** aufwies wurden mit zunehmender Aufwandmenge höhere pflanzenverfügbare Gehalte im Oberboden festgestellt. Mit Ausnahme von Mangan war bei allen Mikronährstoffen die höchste Gehaltsklasse E (keine Düngung erforderlich) zur Beurteilung der Nährstoffversorgung gegeben.

Bedingt durch den pH-Anstieg lag der Gehalt an pflanzenverfügbarem Mangan unter dem einer optimalen Versorgung (Mangan wird ab pH-Wert 7 im Boden zunehmend festgelegt). Erst durch die dritte Baggergutgabe im Herbst 2002 kam es zu einem geringfügigen Anstieg des Gehaltes, weil das Baggergut höhere pflanzenverfügbare Gehalte an Mangan aufwies als der Ausgangsboden.

3.3 Ernteerträge

3.3.1 Quantität

Die Ertragsermittlung fand in jedem hydrologischen Jahr getrennt nach Gesamtpflanze und Kolbenertrag statt. Über alle Versuchsjahre lässt sich feststellen: Bei den Varianten des Hauptversuches war der Einfluss auf die Gesamtpflanzenentwicklung durch die mineralischen N-Düngung stärker als durch die Baggergutaufbringung. Unabhängig von der Höhe der Baggergutgabe stieg mit zunehmender N-Düngung nicht nur der Ertrag sondern i.d.R. auch der Trockenmassegehalt (Abbildung 12). Eine ausreichende Versorgung mit Makronährstoffen sicherte sowohl eine kräftige Pflanzenentwicklung (Frisch-

masseertrag), als auch eine rechtzeitige Abreife in der Vegetationsperiode (Trockenmasseertrag).

Eine optimale mineralische N-Düngung erhöhte im Hauptversuch den Trockenmasseertrag gegenüber einer Nulldüngung meist deutlich. Der Baggerguteinsatz hatte dagegen auf den Trockenmassegehalt keine so deutliche Auswirkung. Die Verdopplung der N-Gabe bei den Varianten des Hauptversuches führt unabhängig von der Baggergutaufwandmenge fast immer zu wesentlichen Zuwächsen beim Frischmasseertrag und auch zu einer deutlichen Erhöhung des Trockenmasseertrages. Für die Ertragssteigerungen in den Varianten mit mehrmaligem Baggerguteinsatz



(Ausnahme NV II, FA, FM- und TM-Ertrag) waren vor allem die durch die nochmalige Baggergutzufuhr weiter verbesserte Bodenstruktur, das erhöhte Wasser- und Nährstoffbindungsvermögen sowie der über das Baggergut verbesserte Nährstoffpool verantwortlich.

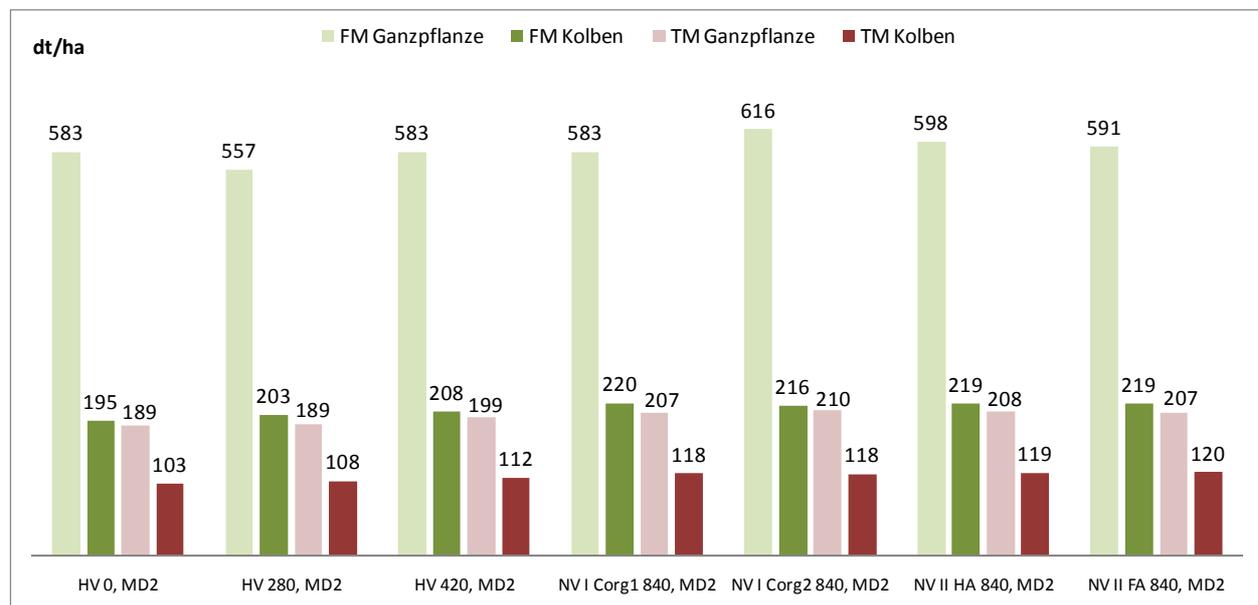


Abbildung 12: mittlere Ernteerträge nach Frisch- und Trockenmasse über die 10 Versuchsjahre (nur MD2-Düngung)

3.3.2 Qualität

Um eine Beeinflussung der Qualität des Erntegutes durch das Baggergut beurteilen zu können, wurden in den ersten 5 Versuchsjahren Untersuchungen zum Stoffpfad Boden –

Steinbeis Transferzentrum Angewandte Landschaftsplanung

c/o Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl Landschaftsplanung und –gestaltung
 Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock Fon: (0 381) 498 3246 Fax: (0 381) 498 3242
 ricarda.neumann@uni-rostock.de michael.henneberg@uni-rostock.de

Pflanze durchgeführt. Diese Untersuchungen ergaben keine signifikante Beeinflussung des Erntegutes durch das Baggergut (Abbildung 13 und 14).

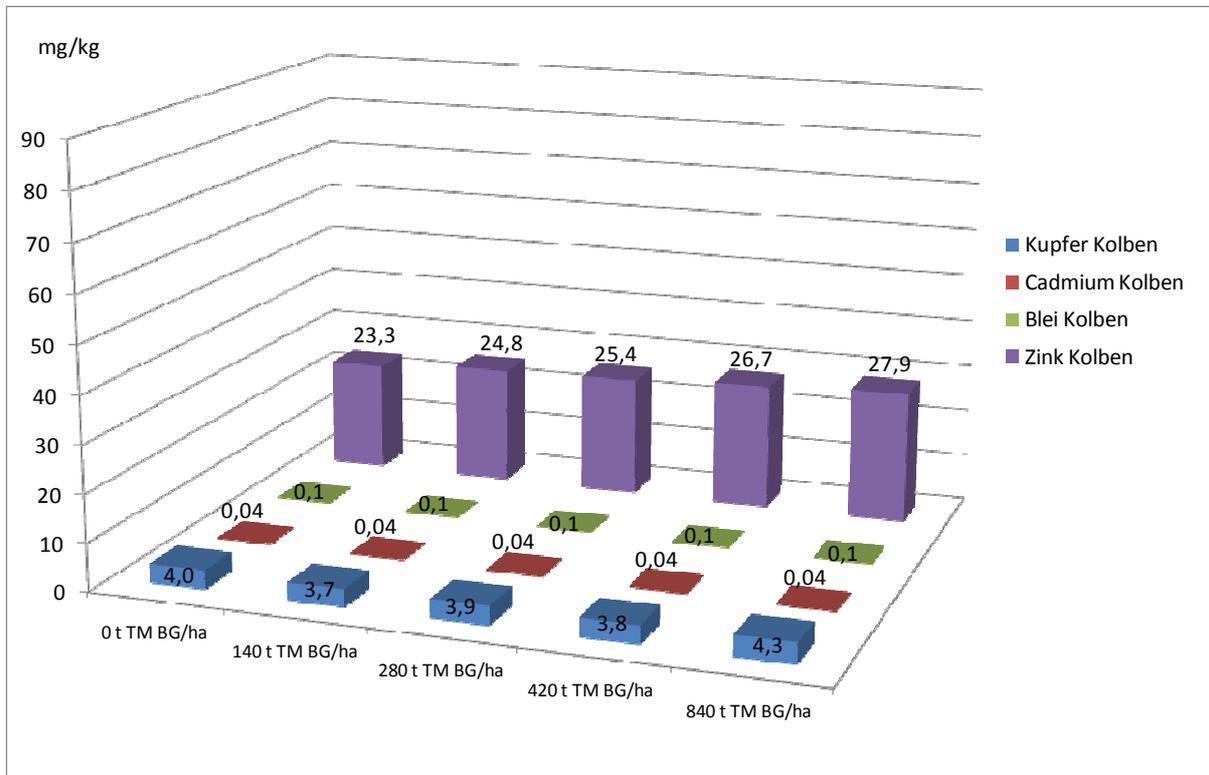


Abbildung 13: Schwermetallgehalte im Kolben im Mittel über die 10 Versuchsjahre

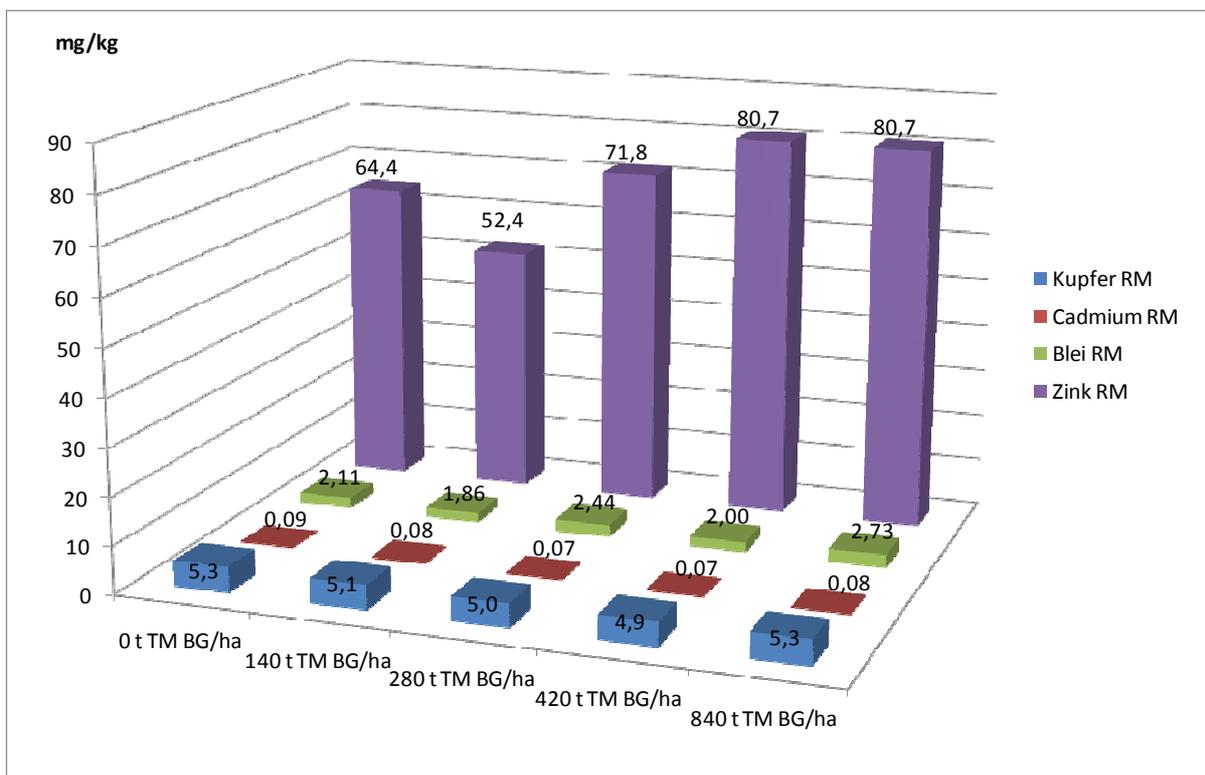


Abbildung 14: Schwermetallgehalte im Restmais (RM) im Mittel über die 10 Versuchsjahre

4 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit der komplexen Versuchsanstellung konnten wesentliche, noch offene Fragen zur Risiko- und Gefährdungsabschätzung bei der praktischen Umsetzung der Baggergutverwertung im Land- und Landschaftsbau geklärt werden.

Sickerwasser

Durch das verbesserte Wasserhaltevermögen sinkt der Sickerwasseranfall deutlich (bei Höchstgabe um bis zu 17 %). Aufgrund seiner Herkunft aus Brackgewässern (Salzgehalt 1 – 3 ‰) führt der Baggerguteinsatz zu z. T. extremen Konzentrationserhöhungen bei Salzen und leicht auswaschbaren Makronährstoffen (K, Mg, Ca) im Sickerwasser. Trotz der Minderung des Sickerwasseranfalls durch das Baggergut ergibt sich eine Vervielfachung der Ionen-Austräge (Kalium – Verdopplung, Chlorid – 3fach, Kalzium - 4fach, Magnesium – 6fach, Natrium – 20fach, Sulfat-Schwefel – 45fach).

Die beiden besonders umweltrelevanten Stoffe Stickstoff und Phosphor (z. B. Gewässereutrophierung) werden aufgrund des guten Sorptionsvermögens im Baggergut (insbesondere P) und seiner hohen Humusstabilität (keine N-Freisetzung) kaum ausgewaschen. Im Vergleich zu den Nullvarianten ist der Austrag sogar geringer.

Bodenqualität

Der Einsatz von Baggergut zur Herstellung bzw. Verbesserung von Oberböden gemäß BBodSchV führt nachweislich zu einer deutlichen Verbesserung bodenfruchtbarkeitsbestimmender Eigenschaften. Gefährdungen des Stoffpfades Boden – Pflanze bzw. Boden – Grundwasser durch Schadstoffe sind nicht zu besorgen (Voraussetzung: schadstoffarmes Baggergut!).

Pflanze

Die deutliche Verbesserung bodenfruchtbarkeitsbestimmender Eigenschaften durch das Baggergut führte wie auch schon in vorangegangenen Versuchen in Rastow und Rederank (HENNEBERG, JANZEN, 1997; HENNEBERG, JANZEN 1999) zu leichten Ertragserhöhungen von ca. 10 %. Der Baggerguteinsatz sichert eine normale Erntegutqualität. Der hohe Salzgehalt im Baggergut hat darauf keinen Einfluss.

Anwendungszeitpunkt

Bezüglich der Grundwasserbeeinträchtigung kann kein maßgebender Unterschied zwischen Herbst- und Frühljahrsausbringung gesehen werden. Dennoch ist die **Herbstausbbringung der Frühljahrsausbringung vorzuziehen, da:**

- bessere arbeitswirtschaftliche und fruchtfolgeunabhängige Einordnung im Landwirtschaftsbetrieb,
- bessere Befahrbarkeit bindiger Standorte und
- erste Auswaschung von Salzen aus der oberen Bodenschicht bereits im ersten Winter bei darauf folgendem Frühljahrsanbau (positiv bei salzempfindlichen Kulturen)

Auswahl Leitparameter zur Beurteilung

Die drei deutlich voneinander differenzierten Versuchsansätze lassen des Weiteren eine Aussage darüber zu, welche Kenngrößen aus dem breiten Analytikspektrum als **Leitparameter zur Beurteilung** potenzieller Umweltbeeinträchtigungen zweckmäßig sind:

1. Grundparameter zur Kennzeichnung von Baggergut und Ausgangsboden (Körnung, TOC, Kalk, Salzkonzentration, T-Wert)
2. Einzelparameter (Salz- und Makronährstoffionen Chlorid, Schwefel, Natrium, Stickstoff, Phosphor, Magnesium, Kalium, Kalzium)
3. Schadstoffparameter nur aus Sicht der Anforderungen des Bodenschutzrechtes

Diese ausgewählten Parameter ermöglichen die sichere, schnelle und Kosten sparende einzelfallbezogene Abschätzung einer potenziellen Grundwasserbeeinträchtigung, um eventuell eine Einsatzmengenbegrenzung bzw. ein Einsatzverbot zu veranlassen.

Die nachfolgenden Tabellen 6 bis 10 geben auf Grundlage der Ergebnisse der Lysimeterversuche einen Überblick über die gewählten Leitparameter und deren zeitlicher Veränderung nach Baggerguteinsatz.

Tabelle 6: Grad der Konzentrationsänderung - Nebenversuche (sehr hohe Gabe in 3 Teilgaben)

	1. Aufbringung	2. Aufbringung	3. Aufbringung	nach 5 Jahren	nach 7 Jahren
Leitfähigkeit	+++	++	++	+	+
Chlorid	+++	+++	+++	o	o
Sulfat	+++	+++	+++	+++	+++
Natrium	+++	+++	+++	+	+
Kalium	+	+	+	+	o
Magnesium	+++	+++	+++	+(+)	+
Kalzium	++(+)	++	++	+	+
Nitrat	o	o	o	o	o
Phosphor	o	o	o	o	o

Tabelle 7: Grad der Konzentrationsänderung - Hauptversuch (eine hohe Gabe)

	Jahr nach der Aufbringung	nach 5 Jahren	nach 10 Jahren
Leitfähigkeit	+++	+	o
Chlorid	+++	o	o
Sulfat	+++	+++	++
Natrium	+++	++	o
Kalium	++	o	o
Magnesium	+++	++	+
Kalzium	+++	+	o
Nitrat	o	o	o
Phosphor	o	o	o

Tabelle 8: Grad der Austragsänderung (bei sehr hoher Gabe in 3 Teilgaben)

	nach 10 Jahren
Chlorid	+
Sulfat	+++
Natrium	+++
Kalium	+
Magnesium	++
Kalzium	+
Nitrat	o
Phosphor	o

+++ = extreme Erhöhung, > 10-fach

++ = sehr starke Erhöhung, 5 - 10fach

+ = deutliche Erhöhung, Verdopplung bis 5fach

o = im Bereich der Nullvarianten/ der Hintergrundwerte Ausgangsboden

Tabelle 9: Grad der Veränderung der Bodeneigenschaften (eine hohe Gabe)

	420 t TM BG/ha	nach 5 Jahren	nach 10 Jahren
Wassergehalt	+	+	+
pH-Wert	++	++(+++)	+++
Kalk	+++	+++(++)*	+++
Salzkonzentration	+++	+++	+
Sulfat-Schwefel	+++	+++	++
Natrium	++	+	+
Chlorid	++	o(+)	o
TOC	(+) ++	(+) ++	(+) ++
Nmin	o	o(+)	+
Phosphor	o	o(+)	+
Magnesium	++	+(++)	+(++)
Kalium	+	o(+)	o(+)
Ton	+	+	+
T-Wert	+	+	+

Kalk +++(++)* : Einstufung ++ würde auf Analytikschwankung beruhen

+++ = extrem Erhöhung (> 5 fache)

++ = starke Erhöhung (> Verdopplung bis 5-fache)

+ = Erhöhung (Veränderung > 20 % bis Verdopplung)

o = im Bereich der Nullvarianten/ der Hintergrundwerte Ausgangsboden (Veränderung max. 20 %)

Tabelle 10: Grad der Veränderung der Bodeneigenschaften (sehr hohe Gabe in 3 Teilgaben)

	280 t TM BG/ha	560 t TM BG/ha	840 t TM BG/ha	nach 5 Jah- ren	nach 7 Jah- ren
Wassergehalt	+	+	+	+	+
pH-Wert *	++	++	+++	+++	+++
Kalk	+++	+++	+++	+++	+++
Salzkonzentration	+++	+++	+++	+++	++
Sulfat-Schwefel	+++	+++	+++	+++	+++
Natrium	++	++	+++	++	++
Chlorid	+	++	+++	o	o
TOC	+	++	++	++	++
N _{min}	o(+)*	+(++)	++	++(+++)	++(+++)
Phosphor	o(+)	o	+	+	+
Magnesium	+	++	++	++	++
Kalium	o(+)	+	+(++)	+	+
Ton	+	+	++	++	++
T-Wert	+	+	++	++	++

N_{min}

o(+)* : Einstufung + würde auf Analytikschwankung beruhen

+++ = extrem Erhöhung (> 5 fache)

++ = starke Erhöhung (> Verdopplung bis 5-fache)

+ = Erhöhung (Veränderung > 20 % bis Verdopplung)

o = im Bereich der Nullvarianten/ der Hintergrundwerte Ausgangsboden (Veränderung max. 20 %)

pH-Wert *

+++ = extrem erhöht (> 1,0 pH-Stufe)

++ = stark erhöht (> 0,5 bis 1 pH-Stufe)

+ = erhöht (Veränderung > 0,2 bis 0,5 pH-Stufen)

o = im Bereich der Nullvarianten/ der Hintergrundwerte
Ausgangsboden (Veränderung max. 0,2 pH-Stufen)

Abschließend ist festzustellen, dass der Einsatz von organik-, feinanteil- und nährstoffreichem Baggergut im Landbau eine empfehlenswerte Verwertungsoption ist, die bei ordnungsgemäßer Durchführung (Beachtung rechtlicher Vorgaben und Anwendung guter fachliche Praxis) eine nachhaltige bodenverbessernde Wirkung erzielt, den Ertrag stabilisiert bzw. zum Teil erhöht sowie eine hohe Qualität des Erntegutes sichert.

Aus Sicht einer potenziellen Umweltbeeinträchtigung besteht nur hinsichtlich des Austrags der untersuchten Salzionen und der Makronährstoffe Magnesium und Kalium ein Gefährdungspotenzial für den Stoffpfad Boden – Grundwasser. Hier ist durch eine Einzelfallprüfung der Einsatz des Baggergutes und die maximale Höhe der Aufwandmenge abzuklären.

LITERATUR

ARBEITSENTWURF MANTELVERORDNUNG (2011) - Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen und das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und für die Verwendung von Boden und bodenähnlichem Material

BBODSCHV – BUNDESBODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert

Gisi, U. (1997): Bodenökologie, 2. neu bearb. und erw. Auflage -. Stuttgart Thieme

HELCOM (2000) – Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets

HENNEBERG M. (2000 – 2010): Lysimeterberichte unveröff.

HENNEBERG M., JANZEN K. (1997): Einrichtung und Weiterführung des Pilotprojektes Rastow zur Prüfung von Schlick als Bodenverbesserungsmittel (1993-1997). Im Auftrag des Umweltministeriums M-V und der Hansestadt Rostock Tief- und Hafenbauamt. unveröffentl. Abschlussbericht.

HENNEBERG M., JANZEN K. (1999): Einrichtung und Betreuung des Praxisexperimentes Rederank zur Verwertung von gereiftem Baggergut als Bodenverbesserungsmittel im ökologischen Landbau. Im Auftrag der Hansestadt Rostock Tief- und Hafenbauamt. unveröffentl. Abschlussbericht.

RICHTER, G.; BORG, H.; MEIBNER, R.: Fachbeiträge „Feld- und Lysimeterversuche zur Retardation von Sulfat in Böden“

SCHACHTSCHABEL, P. ET AL (1989): Lehrbuch der Bodenkunde, 12. neu bearb. Auflage – Stuttgart Fischer Verlag

ANLAGEN

CD Bericht 2004/05 inkl. Grafiken
Bericht 2009/10 inkl. Grafiken,
Einführung zur Geschichte und Versuchsaufbau der Lysimeteranlage,
Poster als pdf
Zusammenfassung 10 Jahre Lysimeterversuche