Freistaat Thüringen
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Endbericht

KUP am Fließgewässer – Streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen

Projekt-Nr.: 99.22

FKZ: 22004711

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

www.thueringen.de/th9/tll

Langtitel:	KUP am Fließgewässer – Streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen
Kurztitel:	KUP Fließgewässer
Projektleiter:	Dr. Armin Vetter
Abteilung:	Pflanzenproduktion und Agrarökologie
Abteilungsleiter:	stellv. Reinhard Götz
Laufzeit:	11/2012 – 05/2015
Auftraggeber:	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Bearbeiter:	Dr. Cornelia Fürstenau Dirk Harzendorf

Mai 2015 (Veröffentlichung April 2016)

A. Vetter

Dr. Armin Vetter
(Stellv. Präsident und Projektleiter)

Copyright:
Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis iii

Tabellenverzeichnis vi

Abkürzungsverzeichnis vii

Kurzbeschreibung 1

1 Einleitung 2

1.1 Hintergrund 2

1.1.1 Kurzumtriebsplantagen – Chance für die Landwirtschaft und die Umwelt 2

1.1.2 Gewässerrandstreifen – Funktionen und Gestaltungsmöglichkeiten 3

1.2 Zielsetzung des Projektes 4

2 Ziele des Projektes 5

2.1 Aufgabenstellung 5

2.2 Stand der Wissenschaft und Technik 5

2.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 6

3 Material und Methoden 7

3.1 Versuchsstandort und Versuchsdesign 7

3.1.1 Versuchsstandort 7

3.1.2 Fließgewässer Bennebach 8

3.1.3 Design der Versuchsfläche und Gewässermonitorings 9

3.2 Methoden 11

3.2.1 Rahmenbedingungen der Fläche 11

3.2.2 Gewässermonitoring 15

3.2.3 Boden Monitoring 17

3.2.4 Beregnungsversuch 18

3.2.5 Vegetationsmonitoring 20

3.2.6 Rechtsrahmen 21

3.2.7 Statistische Analyse 22

4 Ergebnisse 23

4.1 Rahmenbedingungen der Versuchsfläche 23

4.1.1 Niederschlag auf der Versuchsfläche 23

4.1.2 Bodenprofile ... 24
4.1.3 Modellierung der Erosionsgefährdung ... 26
4.2 Vor-Ort-Parameter und Nährstoffgehalte im Gewässer ... 31
4.2.1 Vor-Ort-Parameter ... 32
4.2.2 Wässrige Phase ... 35
4.2.3 Rezente Sedimente und Schwebstoffe ... 36
4.3 Bodenmonitoring ... 39
4.3.1 Physikalische Bodenparameter ... 39
4.3.2 Chemische Bodenparameter ... 42
4.4 Großberegnungsversuch ... 47
4.5 Jahreszeitlicher Verlauf des Deckungsgrads und der Höhe der Vegetation ... 48
4.6 Biomasseproduktion der Versuchsglieder ... 50
4.7 Artenzusammensetzung in der krautigen Schicht ... 52
4.8 Rechtliche Rahmenbedingungen ... 53
4.8.1 Rahmenbedingungen bei der Anlage und Bewirtschaftung einer KUP ... 53
4.8.2 Anbauempfehlungen ... 59
4.8.3 Handlungsbedarf aus Sicht verschiedener Interessengruppen ... 61
4.9 Gesamtbewertung des Anbausystems KUP-Pufferstreifen ... 65
5 Zusammenfassung und Diskussion ... 70
6 Verwertung und Erfolgsaussichten ... 75
7 Erkenntnisse Dritter ... 76
8 Ausblick ... 76
Danksagung ... 77
Literatur ... 78
Anhang A - Tabellen ... 82
Anhang B - Abbildungen ... 84
Anhang C – Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes ... 88

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schlag Bienenhaus mit Hangneigung. 7

Abb. 2: Streifen zwischen dem Schlag Bienenhaus und dem Bennebach vor der Anlage der Versuchsfläche. 7

Abb. 3: Niederschlags- und Temperaturmittelwerte (1961 – 1990) der Wetterstation Großenehrich. 8

Abb. 4: Versuchsanlage „KUP am Fließgewässer“ bei Wolferschwenda. 9

Abb. 5: Versuchsfläche im Frühjahr 2013. 10

Abb. 6: Design des Gewässermonitorings mit vier Messstellen (W1 bis W4) und Drainagen (D). 10

Abb. 7: Edelstahlwehr im Bennebach. 15

Abb. 8: Wehr und Rohr mit Pegel im Bennebach. 15

Abb. 9:Schwebstofffallen. 16

Abb. 10: Plots zur Erfassung der Bodenober-flächeneigenschaften. Bei dichtem Bewuchs entfällt der Plot in der Mitte und die Daten-aufnahme erfolgt am Rand (blaues Viereck). 17

Abb. 11: Lage der Erosionsrinnen und Kennzeichnung der Teilfläche mit den für die Versuchsfläche relevanten Erosionsrinnen (grau hinterlegter Bereich). 19

Abb. 12: Potenzielle Stoffeinträge in die Parzellen. 19

Abb. 13: Aufbau der Beregnungsparzellen (nicht maßstabsgetreu). 20

Abb. 14: Monatsniederschläge 2011 bis 2014 in Wolferschwenda und mittlerer Niederschlag (1961 - 1990) an der Wetterstation Großenehrich. 23

Abb. 15: Profil 1. 24

Abb. 16: Profil 2. 24

Abb. 17: Profil 3. 25

Abb. 18: Profil 4. 26

Abb. 19: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 0: konventionell wendende Bodenbearbeitung. 27

Abb. 20: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen) auf Grundlage der aktuellen Nutzung. 27

Abb. 21: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 4: Mulchsaat. 28

Abb. 22: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 6: zwei Schlagteilungen. 29

Abb. 23: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 15: Zwischenfrüchte + Mulchsaat + zwei Schlagteilungen. 29

Abb. 24: Potenzielle Erosionsrinnen bei aktueller Bewirtschaftung (ohne Schlagteilung). 30

Abb. 25: Potenzielle Erosionsrinnen unterteilt in Bodenakkumulationsklassen (D8-Algorithmus) bei zwei Schlagteilungen. 31

Abb. 26: Durchfluss des Bennebachs vom 01.11.2012 bis 31.10.2013 in Stunden-Intervallen. 32

Abb. 27: Durchfluss des Bennebachs (blaue Linie) vom 01.11.2013 bis 31.10.2014 in Stunden-Intervallen. Die rote Linie markiert den Messbereich des Edelstahlwehrs. 32

Abb. 28: Wassertemperatur im hydrologischen Jahr 2013 und 2014 nach der Versuchsfläche (W4). 33

Abb. 29: pH-Wert des Bennebachs im hydrologischen Jahr 2013 an vier Standorten. 33

Abb. 30: pH-Wert des Bennebachs im hydrologischen Jahr 2014 an vier Standorten. 34

Abb. 31: Sauerstoffsättigung im Bennebach im hydrologischen Jahr 2014 an vier Standorten. 34

Abb. 32: Mittlerer NH_4-N-Gehalt im Bennebach (W1 - W4) und Dränwasser (W5 - W9) im HJ 2014. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. N = 12, wenn nicht gesondert angegeben. 35

Abb. 33: Mittlerer o-PO_4-Gehalt im Bennebach (W1 - W4) und Dränwasser (W5 - W9) im HJ 2014. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. N = 12, wenn nicht gesondert angegeben. 36

Abb. 34: Korngrößenverteilung in den rezenten Sedimenten des Bennebachs (W1 – W4) und des Bodens der Parzelle AL1 (Tiefenstufe 4 - 10 cm). 36

Abb. 35: Korngrößenverteilung in Block 1, Parzelle AL1 in vier Tiefenstufen. 39

Abb. 36: Korngrößenverteilung in Block 4. Probenahme erfolgte in Parzelle KUP4 (Tiefenstufen 4 – 10 und 12 – 18 cm) und in Parzelle GL4 (Tiefenstufen 30 – 36 und 40 – 46 cm). 39

Abb. 37: Wasserleitfähigkeit (logarithmische Skalierung) in Block 1 und 4 in vier Tiefenstufen. 41

Abb. 38: Luftkapazität in Block 1 und 4 in vier Tiefenstufen. 41

Abb. 39a/b: Erstaufnahme N_{min}-Gehalt in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm) in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag. 42

Abb. 40a/b: N_{min}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst). 43

Abb. 41a/b: Erstaufnahme N_{ges}-Gehalt in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm) in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag. 43

Abb. 42a/b: N_{ges}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst). 44

Abb. 43a/b: Erstaufnahme P_{cal}-Gehalt in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm). 44

Abb. 44a/b: P_{CAL}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst). 45

Abb. 45a/b: Erstaufnahme Pges-Gehalt in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm). 45

Abb. 46a/b: P_{ges}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst). 46

Abb. 47a/b: Erstaufnahme C_{org}-Gehalt im Boden in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm). ... 46

Abb. 48a/b: C_{org}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst). ... 47

Abb. 49: Beregnungsversuch. ... 48

Abb. 50: Mittlerer Deckungsgrad der krautigen Schicht der Versuchsvarianten AL, GL und KUP (N=12). ... 48

Abb. 51: Mittlerer Deckungsgrad der Streu in den Versuchsvarianten Ackerland (AL), Grünland (GL) und KUP (N=12). ... 49

Abb. 52: Mittlerer Höhe der krautigen Schicht in den Versuchsvarianten Ackerland (AL), Grünland (GL) und KUP. ... 50

Abb. 53: Mittlerer Brusthöhendurchmesser 2012 – 2014. Die Fehlerbalken zeigen die Standard-abweichung. ... 52

Abb. 54: Höhenzuwachs in den Jahren 2012 – 2014. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung. ... 52

Abb. 55: Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten, einschließlich Angabe der zulässigen Arten für im Umweltinteresse genutzte Flächen, und deren maximale Erntezyklen (Fundstelle: BGBl. I 2014, 1697) ... 59

Abb. B 1: Jahresgang Wassertemperatur im hydrologisches Jahr 2013 an den Messstellen W1 – W4. ... 84

Abb. B 2: Jahresgang Wassertemperatur im hydrologisches Jahr 2014 an den Messstellen W1 – W4. ... 84

Abb. B 3: Pcal-Gehalt der Sandfraktion in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 85

Abb. B 5: P_{ges}-Gehalt in g/kg der Sandfraktion in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 85

Abb. B 6: P_{ges}-Gehalt in g/kg der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 85

Abb. B 7: N-Gehalt der Sandfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 86

Abb. B 8: N-Gehalt der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 86

Abb. B 9: C_{org}-Gehalt der Sandfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 86

Abb. B 10: C_{org}-Gehalt der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche. ... 87

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Jahresmittelwerte in mg/l an der Messstelle der TLUG am Mühlbach bei Großenehrich (MAGIN 2013). 9

Tab. 2: Lage, Relief und geschätzter Bodenabtrag der Bodenprofile 1 bis 4. 11

Tab. 3: Datengrundlage der Erosionsgefährdungsanalyse. 13

Tab. 4: Anbau- und Bodenbearbeitungsdaten sowie kulturspezifische C-Faktoren (TLL, unpubliziert). 14

Tab. 5: Einstufung der Erosionsgefährdung (E) durch Wasser nach DIN 19708. 14

Tab. 6: Wässrige Phase - untersuchte Parameter und verwendete Prüfverfahren. 16

Tab. 7: Sedimente - untersuchte Parameter und verwendete Prüfverfahren. 17

Tab. 8: Angewandte Prüfverfahren bei der Bodenuntersuchung. 18

Tab. 9: Pflanzenproben – Parameter und angewandte. 20

Tab. 10: Erfassung des Deckungsgrads der Pflanzenarten nach Braun-Blanquet. 21

Tab. 11: Bodenabtragswerte der verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien für das Feldstück Bienenhaus. Für die grau hinterlegten Werte zeigen Abb. 19 bis Abb. 23 die kleinräumigen Unterschiede im Bodenabtrag. 26

Tab. 12: Potenzielle Akkumulationswerte für die einzelnen Versuchsparzellen unter den drei Schlagteilungsszenarien (ST = Schlagteilung) 31

Tab. 13: Deskriptive Statistik der P_{cal}-Gehalte (mg/100g) der Schwebstoffe. 37

Tab. 14: Deskriptive Statistik der P_{ges}-Gehalte (g/kg) der Schwebstoffe. 37

Tab. 15: Deskriptive Statistik der N_{ges}-Gehalte (%) der Schwebstoffe. 38

Tab. 16: Deskriptive Statistik der C_{org}-Gehalte (%) der Schwebstoffe. 38

Tab. 17: Mittelwert der Gesamtporenvolumina (Vol. %) je Parzelle und Tiefenstufe in Block 1 und 4. 40

Tab. 18: Mittelwert der Trockenrohdichte (g/cm³) je Parzelle und Tiefenstufe in Block 1 und 4. 40

Tab. 19: Übersicht der zulässigen Baumarten. 55

Tab. 20: Ergebnisse aus der Diskussion während des Fachgesprächs „KUP an Fließgewässern“ 62

Tab. 21: Motivation, Chancen und Risiken von drei Bewirtschaftungsoptionen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche im Bereich von 0 bis 20 m vom Gewässer (erweitert nach BÄRWOLFF ET AL. 2013). 66

Tab. A 1: Angaben zur Bewirtschaftung der AL-Parzellen 82

Tab. A 2: Nährstoffgehalte in der wässrigen Phase im hydrologischen Jahr 2013. Bennebach (W1 – W4), Drainagen (W6 – W9). 83

Abkürzungsverzeichnis

A-, Aep-, Axp-Horizont	Pflughorizont, mergeligen Pflughorizont, steiniger Pflughorizont
AL	Ackerland
B-Horizont	Mineralbodenhorizont
C_{ges}, C_{org}	Kohlenstoff, organischer Kohlenstoff
$d_{0,10}$	Durchmesser in 10 cm Höhe über dem Boden
$d_{1,3}$	Durchmesser in 1,30 m über dem Boden
dt	Dezitonne
GL	Grünland
h	Höhe
HJ	hydrologisches Jahr
KUP	Kurzumtriebsplantage
M	Mittelwert
M-, eM-Horizont	Mineralbodenhorizont, mergelige Mineralbodenhorizont
N	Steckprobenanzahl
N, NO_3, NH_4, NH_4-N, N_{ges}	Stickstoff, Nitrat, Ammonium, Ammonium-Nitrat, Gesamtstickstoff
P, P_{ges}, o-PO_4	Phosphor, Gesamtphosphor, orthosphosphat-Phosphor
SD	Standardabweichung
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
TM	Trockenmasse

Kurzbeschreibung

Bodenerosion und Oberflächenabfluss sind Ursachen für eine zum Teil erhebliche Belastung der Oberflächengewässer durch Stoffeinträge, vor allem durch Phosphor und Feinmaterial. Zum Schutz der Gewässer gilt es, weitere innovative Schutzmaßnahmen im Uferbereich landwirtschaftlich genutzter Flächen zu entwickeln. Für eine hohe Akzeptanz dieser Maßnahmen durch Landwirte ist eine Verknüpfung der Nutz- und Schutzfunktion besonders wichtig. Kurzumtriebsplantagen (KUP) als Pufferstreifen entlang von Gewässern bieten diese Chance. Zusätzlich tragen sie zur Diversifizierung des Einkommens, zur Erhöhung der Biodiversität, zum Klimaschutz sowie zur Bereicherung des Landschaftsbildes bei.

Das Projekt „KUP am Fließgewässer“ analysierte und bewertete die Rahmenbedingungen, die Realisierung und die Erfolgsaussichten des Anbausystems KUP-Pufferstreifen. Die Retentionswirkung von KUP im Vergleich zu Ackerland und Grünland wurde auf einer Versuchsfläche im Kyffhäuserkreis (Thüringen) untersucht.

Modellierungsergebnisse und Bodenuntersuchungen auf der Versuchsfläche belegen die dringende Notwendigkeit eines effizienten Pufferstreifens zwischen Acker und Gewässer. Erosionsschutzmaßnahmen auf der Ackerfläche ermöglichen nur eine Reduktion des aktuellen potentiellen Bodenabtrags (6 t/ha/a) um 75 %.

Schon in der Etablierungsphase der KUP lassen sich erste Anzeichen einer Retentionswirkung erkennen. So stieg in 10 m Entfernung zum angrenzenden erosionsgefährdeten Acker der mittlere Gesamtphosphorgehalt im Oberboden (0 bis 5 cm) unter KUP von 2012 bis 2014 um 28 % von 0,90 auf 1,15 g/kg. Im Vergleich dazu blieb der Phosphorgehalt unter landwirtschaftlicher Nutzung annähernd gleich. Unter Grünland betrug die Zunahme des Phosphorgehalts 14 %.

Derzeit wird der Anbau von KUP-Pufferstreifen und deren Beitrag zum Gewässerschutz intensiv diskutiert. Fehlende Praxiserfahrung seitens der Landwirte, mangelnde Förderung und Einschränkungen für den Anbau von KUP im 5 bis 10 m breiten Gewässerrandstreifen aufgrund des §38 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts führen aber vorläufig zu einer zögerlichen Umsetzung.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

1.1.1 Kurzumtriebsplantagen – Chance für die Landwirtschaft und die Umwelt

Der Begriff Kurzumtriebsplantage (KUP) beschreibt den Anbau schnellwachsender, stockausschlagfähiger Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Niederwaldbetrieb. Dies bedeutet, dass die Bäume nach einer Umtriebszeit (Zeitspanne von der Pflanzung bis zur Ernte bzw. zwischen zwei Ernten) von 4 bis 8 Jahren, aber maximal nach 20 Jahren geerntet werden. Nach der Ernte treiben die Bäume aufgrund des hohen Stockausschlagvermögens wieder aus. Daher können KUP mehrfach geerntet werden. Die am häufigsten angebauten Baumarten sind Pappel (*Popolus spec.*) und Weide (*Salix spec*.), wobei meist eigens für den Energieholzanbau gezüchtete Hybriden Verwendung finden. Weitere mögliche Baumarten sind Robine (*Robinia pseudoacacia* L.), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior* L.), Erle (*Alnus spec*.), Birke (*Betula spec*.) und drei Eichenarten (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (MATTUSCHKA) LIEBL. und *Quercus rubra* L.).

Bei der Anlage von KUP steht primär die nachhaltige Produktion des nachwachsenden Rohstoffs Holz für die energetische Verwertung im Vordergrund. Durch die Substitution fossiler Brennstoffe und der damit einhergehenden Reduktion klimaschädlicher Kohlenstoffemissionen leisten KUP einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Der Freistaat Thüringen hat, ausgehend vom Beschluss der Bundesregierung zur Energiewende, weitreichende Zielsetzungen zur Umsetzung einer nachhaltigen Energiestrategie gesetzt. Im Bereich der Wärmeproduktion ist eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien von 25 % (2011) auf 33 % geplant. Als ein Baustein zur Erreichung dieses Ziels strebt Thüringen eine mittelfristige Etablierung von KUP auf 5.000 ha Landesfläche an (TMLFUN 2014). Des Weiteren kann die Integration von KUP in die Produktion landwirtschaftlicher Betriebe zu einer Diversifizierung des Einkommens beitragen bzw. zu einer autarken Wärmeversorgung führen. In jüngster Zeit treten immer mehr weitere ökologische und gesellschaftliche Leistungen von Energieholz in den Fokus. KUP tragen unter anderem zur Bereicherung des Landschaftsbildes und zur Verbesserung der Erholungswirkung bei. Zusätzlich erhöht die Etablierung von Energieholz die Biodiversität durch das Einbringen gehölzartiger Strukturen in landwirtschaftlich geprägte Bereiche, die Erweiterung des Nahrungsspektrums für Insekten, Vögel und Wirbeltiere als auch die Vernetzung von Lebensräumen. Streifenförmige oder flächige KUP an Gewässern besitzen außerdem das Potential als natürliche Puffer zu wirken und den erosionsbedingten Eintrag von Sedimenten, Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in dieselben zu verringern. Somit tragen KUP zur Umsetzung der Ziele der EU Wasserrahmenrichtlinie bei. In der Zukunft gilt es, diese Synergieeffekte zwischen der Produktions- und Schutzfunktion des Energieholzanbaus im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft zu forcieren.

1.1.2 Gewässerrandstreifen – Funktionen und Gestaltungsmöglichkeiten

Die im Jahr 2000 verabschiedete Wasserrahmenrichtlinie der EU verpflichtet die Mitgliedstaaten bis 2015 einen „guten Zustand“ ihrer Gewässer herbeizuführen. Im Jahr 2012 erreichen nur 10 % der Oberflächengewässer in Deutschland den „sehr guten“ oder den „guten ökologischen Zustand“ (BMU 2013). Die Ursachen dafür sind neben der tiefgreifenden Veränderung der Hydromorphologie die zu hohen Nährstoffgehalte (v. a. Stickstoff und Phosphor) der Gewässer. Ein Teil der Nährstoffeinträge stammen von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um den Eintrag von Nitrat sowie Phosphor und Feinmaterial, welcher ursächlich der Bodenerosion auf landwirtschaftlichen Flächen zuzuordnen ist (TMUEN 2015). Eine intensive Bodenbearbeitung, die Vergrößerung der Schläge und der Anbau erosionsanfälliger Kulturen wie Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben erhöhen die Gefährdung. Daher ist der Erosionsschutz sowohl unter dem Gesichtspunkt der langfristigen Erhaltung der Ressource Boden als auch im Hinblick auf die Vermeidung von off-site-Schäden ein zentrales Anliegen des vorsorgenden Bodenschutzes. Erosionsbedingte Bodenverluste und damit einhergehende Stoffeinträge in Oberflächengewässer können einerseits durch eine Anpassung der Bewirtschaftung (u. a. eine konservierenden Bewirtschaftung, der Verzicht auf den Anbau erosionsgefährdeter Kulturen, Zwischenfruchtanbau, Mulchsaat oder eine hanglinienparallele Bearbeitung) und andererseits durch Maßnahmen der Flurgestaltung erheblich minimiert werden. Aber nicht auf allen Flächen ist die Durchführung derartiger Maßnahmen immer möglich und auch dann lässt sich eine Restgefährdung für hangabwärts angrenzende Fließgewässer nicht vollständig ausschließen (SCHINDEWOLF UND SCHMIDT 2012). Pufferstreifen bieten die Möglichkeit, als letzte Barriere an der Grenze zwischen Acker und Gewässer bzw. Infrastruktur off-site Schäden zu verringern bzw. gänzlich zu vermeiden.

Mit der Intensivierung der Landwirtschaft und Begradigung der Fließgewässer verschwanden größtenteils die natürlichen Uferrandstreifen und damit die natürlichen Puffersysteme, die eine wirksame Barriere zwischen Acker und Gewässer darstellten. Zum Teil wurden Grünlandstreifen entlang der Gewässer angelegt. Zahlreiche Studien belegen die Retentionswirkung solcher Flächen (u. a. DORIOZ ET AL. 2006, BMLUW 2009). Die ganzjährige Bodenbedeckung führt zur Reduktion der Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses und somit zur Ablagerung von mehr als 50 % der Sedimentfracht schon in den ersten fünf Metern (DILLAHA ET AL. 1989, MAGETTE ET AL. 1989). Für eine effiziente Infiltration gelöster Stoffe ist aber eine Streifenbreite von 10 – 30 m notwendig (BMLUW 2009, SCHMITT et al. 1999).

Beim Anbau von Energieholz entlang von Gewässern im lockeren Verband, der die Etablierung und den dauerhaften Bestand einer Krautschicht ermöglicht, ist eine ähnliche bzw. effizientere Retentionswirkung zu erwarten. Die langjährige Bodenruhe, tiefe Durchwurzelung des Bodens und der Eintrag von organischem Kohlenstoff durch den jährlichen Streufall und abgestorbene Wurzelmasse können eine Bereicherung der Bodenlebewesen und die Verbesserung bodenchemischer und bodenphysikalischer Eigenschaften bedingen. Außerdem zeigen Studien, dass schnellwachsende Weiden erheblich zur Reduktion des Nährstoffaustrags ins Grundwasser beitragen (ARONSSON UND BERGSTRÖM 2001, DIMITRIOU UND ARONSSON 2011). Des Weiteren lassen streifenförmige KUP, insbesondere im Vergleich zur herkömmlichen landwirtschaftlichen Nutzung, eine deutliche

Verbesserung der ökologischen Funktion des Gewässerrandstreifens als Lebensraum für wildlebende Pflanzen- und Tierarten erwarten und sind für die linienförmige Vernetzung zwischen größeren naturschutzrelevanten Arealen von Bedeutung.

1.2 Zielsetzung des Projektes

Ziel des Projektes „KUP am Fließgewässer - streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen“ war es, die Retention von KUP-Pufferstreifen in der Etablierungsphase zu analysieren und die Vorteile im Vergleich zu Grünland- und Ackerwirtschaft im Gewässerrandstreifen für den Gewässerschutz aufzuzeigen. Weitere Fragestellungen umfassten die ökologische Bewertung von KUP-Pufferstreifen und die Darstellung der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen. Durch Vorträge vor Praktikern und in wissenschaftlichen Foren, Veröffentlichungen sowie Gesprächen mit Vertretern aus der Landwirtschaft, Politik, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Forschung und Wirtschaft sollte die neue Anbaustrategie vorgestellt und eine Umsetzung in die Praxis auf weiteren Flächen angestrebt werden.

In Vorbereitung auf das Projekt erfolgte die Anlage der Versuchsfläche als Pilot- und Demonstrationsanlage im Frühjahr 2011, finanziert durch das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) sowie durch den Flächeneigentümer RWF GmbH Wolferschwenda. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft koordinierte die Betreuung der Fläche und leitete die wissenschaftliche Begleitforschung und Öffentlichkeitsarbeit. Unterstützung bei der Flächenbewirtschaftung der Versuchsparzellen leistet die Versuchsstation Kirchengel, welche dem Landwirtschaftsamt Bad Frankenhausen unterstellt ist. Ansprechpartner in fachlichen Fragen im Bereich des Gewässermonitoring war die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie und die B.P.S. Engineering GmbH. Die Erosionsgefährdungsmodellierung führte die U.A.S. Umwelt- und Agrarstudien GmbH durch.

2 Ziele des Projektes

2.1 Aufgabenstellung

Die Anbaustrategie KUP-Pufferstreifen bietet auf landwirtschaftlichen Flächen an Oberflächengewässern die Möglichkeit, den Anbau von Energiepflanzen mit Zielen des Gewässer-, Boden- und Klimaschutzes zu verknüpfen. Energieholzstreifen entlang von Gewässern tragen zur Reduktion erosionsbedingter Stoffeinträge aus der Landwirtschaft bei und bieten damit eine Bewirtschaftungsoption landwirtschaftlicher Flächen, die das Erreichen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie unterstützt. Die oberirdische Biomasse – das Holz – stellt einen Baustein bei der Substitution fossiler Energieträger dar und führt zur Reduktion der klimaschädlichen CO_2-Emissionen. Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Nachfrage nach holzartigen Bioenergieträgern gewinnt die Produktion von Energieholz an Lukrativität und trägt zudem zu einer Produktdiversifizierung der Landwirtschaftsbetriebe bei. Zusätzlich leistet der Streifenanbau von Gehölzen einen wertvollen Beitrag zur Strukturierung und Diversifizierung der Landschaft und zur Erhöhung der Biodiversität.

Ziel des Projektes „KUP am Fließgewässer - streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen“ war es, die Retention von KUP-Pufferstreifen in der Etablierungsphase zu analysieren und die Vorteile für den Gewässerschutz im Vergleich zu Grünland- und Ackerwirtschaft aufzuzeigen. Dazu erfolgte die Anlage einer Versuchsfläche im Kyffhäuserkreis im Agrarbetrieb RWF GmbH Wolferschwenda. Die Anlage des Versuches mit drei Versuchsgliedern (Ackerland, Grünland, Kurzumtriebsplantage) erfolgte in vier Blöcken. Die wissenschaftliche Begleitforschung im aktuellen Projekt umfasste ein intensives Gewässer-, Boden-, Erosions- und Vegetationsmonitoring, um Leistungen der Bewirtschaftungs-optionen, wie die erosionsmindernde Wirkung, den Ertrag und den Beitrag zu Biodiversität zu vergleichen. Zusätzlich wurden zwei KUP-Parzellen mit anderen Arten angelegt. An diesen sollen ertragskundliche Vergleiche vorgenommen werden, jedoch keine Erfassung der Rückhaltekapazität stattfinden. Ein weiteres Ziel des Projektes war die Analyse der aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen und die Entwicklung von Anbauempfehlungen für die Anwendung in der praktischen Landwirtschaft. Durch Vorträge vor Praktikern und in wissenschaftlichen Foren, Veröffentlichungen sowie Gesprächen mit Vertretern aus der Landwirtschaft, Politik, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Forschung und Wirtschaft sollte die neue Anbaustrategie vorgestellt und eine Umsetzung in die Praxis auf weiteren Flächen angestrebt werden.

2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft beschäftigt sich bereits seit 2008 mit dem Energieholzanbau an Gewässer (TLL 2008). Darüber hinausgehende Untersuchungen und Forschungsarbeiten zur Anlage, Wirkung und dem Ertrag von Energieholz als Pufferstreifen bzw. Gewässerrandstreifen sind nicht bekannt. Untersuchungen zu unter ähnlicher Fragestellung, wie z. B. zur Retentionswirkung von Graspufferstreifen anhand von Feldstudien und Modellierungsansätzen

(DORIOZ ET AL. 2006, DUCHEMIN ET AL. 2009, HAY ET AL. 2006, LIN ET AL. 2004, POPOV ET AL. 2006, TOMER ET AL. 2003), zur Auswirkung Bäumen auf die Infiltrationskapazität des Bodens (CHRISTEN 2007, LIANG ET. AL. 2009) oder zur Reduktion des Nährstoffaustrags ins Grundwasser auf Rieselfeldern (ARONSSON UND BERGSTRÖM 2001, DIMITRIOU UND ARONSSON 2011) werden in der (vorwiegend englischsprachigen) Literatur vielfach beschrieben (siehe Kapitel 1.1 Hintergrund).

2.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In Vorbereitung auf das Projekt erfolgte die Anlage der Versuchsfläche als Pilot- und Demonstrationsanlage im Frühjahr 2011, finanziert durch das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) sowie durch den Flächeneigentümer RWF GmbH Wolferschwenda. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft koordinierte die Betreuung der Fläche und leitete die wissenschaftliche Begleitforschung und Öffentlichkeitsarbeit. Unterstützung bei der Flächenbewirtschaftung der Versuchsparzellen leistet die Versuchsstation Kirchengel, welche dem Landwirtschaftsamt Bad Frankenhausen unterstellt ist. Ansprechpartner in fachlichen Fragen im Bereich des Gewässermonitoring war die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie und die B.P.S. Engineering GmbH. Die Erosionsgefährdungsmodellierung führte die U.A.S. Umwelt- und Agrarstudien GmbH durch.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort und Versuchsdesign

3.1.1 Versuchsstandort

Die Versuchsfläche im Rahmen des Projektes „KUP am Fließgewässer“ liegt im Kyffhäuserkreis zwischen den Ortschaften Wolferschwenda und Wenigenehrich am nördlichen Rand des Flurstücks „Bienenhaus“ (Flur Wenigenehrich; Flur 6; Flurstück 132/1). Das Flurstück befindet sich im Eigentum der RWF GmbH Wolferschwenda. Das 34 ha große Flurstück „Bienenhaus“ grenzt mit leichter Nordhangneigung (4 – 10 %, Abb. 1) auf einer Länge von 400 m an den ständig wasserführenden Vorfluter - Bach aus Freienbessingen, genannt Bennebach. Die an das Gewässer grenzende Fläche ist nicht als Überschwemmungsgebiet (HQ100) deklariert. Zwischen dem Bennebach und dem Ackerschlag befand sich 2010 ein ca. 16 m breiter Randstreifen, der bis 2006 als Vorgewende und danach als Grünstreifen genutzt wurde (Abb. 2).

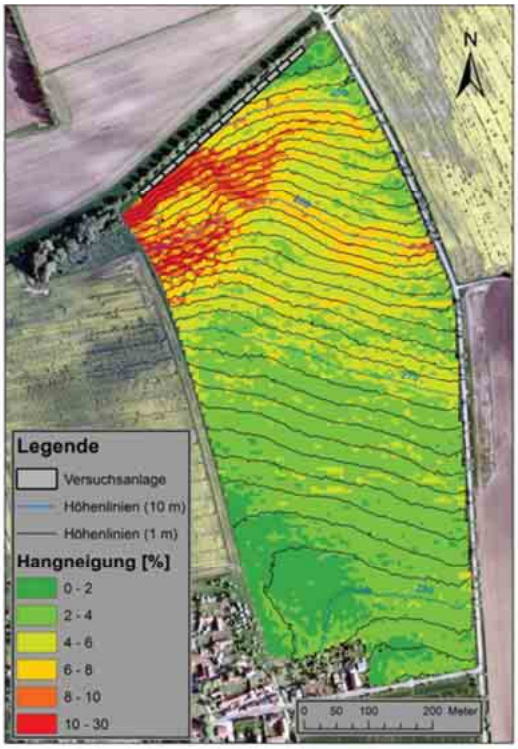

Abb. 1: Schlag Bienenhaus mit Hangneigung.

Abb. 2: Streifen zwischen dem Schlag Bienenhaus und dem Bennebach vor der Anlage der Versuchsfläche.

Die wichtigsten Kenndaten des Flurstücks Bienenhaus lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Höhenlage: 250 m ü. NN (nordwestlicher Rand) bis 285 m (südlicher Rand)

Geologischer Untergrund: Keuper

Bodentyp: Parabraunerde-Tschernosem

Bodenwertzahl: 74

Die mittlere langjährige Jahrestemperatur (1961 – 1990) und die Temperatur in der Vegetationsperiode in der Region betragen 8,2°C und 13,8°C (Wetterstation Großenehrich). In der Vegetationsperiode fallen im Mittel 306 mm Niederschlag und im Jahresverlauf 547 mm (Abb. 3).

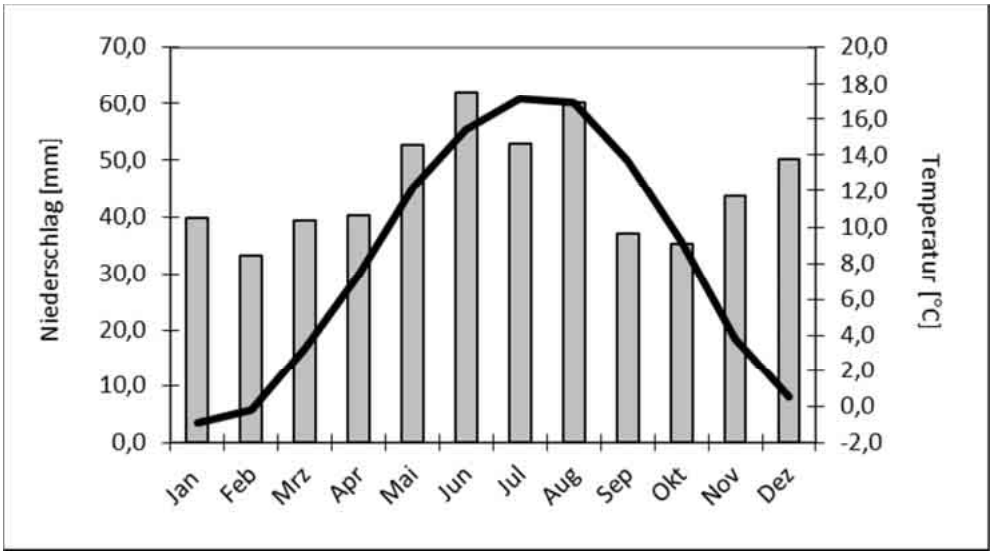

Abb. 3: Niederschlags- und Temperaturmittelwerte (1961 – 1990) der Wetterstation Großenehrich.

3.1.2 Fließgewässer Bennebach

Der Bennebach entspringt im nahegelegenen Freienbessingen. Die angrenzenden Ortschaften Freienbessingen und Wolferschwenda sind derzeit noch nicht an eine zentrale Abwasserbeseitigung angeschlossen, diese ist bis 2015 auch nicht vorgesehen (MAGIN 2013). Über eine eventuelle Einleitung von Abwässern sowie Drainagen in den Bennebach oberhalb der Versuchsfläche ist nichts bekannt.

Der Bennebach ist ein feinmaterialreicher, karbonatischer Mittelgebirgsbach des Keupers (Gewässertyp 6_K). Auffälligstes Merkmal dieses Gewässertyps sind ein schlängelnder bis mäandrierender Verlauf in Mulden- oder Sohlentälern, ein tief eingeschnittenes kastenförmiges Profil und ein von Ton, Schluff und Feinsanden dominiertes Sohlsubstrat (TLUG 2011). Die nächstgelegene Messstelle der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) befindet sich bei Großenehrich. Tab. 1 enthält die Jahresmittelwerte dieser Messstelle. Der angestrebte Grenzwert für Ammonium-Nitrat (NH_4-N) wird an dieser Messstelle überschritten.

Tab. 1: Jahresmittelwerte in mg/l an der Messstelle der TLUG am Mühlbach bei Großenehrich (MAGIN 2013).

Jahr	NO_3	NH_4-N	P_{ges}	oPO_4-P
2010	58,7	0,39	0,21	0,12
2011	59,4			
2012	43,4			

3.1.3 Design der Versuchsfläche und Gewässermonitorings

Die Anlage der Versuchsfläche erfolgte auf einem 350 m langen und 12 m breiten Streifen entlang des Bennebachs im Frühjahr 2011. In vier Blöcken wurden die drei zu untersuchenden Varianten: AL) Ackerland, GL) Grünland mit Luzernegras-Gemisch und KUP) KUP mit Hybridweiden der Sorte Tordis ((*S. schwerinii x S. viminalis*) x *S. vim.*) randomisiert wiederholt (12 Parzellen). Für dendrologische Untersuchungen wurde je eine weitere Parzelle (KUPZ1 und KUPZ2) mit Pappelhybriden der Sorte Max (*Populus nigra* x *Popolus maximowiczii*) und Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* (L.) GAERTN.) angelegt (Abb. 4).

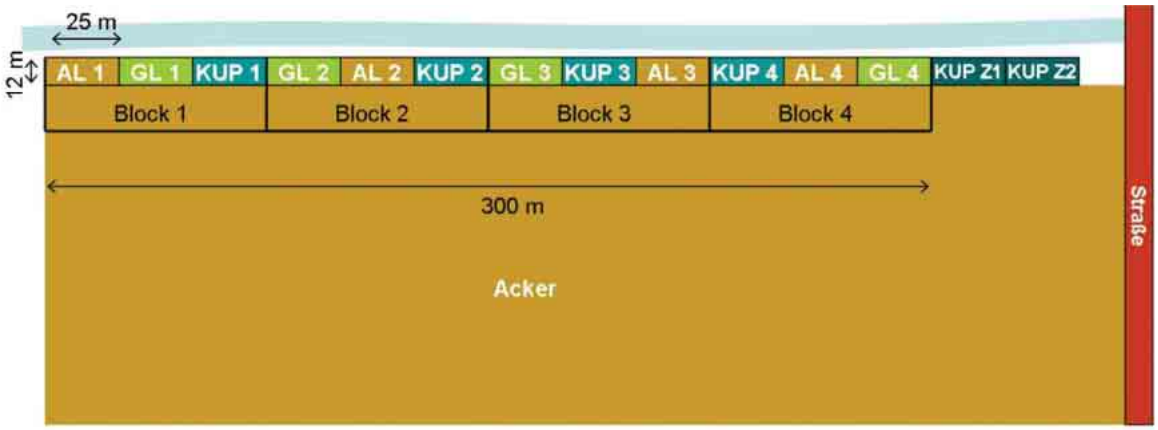

Abb. 4: Versuchsanlage „KUP am Fließgewässer“ bei Wolferschwenda.

Die Bewirtschaftung der Acker-Parzellen orientierte sich an der Fruchtfolge des Ackerschlags der Agrargenossenschaft RWF GmbH von 2011 bis 2014 – Winterraps (Brassica napus L.), Winterweizen (Triticum aestivum L.), Durum (Triticum durum Desf.). Saat- und Erntetermine als auch der Einsatz von Düngemitteln und Herbiziden ist im Anhang Tabelle. A. 1 dokumentiert. Auf den Grünland-Parzellen erfolgte im März 2011 die Aussaat eines Luzernegras-Gemischs mit einer Startdüngung von 40 kg N/ha. Auf den GL-Parzellen fand bis Mai 2012 keine Ernte statt, sondern nur ein regelmäßiges Mulchen. In den folgenden Jahren wurden die GL-Parzellen drei Mal im Jahr geerntet. Die Etablierung der KUP-Parzellen erfolgte im Frühjahr 2011 mit Weiden- und Pappelsteckruten. Um die Wuchs-konkurrenz zwischen Steckruten und krautigen Pflanzen zu verringern, wurden die KUP-Parzellen bis zu 3-mal jährlich gemulcht. Aufgrund der starken Frühsommertrockenheit im Etablierungsjahr und wegen Wildschäden kam es 2011 zu Ausfällen auf den KUP-Parzellen. Nachpflanzungen fanden im

Frühjahr 2012 und Herbst 2012 statt. Zum Schutz vor Rehwild und Hasen wurden die KUP-Parzellen im Frühjahr 2012 gezäunt. Abbildung 5 zeigt die Versuchsfläche im Frühjahr 2013.

Abb. 5: Versuchsfläche im Frühjahr 2013.

Die Probenahme im Rahmen des Gewässermonitorings erfolgte im Bennebach an vier Messstellen: W1) Kontrollvariante im Bachoberlauf, W2) nach einem bis ans Ufer grenzenden Ackerland, W3) am Ende eines naturnahen Bereichs mit alten Weiden bis an den Gewässerrand und W4) nach der Versuchsfläche (Abb. 6). Auf der linken Seite des Gewässers befand sich ein Grünstreifen. Die Drainagen W5 bis W9 (D), die unterhalb des Probepunktes W1 in den Bennebach münden, wurden ebenfalls untersucht.

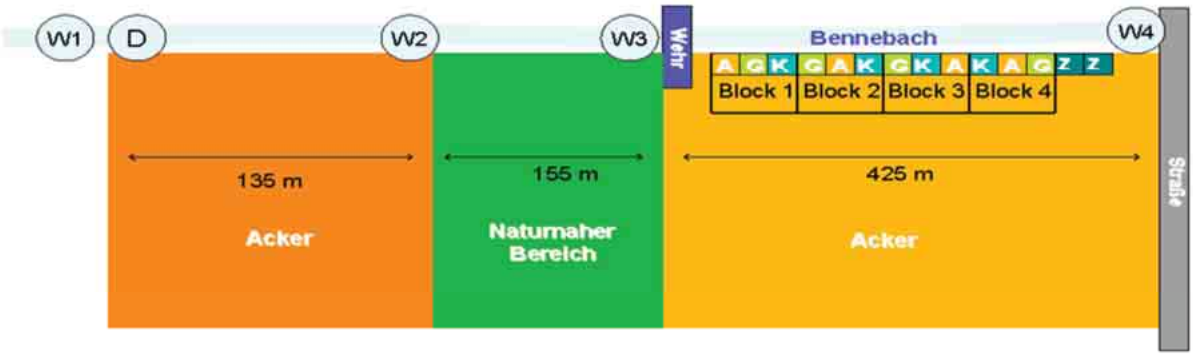

Abb. 6: Design des Gewässermonitorings mit vier Messstellen (W1 bis W4) und Drainagen (D).

3.2 Methoden

3.2.1 Rahmenbedingungen der Fläche

Niederschlagsmessungen

Langjährige Klimadaten für die Region liegen von den Wetterstationen Großenehrich und von Hr. Weinmann aus privaten Messungen in Wolferschwenda vor. Seit dem 30.03.2012 ermöglichte ein Regenmesser der Firma Toss die Erfassung der stündlichen Niederschlagsmengen (ohne Schnee) direkt auf der Versuchsfläche. Ab dem 14.01.2013 erfolgte die Messung der Niederschläge in 10-Minuten-Intervallen. Datenlücken wurden durch Messwerte der Wetterstation in Großenehrich ergänzt.

Für Starkniederschlagsereignisse gibt es keine allgemeine Definition, da Niederschlagsintensitäten, also die Regenmenge pro Zeiteinheit, je nach Klimazone stark variieren. Starkniederschläge können als selten auftretende Niederschläge mit zerstörerischer Wirkung charakterisiert werden, die zu einem schnellen Ansteigen der Wasserpegel und/oder zu Hochwasser führen und häufig mit Bodenerosion einhergehen. Die Klassifizierung der Niederschlagsereignisse in diesem Projekt basiert auf den Kriterien des Deutschen Wetterdienstes für Starkregen (DEUTSCHER WETTERDIENST 2013):

- Starkregen: >=10 mm/Std., >= 20 mm/6 Std.
- Heftiger Starkregen: > 25 mm/Std., > 35 mm/6 Std.

Bodenansprache

Zur Ermittlung der Bodeneigenschaften in Abhängigkeit von der Lage am Hang sowie des geologischen Grundgesteins erfolgte die Anlage von vier Bodenprofilen. Profil 1 bis 3 repräsentieren die Änderungen der Bodeneigenschaften im Hangverlauf. Profil 3 und 4 dienen der Ansprache standörtlicher Unterschiede auf der Versuchsfläche. Die allgemeinen Angaben zu den Profilen sind Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Lage, Relief und geschätzter Bodenabtrag der Bodenprofile 1 bis 4.

Profil	1	2	3	4
Höhe über NN	268 m	259 m	254 m	249 m
Lage im Relief	Oberhang	Mittelhang	Unterhang	Randlage
Reliefformtyp	Hang	Hang	Hang	ebener Tiefenbereich
Neigung	schwach	mittelstark	sehr schwach	nicht geneigt
Wölbung horizontal	sehr schwach	gestreckt	schwach konvex	gestreckt
Wölbung vertikal	konvex gestreckt	gestreckt	schwach konvex	gestreckt
Exposition	Nord	Nordost	Nord	-
Mikrorelief	eben	eben	eben	eben
Bodenabtrag/-auftrag	-2 dm	-2,5 dm	+5 dm	+8,5 dm

Die Geologische Karte weist für den Ackerschlag „Bienenhaus“ im östlichen Teil Löss und Lösslehm des Pleistozäns und im westlichen Teil graugrünen oder braunen feinkörnigen Sandstein des unteren Keupers aus.

Erosionsgefährdungsmodellierung

Die Erosionsgefährdungsanalyse führte die Firma U.A.S. Umwelt- und Agrarstudien GmbH im Rahmen eines Werkvertrages mit folgenden Zielsetzungen durch:

- Durchführung einer Erosionsgefährdungsmodellierung für das Versuchsfeld unter Einbeziehung verschiedener Nutzungsvarianten,
- Ermittlung der Feldstück relevanten Erosionsrinnen und Abschätzung der potenziellen Erosionspfade für Sedimente und Nährstoffe
- Simulation der Auswirkung verschiedener Schlagunterteilungen auf die Erosionsmuster und das Abflussgeschehen sowie
- Voruntersuchungen zur optimalen Position einer Beregnungsanlage

Bodenerosion durch Wasser ist kein kontinuierlicher Prozess sondern wird hauptsächlich durch einzelne extreme Niederschläge ausgelöst. Zur Abbildung des Erosionsgeschehens existieren verschiedene Modellansätze. Das bekannteste Modell ist die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG, SCHWERTMANN ET AL. 1990), die auf einen in den USA von WISCHMEIER UND SMITH (1978) entwickelten empirischen Ansatz (USLE = Universal Soil Loss Equation) basiert. Die ABAG beschreibt den zu erwartenden mittleren jährlichen Bodenabtrag *A* einer Fläche in t/ha als Produkt der Faktoren:

- R: Erosivitätsfaktor (auch: Regen- und Oberflächenabflussfaktor)
- K: Bodenerodierbarkeitsfaktor (beschreibt die auf die Bodenpartikel wirkenden Ablöse- sowie Transportkräfte)
- L: Hanglängenfaktor
- S: Hangneigungsfaktor
- C: Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor
- P: Erosionsschutzfaktor

Die ABAG lautet: A = R x K x L x S x C x P.

Die mit der ABAG berechneten Werte beschreiben jedoch nicht den realen Bodenabtrag, sondern sind als Risikoprognose bzw. Risikoabschätzung des langjährigen mittleren Bodenabtrags durch Regen zu verstehen. Aufgrund der einfachen Anwendbarkeit und der hinreichend genauen Prognose (KADEREIT 1995, AUERSWALD UND VON PERGER 1998, SCHÄUBLE 1999, PERNER UND WURLITZER 2005) hat sich die Verwendung der ABAG als Vorsorgeinstrument im Erosionsschutz bewährt (Deutsche Norm DIN 197089) und liegt dem in diesem Projekt verwendeten Simulationsmodell zu Grunde.

Die Erosionsgefährdungsanalysen wurden unter Verwendung der GIS-Programme ArcView/ArcGIS und der ArcView-Erweiterung AVErosion durchgeführt. AVErosion ist ein von SCHÄUBLE (2005) entwickeltes Programm zu Berechnung des potenziellen Bodenabtrags.

Neben der Erosionsmodellierung wurden Prognosen zur Sedimentfracht unter Verwendung des GIS-Tools ACCUM PLUS erstellt. Mit diesem Verfahren ist es möglich, den potenziellen Verlauf von hangabwärts gerichteten Erosionsrinnen und die Akkumulation von Bodenmaterial darzustellen (SCHÄUBLE ET AL. 2008). Als Grundlage wird ein digitales Geländemodell (DGM) genutzt, aus dem die Fließrichtung (Flow Direction) Pixel-genau abgeleitet werden kann. Der im Programm verwendete D8-Algorithmus nutzt die auf Pixel-Ebene berechneten potenziellen Bodenabtragswerte und gibt diese Werte dann an das am niedrigsten gelegene Nachbarpixel weiter. Dadurch ist es möglich, die Akkumulationsdynamik der hangabwärts gerichteten Erosionsrinnen zu modellieren und potenzielle Sedimentfrachten zu kalkulieren.

Mit dem in dieser Studie genutzten Modellansatz sind im Zusammenhang mit Starkniederschlagsereignissen oder Beregnungsexperimenten keine Aussagen zu den potenziell im angrenzenden Bach einmündenden Wassermengen möglich. Um dazu belastbare Aussagen generieren zu können, wäre eine Vielzahl weiterer und teilweise nur experimentell abzuleitender Daten (u.a. Evapotranspiration, Schneeakkumulation/ Schneeschmelze, Interzeption, Infiltration, Bodenspeicher) für die Bestimmung des Oberflächenabflusses, des Interflows und des Basisabflusses notwendig, um davon einen Gesamtabfluss abzuleiten (siehe dazu u.a. Abflussmodell WaSiM-ETH nach SCHULLA UND JASPER 2007).

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) und der RWF GmbH Wolferschwenda stellten die Datengrundlage für die Erosionsgefährdungsanalyse zur Verfügung (Tab. 3 und

Tab. 4). Vor der Verwendung wurden diese Daten in Rasterkarten von 5 m x 5 m gewandelt. Der betrachtete Zeitraum umfasst die Jahre 2010 bis 2014.

Tab. 3: Datengrundlage der Erosionsgefährdungsanalyse.

ABAG-Faktoren	Datengrundlage	Auslösung
Hanglänge (L) Hangneigung (S)	digitales Geländemodell (DGM 5)	5 x 5 m
Bodenerodierbarkeitsfaktor (K)	Rasterdaten der TLL	25 x 25 m
Erosivitätsfaktor (R)	Rasterdaten der TLL[1]	25 x 25 m
Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor (C)[2]	digitale Feldkarte der RWF GmbH Wolferschwenda und kulturspezifische Daten	
Erosionsschutzfaktor (P)	digitale Feldkarte der RWF GmbH Wolferschwenda	

[1)] als Grundlage dient die mittelmaßstäbige Kartierung und die bodengeologische Übersichtskarte
[2)] Faktoren siehe Tab. 4

Tab. 4: Anbau- und Bodenbearbeitungsdaten sowie kulturspezifische C-Faktoren (TLL, unpubliziert).

Erntejahr	Kultur	C-Faktor	Bewirtschaftungsart
2010	Mais	0,350	Pflug
2011	Winterweizen	0,093	pfluglos
2012	Winterraps	0,060	pfluglos
2013	Winterweizen	0,093	pfluglos
2014	Wintergerste	0,060	pfluglos

Im Projekt wurde die Einstufung der Erosionsgefährdung (E) durch Wasser nach der DIN 19708 als Grundlage für die Abschätzung der Erosionsgefährdung des Feldstückes verwendet (Tab. 5).

Tab. 5: Einstufung der Erosionsgefährdung (E) durch Wasser nach DIN 19708.

Stufen der Erosionsgefährdung (E)		Bodenabtrag (A) in t/ha/a
Kurzzeichen	Benennung	
E0	keine bis geringe Erosionsgefährdung	< 0,2
E1	sehr geringe Erosionsgefährdung	0,2 bis 1,0
E2	geringe Erosionsgefährdung	1,0 bis < 2,0
E3	mittlere Erosionsgefährdung	2,0 bis < 3,0
E4	hohe Erosionsgefährdung	3,0 bis < 6,0
E5	sehr hohe Erosionsgefährdung	>= 6,0

Um die erosionsmindernde Wirkung der verschiedenen ackerbaulichen Maßnahmen für das untersuchte Feldstück gegenüber stellen zu können, wurden neben aktueller Nutzung folgende 16 Modellszenarien untersucht:

- Szenario 0: konventionell wendende Bodenbearbeitung
- Szenario 1: konsequent pfluglose Bodenbearbeitung
- Szenario 2: Zwischenfrüchte
- Szenario 3: angepasste Fruchtfolge
- Szenario 4: Mulchsaat
- Szenario 5: 1 Schlagteilung
- Szenario 6: 2 Schlagteilungen
- Szenario 7: Zwischenfrüchte + Mulchsaat
- Szenario 8: Zwischenfrüchte + 1 Schlagteilung
- Szenario 9: Zwischenfrüchte + 2 Schlagteilungen
- Szenario 10: angepasste Fruchtfolge + 1 Schlagteilung
- Szenario 11: angepasste Fruchtfolge + 2 Schlagteilungen
- Szenario 12: Mulchsaat + 1 Schlagteilung
- Szenario 13: Mulchsaat + 2 Schlagteilungen

- Szenario 14: Zwischenfrüchte + Mulchsaat + 1 Schlagteilung
- Szenario 15: Zwischenfrüchte + Mulchsaat + 2 Schlagteilungen

Um die Auswirkungen von Schlagteilungen auf das Verteilungsmuster der relevanten hangabwärts gerichteten Erosionsrinnen und deren Bodenakkumulationspotenzial zu beurteilen, wurden drei Szenarien untersucht: (1) ohne Schlagteilung (aktuelle Schlagstruktur), (2) eine Schlagteilung (Teilung in der Mitte des Feldstückes) und (3) zwei Schlagteilungen (Aufteilung in jeweils drei gleiche Teile). Für diese drei Szenarien lag die aktuelle ackerbauliche Nutzung zu Grunde. Relevante Erosionsrinnen sind Rinnen, die potenziell mehr als 1 t Boden pro Jahr akkumulieren und die Schlag- bzw. Feldstückgrenze erreichen.

In einem 2. Schritt wurden die potenziellen Sedimentationsfrachten in den Bereichen der einzelnen Parzellen separat kalkuliert, um die möglichen Beeinflussungen der Versuchsanlage am nordwestlichen Rand durch Stoffeinträge detailliert zu beurteilen. Diese Berechnung erfolgte ebenfalls für die oben genannten drei Szenarien.

3.2.2 Gewässermonitoring

Durchflussmessungen

Zur Durchflussmessung wurde in ein schon vorhandenes, altes Wehr ein Rechteckwehr aus Edelstahl eingesetzt. Das Wehr aus V2A Edelstahl hatte folgende Maße: Höhe 1200 mm, Breite 940 mm, Stärke 8 mm, Wehrausschnitt 300 mm (B) x 500 mm (H) (Abb. 7). Ein am Wehr installierter Pegel maß den Wasserüberstand über der Wehrunterkante (Abb. 8).

Abb. 7: Edelstahlwehr im Bennebach.

Abb. 8: Wehr und Rohr mit Pegel im Bennebach.

Im Staubereich, ca. 1,2 m vom Wehr entfernt, wurde ein Bodennagel eingeschlagen, der sich 10 cm unter dem Niveau der Unterkante vom Wehrausschnitts befand. Dieser Bodennagel diente der Kalibrierung des Pegels und der Aufnahme der Überstands-Durchflussbeziehung. Das Edelstahlwehr ermöglichte eine genaue Durchflussmessung im Bereich von 15 – 828 m³/h, was den erwarteten Niedrig- und Hochwasserständen des Bennebachs entspricht. Bei Wasserüberständen > 50 cm diente der Ausschnitt des alten Wehres als Kalkulationsgrundlage. Diese Daten sind weniger präzise. Ein

Datenlogger zeichnete den Wasserstand in 10-Minuten-Intervallen auf. Das Wehr und der Pegel wurden alle zwei bis drei Wochen kontrolliert und die Daten ausgelesen. Die Durchflussmessung erfolgte vom 17.06.2012 bis 31.10.2014.

Vor-Ort-Parameter

Das Gewässermonitoring umfasste des Weiteren die wöchentliche Erfassung der Vor-Ort-Parameter Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffsättigung und Trübung an den Probestellen W1 bis W4 und den Drainagen W5 bis W9. Als Messgeräte standen das digitale pH-/Sauerstoff-Messgerät WTW Multi 3420 und das Leitfähigkeit-Messgerät Handy Lab LF 12 von Schott zur Verfügung.

Wässrige Phase

Mit einem Schöpfbecher wurde monatlich eine Wasserprobe an jedem Probepunkt entnommen und 1 Liter für weitere Analysen im hauseigenen Labor in Flaschen abgefüllt. Die untersuchten Parameter und verwendeten Prüfverfahren sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Tab. 6: Wässrige Phase - untersuchte Parameter und verwendete Prüfverfahren.

Parameter	Verfahren	unterer Grenzwert
NH_4	Ammoniumstickstoff mittels Fließanalytik und spekraler Detektion	0,01 mg/l
C_{org}	mit IR-Spektronomie	
o-PO_4	mit Fließanalytik (FIA)	

Rezente Sedimente und Schwebstoffe

Im Vorfeld des Gewässermonitorings wurden Sedimentproben von der Gewässersohle an allen Probepunkten (W1 – W4) für eine Korngrößenanalyse entnommen.

Um den partikulären Eintrag in das Gewässer zu ermitteln und zu analysieren, war eine kontinuierliche Erfassung von Schwebstoffen erforderlich. Eine besondere fachliche Herausforderung stellte hierbei das vergleichsweise kleine Fließgewässer im quellnahen Bereich dar. Praxisgängige Schwebstoffsammel-einrichtungen, wie Durchflusszentrifugen, Sedimentationsbecken oder Sedimentationsfangkästen sind für mittlere bis große Fließgewässer konzipiert. Eigens für kleine Fließgewässer entwickelte die Firma B.P.S. Engineering GmbH Schwebstofffallen. Die Fallen bestehen aus je vier, zu einem Paket verbundenen, PE-Weithals-Vierkantflaschen mit einem Fassungsvermögen von 0,5 l. Die Pakethöhe beträgt ca. 10 cm. An jedem Probepunkt befanden sich vier Pakete (Abb. 9). Monatlich oder nach starken Regenereignissen wurden alle Fallen geleert und

Abb. 9:Schwebstofffallen.

anschließend gesäubert und wieder eingesetzt. Je nach Füllstand der Fallen wurde der Inhalt von einem oder mehreren Fallenpaketen im Labor analysiert und die restlichen Proben verworfen. Der Vorteil dieser Monatsmischproben ist, dass immer genügend Substanzmenge für Untersuchungen vorhanden ist und diese den gesamten Probenzeitraum abbilden. Nachteile dieser Methode sind, dass feinste Partikel nicht erfasst werden und das während der Verweildauer in der Falle Abbau- und Umwandlungsprozesse von organischen Verbindungen nicht auszuschließen sind. Außerdem ist die Ermittlung von Stofffrachten nicht möglich. Für die Nährstoffanalyse der Schwebstoffe ist eine Fraktionierung notwendig, um Korngrößeneffekte auszuschließen und um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Derzeit existiert noch kein einheitlicher Standard für die Fraktionierung von Schwebstoffen. In der Europäischen Gemeinschaft wird die Analyse der Fraktion < 63 µm favorisiert. Im Elbeeinzugsgebiet erfolgte die Untersuchungen der Elementgehalte für die Fraktionen < 20 µm und die Analyse organischer Verbindungen für die Fraktion < 2 mm (CLAUS ET AL. 2010). In dieser Studie wurde zwischen den Fraktionen Sand (< 2 mm bis 63 µm) sowie Schluff und Ton (< 63 µm) unterschieden. Die untersuchten Parameter sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Sedimente - untersuchte Parameter und verwendete Prüfverfahren.

Parameter	Verfahren	unterer Grenzwert
NH_4	Ammoniumstickstoff mittels Fließanalytik und spektraler Detektion	0,01 mg/l
NO_3	mit Fließanalytik (FIA)	
N_{ges}	mit Chemoluminiszenzdetekton nach Pyrolyse	
C_{org}	mit IR-Spektromomie	
P_{cal}	mit Fließanalytik (FIA)	
P_{ges}	mit ICP-OES	0,03 mg/l

3.2.3 Boden Monitoring

Bodenoberflächeneigenschaften

Die monatliche Aufnahme der Bodenoberflächeneigenschaften umfasste folgende Parameter: a) Deckungsgrad der krautigen Pflanzen und Gräser (einschließlich Gräser), Moose, Streu und offenen Flächen in 5 % Schritten, b) mittlere und c) maximale Höhe der krautigen Schicht sowie d) Verschlämmung des Bodens. Die Datenerhebung erfolgte in jeder Parzelle auf je einem 1 x 1 m Plot am gewässer-seitigen und ackerseitigen Parzellenrand sowie in der Mitte der Parzelle. Bei dichtem Pflanzenbewuchs entfiel der Plot in der Mitte und die Datenaufnahme erfolgte am Rand (Abb. 10). Die Verschlämmung wurde fotographisch dokumentiert.

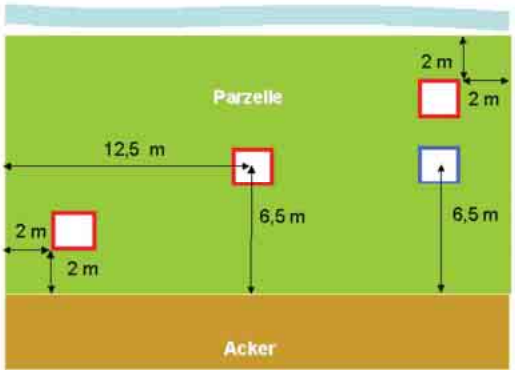

Abb. 10: Plots zur Erfassung der Bodenoberflächeneigenschaften. Bei dichtem Bewuchs entfällt der Plot in der Mitte und die Datenaufnahme erfolgt am Rand (blaues Viereck).

Physikalische Bodeneigenschaften

Die Ansprache der physikalischen Bodeneigenschaften der Versuchsfläche erfolgte im Frühjahr 2012 in allen Versuchsgliedern der Blöcke 1 und 4 am westlichen und östlichen Rand der Versuchsfläche. An jedem Probepunkt wurden fünf Stechzylinderproben in den Tiefenstufen 4 – 10, 12 – 18, 30 – 36 und 40 – 46 cm entnommen. Die Analyse der ungestörten Stechzylinderproben umfasste die Bestimmung des Gesamtporenvolumens, der Trockenrohdichte, der Wasserleitfähigkeit und der Luftkapazität. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgte an je einer gestörten Bodenprobe je Tiefenstufe.

Chemische Bodenparameter

Regelmäßig im Frühjahr und Herbst fanden Bodenuntersuchungen zur Bestimmung der Gehalte der Makronährstoffe Stickstoff (N) und Phosphor (P) sowie des organischen Kohlenstoffgehalts statt (C_{org}). Beprobt wurde der ackerseitige und gewässerseitige Bereich jeder Parzellen in 2 m und 10 m Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag, um erosionsbedingte Unterschiede nachzuweisen. Die Analyse umfasste die Tiefenstufen T1) 0 – 5 cm, T2) 5 – 10 cm, T3) 10 – 30 cm, T4) 30 – 60 cm und T5) 60 – 90 cm. Bei den Bodenproben handelt es sich um Mischproben aus sechs Einzelproben, die verteilt über die gesamte Länge der Parzelle mit einer Bodenraupe oder einem Bohrstock gezogen wurden. Die angewandten Analyseverfahren sind in Tab. 8 zusammengestellt.

Tab. 8: Angewandte Prüfverfahren bei der Bodenuntersuchung.

Parameter	Verfahren	Norm
N_{min}	pflanzenverfügbarer (Nitrat-) Stickstoff (Nmin-Labormethode) mit Photometrie	MB VDLUFA BD. I A 6.1.4.1
N_{ges}	Gesamtstickstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse)	DIN ISO 13878:1995
P_{cal}	Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Laktat (CAL)-Auszug mit Photometrie/F-AAS	MB VDLUFA BD. I A 6.2.1.1
P_{ges}	Extraktion mit Königwasser ICP-OES	DIN ISO 11466:1997-06 DIN EN ISO 11885:2009-09
C_{org}	organischer Kohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse)	DIN ISO 10694 (1996)

3.2.4 Beregnungsversuch

Die Planung des Beregnungsexperimentes basierte auf den Ergebnissen der Erosionsgefährdungsanalyse (Kapitel 3.1.3). Diese zeigten, dass die Beregnungsquelle maximal 70 m vom unteren Rand des Feldstückes im westlichen Teil des Schlags eingerichtet werden sollte, da in diesem Bereich die meisten Erosionsrinnen ihren Ursprung haben (Abb. 11 und Abb. 12). Anhand dieser Ergebnisse und der optischen Ansprache der Fläche fiel die Wahl auf die Parzellen KUP1, GL2 und AL2.

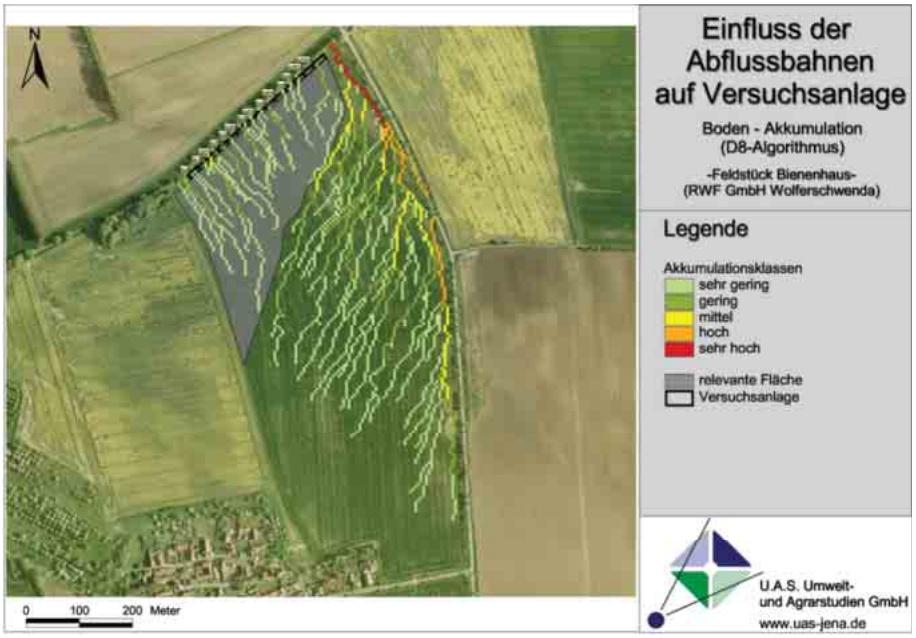

Abb. 11: Lage der Erosionsrinnen und Kennzeichnung der Teilfläche mit den für die Versuchsfläche relevanten Erosionsrinnen (grau hinterlegter Bereich).

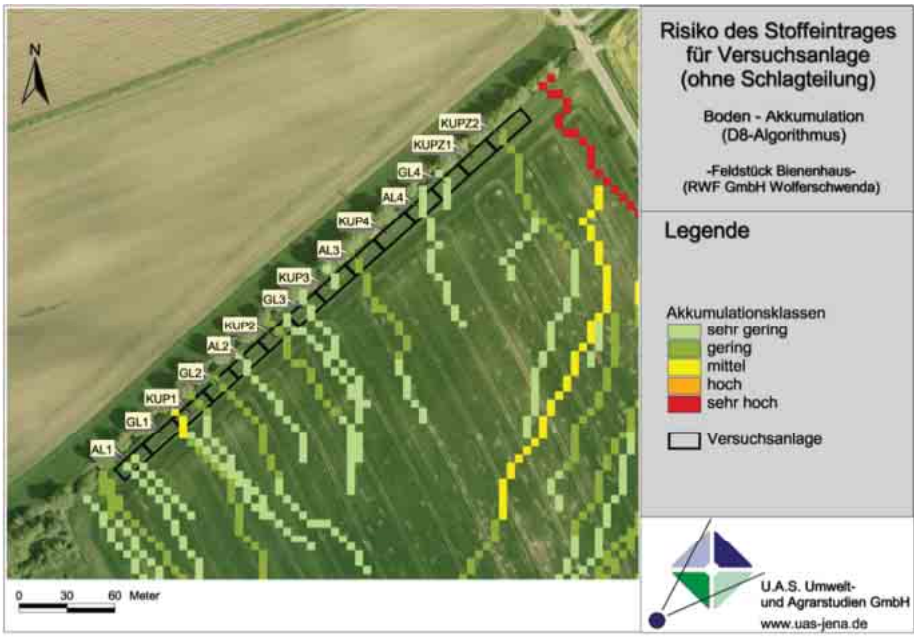

Abb. 12: Potenzielle Stoffeinträge in die Parzellen.

Direkt oberhalb jeder Parzelle wurde mit Hilfe von Blechen eine 10 m lange und 2 m breite Beregnungsparzelle in 2-facher Ausführung nebeneinander aufgebaut. Der erste Rahmen endete trichterförmig an der Grenze zwischen Ackerschlag und Versuchsfläche und das abfließende Wasser wurde über Rohre in eine 200 l Auffangwanne geleitet. Die zweite Beregnungsparzelle reichte zusätzlich 2 m in die Versuchsparzelle hinein (Abb. 13).

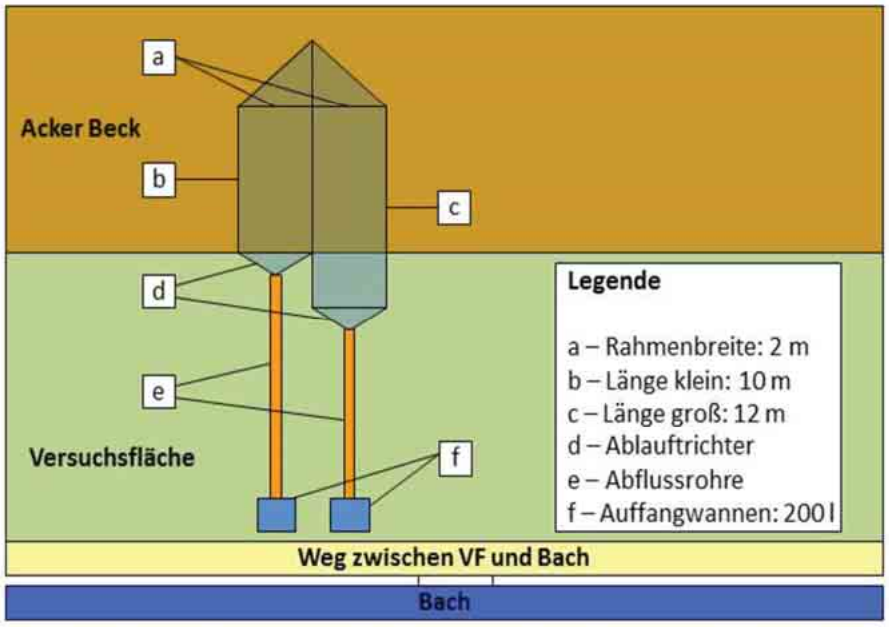

Abb. 13: Aufbau der Beregnungsparzellen (nicht maßstabsgetreu).

Unter Nutzung des Sprinklersystems der Versuchsstation Kirchengel fand der Beregnungsversuch am 01. und 02. April 2014 statt. Das Wasser für den Versuch stammte aus dem Bennebach. Die Beregnung am ersten Tag mit ca. 30 mm Wasser hatte den Zweck, die Bodenfeuchtigkeit zu erhöhen. Am 2. Tag wurde mit ca. 50 mm beregnet.

3.2.5 Vegetationsmonitoring

Nährstoffausträge durch Ernte

Zur Ermittlung der Biomasseproduktion der Versuchsvarianten und der Nährstoffausträge durch die Ernte wurden im Grünland vor jedem Schnitt (mit Ausnahme des 1. Schnitts 2012) und im Ackerland während der Ernte Pflanzenproben entnommen. Mit einem Parzellenmähdrescher oder Grünfutterernter wurden drei oder vier Streifen pro Parzelle beerntet, gewogen und eine Probe á 1000 g zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Analyse der Nährstoffgehalte (N und P) der oberirdischen Biomasse entnommen (Tab. 9).

Tab. 9: Pflanzenproben – Parameter und angewandte.

Parameter	Verfahren	Norm
Trockensubstanz	Trockenschrank	VO(EG) 152/2009, Anhang III A
N_{ges} (Korn)	Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)	Hausmethode SOP V1-260-01
N_{ges} (Luzernegras, Stroh)	Gesamtstickstoff mittels Elementaranalyse oder Kjeldahldestillation	VDLUFA MB BD. III, 4.1.2 VO(EG) 152/2009, Anhang III C
P_{ges}	Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	Hausmethode SOP V1-260-01

Baumbonitur

Die dendrometrischen Untersuchungen in den KUP-Parzellen umfassten die Messung des Wurzelhalsdurchmessers ($d_{0,1}$), des Brusthöhendurchmessers ($d_{1,3}$) und der Höhe jedes Baumes am Ende der Vegetationsperiode. Zusätzlich wurden die Anwuchsraten bonitiert und im Jahresverlauf auftretende Krankheiten dokumentiert. Auf eine Berechnung der Erträge wurde verzichtet, da für sehr junge Bäume die gängigen Ertragsschätzer nur sehr grobe Kalkulationen liefern.

Vegetationsaufnahme

Die unterschiedlichen Bewirtschaftungsoptionen des Uferrandstreifens haben eine direkte Wirkung auf die floristische Artenvielfalt der krautigen Schicht. Um das Artenspektrum in den Versuchsglieder zu bewerten und eine mögliche Entwicklung des Pflanzenbestandes insbesondere in der KUP zu erfassen, wurde der Pflanzenbestand der Versuchsvarianten jährlich im Sommer (18.06./10.07.2012, 03./10.07.2013, 02.07.2014) auf je drei 2 x 2 m Plots in allen Parzellen unter Verwendung der pflanzensoziologische Methode nach Braun-Blanquet erhoben. Diese erfasst die vorkommenden Pflanzenarten und deren Deckung nach dem in Tab. 10 beschrieben Schema. Die Lage der Plots ist identisch mit den Plots für die Erfassung der Oberflächeneigenschaften (siehe Kapitel 2.2.3 Abb. 10).

Tab. 10: Erfassung des Deckungsgrads der Pflanzenarten nach Braun-Blanquet.

Symbol	Individuenzahl	Deckung
r	1	
+	2-5	< 5%
1	6-50	< 5%
2m	> 50	< 5%
2a		5-15%
2b		16-25%
3		26-50%
4		51-75%
5		76-100%

3.2.6 Rechtsrahmen

Zur Bewertung der rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Nutzung des Gewässerrandstreifens zum Anbau von KUP-Pufferstreifen wurden alle relevanten Gesetze und Förderrichtlinien gesichtet und entsprechende Passagen zusammengefasst. Hemmnisse im bestehenden Rechtsrahmen galt es zu identifizieren und Änderungen in Zusammenarbeit mit Interessenvertretern aus Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Politik und Forschung anzuregen.

3.2.7 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der im Projekt erhobenen Daten erfolgte mit den Programmen Microsoft Excel 2010 und IBM SPSS Statistics 19/20. Statistische Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten wurden mittels einer ANOVA getestet. Das Signifikanzniveau beträgt 0,05. Die Nullhypothese, dass die Fehlervarianz der abhängigen Variablen über die Varianten hinweg gleich ist, wurde mit dem Levene-Test auf Gleichheit der Fehlervarianzen untersucht.

4 Ergebnisse

4.1 Rahmenbedingungen der Versuchsfläche

4.1.1 Niederschlag auf der Versuchsfläche

Für die Etablierung einer KUP ist vor allem eine ausreichende Wasserversorgung in den Monaten März bis Mai wichtig. Im langjährigen Mittel (1961 - 1990) fallen in diesen Monaten in der Region 132 mm Niederschlag (Abb. 14). Allerdings lag die Niederschlagsmenge sowohl im Frühjahr 2011 als auch 2012 mit jeweils 54 und 61 mm deutlich darunter.

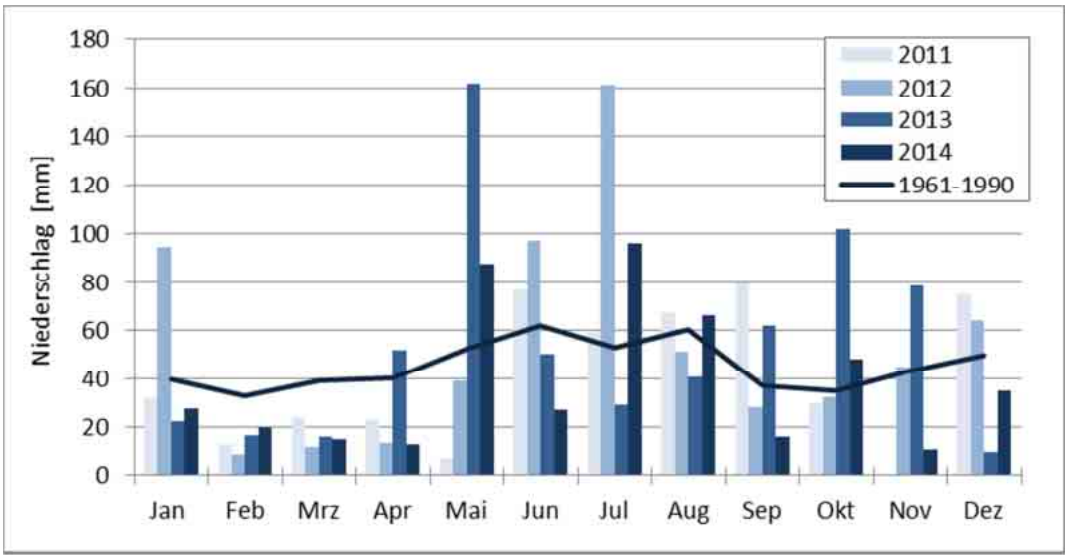

Abb. 14: Monatsniederschläge 2011 bis 2014 in Wolferschwenda und mittlerer Niederschlag (1961 - 1990) an der Wetterstation Großenehrich.

Starkniederschläge traten am 19.06. und 28.07.2012 auf. Am 19.06. regnete es 11 mm innerhalb einer Stunde. Am 28.07. war der Niederschlag deutlich intensiver: 50 mm in einer Stunde und 61 mm in drei Stunden. Bei beiden Ereignissen kam es zu keiner erkennbaren Bodenerosion auf der Fläche, da der erntereife Raps ausreichend Schutz bot. Im Mai 2013 fielen lang anhaltende intensive Niederschläge, die in weiten Teilen Deutschlands zu Hochwassern führten, so auch in Thüringen. Vielerorts waren auf den Feldern deutliche Schäden durch Wassererosion sichtbar. Im Zeitraum vom 15. bis 31. Mai 2013 fielen auf der Versuchsfläche 142 mm Niederschlag, was fast 300 % der durchschnittlichen Regenmenge im Mai entspricht. Erkennbare Erosionsereignisse traten aber auf der Versuchsfläche und dem angrenzenden Acker nicht auf. Dagegen führten die starken Niederschläge zu Abbrüchen der Uferkante am Bennebach oberhalb der Versuchsfläche und zu freigespülten Baumwurzeln im naturnahen Bereich.

4.1.2 Bodenprofile

Profil 1 am Oberhang zeigt ein erodiertes Parabraunerde-Tschernosem (Abb. 15). Der Axp-Horizont (steiniger Pflughorizont) besitzt eine Mächtigkeit von 25 cm. Die dominierenden Gefügeformen sind Polyeder- und Bröckelgefüge. Der Substrattyp ist ein grusführender periglazialer Schluff aus Lösslehm. Der A-Horizont ist mittelhumos, feucht, hat einen mittleren Makroporenanteil sowie eine hohe Lagerungsdichte. Der Übergang vom Axp-Horizont zum 15 cm mächtigen B-Horizont (Mineralbodenhorizont) verläuft diffus. Der B-Horizont weist Humusanreicherungen (Bht) und Anzeichen von Bioturbation (Regenwürmer) auf. Das Gefüge des B-Horizontes ist ein Subpolyedergefüge. Der Substrattyp ist ein grusführender periglaziärer Ton aus Lösslehm, Sandstein und mergeligen Sandstein (Fließerde). Weitere Merkmale sind: mittlerer Makroporenanteil, hohe Lagerungsdichte und Spuren oxidierter Eisen- und Manganverbindungen. Das anstehende Gestein im C-Horizont ist ein periglaziärer Carbonattonschutt aus mergeligem Sandstein und merge-ligem Ton des Unteren Keupers. Der Horizont ist humusfrei, schwach feucht und zeichnet sich durch einen geringen Makroporenanteil, wenige unbelebte Regenwurmröhren und eine sehr hohe Lagerungsdichte aus. Unter diesem Horizont befindet sich ein zweiter C-Horizont (Bohr-stockprobe).

Abb. 15: Profil 1.

Profil 2, gelegen im Mittelhang, zeigt eine Normpararendzina (Abb. 16). Charakteristisch für diesen Bodentyp ist der fehlende B-Horizont. Der eAp-Horizont (mineralischer Oberbodenhorizont aus Mergelstein mit regelmäßiger Bodenbearbeitung) hat eine Mächtigkeit von 27 cm (Pflugtiefe). Dominierend sind Klumpen- und Kohärentgefüge mit einem geringen Makroporenanteil und einer hohen Lagerungsdichte. Regenwurmröhren sind vereinzelt sichtbar. Die Bodenart im A-Horizont ist Lehmton mit einem mittleren Carbonatgehalt und einem Skelettanteil von 8 %. Die Bodenbearbeitung erfolgt im Mittelhang bis zum Ausgangsmaterial, einem grusführenden periglaziären Carbonatton aus mergeligem Tonstein und Mergelstein des Unteren Keupers. Dabei wird anstehendes Gestein in den A-Horizont verlagert. Der lockere, mergelige C-Horizont ist bis zu einer Tiefe von 50 cm verwittert. Der Untergrundhorizont ist humusfrei und weist ein Kohärentgefüge auf. Im elCv sind wenige unbelebte Regenwurmröhren erkennbar. Der C-Horizont besteht aus einem stark carbonathaltigen Lehmton. Der Skelettanteil beträgt 12 %. Unter dem elCv-Horizont folgt ein lockerer, mergeliger C-Horizont (elC). Der Substrattyp des Profils 2 ist ein grusführender periglaziärer

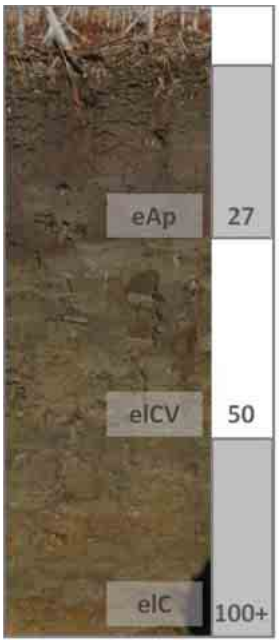

Abb. 16: Profil 2.

Carbonatton aus mergeligem Tonstein und Mergelstein des Unteren Keupers (Fließerde). Die Entstehung dieses gekappten Bodenprofils ist bedingt durch die Hanglage, die ackerbauliche Nutzung und die damit einhergehende Verlagerung von Boden durch Erosion. Da die Bodenbildung geringer als der Boden-abtrag ist, bildet sich kein B-Horizont und es findet keine Bodenentwicklung hin zu Folgestadien, wie der Pararendzina statt. In diesem Bereich des Hanges ist eine erosionsreduzierende Bodenbearbeitung und -bewirtschaftung besonders wichtig.

Bei den **Profilen 3 und 4** am Hangfuß handelt es sich um Normkolluvisole (YKn). Kolluvisole bilden sich an Hangfüßen, in Senken und kleinen Tälern durch Akkumulation von abgeschwemmtem humosem Bodenmaterial aus. Der natürliche Bodenabtrag geschieht durch Wasser und teilweise Wind, wobei eine intensive landwirtschaftliche Nutzung diese Prozesse erheblich verstärken kann. Daher werden Kolluvisole häufig als anthropogene Böden angesprochen. Es ist davon auszugehen, dass das abgelagerte Material in den Profilen 3 und 4 hauptsächlich vom Unterhang der Feldstücks Bienenhaus stammt. Die Böden am Hangfuß sind nicht vom Bennebach überprägt.

Im **Profil 3** hat sich aufgrund der Homogenität des Solummaterials noch kein A-Horizont ausgebildet (Abb. 17). Der mergelige Mineralboden-horizont (eM) besitzt eine Mächtigkeit von 50 cm. Das Solummaterial setzt sich aus grußführendem Kolluvialcarbonatschluff aus Löss, mergeligem Ton- und Sandstein zusammen. Der M-Horizont ist mittelhumos. Die vorgefunden Gefügeformen sind Polyeder-, Subpolyeder- und Klumpengefüge. Der Makroporenanteil ist gering und die Lagerungsdichte hoch. Die Bodenart im eM-Horizont ist Tonschluff. Der Skelettanteil beträgt 20 %. Das Substrat ist mittel carbonathaltig. Der zweite Horizont, ein fossiler, lockerer Pflughorizont mit Übergang zu einem verwitterten, lockeren, mergeligen C-Horizont (IIfAp-elCv) reicht bis zu einer Tiefe von 65 cm. Dieser Horizont ist schwach humos, weist Polyedergefüge und einen mittleren Makroporenanteil auf. Die Lagerungsdichte ist sehr hoch. Die Bodenart in diesem und dem darunter liegenden Horizont ist ein Schluffton und das Substrat ist stark carbonathaltig. Der Skelettanteil beträgt 30 %. Der C-Horizont wird als mergelig und locker angesprochen (IIelC). Dieser Horizont ist humusfrei und besteht aus Kohärentgefüge mit einem geringen Makroporenanteil. Der Skelettanteil liegt bei ca. 45 %. Der Substrattyp des Profils 3 ist ein schuttführender Kolluvialcarbonatschluff aus Löss, mergeligem Ton- und Sandstein über periglaziärem Gruscarbonatton aus mergeligem Ton- und Sandstein des Unteren Keupers.

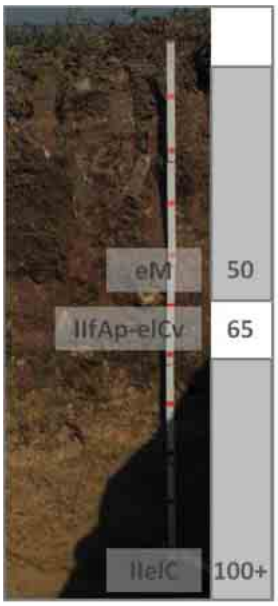

Abb. 17: Profil 3.

Im **Profil 4** im östlichen Teil der Versuchsfläche sind ebenfalls Ablagerungen von Bodenmaterial erkennbar (Abb. 18), die jedoch stärker als im Profil 3 ausgeprägt sind. Dem 30 cm mächtigen merge-ligen Pflughorizont (eAp) folgt ein mergeliger Mineralbodenhorizont aus sedimentiertem Solummaterial (eM) bis zu einer Tiefe von 85 cm. Beide Horizonte sind mittel humos. Die Gefügeform im eAp-Horizont ist ein Polyedergefüge, der Makroporenanteil ist gering und die Lagerungsdichte hoch. Die Bodenart des eAp- und des eM-Horizonts wurde als Tonschluff angesprochen und das Substrat als

schwach carbonathaltig. Der Skelettanteil in beiden Horizonten beträgt 10 %. Im Unterschied zum eAp-Horizont, weist der eM-Horizont Subpolyedergefüge, einen mittleren bis geringen Makroporenanteil und eine mittlere Lagerungsdichte auf. In diesem Horizont und den darunter liegenden Horizonten sind unbelebte Regenwurmröhren erkennbar. Der fossile Pflughorizont ist stärker ausgeprägt als im Profil 3 und besitzt eine Mächtigkeit von 25 cm. Humose Einlagerungen sind deutlich erkennbar. In den weiteren Merkmalen, Gefügeform, Makroporenanteil und Lagerungsdichte, gleicht dieser Horizont dem eM-Horizont. Die Bodenart ist ein sehr carbonatarmer Schluffton. Der Skelettanteil liegt bei 10 %. In 110 cm Tiefe kommt es zum Schichtwechsel vom fossilen A-Horizont zum verwitterten C-Horizont. Der Horizont wird durch Kohärentgefüge, eine hohe Lagerungsdichte, stark carbonathaltiges Substrat und einem Skelettanteil von ca. 35 % charakterisiert. Der Substrattyp des Profils 4 ist ein grusführender Kolluvialcarbonatschluff aus Löss über tiefen grusführenden, periglaziären Ton aus Lösslehm und mergeligen Schluffsteinen des Unteren Keupers (Fließerde).

Abb. 18: Profil 4.

4.1.3 Modellierung der Erosionsgefährdung

Erosionsgefährdungsanalyse

Die wichtigsten Ergebnisse der Erosionsgefährdungsanalyse werden in tabellarischer Form (Tab. 11) und auszugsweise in Form von Karten präsentiert. Die Karten zeigen das Bodenabtragsrisiko für jede 5 m x 5 m Zelle des Feldstücks in t/ha/Jahr. Diese Darstellung ermöglicht die Visualisierung kleinräumiger (teilflächenspezifischer) Unterschiede im Bodenabtrag innerhalb des Feldstücks. Der langjährige mittlere Bodenabtrag auf dem Feldstück Bienenhaus beträgt unter der aktuellen Nutzung 6 t/ha/a. Änderungen beziehen sich, wenn nicht explizit erwähnt, auf das Szenario 1 - aktuelle Nutzung.

Tab. 11: Bodenabtragswerte der verschiedenen Bewirtschaftungsszenarien für das Feldstück Bienenhaus. Für die grau hinterlegten Werte zeigen Abb. 19 bis Abb. 23 die kleinräumigen Unterschiede im Bodenabtrag.

	mittlerer Bodenabtrag in t/ha/Jahr						
Schlag-teilung	aktuelle Nutzung	Pflug	pfluglos	Zwischen-früchte	angepasste Fruchtfolge	Mulchsaat	Zwischen-früchte und Mulchsaat
ohne	5,96	6,64	5,05	5,05	3,50	2,77	1,82
eine	5,32	-	-	4,52	3,13	2,48	1,63
zwei	5,04	-	-	4,27	2,96	2,34	1,54

Die Modellierungsergebnisse zeigten, dass im Vergleich zur konventionellen wendenden Bodenbearbeitung (Abb. 19) durch das aktuelle ackerbauliche Management (Abb. 20) das Bodenerosionsrisiko bereits um 11 % gesenkt wurde.

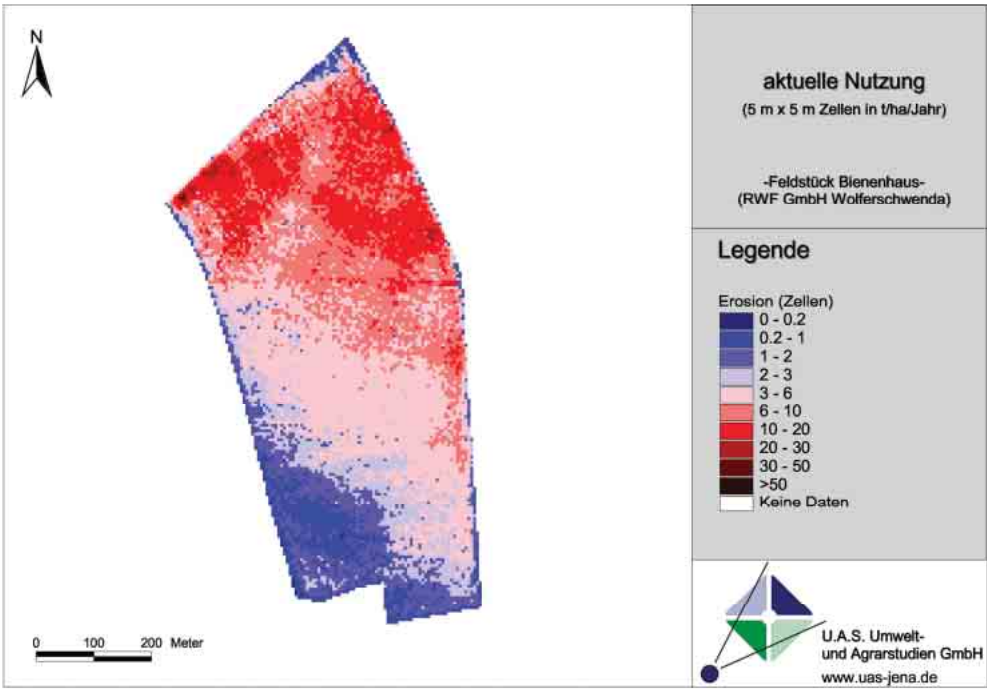

Abb. 19: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 0: konventionell wendende Bodenbearbeitung.

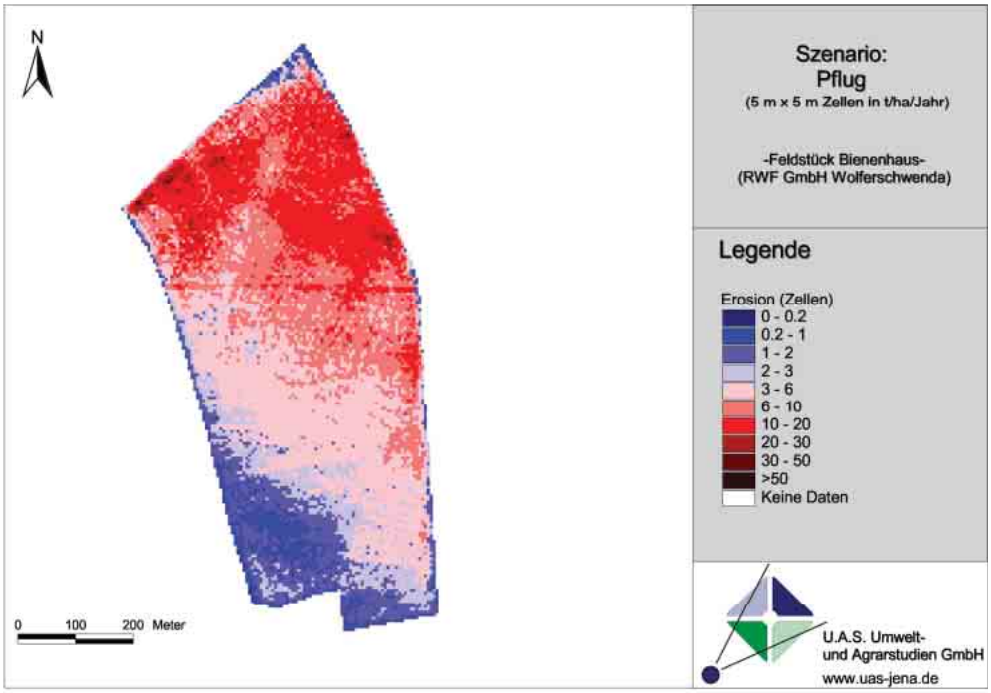

Abb. 20: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen) auf Grundlage der aktuellen Nutzung.

Eine pfluglose Bodenbearbeitung wird größtenteils bereits eingesetzt, sodass die damit verbundene Minderung bei der Erosionsgefährdung weitgehend ausgeschöpft wurde. Eine konsequent pfluglose Bodenbearbeitung (auch beim Anbau von Mais) senkt das Erosionsrisiko um 15 %.

Der Anbau von Zwischenfrüchten, der bei Sommerungen, in diesem Fall Mais, relevant ist, bietet die Chance, das Erosionsrisiko um 15 % zu reduzieren. Hier könnten abfrierende Zwischenfruchtarten wie z. B. Phacelia (*Phacelia tanacetifolia* BENTH.) zum Einsatz kommen.

Eine angepasste Fruchtfolge bietet die Möglichkeit, das Erosionsrisiko um ca. 40 % zu verringern. Ursache dafür ist der Verzicht auf Mais, der auf dem untersuchten Schlag in den zurückliegenden Jahren teilweise auch mit wendender Bodenbearbeitung angebaut wurde. Mais ist eine erosionsgefährdete Kultur und wird daher durch einen hohen C-Faktor charakterisiert. Durch Mulchsaat-Verfahren könnten die Abtragsrisiken deutlich, auf bis zu 47 %, gesenkt werden (Abb. 21). Dieses Verfahren wirkt sich insbesondere beim Anbau von Mais erheblich auf das Bodenerosionsrisikos der Ackerfläche aus.

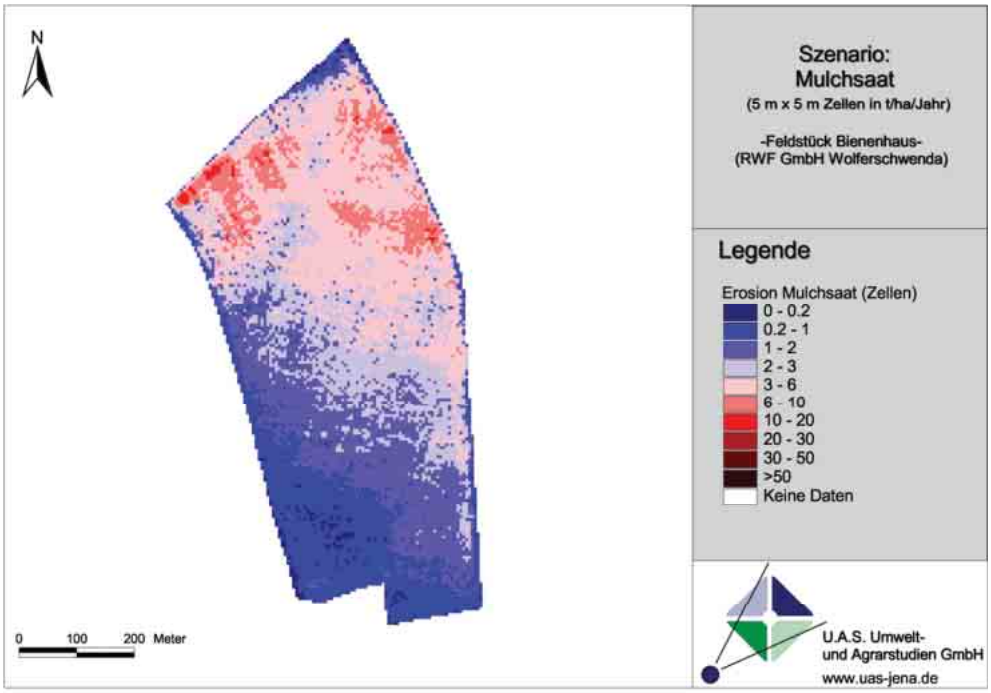

Abb. 21: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 4: Mulchsaat.

Schlagteilungen bieten eine weitere Möglichkeit, den mittleren Bodenabtrag der untersuchten Fläche um 11 % (bei einer Schlagteilung) bzw. 15 % (bei zwei Schlagteilungen, Abb. 22) zu mindern.

Durch Kombination verschiedener erosionsmindernder Maßnahmen ist eine Reduktion des mittleren Bodenabtrags um bis zu 75 % möglich (Abb. 23).

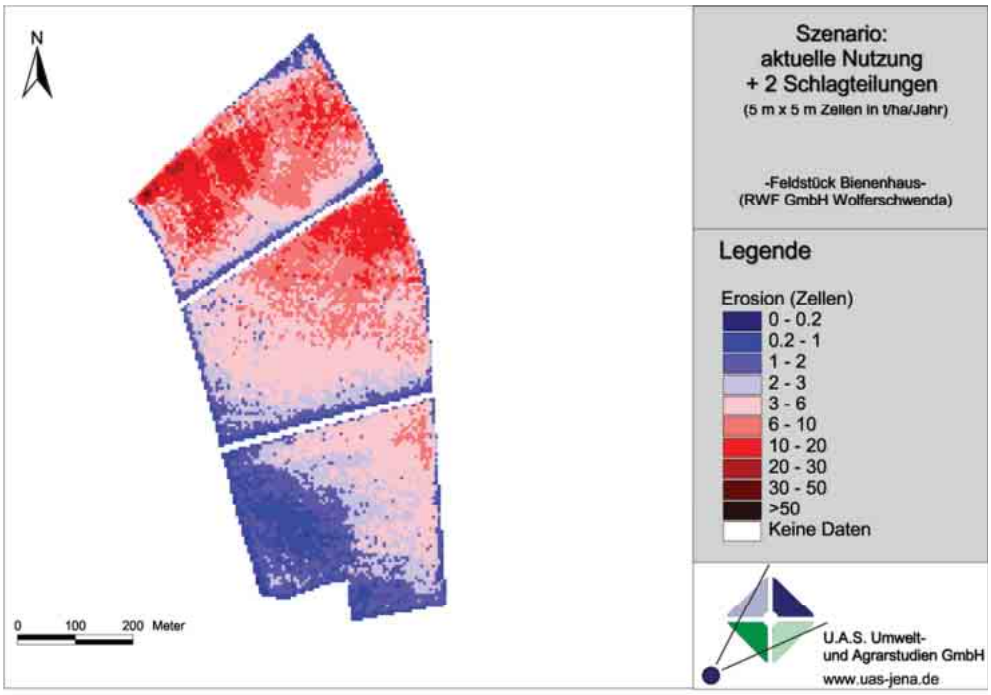

Abb. 22: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 6: zwei Schlagteilungen.

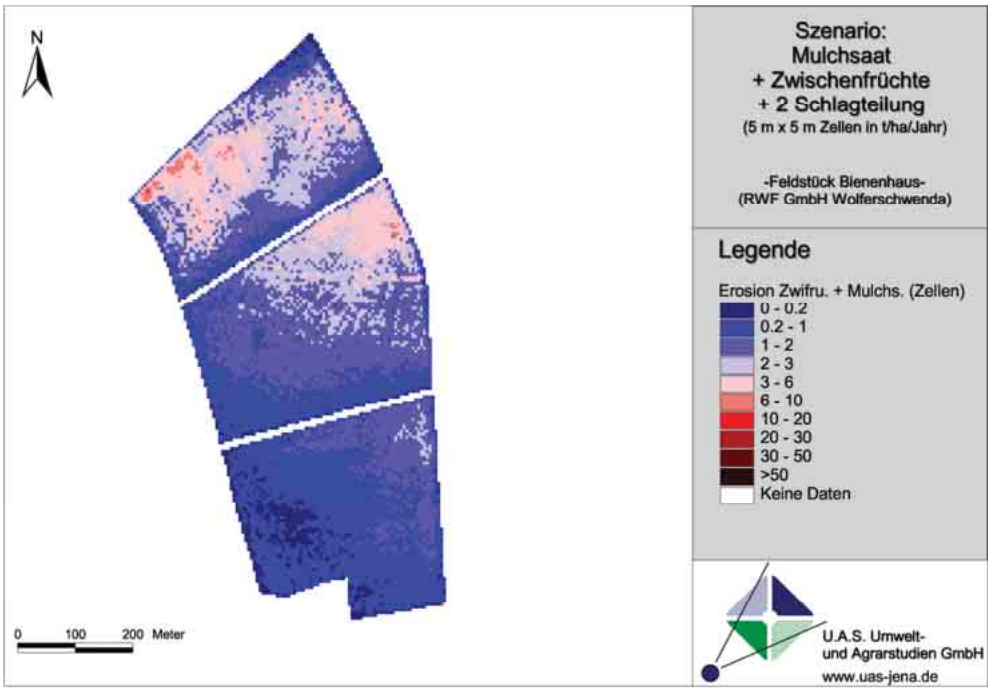

Abb. 23: Teilflächenspezifisches mittleres Bodenabtragsrisiko (5 m x 5 m Zellen). Szenario 15: Zwischenfrüchte + Mulchsaat + zwei Schlagteilungen.

Analyse der Abflussdynamik über Erosionsrinnen

Durch die Neigung des Hanges in Richtung Nord bzw. Nordost erfolgt bei der aktuellen Schlagstruktur für den größten Teil des Feldstückes (78 %) der Abfluss bzw. der Sedimenttransport über eine einzelne dominante am nord-östlichen Rand gelegene Erosionsrinne. Bei Starkniederschlägen wird durch diese Struktur mit hoher Wahrscheinlichkeit der größte Anteil des im oberen Bereich des Feldstücks erodierten Bodenmaterials hangabwärts transportiert. Da diese Erosionsrinne kurz vor dem angrenzenden Gewässer am nord-östlichen Ende des Schlages ausstreicht, sind bei Starkniederschlägen und damit einhergehenden Erosionsereignissen an dieser Stelle Sediment- und Nährstoffeinträge ins Gewässer sehr wahrscheinlich. Diese sehr auffällige (im unteren Bereich rot eingefärbte) Erosionsrinne ist in Abb. 24 sehr gut zu erkennen. Durch Schlagteilung kann die potenzielle Sedimentfracht dieser Erosionsrinne deutlich reduziert werden. Der maximal zu erwartende potenzielle Eintrag dieser Rinne in das süd-westlich gelegene Fließgewässer könnte durch eine Schlagteilung von ca. 139 t/Jahr auf 54 t/Jahr und bei zwei Schlagteilungen auf 19 t/Jahr (Abb. 25) vermindert werden. Diese dominierende Erosionsrinne hat jedoch keinen Einfluss auf die Sedimenteinträge im Bereich der etablierten Versuchsanlage, da sie ca. 20 m östlich von der Randparzelle KUPZ2 die Schlaggrenze überschreitet.

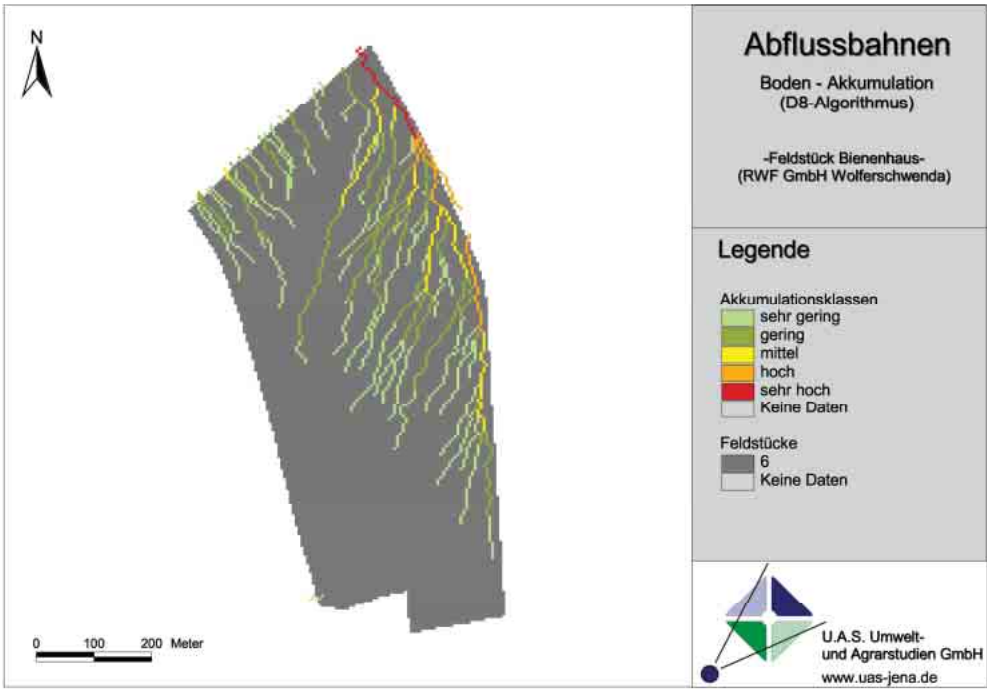

Abb. 24: Potenzielle Erosionsrinnen bei aktueller Bewirtschaftung (ohne Schlagteilung).

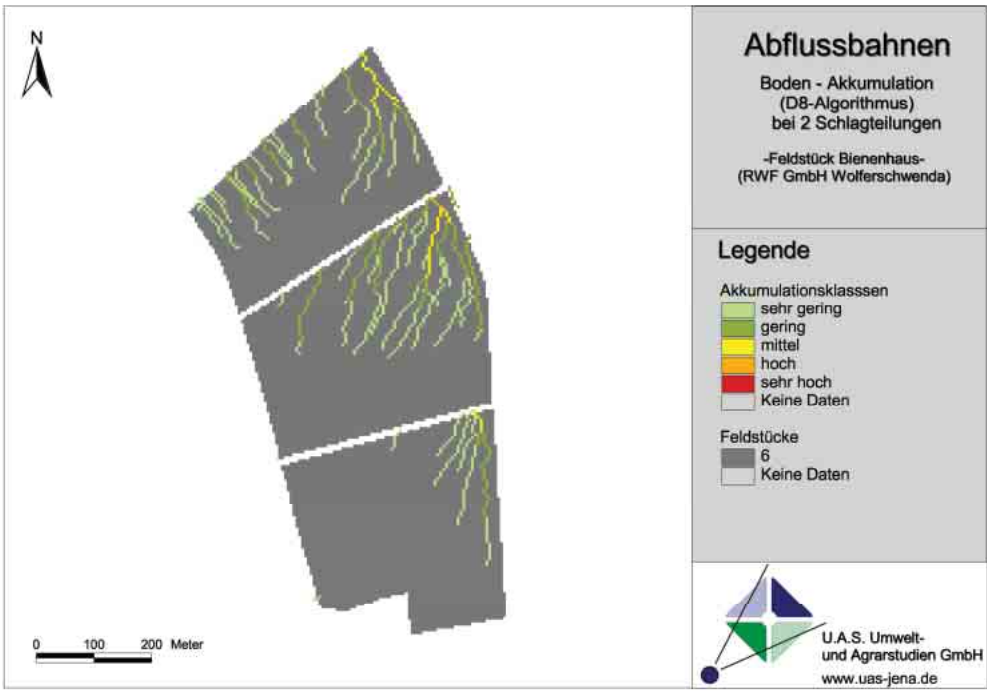

Abb. 25: Potenzielle Erosionsrinnen unterteilt in Bodenakkumulationsklassen (D8-Algorithmus) bei zwei Schlagteilungen.

Der Teil des Feldstücks, der als potenzielle Sedimentquelle im Rahmen von Erosionsereignissen für den Bereich der Versuchsanlage relevant ist, umfasst 22 % der Gesamtfläche (Kapitel 2.2.4, Abb. 11). Die prognostizierten Erosionsrinnen, die in die Versuchsparzellen münden (Kapitel 2.2.4, Abb. 12), weisen sehr unterschiedliche Akkumulationswerte von 0,98 t/ha (KUP4) bis 13,75 t/ha (KUP1) auf (Tab. 12).

Tab. 12: Potenzielle Akkumulationswerte für die einzelnen Versuchsparzellen unter den drei Schlagteilungsszenarien (ST = Schlagteilung)

	Prüfglieder und potenzielle Stoffeinträge in t/Jahr											
	AL1	GL1	KUP 1	GL2	AL2	KUP 2	GL3	KUP 3	AL3	KUP 4	AL4	GL4
ohne ST	3,95	1,32	13,75	4,79	2,78	7,41	1,82	1,78	5,90	0,98	1,96	1,73
eine ST	3,16	1,24	12,41	4,59	1,98	7,24	1,78	1,70	5,78	0,95	1,92	1,50
zwei ST	2,89	0,88	10,43	4,09	1,86	6,88	1,71	1,67	5,51	0,95	1,85	1,48

4.2 Vor-Ort-Parameter und Nährstoffgehalte im Gewässer

Die Ergebnisse des Gewässermonitoring beziehen sich auf die hydrologischen Jahre (HJ) 2013 und 2014 und umfassen den Zeitraum vom 01.11.2012 bis zum 31.10 2014. Den Durchfluss der HJ 2013 und 2014 zeigen Abb. 26 und Abb. 27. Im Herbst 2012 führte der Bennebach nur sehr wenig Wasser (< 30 m³/h). Ab Mitte Dezember war der Wasserstand deutlich höher. Die starken und sehr häufigen Niederschläge im Mai 2013 führten zu sehr hohen Pegelständen und zeitweise zum Überfluten des

Wehrs. Im hydrologischen Jahr 2014 gab es nur sehr kurze Zeiträume, in denen der Bennebach mehr als 200 m³/h führte. Der mittlere Jahresdurchfluss betrug 100,1 m³/h und war damit deutlich geringer als im hydrologischen Jahr 2013 (161,0 m³/h).

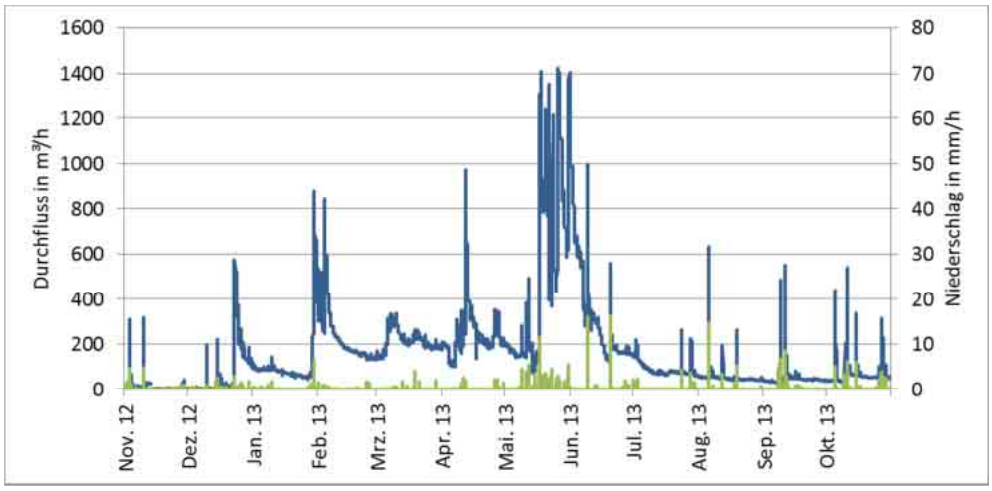

Abb. 26: Durchfluss des Bennebachs vom 01.11.2012 bis 31.10.2013 in Stunden-Intervallen.

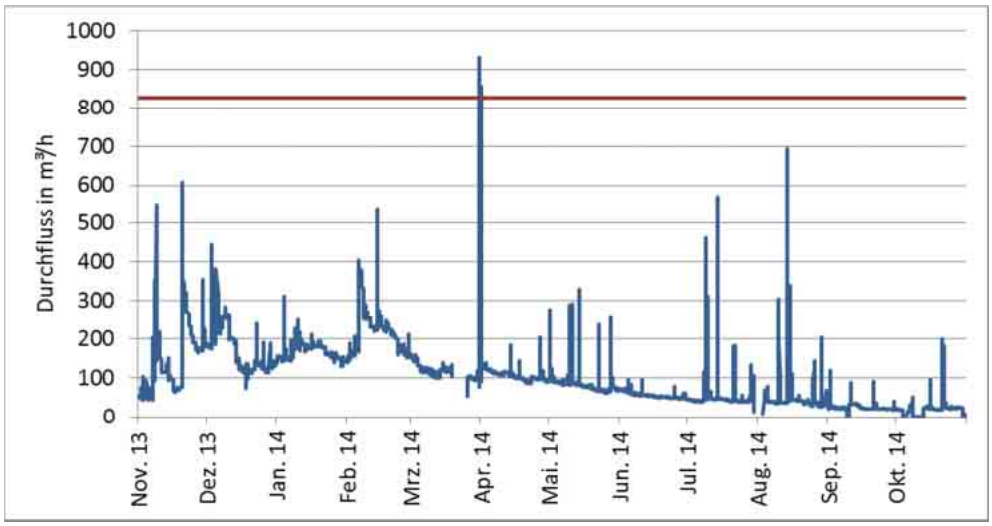

Abb. 27: Durchfluss des Bennebachs (blaue Linie) vom 01.11.2013 bis 31.10.2014 in Stunden-Intervallen. Die rote Linie markiert den Messbereich des Edelstahlwehrs.

4.2.1 Vor-Ort-Parameter

Beispielhaft für den jahreszeitlichen Verlauf der Wassertemperatur zeigt Abb. 28 die Temperatur im Bennebach im hydrologischen Jahr 2013 und 2014 am Messpunkt W4. Die Wassertemperatur ist abhängig von der Lufttemperatur und dem Durchfluss und zeigt daher unterschiedliche Verläufe in den betrachteten Jahren. HJ 2013 war von einer langen Phasen mit niedrigen Wassertemperaturen (November 2012 bis März 2013) geprägt. Die Temperaturspitzen lagen im Sommer 2013 bei 16,5°C (19.06.) und in 2014 bei 15,7°C (30.07.). Die Wassertemperatur an den anderen Messpunkten zeigte nahezu den gleichen Verlauf (siehe Anhang, Abb. B 1 und Abb. B 2).

Die Temperatur des Dränwassers unterlag nur geringen Schwankungen im Jahresverlauf. Die Minimum- und Maximalwerte für 2013 und 2014 betrugen 6,5°C und 12,4°C sowie 7,2°C und 11,0°C. Der Einfluss des Dränwassers auf die Wassertemperatur im Bennebach ist als gering einzuschätzen.

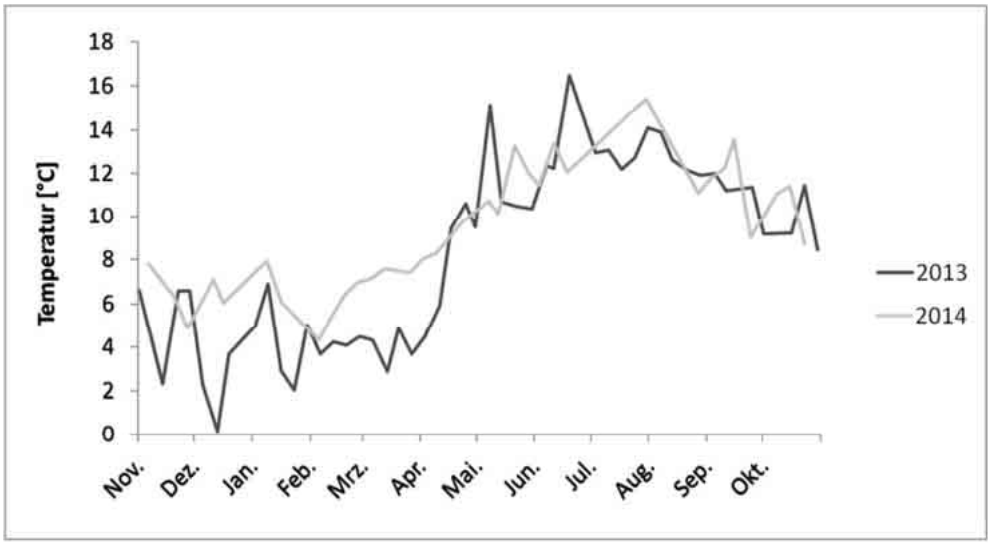

Abb. 28: Wassertemperatur im hydrologischen Jahr 2013 und 2014 nach der Versuchsfläche (W4).

Der **pH-Wert** des Bennebachs lag im oberen Bereich des pH-Wertes natürlicher Fließgewässer. Ab Juni 2013 zeigte sich ein klarer Trend zwischen den Bewirtschaftungsvarianten: W2 < W3 < W4 (Abb. 29 und Abb. 30). Im Mittel wurde an den Messstellen W2 bis W4 im hydrologischen Jahr 2014 ein pH-Wert von 7,76 (*SD* = 0,10), 7,85 (*SD* = 0,10) und 8,07 (*SD* = 0,13) gemessen. Am 28.05.2014 sank der pH-Wert an den Messstellen W2 bis W4 stark ab (Abb. 30). Eine mögliche Ursache ist der Regen vor und während der Probenahme. Der geringe Einfluss des Niederschlags an der Messstelle W1, liegt wahrscheinlich an Interzeptionswirkung der Bäume entlang des Oberlaufs. Der pH-Wert der Drainagen D5, D6, D8 und D9 war deutlich geringer als der des Fließgewässers und lag 2013 zwischen 7,29 und 7,61 sowie 2014 zwischen 7,09 und 7,49.

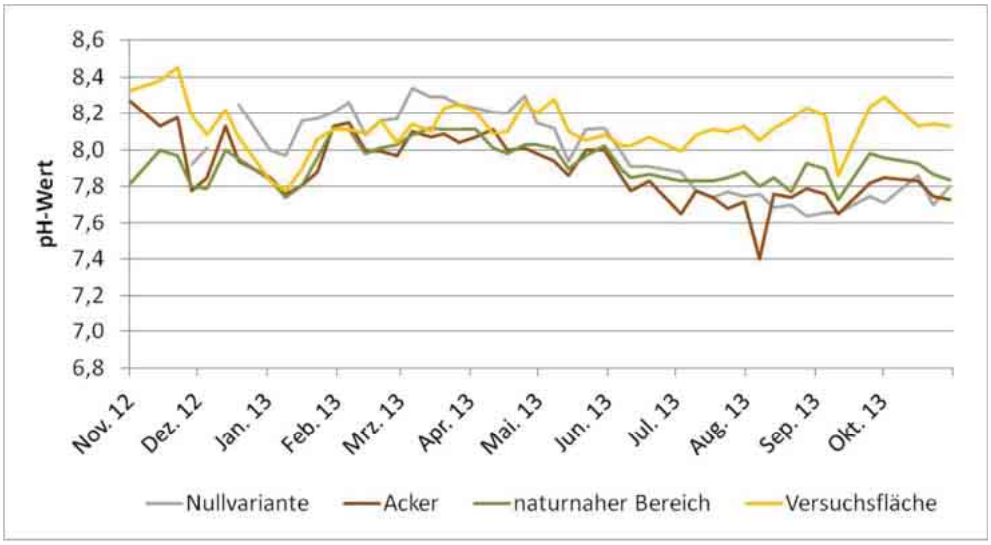

Abb. 29: pH-Wert des Bennebachs im hydrologischen Jahr 2013 an vier Standorten.

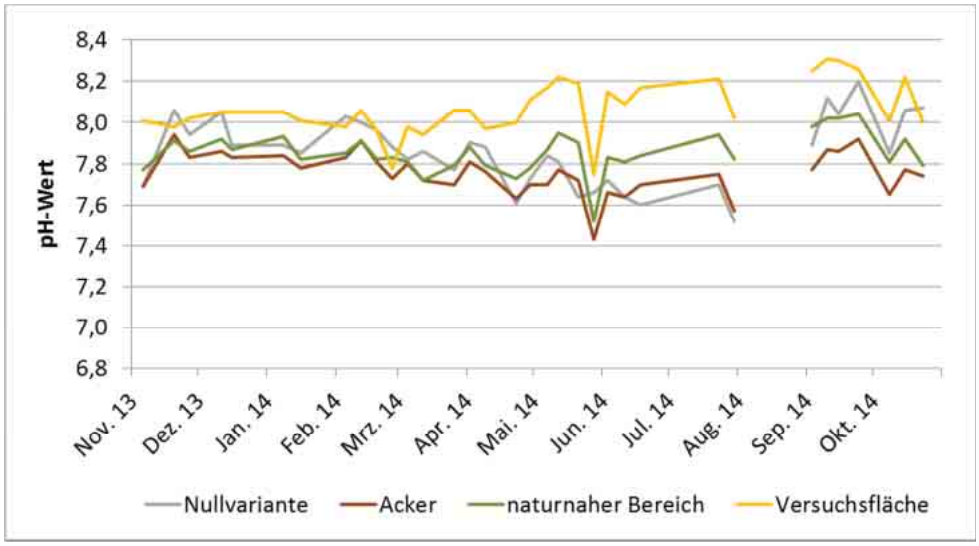

Abb. 30: pH-Wert des Bennebachs im hydrologischen Jahr 2014 an vier Standorten.

Die mittlere **Leitfähigkeit** des Bennebachs betrug 1070 µS/cm im hydrologischen Jahr 2013 und 1045 µS/cm im hydrologischen Jahr 2014. Die Unterschiede zwischen den Messpunkten waren gering. Schwankungen sind auf diskontinuierliche Einträge von Regenwasser zurückzuführen, da dies eine deutlich geringe Leitfähigkeit als das Bachwasser besitzt. Das Dränwasser hatte ein mittlere Leitfähigkeit von 1130 µS/cm (2013) und 1139 µS/cm (2014).

Abb. 31 zeigt die **Sauerstoffsättigung** (O_2-Sättigung) im Bennebach im HJ 2014. Über den gesamten Zeitraum wies die Messstelle W4 nach der Versuchsfläche eine deutlich höhere O_2-Sätti-gung als die anderen Probepunkte auf (*M* = 95 %, *SD* = 8,5). Es ist zu klären, ob und zu welchen Anteilen dies der Einfluss des Wehrs ist. Die O_2-Sättigung an den Probepunkten W1 bis W3 war annähernd gleich (85 %, 86 %, 89 %). Die mittlere Sauerstoffsättigung des Dränwassers war deutlich geringer als des Bachwassers und betrug 56 % (*SD* = 5,6). Eine auffällig niedrige O_2-Sättigung wurde am 28.05. und 08.10.2014 gemessen. Im HJ 2013 fand die Umstellung der Sauerstoffmessung von mg O_2/l auf Prozent statt. Daher wird auf eine Darstellung der Daten verzichtet.

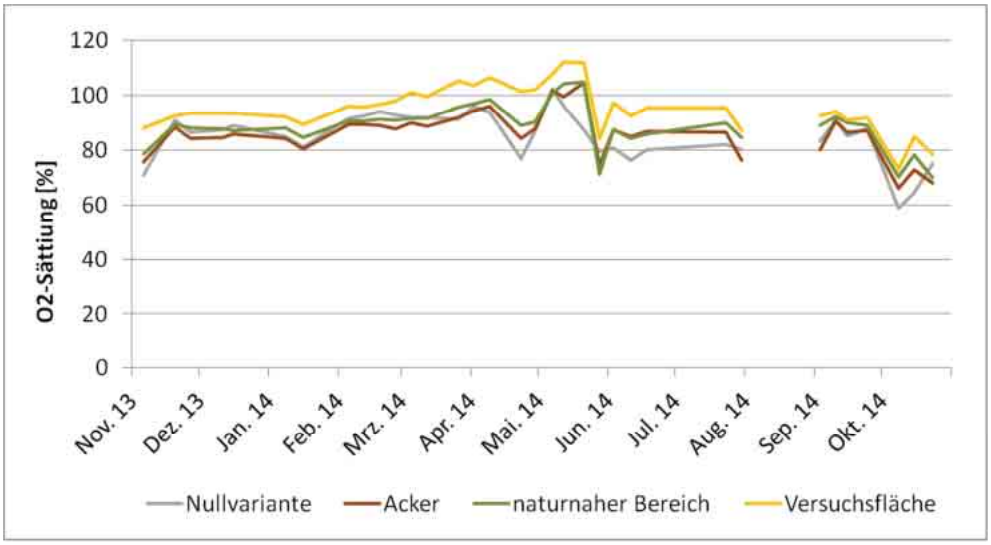

Abb. 31: Sauerstoffsättigung im Bennebach im hydrologischen Jahr 2014 an vier Standorten.

4.2.2 Wässrige Phase

Die Nährstoffgehalte im Wasser des Bennebachs und den Drainagen sind beispielhalft für das hydrologische Jahr 2014 dargestellt. Die Werte der Drainage 7 wurden nicht mit berücksichtigt, da diese nur in den Wintermonaten Wasser führte. Mittelwert sowie Standardabweichung der Nährstoffgehalte für HJ 2013 sind im Anhang zusammengestellt (Tab. A 2).

Der durchschnittliche **Ammoniumnitratgehalt (NH_4-N)** der Wasserproben der Messstellen W1 bis W4 und des Dränwassers (W5 bis W9) sind in Abb. 32 dargestellt. Der NH_4-N-Gehalt im Fließgewässer schwankte im Jahresverlauf stark (0,03 – 1,54 mg/l). Von November 2013 bis Mai 2014 wurden im Bennebach hohe Ammoniumnitratwerte gemessen. Im restlichen Jahresverlauf lagen die NH_4-N-Gehalte meist unter dem Richtwert von 0,3 mg NH_4-N pro Liter. Ein Trend zwischen den Probepunkten W1 bis W4 war nicht erkennbar. Das Dränwasser weist einen niedrigeren NH_4-N-Gehalt als das Bachwasser auf.

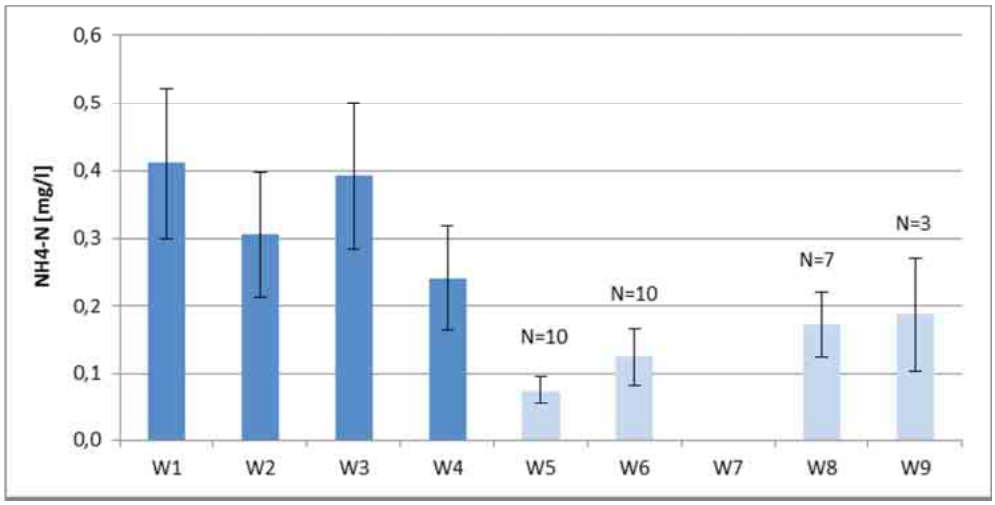

Abb. 32: Mittlerer NH_4-N-Gehalt im Bennebach (W1 - W4) und Dränwasser (W5 - W9) im HJ 2014. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. N = 12, wenn nicht gesondert angegeben.

Der **orthophosphat-Phosphorgehalt (oPO_4-P)** im Bennebach war hoch und überschritt den angestrebten Grenzwert von 0,15 mg/l häufig. Ein Trend zwischen den Probepunkten W1 bis W4 lässt sich für orthophosphat-Phosphor ebenfalls nicht erkennen ($p = 0,171$). Der oPO_4-P-Gehalt des Dränwassers war deutlich niedriger als der des Fließgewässers (Abb. 33).

Der C_{org}-Gehalt im Gewässer und im Dränwasser im hydrologischen Jahr 2014 betrug im Mittel 5,72 mg/l und 4,28 mg/l. Signifikante standortsbedingte Unterschiede im Gewässerverlauf wurden nicht gemessen ($p = 0,629$).

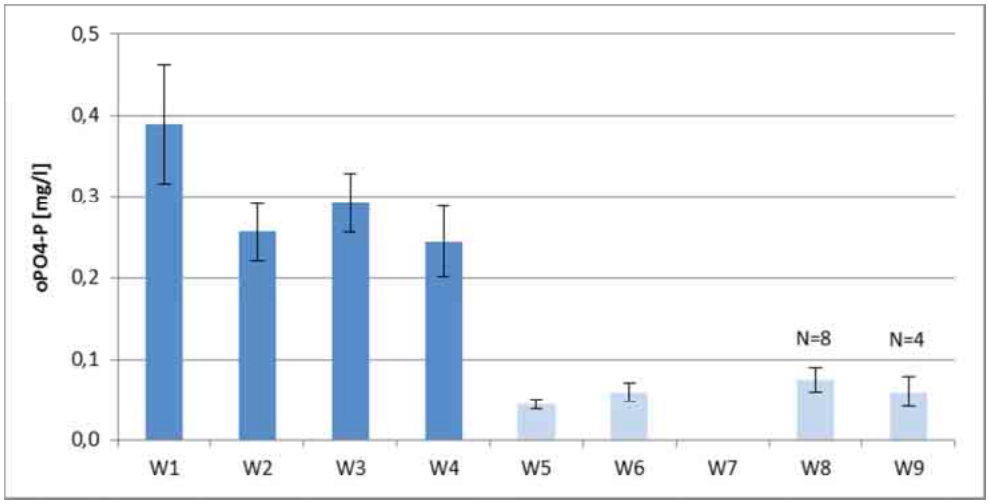

Abb. 33: Mittlerer o-PO_4-Gehalt im Bennebach (W1 - W4) und Dränwasser (W5 - W9) im HJ 2014. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. N = 12, wenn nicht gesondert angegeben.

4.2.3 Rezente Sedimente und Schwebstoffe

Rezente Sedimente

Die Korngrößenanalyse ergab, dass sich am Messpunkt W1 die Gewässersohle hauptsächlich aus Sand und Grobschluff (39 % und 27 %) zusammensetzt. Am Probepunkt W2 war die Gewässersohle durch Kiesel und Steine geprägt und es konnte kein Sediment entnommen werden. In Fließrichtung nahm nach dem Probepunkt W2 der Anteil der feinen Bestandteile im Sediment zu. An der Messstelle W4 hatte das Sohlsubstrat mit nur 7 % den geringsten Anteil an Sanden und den höchsten Anteil an Schluff und Ton (64 % und 30 %). Es liegt die Vermutung nahe, dass die Bachsohle durch erosionsbedingte Einträge von Bodenmaterial der Ackerfläche überprägt ist. Die Hypothese wird durch die ähnliche Korngrößenzusammensetzung des Oberbodens der Versuchsfläche und des Sediments am Probepunkt W4 gestützt (Abb. 34).

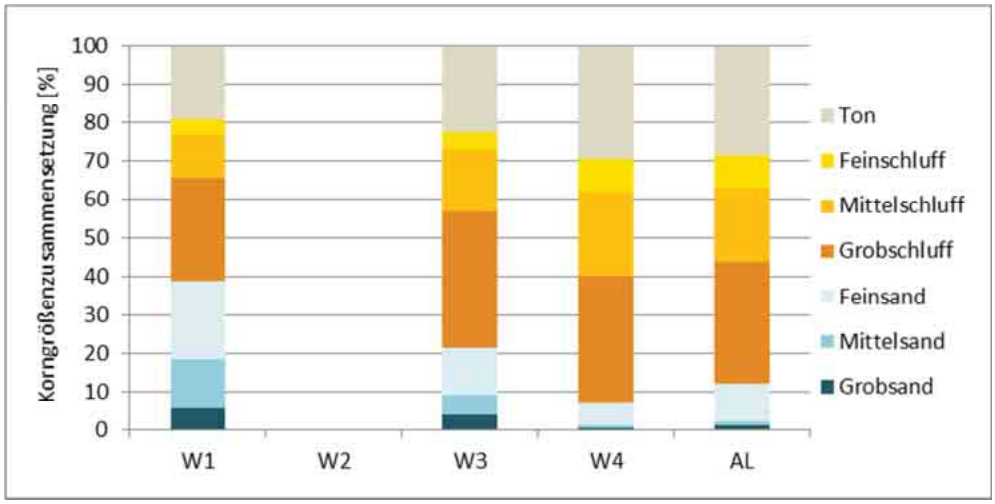

Abb. 34: Korngrößenverteilung in den rezenten Sedimenten des Bennebachs (W1 – W4) und des Bodens der Parzelle AL1 (Tiefenstufe 4 - 10 cm).

Schwebstoffe

Das Feinmaterial (< 2 mm) in den Schwebstofffallen bestand im Durchschnitt zu 30 % aus Sand und zu 70 % aus Schluff und Ton. Im folgenden Abschnitt werden die Mittelwerte der Nährstoffgehalte der Schwebstoffe an den Messstellen W1 bis W4 in den hydrologischen Jahren 2013 und 2014 zusammenfassend dargestellt. Abb. B 3 bis Abb. B 9 im Anhang zeigen die Einzelwerte in den HJ 2013 und 2014.

Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Phosphor in der Sandfraktion zeigte im HJ 2013 kein Trend zwischen den Standorten (p = 0,883) und betrug im Mittel 38,9 g/100g. Im HJ 2014 war der Mittelwert an der Messstelle W1 höher war als an den anderen Standorten (Tab. 13). Das Mittel der Standorte W2 bis W4 betrug 39,2 g P_{cal}/100g. In der Schluff- und Tonfraktion war dagegen eine geringe, aber nicht signifikante Abnahme des P_{cal}-Gehalts von der Messstelle W2 hin zu W4 in beiden untersuchten Jahren zu verzeichnen.

Tab. 13: Deskriptive Statistik der P_{cal}-Gehalte (mg/100g) der Schwebstoffe.

	Sandfraktion						Schluff- und Tonfraktion					
	2013			2014			2013			2014		
	M	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*
W1	38,8	9,3	12	44,0	10,9	10	25,2	6,3	12	30,1	8,0	10
W2	40,4	13,3	13	38,4	7,8	10	25,6	7,5	13	28,1	7,8	11
W3	39,0	10,3	13	39,1	4,1	11	23,7	5,2	13	26,4	5,1	11
W4	37,2	7,2	13	40,0	6,3	11	22,2	4,7	13	24,8	3,8	11

Der **Gesamtphosphorgehalt** in der Sandfraktion lag im HJ 2013 zwischen 0,82 g/kg (W1) und 2,37 g/kg (W2) sowie im HJ 2014 zwischen 1,33 g/kg (W1) und 1,63 g/kg (W1). Der P_{ges}-Gehalt war in beiden Beobachtungsjahren am Standort W4 nach der Versuchsfläche am geringsten (Tab. 14). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Standorten im HJ 2013 und HJ 2014 ist nicht gegeben (p = 0,063 und p = 0,223). Der P_{ges}-Gehalt der Fraktion < 63 µm lag im HJ 2013 zwischen 0,63 g/kg (W2) und 1,15 g/kg (W1) sowie im HJ 2014 zwischen 0,72 g/kg (W4) und 1,26 g/kg (W2). Der Mittelwert am Standort W4 war in beiden Jahren am geringsten.

Tab. 14: Deskriptive Statistik der P_{ges}-Gehalte (g/kg) der Schwebstoffe.

	Sandfraktion						Schluff- und Tonfraktion					
	2013			2014			2013			2014		
	M	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*
W1	1,68	0,33	12	1,86	0,18	10	0,91	0,12	12	,99	0,14	10
W2	1,82	0,30	14	1,87	0,27	11	0,90	0,15	14	1,00	0,15	11
W3	1,68	0,26	14	1,83	0,22	11	0,86	0,12	14	,95	0,10	11
W4	1,51	0,28	14	1,61	0,36	11	0,82	0,12	14	,89	0,08	11

Trends im **Gesamtstickstoffgehalt** der Bodenpartikel > 63 µm zwischen den Standorten waren in beiden untersuchten Jahren 2013 und 2014 nicht vorhanden (p = 0,741 und p = 0,353). Im HJ 2013 wurde am Messpunkt W1 im Juni ein stark erhöhter N-Gehalt (10,3 %) gemessen, der nicht in die weiteren Analysen eingeflossen ist. Im Mittel über beide Jahre und alle Standorte betrug der N-Gehalt in der Sandfraktion der Sedimente 0,62 %. Ebenfalls zeigte sich kein Trend im N-Gehalt der Schluff- und Tonfraktion zwischen den Standorten im hydrologischen Jahr 2013 und 2014. Die Fraktion < 63 µm weist einen mittleren N_{ges}-Gehalt über alle Standorte von 0,23 % im HJ 2013 und 0,26 % im HJ 2014 auf. Der Gesamtstickstoffgehalt an den Probepunkten ist in Tab. 15 zusammengestellt.

Tab. 15: Deskriptive Statistik der N_{ges}-Gehalte (%) der Schwebstoffe.

	Sandfraktion						Schluff- und Tonfraktion					
	2013			2014			2013			2014		
	M	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*
W1	0,55	0,20	11	0,62	0,136	10	0,21	0,047	12	0,25	0,056	10
W2	0,65	0,23	14	0,59	0,127	11	0,24	0,071	14	0,26	0,063	11
W3	0,62	0,26	14	0,61	0,097	11	0,22	0,053	14	0,23	0,042	11
W4	0,62	0,19	14	0,72	0,170	11	0,25	0,086	14	0,25	0,044	11

Der Anteil **organischen Kohlenstoffs** in der Sandfraktion wies im HJ 2013 starke Schwankungen von 2,1 % C_{org} (W1) bis 15,4 % C_{org} (W3) auf (siehe Anhang Abb. B 8). Der mittlere C_{org}-Gehalt lag zwischen 6,8 % (W1) und 7,8 (W2). Ein Trend zwischen den Versuchsstandorten oder im Verlauf des Jahres war nicht erkennbar. Dagegen zeichnete sich im HJ 2014 ein Anstieg des C_{org}-Gehalts in Fließrichtung ab: W1 und W2 < W3 < W4 (p = 0,005). Der mittlere C_{org}-Gehalt war an allen Standorten außer S2 höher als im HJ 2013, die Streuung dagegen war deutlich geringer (Tab. 16). Der mittlere C_{org}-Gehalt der Fraktion < 63 µm lag im HJ 2013 zwischen 1,77 % (W1) und 1,92 % (W2) und im HJ 2014 zwischen 2,14 % (W3) und 2,25 % (W2). Für den C_{org}-Gehalt der Schwebstoffe < 63 µm lassen sich keine Trends für HJ 2013 und HJ 2014 verallgemeinern (siehe Anhang Abb. B 9).

Tab. 16: Deskriptive Statistik der C_{org}-Gehalte (%) der Schwebstoffe.

	Sandfraktion						Schluff- und Tonfraktion					
	2013			2014			2013			2014		
	M	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*
W1	6,83	2,73	11	7,32	1,43	10	1,77	,29	12	2,17	0,39	10
W2	7,80	2,75	14	6,94	1,40	11	1,92	,54	14	2,25	0,47	11
W3	7,41	3,23	14	8,27	1,29	11	1,77	,46	14	2,14	0,32	11
W4	7,45	2,50	14	9,26	1,89	11	1,87	,35	14	2,17	0,31	11

Ein Zusammenhang zwischen dem mittleren bzw. maximalen Durchfluss in den jeweiligen Probezeiträumen (Zeit zwischen dem Leeren der Fallen) und der Nährstoffkonzentrationen der beiden analysierten Fraktionen konnte nicht festgestellt werden.

4.3 Bodenmonitoring

4.3.1 Physikalische Bodenparameter

Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung im Boden der Versuchsfläche im östlichen (Block 1) und westlichen Teil (Block 4) der Versuchsfläche ist in Abb. 35 und Abb. 36 abgebildet. An beiden Standorten war die Korngrößenzusammensetzung über die Tiefenstufen (T) hinweg nahezu homogen, da es sich um Solummaterial, das vom Hang oberhalb der Versuchsfläche eingetragen wurde, handelt. Der Boden der Parzelle AL1 ist durch einen hohen Schluffanteil charakterisiert, der im Mittel über vier Tiefenstufen 61 % betrug. Der Tonanteil betrug im Mittel 26 % und Sande hatten einen Anteil von 12 % (Abb. 36). Die Bodenart in Parzelle AL1 ist als ein schluffiger Lehm (Lu) zu klassifizieren.

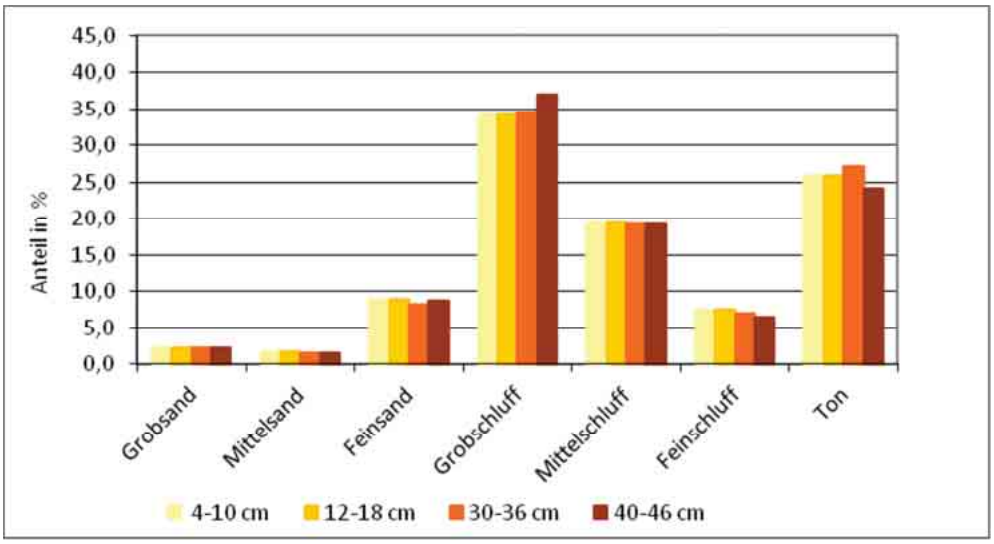

Abb. 35: Korngrößenverteilung in Block 1, Parzelle AL1 in vier Tiefenstufen.

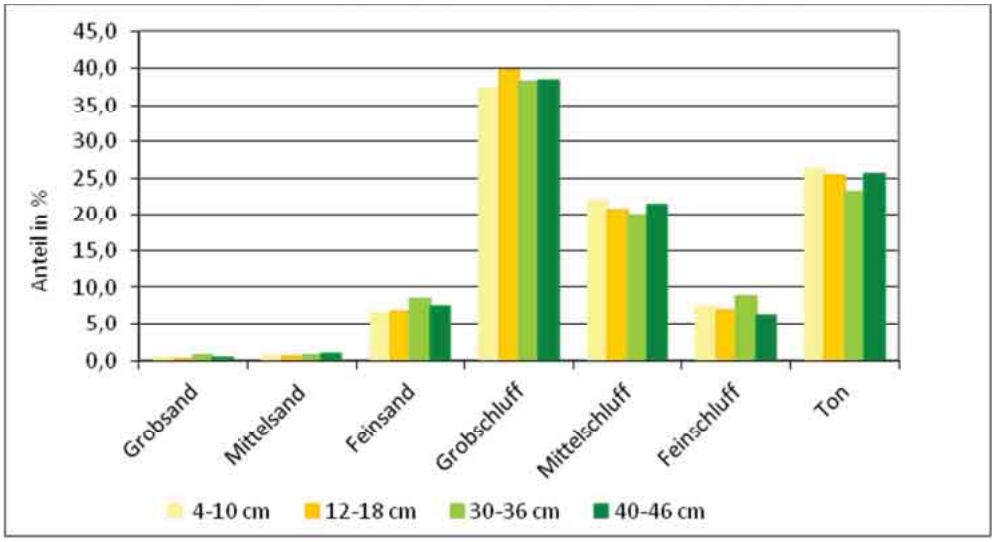

Abb. 36: Korngrößenverteilung in Block 4. Probenahme erfolgte in Parzelle KUP4 (Tiefenstufen 4 – 10 und 12 – 18 cm) und in Parzelle GL4 (Tiefenstufen 30 – 36 und 40 – 46 cm).

In Block 4 im östlichen Teil der Versuchsfläche waren kaum Grobsande vorhanden. Der mittlere Anteil der Sande war geringer als in Block 1 und betrug 8 %. Die Dominanz der Korngrößenfraktion Schluff nahm dagegen zu (Abb. 36). Der mittlere Anteil der Tone war annähernd gleich in beiden Blöcken. Die Bodenart in Block 4 ist ein schluffiger Ton (Tu4).

Gesamtporenvolumen

Die Gesamtporenvolumina (GP)unterschieden sich in der ersten Schicht (4 – 10 cm) deutlich zwischen den Behandlungsvarianten, aber kaum zwischen den Blöcken (Tab. 17). Die Parzellen AL1 und AL4 wiesen ein mittleres GPV von 61 und 60 Vol. % auf. Das mittlere GPV in der KUP1- und KUP4-Parzelle betrugt dagegen nur 54 und 52 Vol. %. In der zweiten Bodenschicht zeigte sich kein Trend mehr zwischen den Versuchsgliedern. In den beiden unteren Schichten, die nicht von bodenbearbeitenden Maßnahmen betroffen sind, war das GPV mittel bis gering und schwankte zwischen 38 und 44 Vol. % (T3) und zwischen 37 und 41 Vol. % (T4).

Tab. 17: Mittelwert der Gesamtporenvolumina (Vol. %) je Parzelle und Tiefenstufe in Block 1 und 4.

Schicht -Nr.	Tiefe in cm	AL1	GL1	KUP1	AL4	GL4	KUP4
1	4 – 10 cm	61,0	47,0	53,7	59,9	45,6	52,3
2	12 – 18 cm	51,7	44,6	45,7	40,2	44,5	47,8
3	30 - 36 cm	39,7	42,8	42,1	41,2	38,3	43,8
4	40 – 46 cm	40,9	39,4	38,3	39,4	36,9	38,0

Trockenrohdichte

Die Trockenrohdichte zeigte ebenfalls bewirtschaftungsbedingte, aber kaum standortsbedingte Unterschiede im Oberboden (4 – 10 cm). Die Trockenrohdichte betrug in den ersten Tiefenstufen der Parzellen AL1 und AL4 1,00 g/cm³ und 1,02 g/cm³. Die Trockenrohdichte unter KUP und GL erreichte höhere Werte (Tab. 18). In den zwei unteren Schichten, die nicht von bodenbearbeitenden Maßnahmen betroffen waren, betrug die Trockenrohdichte 1,50 bis 1,61 g/cm³ (T3) und 1,56 bis 1,65 g/cm³ (T4).

Tab. 18: Mittelwert der Trockenrohdichte (g/cm³) je Parzelle und Tiefenstufe in Block 1 und 4.

Schicht-Nr.	Tiefe in cm	AL1	GL1	KUP1	AL4	GL4	KUP4
1	4 – 10 cm	1,00	1,35	1,18	1,02	1,38	1,21
2	12 – 18 cm	1,24	1,42	1,39	1,53	1,43	1,34
3	30 - 36 cm	1,58	1,50	1,52	1,54	1,61	1,47
4	40 – 46 cm	1,56	1,60	1,63	1,59	1,65	1,62

Wasserleitfähigkeit

Die Wasserleitfähigkeit des Bodens in den untersuchten Parzellen und Tiefenstufen war sehr heterogen (Abb. 37). Hohe Wasserleitfähigkeiten (> 1000 cm/d) sind bedingt durch Bodenbearbeitung (AL1) oder lassen Makroporen (Regenwurmröhren) vermuten (z. B. AL4 in 40 - 46 cm sowie GL4 in

12 – 18 cm). Eine gesättigte Wasserleitfähigkeit (Kf < 10 cm/d) lag in den beiden unteren Tiefenstufen der Parzelle KUP1 vor.

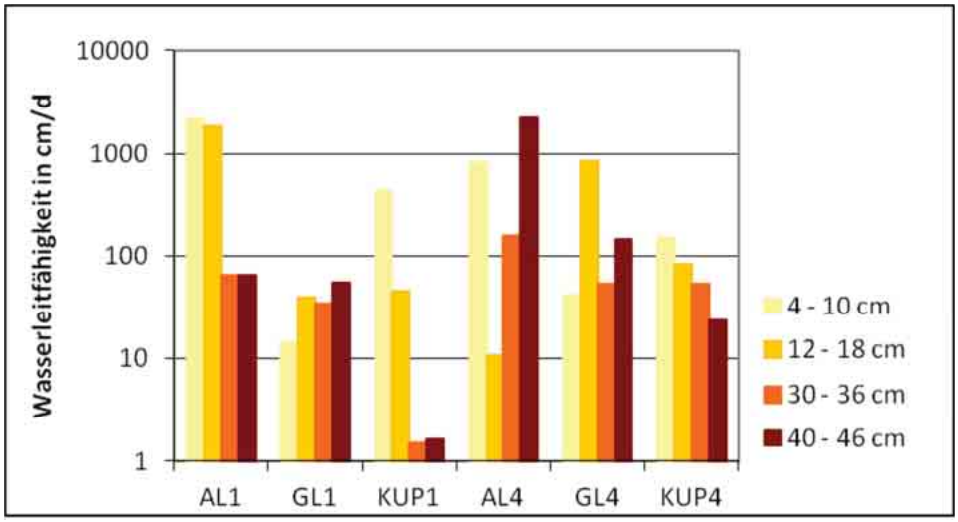

Abb. 37: Wasserleitfähigkeit (logarithmische Skalierung) in Block 1 und 4 in vier Tiefenstufen.

Luftkapazität

Entscheidend für die Bewertung der Funktionalität des Standorts ist neben der Wasserleitfähigkeit die Luftkapazität des Bodens. Hierbei zeigte sich der Standort ebenfalls sehr heterogen (Abb. 38). Eine Auflockerung des Bodens durch Bodenbearbeitung und eine damit einhergehende hohe Luftkapazität war in den Parzelle AL1 (TS 1 und 2) und AL4 (TS 1) erkennbar. Abgesehen von diesen Ausnahmen, stellt sich keine Variante als systematisch günstiger heraus. Die Luftkapazität für die anstehende Bodenart bei mittlerer Lagerungsdichte liegt laut Bodenkundlicher Kartieranleitung (AD-HOC-AG-BODEN 2005) bei 11 Vol. % (Block 1) und 5 Vol. % (Block 4). Vor allem in der Parzelle KUP1, aber auch in der Parzelle KUP4 wurden die meisten kritischen Luftkapazitätswerte (< 5 Vol.%) gemessen, die eine hohe Verdichtung kennzeichnen. In Verbindung mit der geringen Wasserleitfähigkeit (< 10 cm/d) kann in der Parzelle KUP1 von einer Schadverdichtung gesprochen werden.

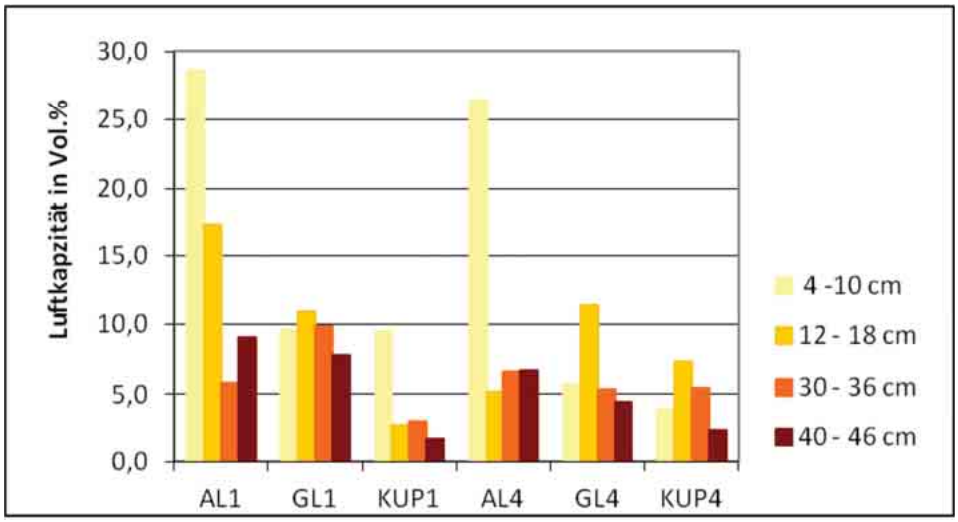

Abb. 38: Luftkapazität in Block 1 und 4 in vier Tiefenstufen.

4.3.2 Chemische Bodenparameter

Die dargestellten Ergebnisse des Bodenmonitorings umfassen für jeden Nährstoff zwei Aspekte – die Erstaufnahme im Frühjahr 2012 und die Änderungen im Oberboden (0 – 5 cm) im Untersuchungszeitraum vom Frühjahr 2012 bis Frühjahr 2015. Diese zwei Aspekte wurden in 2 m (ackerseitig) und 10 m Entfernung (gewässerseitig) vom angrenzenden Ackerschlag analysiert. In den folgenden Grafiken zeigt Abbildung a) die Ergebnisse für den ackerseitigen Bereich und Abbildung b) die Analysen für den gewässerseitigen Bereich der Versuchsfläche.

Mineralisierter Stickstoff

Die Erstaufnahme der chemischen Bodenparameter zeigte deutliche Unterschiede im N_{min}-Gehalt in 2 m und 10 m Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag, wobei die Gehalte im gewässerseitigen Streifen höher waren (Abb. 39a/b). Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede zeigten sich nur im oberen Bereich des Bodens. Im ackerseitigen Bereich der Versuchsflächen wies der Oberboden (0 – 5 cm) in den AL-Parzellen einen um 50 % höheren N_{min}-Gehalt als in den KUP- und GL-Parzellen auf. Im gewässerseitigen Streifen war der N_{min}-Gehalt sogar in den oberen 10 cm deutlich höher als in den anderen Versuchsgliedern. In den Tiefenstufen T3 bis T5 (10 - 90 cm) war der N_{min}-Gehalt in allen Parzellen annähernd gleich und betrug im Mittel über alle Versuchsglieder 0,71 g/100g im ackerseitigen Bereich und 0,95 g/100g im gewässerseitigen Bereich der Versuchsfläche.

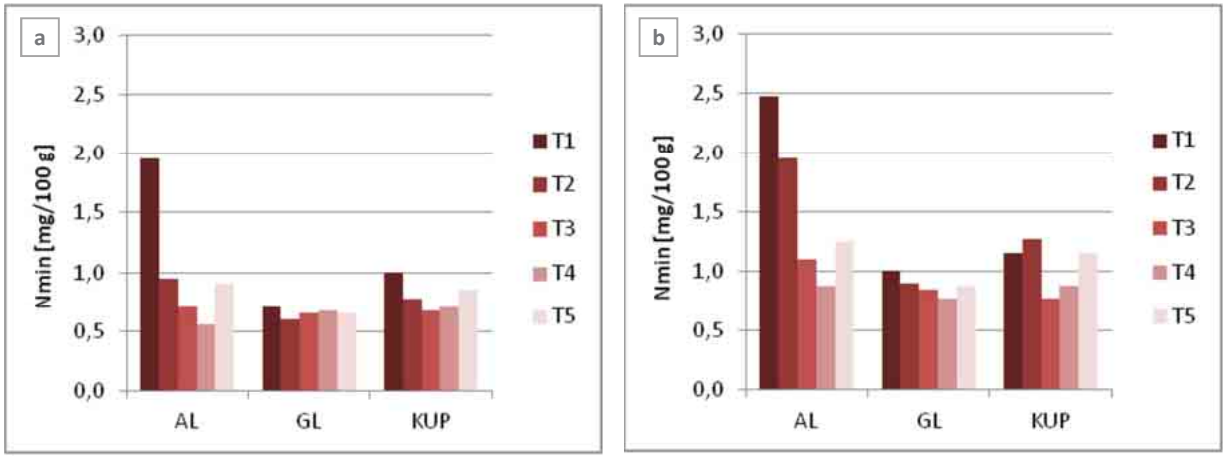

Abb. 39a/b: Erstaufnahme N_{min}-Gehalt in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm) in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag.

Die bodenchemischen Untersuchungen zeigten einen Rückgang der N_{min}-Gehalte unter allen Bewirtschaftungsvarianten in beiden untersuchten Streifen. Der N_{min}-Gehalt in den AL-Parzellen wies dazu starke jahreszeitliche Schwankungen zwischen den Frühjahres- und Herbstmessungen auf (Abb. 40a/b). Im Frühjahr 2013 und Herbst 2014 kam es zu einem kurzzeitigen Anstieg der N_{min}-Gehalte unter GL und KUP. Dieser Anstieg war in den GL-Parzellen im ackerseitigen Bereich und in den KUP-Parzellen im gewässerseitigen Bereich am stärksten ausgeprägt.

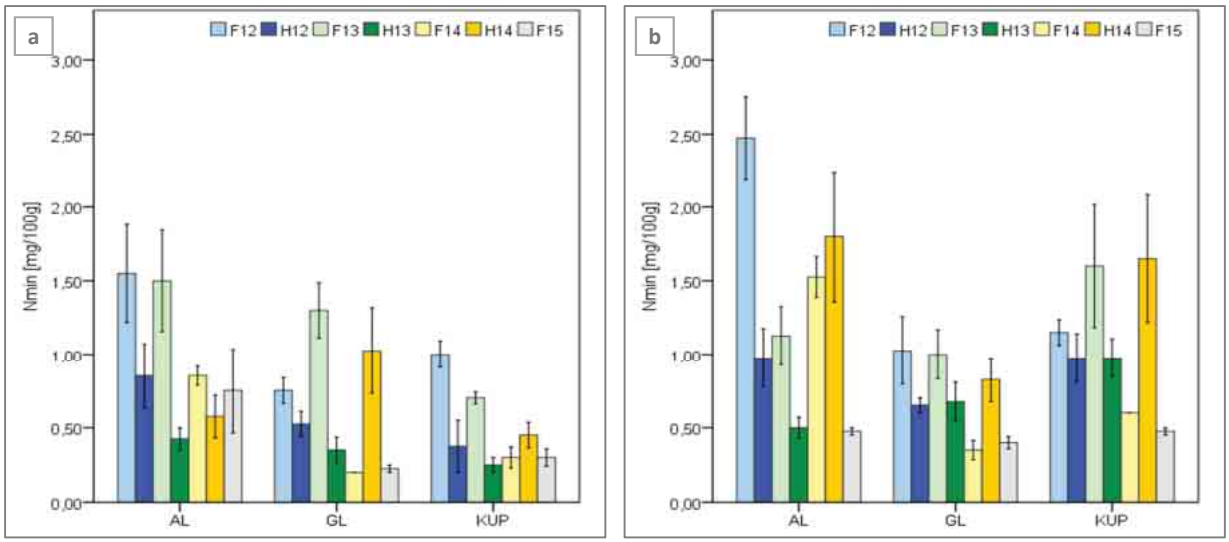

Abb. 40a/b: N_{min}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst).

Gesamtstickstoff

Der Gesamtstickstoffgehalt im Boden zeigte bei der Erstaufnahme im Frühjahr 2012 keine bewirtschaftungsbedingten, dafür aber standortbedingte Unterschiede in den oberen 10 cm (Abb. 41a/b). Der Mittelwert über alle Parzellen betrug in 2 m Entfernung vom erosionsgefährdeten Ackerschlag in der Tiefenstufe 1 (0 - 5 cm) 0,22 % und in 10 m Entfernung 0,31 %, das entspricht einer Steigerung um 41 %. In 5 bis 10 cm Tiefe wurde ein N_{ges}-Gehalt von 0,19 % ackerseits und 0,28 % gewässerseits gemessen. Die Analyse der tiefer liegenden Bodenschichten ergab keine Unterschiede zwischen den Streifen. Der mittlere N_{ges}-Gehalt auf der Versuchsfläche betrug 0,17 % (T3), 0,13 % (T4) und 0,11 % (T5).

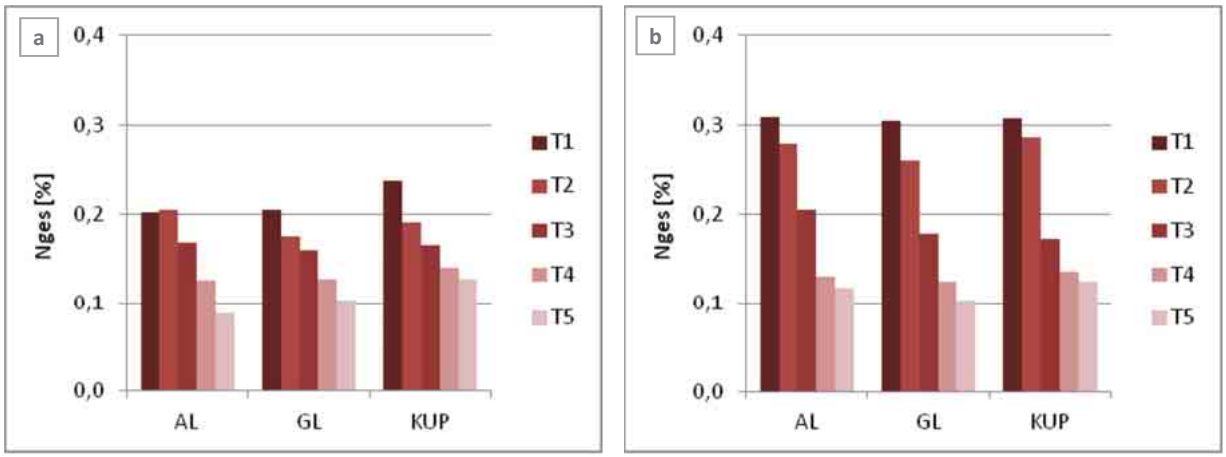

Abb. 41a/b: Erstaufnahme N_{ges}-Gehalt in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm) in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag.

Der N_{ges}-Gehalt im Oberboden (0 - 5 cm) im ackerseitigen Bereich der Versuchsfläche zeigte keinen klaren zeitlichen oder bewirtschaftungsbedingten Trend (Abb. 42a/b). In den AL-Parzellen waren im Herbst 2013 und Frühjahr 2014 die N_{ges}-Gehalte am geringsten. Im gewässerseitigen Bereich kam es im Herbst 2013 zu einem deutlichen Rückgang des N_{ges}-Gehalts. Der N_{ges}-Gehalt sank auf 0,19 %, was einer Reduktion des N-Gehalts im Vergleich zum Frühjahr 2012 um 38 % entspricht. Unter GL

wurden im Herbst 2012 und Frühjahr 2015 die geringsten N_{ges}-Gehalte gemessen. Unter KUP zeigten sich auch im gewässerseitigen Bereich keine Trends.

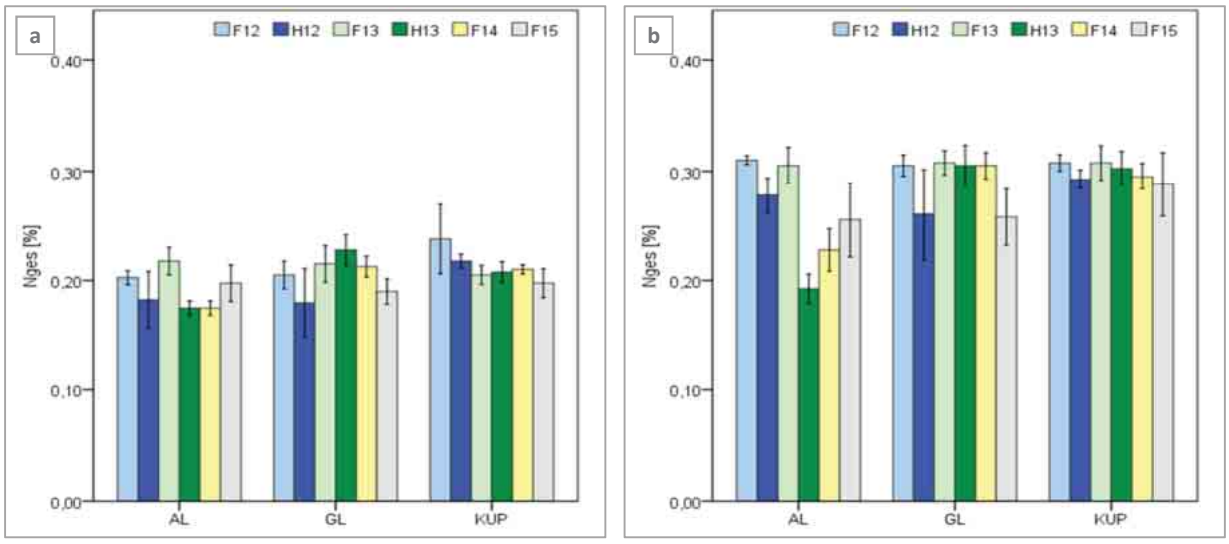

Abb. 42a/b: N_{ges}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst).

Pflanzenverfügbarer Phosphor

Der pflanzenverfügbare Phosphorgehalt (P_{cal}) im Boden wies standortbedingte Unterschiede in den ersten 30 cm auf (Abb. 43a/b). In den oberen beiden untersuchten Bodenschichten T1 (0 – 5 cm) undT2 (5 – 10cm) war der P_{cal}-Gehalt im gewässerseitigen Bereich fast doppelt so hoch wie im ackerseitigen Bereich.

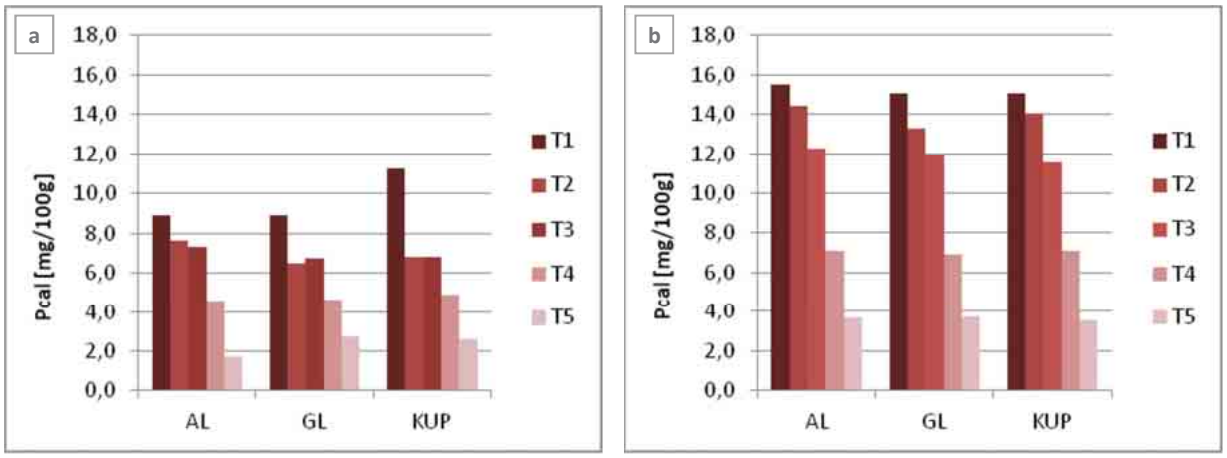

Abb. 43a/b: Erstaufnahme P_{cal}-Gehalt in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm).

Im Untersuchungszeitraum änderte sich der P_{cal}-Gehalt im ackerseitigen Bereich unter allen Bewirtschaftungsoptionen kaum (Abb. 44a/b). Im Gewässerseitigen Bereich sank der P_{cal}-Gehalt in den AL-Parzellen von 15,5 mg/100g im Frühjahr 2012 auf 11,3 mg/100g im Frühjahr 2015. Die Nährstoffversorgung ist aber immer noch als sehr gut einzuschätzen. Unter Grünland gab es keine nennenswerten Änderungen im P_{cal}-Gehalt des Oberbodens. Der niedrigere Wert im Frühjahr 2015 war bedingt durch einen sehr geringen P_{cal}-Gehalt in der Parzelle GL2. Die P_{cal}-Gehalte in den

anderen Parzellen lagen zwischen 12,6 und 17,7 g/100g. Unter KUP konnte ein leichter Anstieg des P_{cal}-Gehalts im Herbst 2013 gemessen werden.

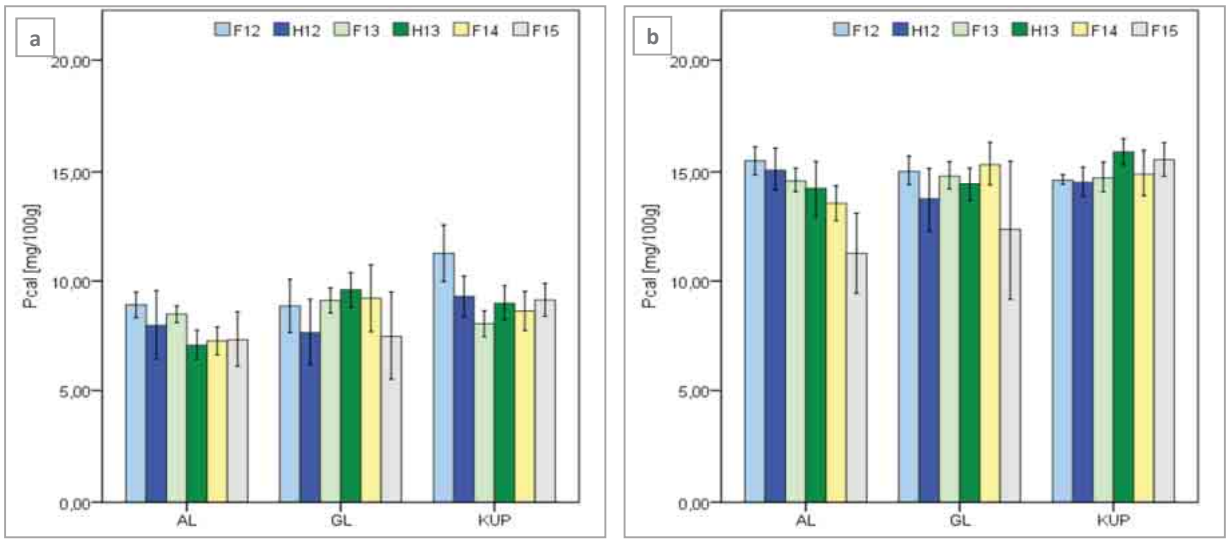

Abb. 44a/b: P_{CAL}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst).

Gesamtphosphor

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Nährstoffen zeigte der Gesamtphosphorgehalt (P_{ges}) nur geringe Unterschiede innerhalb der Versuchsfläche (Abb. 45a/b). Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede waren ein Jahr nach der Etablierung der Fläche nicht erkennbar. Der P_{ges}-Gehalt der oberen drei Tiefenstufen (T1 - T3) war annähernd gleich und betrug im Mittel über alle Parzellen 0,90 % P ackerseits und 0,97 % P gewässerseits. Der P_{ges}-Gehalt in den Tiefenstufen 4 und 5 zeigte keine standortsbedingten Abweichungen. Der Mittelwert über beide Standorte und alle Versuchsglieder ergab 0,80 % P in 30 bis 60 cm Tiefe und 0,68 % P in 60 bis 90 cm Tiefe.

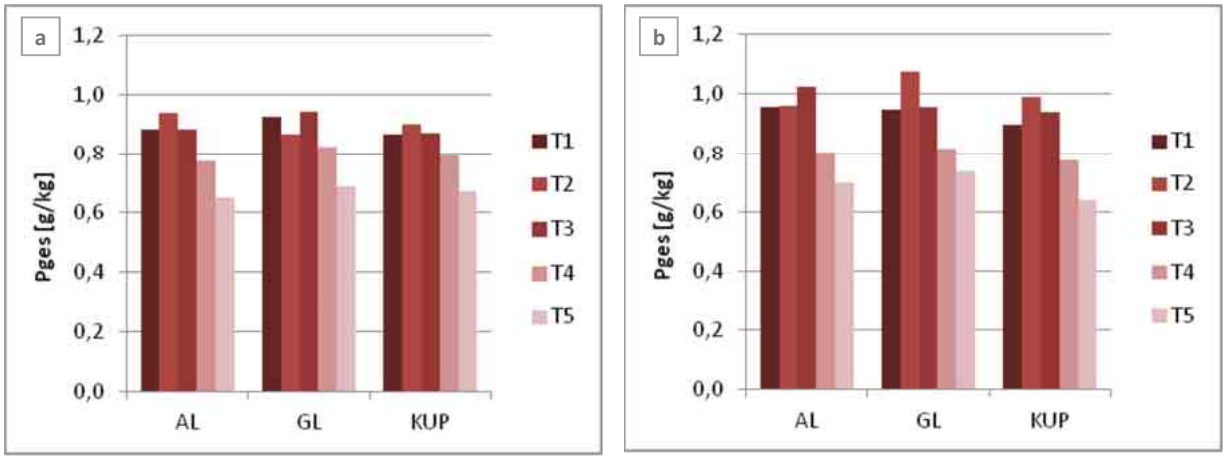

Abb. 45a/b: Erstaufnahme Pges-Gehalt in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm).

Der Gesamtphosphorgehalt des Bodens zeigte unter ackerbaulicher Nutzung keine signifikanten Änderungen im Untersuchungszeitraum. Unter Grünland wurden im Herbst 2013 leicht erhöhte Werte im ackerseitigen und gewässerseitigen Bereich der Versuchsfläche gemessen (Abb. 46a/b). Ein

Anstieg des P_{ges}-Gehalts trat ebenfalls unter KUP insbesondere im gewässerseitigen Bereich auf. Dort kann es zu einem Anstieg um 28 % von 0,90 auf 1,15 P g/kg.

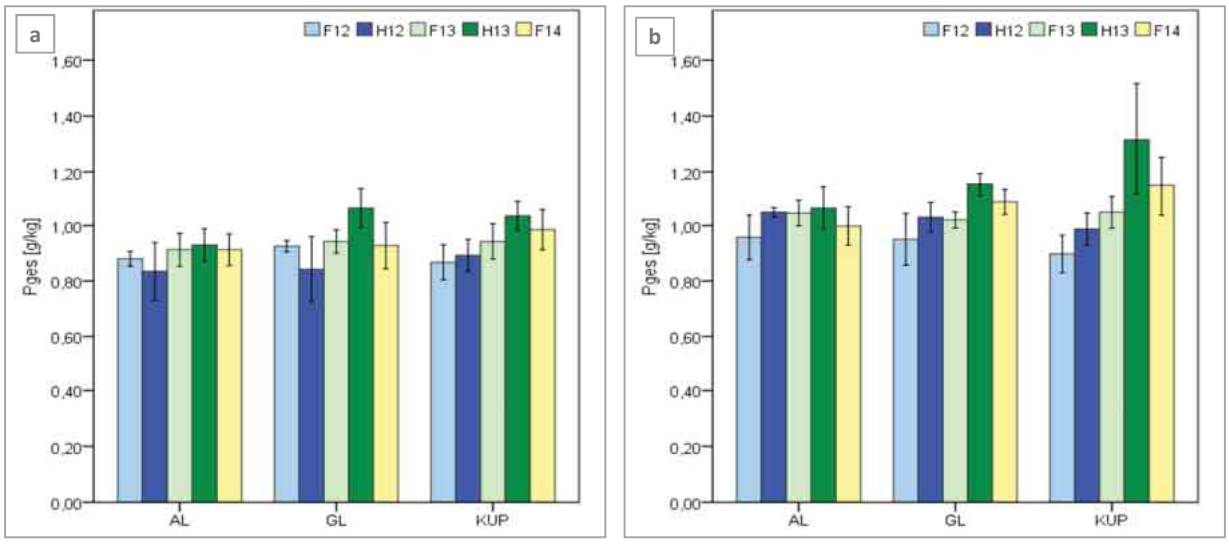

Abb. 46a/b: P_{ges}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst).

Organsicher Kohlenstoff

Bei der Analyse des organischen Kohlenstoffgehalts des Bodens im ackerseitigen und gewässerseitigen Bereich der Versuchsfläche zeigten sich nur standortbedingte Unterschiede in den ersten 10 cm. Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen des C_{org}-Gehalts konnten im Frühjahr 2012 nicht festgestellt werden (Abb. 47a/b). Im Mittel über alle Parzellen lag der C_{org}-Gehalt im ackerseitigen Bereich bei 1,83 % (T1) und 1,66 % (T2). Im gewässerseitigen war der C_{org}-Gehalt ca. 50 % höher und betrug 2,82 % in der Tiefenstufe 1 und 2,59 % in der Tiefenstufe 2.

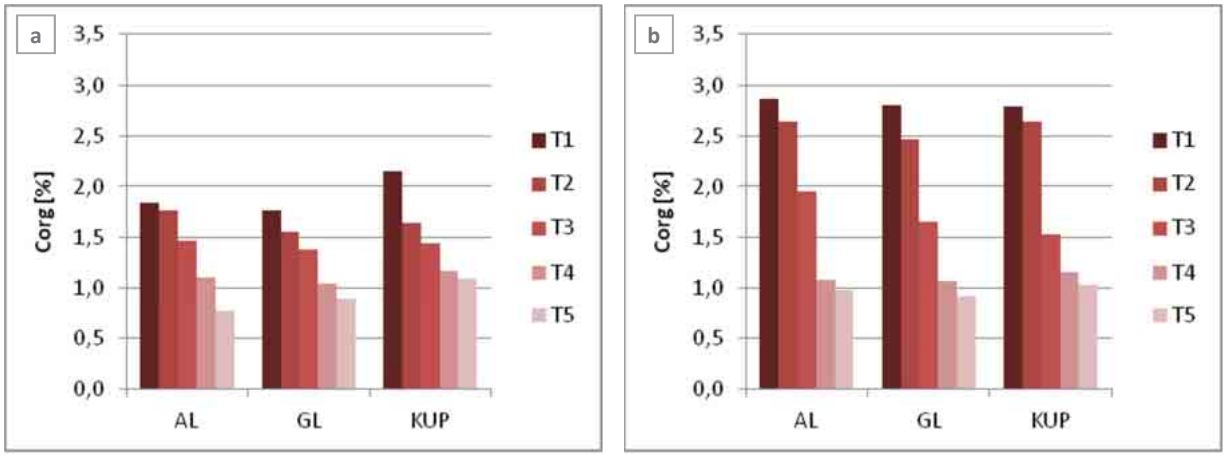

Abb. 47a/b: Erstaufnahme C_{org}-Gehalt im Boden in 2 m (a) und 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Tiefenstufen T1 bis T5 (0 – 5, 5 – 10, 10 – 30, 30 – 60 und 60 – 90 cm).

Die Entwicklung des C_{org}-Gehalts zeigte im Untersuchungszeitraum unter Ackerland und Grünland starke Schwankungen besonders im gewässerseitigen Bereich (Abb. 48a/b). Der C_{org}-Gehalt unter KUP sank bis zum Frühjahr 2013 und blieb ab Herbst 2013 auf einem konstanten Niveau.

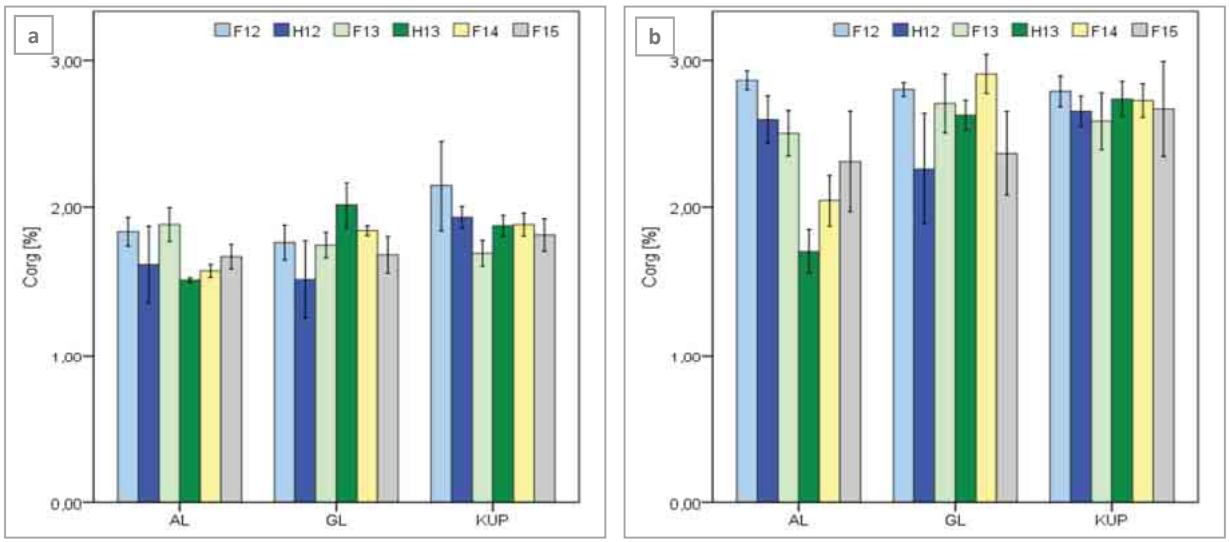

Abb. 48a/b: C_{org}-Gehalt in 0 – 5 cm in 2 m (a) sowie 10 m (b) Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015 (F = Frühjahr, H = Herbst).

4.4 Großberegnungsversuch

Der Großberegnungsversuch wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt. Die Bodenfeuchte vor der Beregnung betrug 16 %. Die Bewässerung am ersten Tag diente dazu, die Bodenfeuchtigkeit der Parzellen zu erhöhen und gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. Dazu wurden alle Parzellen mit ca. 50 mm bewässert bis der erste Oberflächenabfluss auftrat. Die Bodenfeuchte am folgenden Morgen vor dem Beregnungsversuch betrug 21,6 %.

Pro Versuchsglied gab es zwei nebeneinander liegende Beregnungsparzellen (Abb. 13, Abb. 49). Eine endete direkt an der Grenze zwischen dem Ackerschlag und der Versuchsfläche (kurze Parzelle), die andere reichte zwei Meter in die Versuchsparzelle hinein (lange Parzelle). In den Beregnungsparzellen, oberhalb der GL- und AL-Parzellen, waren schon kurz nach dem Beginn der Bewässerung erste Rinnsale zu erkennen und nach 40 Minuten erreichte der Oberflächenabfluss die Grenze zwischen dem Ackerschlag und der Versuchsfläche. In den KUP-Beregnungsparzellen kam es erst nach drei Stunden zum ersten Oberflächenflächenabfluss in das Sammelbecken. Ursächlich dafür waren kleine Senken in der Parzelle und an der Grenze zwischen dem Ackerschlag und der Versuchsfläche, die bei der Anlage des Versuchs nicht erkennbar waren. Die GL- und AL-Parzellen wurden mit ca. 50 mm beregnet, das entspricht ungefähr 1200 l auf den kurzen Parzellen und 1400 l auf den langen Parzellen. In den KUP-Parzellen wurde mit 78 mm beregnet.

Die im Oberflächenabfluss mitgeführten Bodenpartikel konnten nur für die Parzellen AL_{kurz}, Al_{lang} und GL_{lang} analysiert werden, da in den Auffangbehältern der anderen Parzellen nicht genügend Bodenmaterial vorhanden war. Hauptsächlichen wurden Schluffe und Tone transportiert. Der Anteil betrug 95 %. Folgende Nährstoffgehalte wurden gemessen: 1,31 g P_{cal}/100g, 0,91 g P_{ges}/kg und 0,15 % N_{ges}. Der Gesamtphosphor- und der Gesamtstickstoffgehalt entsprechen ungefähr den Gehalten in den Schwebstoffen im Bennebach. Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Phosphor liegt unter den im Bennebach gemessenen Werten.

Der Nährstoffgehalt im Oberflächenabfluss zeigt keine systematischen Unterschiede zwischen der Variante Ackerland und Grünland. In der KUP-Beregnungsparzelle kam es nur zu geringem (KUP_{kurz}) bzw. gar keinem Abfluss (KUP_{lang}). Die Nährstoffgehalte betrugen im Mittel über die Parzellen AL_{kurz}, Al_{lang}, GL_{kurz}, GL_{lang} für Ammonimumnitrat 3,17 mg/l und orthophosphat-Phosphor 0,18 mg/l.

Abb. 49: Beregnungsversuch.

4.5 Jahreszeitlicher Verlauf des Deckungsgrads und der Höhe der Vegetation

Deckungsgrad der krautigen Schicht, der Moose und der Streu

Die krautige Schicht in den GL- und KUP-Parzellen wies meist einen mittleren Deckungsgrad von mehr als 60 % auf (Abb. 50). Direkt nach dem Mulchen (19.09.2013) und im Frühjahr (06.03.2013 und 19.02.2014) war die Deckung der krautigen Schicht deutlich geringer und lag bei 24 % (*SD* = 14), 33 % (*SD* = 23) und 28 % (*SD* = 20).

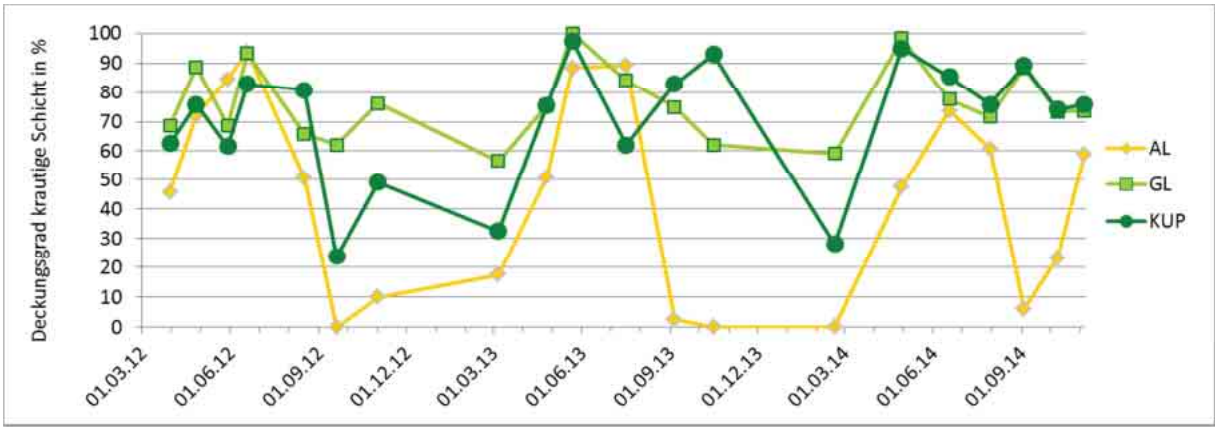

Abb. 50: Mittlerer Deckungsgrad der krautigen Schicht der Versuchsvarianten AL, GL und KUP (N=12).

Der durchschnittliche Deckungsgrad der krautigen Schicht in den AL-Parzellen schwankte im Projektzeitraum, bedingt durch die Bewirtschaftung mit annueller Kulturen, zwischen 0 % und 90 %. In

Abhängigkeit von der Fruchtfolge variierte der Zeitraum ohne oder mit geringer Bodendeckung deutlich.

Winterweizen, gedrillt Anfang Oktober 2012, wies während der Vegetationsruhe nur eine geringe Deckung von 10 % (*SD* = 0) auf. Im Frühjahr stieg der Deckungsgrad schnell an, erreichte Ende April 51 % (*SD* = 3) und im Mai 2013 die maximale Deckung von rund 90 %. Nach der Weizenernte im August 2013 war der Deckungsgrad der krautigen Schicht in den AL-Parzellen bis zur Aussaat des Sommerweizens Ende Februar 2014 nahezu Null. Ende April 2014 wurde eine mittlere Bodendeckung von 48 % (*SD* = 6, N = 12, 29.04.2014) erreicht. Dagegen wies der Winterraps, der im Sommer 2011 und 2014 angebaut wurde, schon zu Beginn der Vegetationsruhe eine hohe Deckung auf. Im Herbst 2014 betrug die Deckung des Rapses bereits 59 % (*SD* = 20).

Der Deckungsgrad der Streu unterschied sich deutlich zwischen den Versuchsvarianten (Abb. 51). Auf den Ackerparzellen befand sind, außer direkt nach Ernte, nur sehr wenig Streu. Der Deckungsgrad lag meist unter 10 % (*SD* = 21, N = 240). Auf den GL-Parzellen bedeckte die Streu durchschnittlich 18 % (*SD* = 12, N = 228) der Fläche. In den KUP-Parzellen erreichte die Streu die höchste Deckung, die bedingt durch die Pflegemaßnahmen stark variiert.

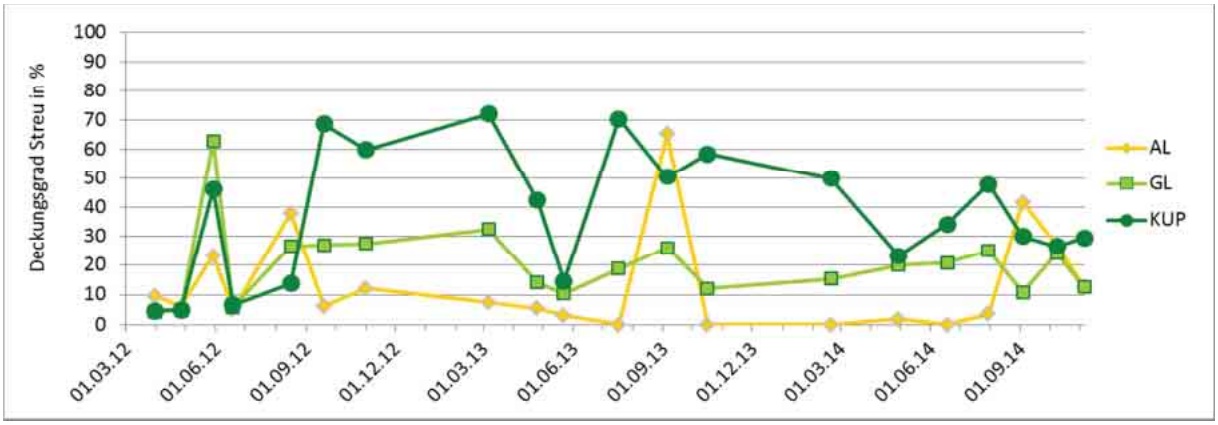

Abb. 51: Mittlerer Deckungsgrad der Streu in den Versuchsvarianten Ackerland (AL), Grünland (GL) und KUP (N=12).

Moose hatten einen mittleren Deckungsgrad von 1,0 % unter Ackerkulturen, 3,2 % im Grünland und 2,5 % in der KUP. In den Sommermonaten war der Deckungsgrad der Moose geringer als in den Wintermonaten.

Höhe der krautigen Schicht

Abb. 52 zeigt den Jahresgang der mittleren Pflanzenhöhe in den Versuchsgliedern im Zeitraum März 2012 bis November 2014. In den Sommermonaten erreichten die Pflanzen ihre artspezifische Höhe. Die mittlere Höhe der Vegetation in den GL- und KUP-Parzellen zeigte einen annähernd gleichen jahreszeitlichen Verlauf. Die maximale Wuchshöhe der Bodenvegetation war in allen Versuchsgliedern im Durchschnitt 20 cm höher als die mittlere Pflanzenhöhe.

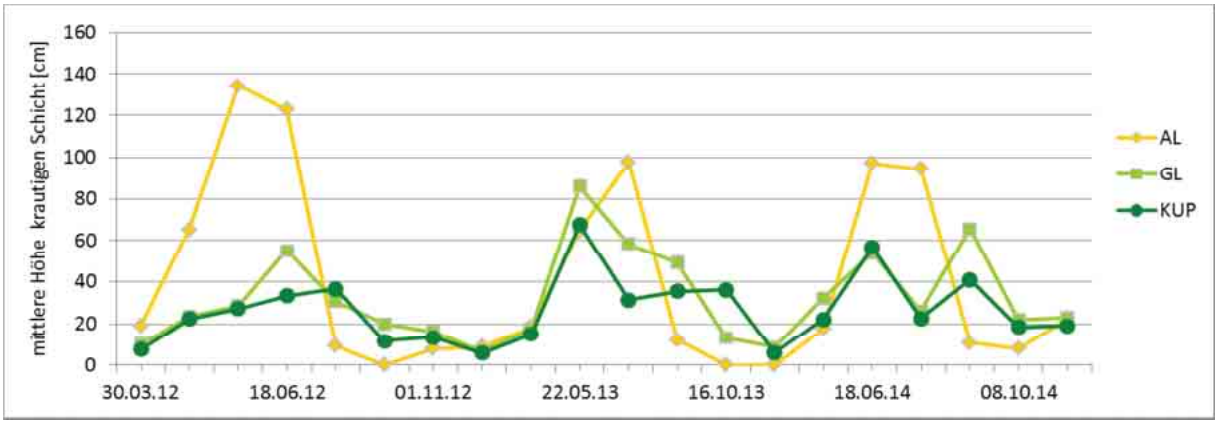

Abb. 52: Mittlerer Höhe der krautigen Schicht in den Versuchsvarianten Ackerland (AL), Grünland (GL) und KUP.

4.6 Biomasseproduktion der Versuchsglieder

Biomasseproduktion und Nährstoffentzüge im Grünland

Das Luzernegras-Gemisch auf den GL-Parzellen wurde jährlich drei Mal geerntet. Im Jahr 2012 entfiel beim 1. Schnitt die Datenaufnahme. Die Erntemenge im Jahr 2012 und 2014 war im 2. und 3. Schnitt annähernd gleich. Zur Berechnung der jährlichen Biomasseproduktion im Jahr 2012 wurde daher für den 1. Schnitt die gleiche Menge wie im Jahr 2014 angenommen. Der mittlere jährliche Aufwuchs des Luzernegras-Gemischs betrug 104 dt TM/ha (2012), 143 dt TM/ha (2013) und 74 dt FM/ha (2014).

Der durchschnittlichen Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorgehalt des Luzernegrases betrug 2,77 % TM (*SD* = 0,46) und 0,28 % TM (*SD* = 0,03). Der Nährstoffentzug durch Ernte wurde im Zeitraum von 2012 bis 2014 auf insgesamt 1015 kg N/ha und 104 kg P/ha geschätzt. Die Nährstoffzufuhr durch Düngung im Untersuchungszeitraum betrug 150 kg N/ha. Unter der Annahme, dass die symbiotische N-Bindung unter Luzernegras im Mittel 0,31 kg/dt FM beträgt (HEß UND ZORN 2008), wurde die Nährstoffnachlieferung auf 605 kg N/ha in den Jahren 2012 bis 2014 geschätzt. Anhand der Nährstoffanalysen und Schätzwerte ergab sich ein Nährstoffsaldo (2012 bis 2014) von -260 kg N/ha und -104 kg P/ha auf den GL-Parzellen. Unter Einberechnung der N-Deposition aus der Luft, die in der Region auf 13 kg/ha/a geschätzt wird (UBA 2015), beläuft sich die N-Bilanz auf -221 kg/ha.

Biomasseproduktion und Nährstoffentzüge in den Ackerparzellen

Im Sommer 2012 konnte auf der Fläche ein Ertrag von 36,5 dt TM/ha Rapssamen und 34,1 dt TM/ha Rapsstroh erzielt werden. Der N-Gehalt im Korn und Stroh betrug 3,77 % TM und 0,91 % TM. Der P-Gehalt lag im Mittel bei 0,74 % TM im Korn und 0,014 % TM im Stroh. Dies entspricht einem Nährstoffentzug von 137,4 kg N/ha und 27,1 kg P/ha durch die Ernte der Rapssamen sowie einen Entzug von 31,6 kg N/ha und 0,5 kg P/ha durch die Entnahme des Rapsstrohs. Die Nährstoffgaben durch Düngen belaufen sich auf 200 kg/ha. Die Nährstoffbilanz beim Anbau von Raps auf der

Versuchsfläche belief sich auf einen N-Überschuss von 31,0 kg/ha und einen P-Defizit von 27,5 kg P/ha.

Im Sommer 2013 wurden 99,8 dt Winterweizen pro Hektar geerntet. Der TS-Gehalt des Korns lag bei 83,6 %. Unter der Annahme eines Nährstoffgehalts von 1,96 kg N/dt FM und 0,35 kg P/dt FM (TS = 86 % und Rohproteingehalt = 13 %, siehe FARACK et al. 2011) kann von einem Entzug von 190 kg N/ha und 25 kg P/ha ausgegangen werden. Gedüngt wurde mit 170 kg N/ha in zwei Gaben. Die Nährstoffbilanz belief sich -20,1 kg N/ha und -24,7 kg P/ha. Das Stroh verblieb auf der Fläche.

Im Sommer 2014 konnte ein Ertrag von 64,4 dt TM/ha Korn und 39 dt TM/ha Stroh erzeilt werden. Der Nährstoffgehalt betrug 2,6 % N und 0,54 % P im Korn sowie 0,58 % N und 0,07 % P im Stroh. Das ergab einen Nährstoffentzug von 167 kg N/ha und 37 kg P/ha durch die Ernte des Korns sowie 39,0 kg N/ha und 2,7 kg P/ha durch die Entnahme des Strohs. Die Nährstoffzufuhr erfolgte durch eine Düngergabe von 100 kg N/ha direkt nach der Aussaat. Die N-Bilanz war im 2014 ausgeglichen (-3,4 kg N/ha). Der P-Entzug betrug 37,8 kg/ha.

Die N-Bilanz war auf den AL-Parzellen im Untersuchungszeitraum ausgeglichen (+7,5 kg N/ha). Unter Einberechnung der atmosphärischen N-Düngung betrug die Bilanz 46,6 kg N/ha. Der P-Entzug durch Ernte beläuft sich auf 90 kg/ha im Untersuchungszeitraum.

Zuwächse in den KUP Parzellen

Für das Anwachsen von Steckruten und Heistern ist vor allem eine ausreichende Niederschlagsmenge in den Monaten März bis Mai wichtig. Im langjährigen Mittel (1961 - 1990) fielen in diesen Monaten 132 mm. Allerdings lag die Niederschlagsmenge sowohl im Frühjahr 2011 als auch 2012 mit jeweils 54 und 61 mm deutlich darunter. Diese geringen Niederschläge in der Anwuchsphase stellten ein großes Problem bei der Etablierung der KUP dar.

In der Parzelle KUP Z1 kam es 2011 wegen der Trockenheit und der Verdichtung des Unterbodens, die ein tiefes Einbringen bei gutem Bodenschluss nahezu unmöglich machte, zum Totalausfall der Pappeln. Neben der Trockenheit führten Fege- und Verbissschäden durch Rehwild zum Absterben von Weidenruten und Erlen. Durch die hohe Austriebskraft der Weide, bildeten sich aber im unteren Bereich der geschädigten Steckruten neue Triebe. Die Ausfallquote der Weiden lag bei 16 %. Von der Erlenheistern (KUP Z2) trieben 70 % im Frühjahr 2012 wieder aus. Auf allen KUP Parzellen erfolgte ein Nachpflanzen der Ausfälle im März 2012. Da die Niederschläge in diesem Frühjahr wieder sehr spärlich ausfielen, wurden die neu gesetzten Pflanzen bewässert. Zum dauerhaften Schutz gegen Schädigungen durch Wild umgibt seit Mai 2012 ein Zaun alle KUP-Parzellen.

Im Herbst 2014 wurde bei allem Baumarten - Pappel, Weide und Erle - ein deutlicher Dickenzuwachs von über 30 % in 1,30 m Höhe (Abb. 53) und von über 25 % am Wurzelhals gemessen. Die größten Zuwächse hatte die Erle. Der Höhenzuwachs in der Vegetationsperiode 2014 betrug für die Pappel 0,2 m, die Erle 0,5 m und die Weide 0,8 m (Abb. 54).

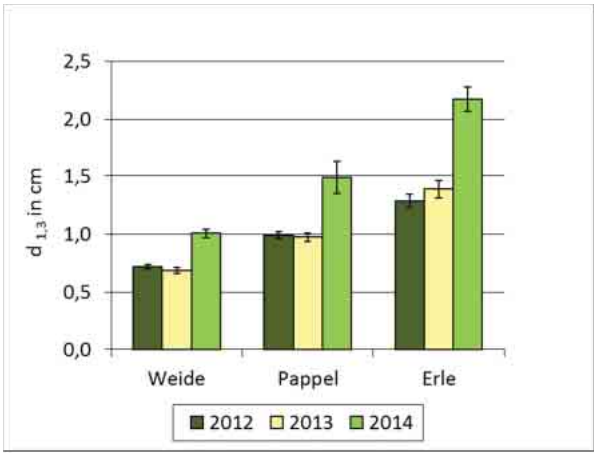

Abb. 53: Mittlerer Brusthöhendurchmesser 2012 – 2014. Die Fehlerbalken zeigen die Standard-abweichung.

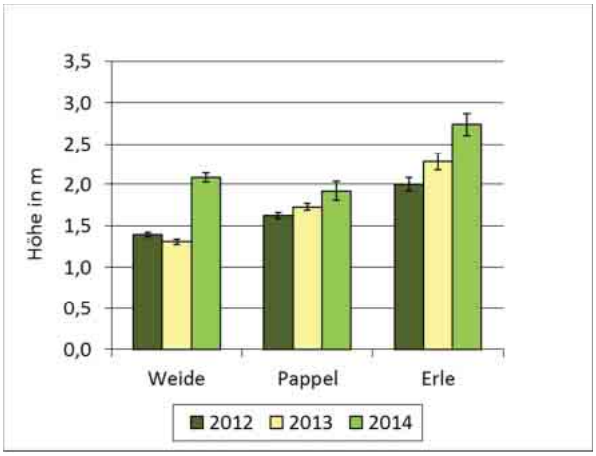

Abb. 54: Höhenzuwachs in den Jahren 2012 – 2014. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung.

Auf eine Ertragsschätzung in den KUP-Parzellen wurde verzichtet, da die gängigen Modelle im Jugendstadium sehr nur grobe Schätzungen ermöglichen.

4.7 Artenzusammensetzung in der krautigen Schicht

In den Ackerparzellen wuchsen neben der Hauptkultur in allen Jahren nur wenige andere Pflanzenarten. Die auftretenden Arten waren typische Vertreter der Ackerunkräuter, wie die Gemeine Quecke (*Agropyron repens ssp.repens* (L.) P.B.), Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* (L.) SCOP.) sowie Acker-Winde (*Convolvulus arvensis* L.) und hatten eine sehr geringe Deckung (< 5 %). Im Raps wurden 2012 die meisten Arten (20) erfasst. Im Winterweizen (2013) und Sommerweizen (2014) lag die Artenzahl bei 6 und 9 Arten.

Die Artenanzahl in den KUP-Parzellen war deutlich höher. Unter den Gräsern dominierten folgende Arten: Gemeine Quecke, Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis* L.), Wiesen-Lieschgras (*Phleum pratense* L.), Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis* L.) und Gewöhnliches Knäuelgras (*Dactylis glomerata* L.). Bei den krautigen Pflanzen wiesen der Gewöhnliche Löwenzahn (*Taraxacum sect. Ruderalia* KIRSCHNER, H.ØLLG. & ŠTÌPÁNEK), die Acker-Kratzdistel, der Stumpfblättrige Ampfer (*Rumex obtusifolius* L.), die Große Klette (*Arctium lappa* L.) und das Gewöhnliche Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris* (L.) MED.) die höchste Deckung auf. Diese Pflanzen sind typische Vertreter auf Ruderalstandorten und bevorzugen nährstoffreiche Standorte. Die Große Klette und der Stumpfblättrige Ampfer kommen dazu häufig in Gewässernähe vor.

Ein Hauptbestandteil der Vegetation im Grünland war die Luzerne. Neben der Luzerne wiesen die Gemeine Quecke und das Gewöhnliche Knäuelgras eine hohe Deckung auf. Das Wiesen-Rispengras, das Wiesen Lieschgras und das Deutsche Weidelgras (*Lolium prenne* L.) waren regelmäßig auf den Vegetationsplots vertreten. Diese Arten, mit Ausnahme der Gemeinen Quecke, waren Bestandteil der der Saatmischung, die im Frühjahr 2011 ausgebracht wurde. Weitere 25 krautige Pflanzenarten

kamen vereinzelt (Deckung < 5 %) auf den Untersuchungsplots vor. Davon war nur der Gemeine Löwenzahn regelmäßig, das heißt auf mehr als der Hälfte der Plots, vertreten.

4.8 Rechtliche Rahmenbedingungen

4.8.1 Rahmenbedingungen bei der Anlage und Bewirtschaftung einer KUP

Die Baumartenwahl, Anlage, Pflege, Erntezyklen, Rückumwandlung und nicht zuletzt die Beihilfefähigkeit einer KUP regeln diverse Gesetzte. Die wichtigsten Rechtsgrundlagen einer KUP und im speziellen einer KUP am Gewässerrand sind zusammenfassend dargestellt. Ergänzend zu der Bundesgesetzgebung werden die rechtlichen Rahmenbedingung in den Ländern Mitteldeutschlands (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) betrachtet.

Beihilfefähigkeit

Der Anbau schnellwachsender, stockausschlagfähiger Gehölzarten auf landwirtschaftlich genutzten Flächen gilt laut VO (EG) 1120/2009 als Dauerkultur. Damit bleibt die Fläche unter folgenden Voraussetzungen beihilfefähig:

- Anbau zugelassener, förderfähiger Baumarten laut Bekanntmachung Nr. 05/10/31 und 15/10/31 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE-Liste, siehe Abschnitt zur Baumartenwahl)
- maximale Umtriebszeit von 20 Jahren, das heißt die Gehölze müssen mindestens aller 20 Jahre geerntet werden
- Mindestgröße der landwirtschaftlichen Parzelle beträgt 0,3 ha (Invekos §8)

Zulassungsbestimmungen für die Anlage einer KUP

In den meisten Bundesländern bedarf die Anlage einer KUP auf ackerbaulich genutzter Fläche keiner Genehmigung. Auf Grünland, das am 1. Januar 2015 als FFH-Fläche ausgewiesen war, gilt ein absolutes Umwandlungsverbot (Ausnahmen sind nur für Flächen, die im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen umgewandelt werden möglich). Auf allen anderen Dauergrünlandflächen ist theoretische eine Umwandlung nach Genehmigung möglich, sofern keine Versagungsgründe vorliegen und gekoppelt an die Pflicht Ersatzgrünland zu schaffen. In der Praxis ist aber eine Umwandlung von Dauergrünland zu KUP kaum eine Option.

Striktere Regelungen gelten dagegen z. B. in Baden-Württemberg. Seit Ende 2011 gibt es eine generelle Genehmigungspflicht für KUP ab einer Größe von 0,2 ha (Landwirtschafts- und Landeskulturgesetz, gültig ab 17.11.2011) und eine Anzeigepflicht für kleinere KUP. Auf Dauergrünland größer als 0,2 ha ist die Anlage einer KUP, auf Grund des generell geltenden Umwandlungsverbots in Baden-Württemberg, nicht möglich.

Bei der Planung der Fläche regelt das **Nachbarschaftsgesetz** des jeweiligen Bundeslands den einzuhaltenden Mindestabstand zu Flächen anderer Eigentümer. Falls diese Regelungen fehlen,

gelten die zivilrechtlichen Bestimmungen des Bürgerlichen Gesetzbuchs (BGB). Die Mindestabstände sich abhängig von der Nutzungsart des angrenzenden Grundstücks und der Baumhöhe. In Mitteldeutschland gelten folgende Regelungen:

(1) Thüringer Nachbarrechtsgesetz (ThürNRG) §44 bis §46

In Thüringen beträgt der Mindestabstand zum Nachbargrundstück im Normalfall 4 m. Wird das angrenzende Grundstück (a) für Weinbau, (b) landwirtschaftlich, erwerbsgärtnerisch oder nach Art eines Kleingartens genutzt (Ausnahme: durch den Bebauungsplan ist eine andere Nutzung festgelegt bzw. vorbehalten), ist ein Abstand von 8 m einzuhalten. Die Abstandsregelungen entfallen, wenn die Anpflanzung an Grenzen zu Gewässern und zum Schutze von erosions- oder rutschgefährdeten Böschungen oder steilen Hängen erfolgt.

(2) Sächsisches Nachbarrechtsgesetz (SächsNRG) §9 bis §16

In Sachsen ist ein Abstand von einem Meter zwischen Bäumen und dem Nachbargrundstück außerhalb eines Ortsteiles einzuhalten. Wird das Grundstück des Nachbarn landwirtschaftlich genutzt, beträgt der Abstand mindestens 0,75 m und bei einer Beeinträchtigung durch Schattenwurf 3 m. Diese Regel gilt nicht, wenn die Fläche an ein Gewässer grenzt.

(3) Nachbarschaftsgesetz (NbG) Sachsen-Anhalt §33 bis §36

In Sachsen-Anhalt ist maximal ein Abstand von sechs Meter zum Nachbargrundstück einzuhalten. Der Mindestabstand ist von der Wuchshöhe der Bäume abhängig. Auch in Sachsen-Anhalt gelten keine Abstandsauflagen an Gewässern und Uferböschungen.

Baumartenwahl und Pflanzgut

Die Baumartenwahl bei der Anlage einer KUP beschränkt sich auf die in Tab. 19 aufgelisteten Baumarten. Die höchsten Erträge können beim Anbau von Pappelhybriden erzielt werden. Die ertragreichsten und weitestgehend gegen Rost resistenten Pappelsorten in Thüringen sind die Max-Klone (*Populus nigra* x *P. maximowiczii*) und Hybride 275 (Ne=24) (*Populus trichocarpa* x *P. maximowiczii*). Die Ertragsleistung liegt je nach Standort zwischen 8 bis 12 t TM/ha/a. Weiden sind unter trockenen Bedingungen im Allgemeinen nicht so wüchsig wie Pappeln. Zudem wird die Weide gern von Rehwild verbissen und gefegt.

Tab. 19: Übersicht der zulässigen Baumarten.

Deutsche Bezeichnung		Botanische Bezeichnung
Gattung	Art	
Weide, alle Arten	alle Arten	*Salix spec.*
Pappeln, alle Arten	alle Arten	*Populus spec.*
Robinie	alle Arten	*Robinia pseudoacacia* L.
Erle, alle Arten	alle Arten	*Alnus spec.*
Birke, alle Arten	alle Arten	*Betula spec*.
Esche	Gemeine Esche	*Fraxinus excelsior* L.
Eiche	Steileiche	*Quercus robur* L.
	Traubeneiche	*Quercus petraea* (MATTUSCHKA) LIEBL.
	Roteiche	*Quercus rubra* L.

Bei der Anlage einer „Kurzumtriebs- oder Schnellwuchsplantage“ gilt das **Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG)**. Das FoVG dient dem Erhalt und der Verbesserung von hochwertigem und identitätsgesichertem forstlichem Vermehrungsgut, um den Wald mit seinen vielfältigen positiven Wirkungen und in seiner Leistungsfähigkeit zu fördern. Das FoVG regelt die Erzeugung, das Inverkehrbringen, sowie die Ein- und Ausfuhr von forstlichem Vermehrungsgut. Das FoVG gilt für alle in KUP angebauten Baumarten, außer der Weide (Anlage 1 zu § 2 FoVG).

Rechtliche Bestimmung bei Anlage einer KUP am Gewässer

Das **Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG)** kurz Wasserhaushaltsgesetz und das Wasserrecht der Bundesländer sind bei der Anlage einer KUP in gewässernähe zu beachten. Das WHG setzt die Ziele der WRRL in nationales Recht um. Der Zweck des Gesetzes ist in § 1 wie folgt formuliert:

> *WHG § 1 Zweck*
>
> *Zweck dieses Gesetzes ist es, durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen.*

Paragraph 27 des WHG formuliert die Bewirtschaftungsziele für natürliche Oberflächengewässer. Im Mittelpunkt steht das Erreichen eines guten ökologischen und chemischen Zustands der Oberflächengewässer durch das Vermeiden einer Verschlechterung bzw. Erhalt und Verbesserung des aktuellen Zustandes.

> *§ 27 Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer*
>
> *(1) Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht nach § 28 als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass*
>
> ***1. eine Verschlechterung ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands vermieden wird und***
>
> ***2. ein guter ökologischer und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden.***

Der § 38 setzt die Funktionen des Gewässerrandstreifens und die Rahmenbedingungen für die Bewirtschaftung fest. Die Funktionen des Gewässerrandstreifens sind laut WGH § 38 Abs.1: der Erhalt und die Verbesserung der ökologischen Funktion der oberirdischen Gewässer, die Wasserspeicherung, die Sicherung des Wasserabflusses und die Verminderung von Stoffeinträgen aus diffusen Quellen. Wenn nicht anders in der Ländergesetzgebung geregelt, ist der Gewässerrandstreifen fünf Meter breit. Aus wissenschaftlicher Sicht können KUP-Pufferstreifen zur Bewahrung bzw. Verbesserung dieser gewünschten ökologischen Funktionen des Gewässerrandstreifens beitragen. Jedoch beschränkt Absatz 4 des § 38 des WHG den Anbau von KUP in Gewässerrandstreifen. Die relevanten Passagen sind im Folgenden hervorgehoben:

WGH § 38 Gewässerrandstreifen

(1) Gewässerrandstreifen dienen der Erhaltung und Verbesserung der ökologischen Funktionen oberirdischer Gewässer, der Wasserspeicherung, der Sicherung des Wasserabflusses so-wie der Verminderung von Stoffeinträgen aus diffusen Quellen.

(2) ***Der Gewässerrandstreifen umfasst das Ufer und den Bereich, der an das Gewässer landseits der Linie des Mittelwasserstandes angrenzt. Der Gewässerrandstreifen bemisst sich ab der Linie des Mittelwasserstandes, bei Gewässern mit ausgeprägter Böschungsoberkante ab der Böschungsoberkante.***

(3) Der ***Gewässerrandstreifen ist im Außenbereich fünf Meter breit****. Die zuständige Behörde kann für Gewässer oder Gewässerabschnitte*

1. Gewässerrandstreifen im Außenbereich aufheben,

2. im Außenbereich die Breite des Gewässerrandstreifens abweichend von Satz 1 festsetzen,

3. innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile Gewässerrandstreifen mit einer angemessenen Breite festsetzen.

Die Länder können von den Sätzen 1 und 2 abweichende Regelungen erlassen.

(4) Eigentümer und Nutzungsberechtigte sollen Gewässerrandstreifen im Hinblick auf ihre Funktionen nach Absatz 1 erhalten. Im Gewässerrandstreifen ist verboten:

1. die Umwandlung von Grünland in Ackerland,

2. ***das Entfernen von standortgerechten Bäumen und Sträuchern, ausgenommen die Entnahme im Rahmen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft, sowie das Neuanpflanzen von nicht standortgerechten Bäumen und Sträuchern,***

3. …

4. die nicht nur zeitweise Ablagerung von Gegenständen, die den Wasserabfluss behindern können oder die fortgeschwemmt werden können.

Für die Anlage von KUP im Uferbereich von Oberflächengewässern bedeutet § 38 des WGH, dass diese auf Grünland (Abs. 4 Satz 1) rechtswidrig ist, da Energieholz als landwirtschaftliche Dauerkultur gilt und somit eine Umwandlung in Ackerland stattfindet. Aber auch im Falle, dass die ackerbauliche Nutzfläche bis an den Gewässerrand reicht, reglementiert Satz 2 den Anbau von KUP. Mit der Novellierung des Bundeswaldgesetzes fallen KUP nicht mehr unter den Waldbegriff und die Ernte von Energieholz ist somit keine forstwirtschaftliche Nutzung. Hier lässt sich jedoch aus fachlicher Sicht argumentieren, dass die Ernte von KUP-Streifen einer Ernte im landwirtschaftlichen Sinn gleichzusetzen ist und keine Entnahme im Sinne einer dauerhaften Entfernung der Bäume wie in der Forstwirtschaft entspricht. Im Gegensatz zu anderen Baumarten zeichnen sich KUP-Arten durch ein

hohes Stockausschlagvermögen aus und ein Aufwuchs von mehreren ein bis zwei Metern langen Trieben im Jahr nach der Ernte ist normal. Die Rückumwandlung von KUP zu einer anderen landwirtschaftlichen Kultur steht aber klar im Gegensatz zu § 38, Abs. 4 Satz 2. Daher sind vor Anlage eine KUP im Gewässerrandstreifen derzeit Absprachen mit der Unteren Wasserbehörde unbedingt erforderlich. Absatz 5 des § 38 des WHG bietet die Möglichkeit einer Einzelfallregelung in Bezug wenn „…überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit die Maßnahme erfordern oder das Verbot im Einzelfall zu einer unbilligen Härte führt“.

Die Bundesländer haben zum Teil abweichende Regelung z. B. bezüglich der Breite der Uferrandstreifen und der Ablagerung von Gegenständen. Für den Anbau von Energieholz gibt es auch in den Ländergesetzen keine expliziten Regelungen. Auch hier gilt, dass die Anlage einer KUP der Absprache mit der zuständigen Behörde bedarf. Die relevanten Passagen im Wassergesetz von Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt sind im Folgenden hervorgehoben.

Thüringer Wassergesetz (ThürWG) in der Fassung vom 18.08.2009

§ 67 Herstellung und Erhaltung eines naturnahen Gewässerzustandes

(1) Die Unterhaltung der Gewässer ist eine öffentlich-rechtliche Verpflichtung. Sie wird unter Beachtung der Ergebnisse der Gewässerschau nach Maßgabe der von der obersten Wasserbehörde eingeführten Richtlinien durchgeführt.

(2) ***Durch die Unterhaltung der Gewässer sind auch das natürliche Erscheinungsbild sowie die ökologischen Funktionen der Gewässer zu erhalten und zu pflegen. Dazu gehören insbesondere die Erhaltung oder die Neuanpflanzung einer standortgerechten Ufervegetation sowie die naturnahe Gestaltung des Uferbereiches*** *und die Bekämpfung von Schädlingen, die die Standsicherheit von Uferböschungen und Dämmen beeinträchtigen. Die Regelungen des Artenschutzes sind zu beachten. Den Belangen des Hochwasserschutzes, der Fischerei, der Energieversorgung, der Erholung und der Schifffahrt ist Rechnung zu tragen.*

§ 78 Schutz der oberirdischen Gewässer, der Ufer und der Uferbereiche

(1) Die Ufer der Gewässer einschließlich ihrer Befestigung und ihres Bewuchses sowie die Uferbereiche sind zu schützen.

(2) ***Als Uferbereich gilt die an die Gewässer angrenzende Fläche in einer Breite von zehn Meter bei Gewässern erster Ordnung, in einer Breite von fünf Meter bei Gewässern zweiter Ordnung jeweils landseits der Böschungsoberkante. Die Wasserbehörde kann wegen der Breite des Uferbereichs Ausnahmen zulassen.*** *Sie entscheidet im Streitfall über den Verlauf der Böschungsoberkante.* ***Im Uferbereich dürfen Bäume und Sträucher außerhalb von Wald nur beseitigt werden, wenn dies für den Ausbau oder die Unterhaltung des Gewässers, zur Verjüngung des Bestandes oder zur Gefahrenabwehr erforderlich ist.***

(3) ***Im Uferbereich von natürlichen Gewässern, die in der Regel ständig Wasser führen, darf Grünland nicht in Ackerland umgebrochen werden. Das Aufbringen, Lagern und Ablagern wassergefährdender Stoffe ist verboten. Für die Aufbringung von Pflanzenschutzmitteln gelten die im Rahmen der Zulassung festgelegten Abstandsregelungen zu Oberflächengewässern. Düngemittel dürfen nur nach den Bestimmungen der Düngeverordnung in der Fassung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221) in der jeweils geltenden Fassung aufgebracht werden.***

(4) Das für die Wasserwirtschaft zuständige Ministerium kann durch Rechtsverordnung Vorschriften zum Schutze der Ufer, der Anlagen an einem Ufer sowie der Uferanpflanzungen erlassen.

Sächsisches Wassergesetz (SächsWG) in der Fassung vom 12.07.2013

§ 24 Ufer und Gewässerrandstreifen (zu § 38 WHG)

(1) ***Die Ufer der Gewässer einschließlich ihres Bewuchses sind zu schützen.*** *Als Ufer gilt die zwischen der Uferlinie und der Böschungsoberkante liegende Landfläche. Fehlt eine Böschungsoberkante, tritt an ihre Stelle die Linie des mittleren Hochwasserstandes. …*

(2) ***An das Ufer schließt sich abweichend von § 38 Abs. 2 Satz 1 und 2 WHG landwärts ein zehn Meter,*** *innerhalb von im Zusammenhang bebauten Ortsteilen fünf Meter* ***breiter Gewässerrandstreifen an. Die Gewässerrandstreifen sollen vom Eigentümer oder Besitzer standortgerecht im Hinblick auf ihre Funktionen nach § 38 Abs. 1 WHG bewirtschaftet oder gepflegt werden.***

(3) § 38 Abs. 4 WHG ist mit der Maßgabe anzuwenden, dass im Gewässerrandstreifen weiterhin

1. ***in einer Breite von fünf Metern die Verwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, ausgenommen Wundverschlussmittel zur Baumpflege sowie Wildverbissschutzmittel,***

2. …

3. ***abweichend von § 38 Abs. 4 Satz 2 Nr. 4 WHG auch die nur zeitweise Ablagerung von Gegenständen, die den Wasserabfluss behindern können oder die fortgeschwemmt werden können, verboten ist****. § 38 Abs. 5 WHG findet bei Verboten nach Satz 1 Nr. 1 und 2 sowie bei Verboten in Folge von Rechtsverordnungen oder Entscheidungen nach Absatz 4 Nr. 3 entsprechende Anwendung.*

(4) Die zuständige Wasserbehörde kann

1. …

3. ***im Benehmen mit der oberen Landwirtschaftsbehörde durch Rechtsverordnung oder im Einzelfall weitergehende Regelungen zu Gewässerrandstreifen treffen, soweit es zum Schutz der Gewässer vor Schadstoffeinträgen erforderlich ist.***

Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) vom 16. 03. 2011, zuletzt geändert am 21.03.2013

§ 50 Gewässerrandstreifen (zu § 38 WHG)

(1) ***Die Gewässerrandstreifen betragen im Außenbereich nach § 35 des Baugesetzbuches entgegen § 38 Abs. 3 Satz 1 des Wasserhaushaltsgesetzes zehn Meter bei Gewässern erster Ordnung und fünf Meter bei Gewässern zweiter Ordnung****.*

(2) Im Gewässerrandstreifen ist es verboten, nicht standortgebundene bauliche Anlagen, Wege und Plätze zu errichten. ***Bäume und Sträucher außerhalb von Wald dürfen nur beseitigt werden, wenn dies für den Ausbau oder die Unterhaltung der Gewässer, den Hochwasserschutz oder zur Gefahrenabwehr zwingend erforderlich ist.***

(3) ***Die Wasserbehörde kann im Einzelfall Ausnahmen vom Verbot des Absatzes 2 zulassen, soweit ein überwiegendes öffentliches oder privates Interesse dies erfordert und nachteilige negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt nicht zu erwarten sind.***

(4) ***Soweit dies im Hinblick auf die Funktionen des Gewässerrandstreifens nach § 38 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes erforderlich ist, kann die Wasserbehörde***

1. ***anordnen, dass Gewässerrandstreifen mit standortgerechten Gehölzen bepflanzt oder sonst mit einer geschlossenen Pflanzendecke versehen werden,***

2. ***die Art der Bepflanzung und die Pflege der Gewässerrandstreifen regeln,***

3. ***die Verwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln auf Gewässerrandstreifen untersagen,***

4. anordnen, dass eine intensive Beweidung im Gewässerrandstreifen des Einvernehmens der Naturschutzbehörde bedarf.

Fördermöglichkeiten

Da KUP eine landwirtschaftliche Dauerkultur ist, sind Energieholzplantagen betriebsprämienfähig. Weitere finanzielle Fördermöglichkeiten bietet das Agrarinvestitionsprogramm Teil B, Diversifizierung der Produktion. In Thüringen ist eine Fördermaßnahme unter folgenden Gesichtspunkten angestrebt:

- förderfähig ist die Anlage von KUP auf Ackerland
- gefördert werden Kleinst-, kleine und mittlere Unternehmen der Landwirtschaft und des Gartenbaus
- KUP werden einmalig mit einem Zuschuss von 40 %, maximal aber 1.200 €/ha für maximal 10 ha gefördert

KUP können im Rahmen der EU-Verordnung „Zahlung für den Klima- und Umweltschutz förderlicher Landbewirtschaftungsmethoden“ (Greening) als ökologische Vorrangflächen angerechnet werden. Die Direktzahlungen-Durchführungsverordnung vom 3. November 2014 (BGBl. I S 1690) definiert im § 30 die Kriterien, welche erfüllt sein müssen, damit eine KUP als ökologische Vorrangfläche gilt. Zum einem ist nur eine beschränkte Anzahl Baumarten zugelassen (Abb. 55), zum anderen dürfen keine mineralischen Düngemittel und Pflanzenschutzmittel verwendet werden. Der Anrechnungsfaktor beträgt 0,3.

Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten						
Gattung		Art		Maximaler Erntezyklus (Jahre)	Zulässige Arten für im Umweltinteresse genutzte Flächen	
Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung		Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
Salix	Weiden	alle Arten		20	S. triandra[1]	Mandelweide[1]
					S. viminalis[1]	Korbweide[1]
Populus	Pappeln	alle Arten		20	P. alba[1]	Silberpappel[1]
					P. canescens[1]	Graupappel[1]
					P. nigra[1]	Schwarzpappel[1]
					P. tremula[1]	Zitterpappel[1]
Robinia	Robinien	alle Arten		20		
Betula	Birken	alle Arten		20	B. pendula	Gemeine Birke, Hängebirke
Alnus	Erlen	alle Arten		20	A. glutinosa	Schwarzerle
					A. incana	Grauerle
Fraxinus	Eschen	F. excelsior	Gemeine Esche	20	F. excelsior	Gemeine Esche
Quercus	Eichen	Q. robur	Stieleiche	20	Q. robur	Stieleiche
		Q. petraea	Traubeneiche	20	Q. petraea	Traubeneiche
		Q. rubra	Roteiche	20		

[1] Einschließlich der Kreuzungen auch mit anderen Arten dieser Gattung.

Abb. 55: Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten, einschließlich Angabe der zulässigen Arten für im Umweltinteresse genutzte Flächen, und deren maximale Erntezyklen (Fundstelle: BGBl. I 2014, 1697)

4.8.2 Anbauempfehlungen

Bei der Anlage von KUP Pufferstreifen gilt es, aufgrund der gewünschten Pufferwirkung und des speziellen Standorts einige Besonderheiten gegenüber einer herkömmlichen flächigen KUP zu beachten. Generell gelten die im vorherigen Abschnitt zusammengefassten rechtlichen und förderpolitischen Rahmenbedingungen.

Baumartenwahl

Standortsgerechte Baumarten für den Anbau im Gewässerrandstreifen sind die meisten Weidenarten, die Erlen und die Schwarzpappel (*Populus nigra* L.). Da Weiden zu den ertragreichsten Baumarten für im Kurzumtrieb zählen, zielte die Züchtung in den vergangenen Jahren auf ein besonders schnelles Jugendwachstum und die Nutzung im kurzem Umtrieb (4 Jahre) ab. Durch Kreuzung von buschförmigen Weidensorten entstanden besonders ertragreiche Weidenhybriden, unter anderem die Sorten Tora, Tordis oder Inger (FNR 2012). Inwiefern diese Sorten für den langjährigen Anbau zu empfehlen sind, bleibt noch zu untersuchen. Experten vermuten, dass diese Sorten im langen Umtrieb stark bruchgefährdet sind. Alternativ könnte die Silber-Weide (*Salix alba* L.) angebaut werden, die aber nicht unter die greeningfähigen Baumarten zählt. Weiden können als Steckhölzer oder Steckruten gepflanzt werden.

Beim Anbau von Erlen gilt es, das Risiko eines möglichen Befalls durch den Scheinpilz *Phytophthora alni* (Wurzelfäule der Erle) kritisch abzuschätzen. Die Wurzelfäule kann zum Absterben von Beständen führen kann (HARTMANN 1995). Eine Ausbreitung der Krankheit wurde insbesondere entlang von Gewässerläufen festgestellt. Die Ertragsschätzung für Erle im Kurzumtrieb liegenzwischen 4 und 8 t TM/ha/a (TLL 2009, TRAUPMANN 2004, SCHUSTER 2007). Bei der Pflanzung von Erle sind Heister zu verwenden.

Außerhalb des Gewässerrandstreifens können für die Etablierung von KUP-Pufferstreifen auch die gängigen ertragreichen Pappelhybriden, wie die Max-Klone, die Hybride 275 und Matrix verwendet werden, wobei letztgenannte zwei Klone nicht Greening-fähig sind.

Flächendesign

Um einen möglichst effizienten Rückhalt von Feinmaterial und eine optimale Infiltration des Oberflächenabflusses zu erreichen, ist eine Streifenbreite von 20 m anzustreben. Die Mindestgröße der Fläche sollte 0,3 ha betragen, damit die Beihilfefähigkeit gegeben ist. Aufgrund der geringen Flächengröße bietet sich eine Umtriebszeit von mindestens 10 Jahren an. Im langen Umtrieb und mit der Zielsetzung, dass die Bodenvegetation, die die Retentionskapazität der Fläche positiv beeinflusst, während der gesamten Standzeit erhalten bleibt, sind Pflanzzahlen von 2.000 Stück je Hektar anzustreben. Ein Reihenabstand von 3 m schafft Flexibilität beim Einsatz von Pflege-, Fäll- und Rücketechnik.

Flächenanlage

Vor der Flächenanlage erfolgt eine Bodenvorbereitung im Herbst. Um die Konkurrenz durch Begleitvegetation zu verringern, sollte bei der Pflanzung mit Stecklingen Mulchfolie genutzt werden. Zwischen den Reihen kann die Etablierung von Untersaaten das Aufkommen von Ackerunkräutern verringern. Außerdem können zur Regulierung der natürlichen Konkurrenzvegetation zwischen den Pflanzreihen verschiedene mechanische Verfahren genutzt werden (Hacken, Mulchen, Grubbern, Fräsen). Der Einsatz sollte je nach Konkurrenzdruck zwei- bis dreimal im ersten Anlagejahr durchgeführt werden. In sehr trockenen Frühjahren kann eine Bewässerung den Pflanzerfolg sichern.

Aufgrund der geringen Flächengröße ist eine Zäunung des Streifens oder die Verwendung von Wuchshüllen zum Schutz vor Wildschäden durch Verbiss und Fegen notwendig.

Ernte

Die motormanuelle Ernte mit anschließendem Rücken der Stämme an den Rand der Fläche ist die Vorzugsvariante für KUP-Pufferstreifen. Nach einer Trockenzeit von ca. 6 Monaten könnten die Stämme weiter aufgearbeitet werden (als Hackschnitzel oder Stückholz).

4.8.3 Handlungsbedarf aus Sicht verschiedener Interessengruppen

Hemmnisse, aber auch die Chancen von KUP-Pufferstreifen wurden intensiv mit Vertretern der Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Politik und der Forschung im Rahmen des Fachgesprächs „KUP entlang von Fließgewässer“ an der TLL im Mai 2015 (xxx) und auf dem 4. Forum Agroforstsysteme in Dornburg im Dezember 2014 diskutiert. Der angeregte Dialog zu Chancen und Möglichkeiten von KUP als Pufferstreifen am Gewässerrand zeigte deutlich die Brisanz des Themas, das allgemeine große Interesse und den dringend nötigen weiteren Forschungsbedarf. In Tab. 20 sind die Statements, offene Fragen und weitere nötige Schritte hin zur Umsetzung von KUP Pufferstreifen in der Praxis aus Sicht der verschiedenen Interessengruppen zusammenfassend dargestellt. Die wichtigsten Schritte zur Unterstützung der Etablierung weiterer KUP-Pufferstreifen sind:

- Rechtssicherheit bei der Anlage auch im Gewässerrandstreifen durch Anpassung der Wassergesetze auf Länder bzw. Bundesebene
- Förderung der Anbaustrategie KUP-Pufferstreifen, die eine Wirtschaftlichkeit dieser Bewirtschaftungsform gegenüber anderen Alternativen sicherstellt
- Erweiterung der Artenliste von KUP, sodass eine Beimischung standortsgerechter Baum- und Straucharten möglich ist
- weitere Forschung, um die Retentionswirkung von KUP an Fließgewässern von der Etablierung bis zur Rückumwandlung mit weiteren Daten aus Feldversuchen zu belegen
- mehr Öffentlichkeitsarbeit, da viele Vorbehalte gegenüber KUP durch kompetente Beratung und mittels Ergebnisse aus dem Projekt widerlegt werden können.

Tab. 20: Ergebnisse aus der Diskussion während des Fachgesprächs „KUP an Fließgewässern“

Statements	Offene Fragen	Handlungsbedarf
Landwirtschaft		
Anlage von KUP wegen der Langfristigkeit der betriebswirtschaftlichen Entscheidung nur auf **Eigentumsflächen** möglich! Geringe **Akzeptanz** von KUP aufgrund: • hoher Etablierungskosten • unsicherer Ertragserwartung • kostenintensiver Ernte • ausbleibender jährlicher Einnahmen von der Fläche • fehlender Vermarktungsstrategien und Partnern	Eine rechtliche Klarstellung des **§ 38 WHG** ist nötig. Frage: Ist die wiederkehrende Ernte der landwirtschaftlichen Kultur Energieholz gleichzusetzen mit der Entnahme von Gehölzen? **Wirtschaftliche Risiken** von KUP müssen klar definiert werden. Warum wird die Anlage von KUP auf **Grünland** bei einer Pflanzung ohne vorherigen mechanischen Umbruch als Grünlandumbruch angesehen? Wie hoch ist der Nutzwert für den **Gewässerschutz**? Wie ist die Aufwertung des **Landschaftsbildes** einzuschätzen? Welche positiven Effekte ergeben sich für **Flora und Fauna**? Förderkulisse und Fördermaßnahmen: • Kann KUP-Fließgewässer in Zukunft eine Agrar-Umweltmaßnahme sein? • Welche Anforderungen sollte die KUP erfüllen? • Wie und in welchem Umfang könnte diese Maßnahmen gefördert werden?	Baumartenwahl möglichst offen gestalten! Aufnahme weiterer schnellwachsender **Baumarten** in die Liste der Baumarten für Energieholz! Gesetzliche Änderungen anstreben, die den Anbau von KUP im Gewässerrandstreifen und auf Grünland (ohne mechanischen Umbruch des Grünlands) ermöglichen. Es ist dringend erforderlich, die **Wirtschaftlichkeit** von KUP durch gezielte Fördermaßnahmen sicherzustellen. Hierbei sollte jedoch keine Verwertungsmöglichkeit (z.B. in EEG-Anlagen) ausgeschlossen werden. KUP sollten, auch bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, im **Greening** angerechnet werden! Der Aufbau eines Netzwerks mit verlässlichen Partnern und effektiven **Vermarktungsstrategien** ist dringend erforderlich.

Statements	Offene Fragen	Handlungsbedarf
Bodenschutz		
Erosionsschutz sollte **vorrangig auf dem Acker** geschehen! KUP ist durch seine Anlagenstruktur als Streifenmaßnahme im Bodenerosionsschutz gut geeignet.	Wie stark **sind Nährstoffbewegungen** bei Pflanzung, Ernte und Umbruch von KUP? Besteht eine erhöhte Erosionsgefährdung während der Pflanzzeit? Wie hoch ist die Gefahr einer **Bodenverdichtung** bei Pflegemaßnahmen und Ernte?	Aktiver Bodenerosionsschutz muss stärker in der Praxis ankommen! Vorteile von KUP als Pufferstreifen sollten mit Daten aus **Feldversuchen** belegt werden.
Wasserwirtschaft		
Pro: Uferrandstreifen zeigen eine gute Pufferwirkung zum Schutz der Gewässer gegenüber Stoffeinträgen. **Kontra**: Die eigendynamische Gewässerentwicklung wird durch „künstliche“ Pufferstreifen unterbunden („grüner Betonverbau“).	Sind KUP-Streifen entlang von Gewässern eine wirksame Maßnahme zum Schutz der Gewässer vor Stoffeinträgen? Was/Wo sind geeignete **Standorte** für die Anlage einer KUP? Wie sollte eine KUP angelegt, bewirtschaftet und beseitigt werden, damit diese eine optimale Retentionswirkung gewährleistet?	Es gilt geeignete **Einsatzbedingungen** und sinnvolle **Standorte** für KUP als Pufferstreifen zu definieren. Es fehlt eine Definition der Kriterien, die eine KUP erfüllen sollte, damit diese als Pufferstreifen am Gewässerrand fungiert. Empfehlenswert ist das Einbringen von Vorschlägen zur **Erweiterung des ThürWG bzw. WHG**, sodass der Anbau von KUP im Gewässerrandstreifen rechtskonform ist.

Statements	Offene Fragen	Handlungsbedarf
Naturschutz		
Weitere Maßnahmen zur Entlastung der Oberflächengewässer sind dringend erforderlich!	Erfüllen KUP am Fließgewässer in der Praxis die Erwartungen, welche die theoretische wissenschaftliche Bewertung von KUP als Pufferstreifen aufzeigt? Sind KUP entlang von Oberflächengewässern eine integrale Lösung? Sind negative Einflüsse von KUP auf die **Gewässerökologie**, z.B. durch Beschattung oder Laubeintrag zu erwarten? Ist eine gesicherte Etablierung von KUP ohne Pflanzenschutzmittel möglich?	Wenn KUP als Pufferstreifen wirken, sind **gesetzliche und fördertechnische Regelungen** zu finden, damit KUP in der Praxis als Retentionsstreifen am Gewässerrand etablieren werden! Die **Beimischung** weiterer standortsgerechter, einheimischer Arten sollte möglich sein! Benötigt werden sinnvolle, tragfähige Nutzungsoptionen der ökologischen Vorrangflächen, bei denen das Umweltinteresse (vor allem die Biodiversität) im Vordergrund steht.
Forschung		
KUP-Streifen sind ein innovatives Nutzungskonzept entlang von Gewässern, das Nutz- und Schutzfunktion optimal verknüpft. Besonderheiten von KUP: • langjährige Nutzungsoption • gute Pufferwirkung durch ganzjährige Bodenbedeckung und Verbesserung der Bodenstruktur • Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität und zum Klimaschutz	Bewirkt eine etablierte KUP eine Verbesserung der **Bodenstruktur**? Welche **Pufferwirkung** hat eine KUP Fläche in der Wachstumsphase? Welche **weiteren Einsatzmöglichkeiten** von KUP als Pufferstreifen, z. B. als Begrünung von Erosionsrinnen, Pufferstreifen an gefährdeter Infrastruktur (Straßen, Ortschaften) sind möglich? Wie hoch ist das Flächenpotenzials für den Anbau von KUP-Pufferstreifen?	Voraussetzung für weitere Aktivitäten ist eine sichere **rechtliche Grundlage** für den Anbau von KUP im Gewässerrandstreifen. **Die Förderung** von KUP-Pufferstreifen ist nötig! Verstärke **Öffentlichkeitsarbeit** sollte erfolgen, damit KUP als innovative und wirksame Verknüpfung von Landwirtschaft und Gewässer- sowie Bodenschutz in der Praxis wahrgenommen wird. Die Etablierung von weiteren KUP-Flächen an Gewässern ist anzustreben.

4.9 Gesamtbewertung des Anbausystems KUP-Pufferstreifen

Gespräche mit Landwirten und anderen Interessenvertretern zeigten deutlich, dass die Motivation für die Wahl der Bewirtschaftungsform des Gewässerrandstreifens neben finanziellen Gründen stark von betrieblichen, politischen, ökologischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängt. Die Bewertung der Anbausysteme - Ackerbau, Grünland und KUP - erfolgte in Zusammenarbeit mit Interessenvertretern. Dabei wird von einer bisherigen ackerbaulichen Nutzung des Gewässerrandstreifens ausgegangen. Folgende Themenbereiche wurden betrachtet: 1) Motivation und Hemmnisse bei der Wahl der Bewirtschaftung, 2) Beitrag zum Gewässer- und Erosionsschutz, 3) Risiken für angrenzende Gewässer und Infrastruktur, 4) Beitrag zur Biodiversität und Biotopverbund, 5) weitere ökologische Leistungen und Risiken und 6) ökonomische Bewertung/Fördermöglichkeiten. Vor- und Nachteile der drei untersuchten Bewirtschaftungsformen sind in Tab. 21 zusammengefasst. Dieser Überblick erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern spiegelt die in Gesprächen am häufigsten diskutierten Chancen und Risiken der jeweiligen Anbaustrategie wider.

Tab. 21: Motivation, Chancen und Risiken von drei Bewirtschaftungsoptionen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche im Bereich von 0 bis 20 m vom Gewässer (erweitert nach BÄRWOLFF ET AL. 2013).

Ackerbau	Grünland	KUP
Motivation (+) und Hemmnisse (-) bei die Wahl der Bewirtschaftung		
+ der Streifen am Gewässer ist Teil eines großen Ackerschlags, daher ist die Bewirtschaftung unkompliziert und mit keinem Mehraufwand verbunden + jährliches Einkommen + langjährige Erfahrung	+ Verwertung im Betrieb durch eigene Tierhaltung oder Biogasanlage möglich + günstige Entfernung zu anderen Grünlandflächen und zum eigenen Betrieb + jährliches Einkommen + langjährige Erfahrung + off-site-Schäden durch Wassererosion unter ackerbaulicher Bewirtschaftung der Fläche können verringert werden + Anrechnung als Greeningfläche möglich + finanzieller Ausgleich durch Förderprogramme vorhanden (Greening oder KULAP)	+ Holzheizung (Hackschnitzel oder Stückholz) im Betrieb vorhanden oder Abnehmer in unmittelbarer Nähe + weitere KUP-Flächen bereits vorhanden + Diversifizierung des Betriebseinkommens - keine Praxiserfahrungen - langjährige Flächenbindung besonders auf Pachtflächen problematisch - hohe Anfangsinvestitionen, keine Förderung - geringer Deckungsbeitrag - mögliche Beeinträchtigung bei der Bewirtschaftung des angrenzenden Ackerlandes, da flachere Bereiche im Hangfuß nicht mehr als Vorgewende genutzt werden können - Anbau im Gewässerrandstreifen nur mit Genehmigung der zuständigen Wasserbehörde möglich

Ackerbau	Grünland	KUP
Beitrag zum Gewässer- und Erosionsschutz		
Reduktion der Erosionsgefährdung durch Anwendung erosionsmindernder Verfahren, wie Mulchsaat, Strip-Till-Verfahren, Zwischenfruchtanbau, hohe Anbaukonzentration von Winterungen in der Rotation und pfluglose Bodenbearbeitung möglich	gute Pufferwirkung aufgrund einer ganzjährigen, flächendeckenden Bodenbedeckung Verringerung der Erosionsgefährdung und Verbesserung der Infiltrationsleistung durch eine tiefgründige, dichte Durchwurzelung des Bodens Minderung des Hochwasserrisikos durch verbesserte Infiltrationsleistung gegenüber Ackerland kein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln mittelfristiger Beitrag zum Gewässerschutz (Umbruch nach maximal 5 Jahren) bedingt flexibler Erntetermin	gute Pufferwirkung aufgrund einer ganzjährigen, flächendeckenden Bodenbedeckung kein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Dünger Verbesserung der Infiltrationsleistung unter anderem durch eine langjährige Bodenruhe, tiefe Durchwurzelung und Eintrag von organischem Kohlenstoff Minderung des Hochwasserrisikos durch verbesserte Infiltrationsleistung gegenüber Ackerland langjährige Bewirtschaftungsoption bei Erhalt des Status ackerbauliche Nutzfläche geringe N_{min}-Gehalte im Oberboden
Risiken für Gewässer bzw. angrenzende Infrastruktur		
hohes Erosionsrisiko zwischen Ernte und Anbau der Folgefrucht und nach tiefgründiger Bodenbearbeitung und Schwarzbrache Steigerung des Erosionsrisikos und des Oberflächenab-flusses beim Anbau erosionsgefährdeter Kulturen Auswaschung von Düngemitteln und Pflanzenschutz-mitteln bei starken Niederschlägen unmittelbar nach der Ausbringung, auch bei bedarfsgerechtem Einsatz und unter Beachtung der Regelungen, möglich teilweise starke Bodenverdichtung durch den regel-mäßigen Einsatz von schweren Maschinen kann lokal zu starken Bodenverdichtung und zur Bildung von Abfluss-rinnen, ausgehend von den Fahrspuren, führen	Auswaschung von Düngemitteln bei starken Niederschlägen unmittelbar nach der Ausbringung, auch bei bedarfsgerechtem Einsatz und unter Beachtung der Regelungen, möglich hohes Risiko der Nährstoffauswaschung nach Umbruch der Fläche	hohes Risiko der Nährstoffauswaschung nach Umbruch der Fläche

Ackerbau	Grünland	KUP
Beitrag zur Biodiversität und zum Biotopverbund		
geringe Wertigkeit insbesondere in großräumig ausgeräumten Landschaften	Schaffung neuer Habitate in ackerbaulich geprägten Agrarlandschaften Verbundstruktur zwischen Habitaten	Schaffung neuer Habitate, als Schutz- und Rückzugsareal für eine Vielzahl von Wildtieren und Pflanzen Erweiterung gehölzbestimmter Biotopverbundstrukturen Verbesserung der Bodenfauna durch langjährige Bodenruhe und Eintrag von organischem Kohlenstoff
weitere ökologische Leistungen und Risiken		
	+ Beitrag zum Klimaschutz durch Substitution fossiler Brennstoffe bei Verwertung in Biogasanlagen - Freisetzung von organischem Kohlenstoff nach Umbruch (12,6 t/ha, JUG et al., 1999) - N-Austrag von ca. 100 kg N/ha nach Umbruch von Grünland mit Neuansaat oder anschließender Ackernutzung (Osterburg und Runge 2007)	+ Beitrag zum Klimaschutz durch Substitution fossiler Brennstoffe - Freisetzung von organischem Kohlenstoff nach Umbruch (analog zu Grünland) - Freisetzung von Steickstoff nach Umbruch (analog zu Grünland)
ökonomische Bewertung/Fördermöglichkeiten		
150 €/ha/a Deckungsbeitrag (BÄRWOLFF et al. 2013)	- das Thüringer Programm zur Förderung von umwelt- und klimagerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege (KULAP 2014) ermöglicht eine finanzielle Förderung von Gewässer- und Erosionsschutzstreifen – Maßnahme V425 und A425 (TMLFUN 2014). Grünlandstreifen sind greeningfähig, wenn keine Düngemittel eingesetzt werden	-75 €/ha/a (Weide Steckruten), -853 €/ha/a (Erlen Heister) (BÄRWOLFF et al. 2013) KUP als Greeningfläche anrechenbar (siehe Kapitel 3.8.1) Förderprogramm im Rahmen des Agrarinvestitionsprogramm Teil B, Diversifizierung der Produktion in machen Bundesländern vorhanden

5 Zusammenfassung und Diskussion

Im Projekt „KUP am Fließgewässer - streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen“ wurde deutschlandweit die erste KUP-Pufferfläche angelegt und deren Entwicklung und Beitrag unter anderem zum Gewässerschutz, zur Bereicherung der Biodiversität und zum Klimaschutz seit nunmehr vier Jahren intensiv untersucht. Daraus resultiert eine einmalige Datensammlung zur der Etablierungsphase eines gewässernahen KUP-Pufferstreifens, deren Ergebnisse im Folgenden zusammenfassende dargestellt werden.

Erosionsgefährdung und potentieller Stoffeintrag in den Gewässerrandstreifen

Die Bodenansprache und die Erosionsmodellierung zeigten deutlich eine hohe Erosionsgefährdung auf dem untersuchten Ackerschlag verbunden mit einen erosionsbedingten Sedimenteintrag in den Gewässerrandstreifen. Der langjährige erosionsbedingte Bodenabtrag führte zu einer 50 bis 85 cm mächtigen Auflage. Aktuell beträgt der mittlere potentielle Bodenabtrag 6 t/ha/a. Erosionsmindernde Bewirtschaftungsoptionen, wie Mulchsaat, der Anbau von Zwischenfrüchten oder der Verzicht auf erosionsgefährdete Kulturen vermag das Risiko um bis zu 54 % zu senken. Die Kombination verschiedener Strategien und eine zusätzliche Schlagteilung können zu einer Minderung des potentiellen Bodenabtrags um bis zu 75 % führen. Um die Gefährdung des angrenzenden Gewässers zu reduzieren und den Verlust des Oberbodens zu minimieren, ist eine erosionsmindernde Bewirtschaftung insbesondere im steileren Unterhang dringend notwendig. In diesem Bereich kann der Bodenverlust nicht durch die natürliche Bodenneubildung ausgeglichen werden. Das Thüringer Programm zur Förderung von umwelt- und klimagerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege (KULAP 2014) ermöglicht eine finanzielle Förderung erosionsmindernder Maßnahmen (TMLFUN 2014) mit dem Maßnahmenpaket A3 – Betrieblicher Erosionsschutz. Der Bodenabtrag lässt sich aber nicht vollständig vermeiden, wie auch andere Studien belegen (SCHINDEWOLFF UND SCHMIDT 2012). Daher bietet die Anlage eines Pufferstreifens entlang von Gewässern eine letzte Barriere und kann die Deposition von Bodenmaterial und die Infiltration des Oberflächenabflusses ermöglichen und somit den Eintrag von Stickstoff und Phosphor in das Gewässer verringern bzw. verhindern (CHRISTEN UND DALGAARD 2012).

Fließgewässer

Die Abflussmessung, die engmaschige Erhebung der Vor-Ort-Parameter und die Analyse der wässrigen Phase und der Schwebstoffe im Bennebach geben einen guten Einblick in den jahreszeitlichen Verlauf dieser Parameter im quellnahen Bereich eines kleinen Fließgewässers. Schon wenige Kilometer nach der Quelle war sowohl der Ammoniumnitratgehalt als auch der orthophosphat-Phosphorgehalt hoch und überschriet im Jahresmittel den angestrebten Grenzwerte von 0,3 mg NH_4-N und 0,15 mg oPO_4-P pro Liter. Ob die hohen Werte durch eingeleitete Abwässer oder von den oberhalb gelegenen landwirtschaftlichen Flächen herführen, konnte nicht abschließend geklärt werden. Laut Auskunft der Thüringer Landesanstalt für Geologie sind derzeit die angrenzenden Ortschaften Freienbessingen und Wolferschwenda noch nicht an eine zentrale Abwasserbeseitigung

angeschlossen (MAGIN 2013). Über eine eventuelle Einleitung von Abwässern, sowie Drainagen in den Bennebach oberhalb der Versuchsfläche war aber nichts bekannt. Eine Begehung des Oberlaufes ergab ebenfalls keine weiterführenden Hinweise.

Die Interpretation der mittels der Schwebstofffallen gewonnen Daten ist sehr komplex. Verschiedene Faktoren beeinflussen die Schwebstofffracht und – Zusammensetzung als auch die Sedimentation in den Schwebstofffallen. Hohe Durchflüsse können zu einer exponentiellen Zunahme der Schwebstoffe und zu längeren Transportwegen der Schwebstoffe führen (ORLIK et al. 2007). Zusätzlich beeinflusst das Fließverhalten des Gewässers am Fallenstandort das Sinkvermögen der mitgeführten Stoffe.

Ein Einfluss der Bewirtschaftung des Gewässerrandstreifens auf die Nährstoffgehalte des Wassers und der Schwebstoffe im Bennebachs konnte nicht nachgewiesen werden. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass kein Bewirtschaftungseffekt vorhanden ist. Einerseits erschwerten die hohen Werte der Kontrollvariante die Interpretation der weiteren Gewässerabschnitte. Anderseits sind die untersuchten Abschnitte verhältnismäßig kurz, so dass zu vermuten ist, dass sich räumliche Unterschiede zwischen den Standorten insbesondere bei hohen Durchflüssen überlagern.

Boden – Ausgangszustand und Entwicklung

Die Korngrößenzusammensetzung auf der Versuchsfläche ist bis in eine Tiefe von 46 cm homogen. Der Boden ist durch einen sehr hohen Schluff und Tonanteil geprägt (88 – 92 %). Es handelt sich hierbei um Bodenpartikel, die durch Erosion hauptsächlich vom Mittelhang an den Hangfuß verlagert wurden. Die Untersuchung der physikalischen Bodenparameter insbesondere der Wasserleitfähigkeit und der Luftkapazität zeigten, dass der Boden in einer Tiefe von 30 bis mindesten 46 cm zum Teil Kennzeichen einer Schadverdichtung (Wasserleitfähigkeit < 10cm/d und Luftkapazität < 5 Vol %) aufweist. Es ist davon auszugehen, dass es sich dabei um eine Verdichtung aufgrund der Nutzung als Vorgewende handelt, die sowohl die Infiltration erheblich einschränkt, die Etablierung von Bäumen erschwert und die zu erwartende Ertragsleistung reduziert.

Im Bereich der Versuchsfläche kam es schon im Vorfeld zu den Untersuchungen zu einer Anreicherung der Nährstoffe im gewässerseitigen Bereich des Streifens. Im Vergleich zum ackerseitigen Bereich der Versuchsfläche in 10 m Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag war der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff, Gesamtstickstoff, pflanzenverfügbaren Phosphor und organischen Kohlenstoff in der ersten 10 bzw. ersten 30 cm (P_{cal} und C_{org}) des Bodens um bis zu 50 % erhöht. Ursächlich für diese Differenzierung innerhalb des Pufferstreifens sind sehr wahrscheinlich die Etablierung von Grünland im Jahr 2006 und das Abflachen des Hanges in diesem Bereich, was zur Ablagerung von Sedimenten und zur Infiltration von Oberflächenabfluss führte.

Während der dreijährigen Beobachtungszeit zeigten sich erste Anzeichen einer Retentionswirkung unter KUP und Grünland auf der Versuchsfläche. So stieg in 10 m Entfernung zum angrenzenden erosionsgefährdeten Acker der mittlere Gesamtphosphorgehalt im Oberboden (0 bis 5 cm) unter KUP von 2012 bis 2014 um 28 % von 0,90 auf 1,15 g/kg. Im Vergleich dazu blieb der Phosphorgehalt unter landwirtschaftlicher Nutzung annähernd gleich. Unter Grünland betrug die Zunahme des

Phosphorgehalts 14 %. Ein deutlicher Anstieg des P_{ges}-Gehalt konnte insbesondere nach den hohen Niederschlägen im Mai 2013 gemessen werden.

Bodenvegetation

Einer der Faktoren, der entscheidend die Entstehung des Oberflächenabflusses sowie dessen Rückhalt und die damit einhergehende Sedimentverlagerung bei Niederschlagsereignissen bestimmt, ist die Bodenbedeckung. Bei einer ackerbaulichen Bewirtschaftung des Uferrandstreifens ist eine Bodendeckung in der Zeit zwischen der Ernte und der erneuten Aussaat entweder nicht vorhanden oder nur gering, wenn Streu auf der Fläche verbleibt. Dieser Zeitraum kann, in Abhängigkeit von den angebauten Ackerkulturen, stark schwanken. Im Untersuchungszeitraum erreichte nur der Winterraps zu Beginn der Vegetationsruhe einen Deckungsgrad von mehr als 40 %, der laut ROGERS UND SCHUMM (1991) einen signifikanten Rückhalt von Sedimenten sichert. Bei den anderen Kulturen wurde dieser Deckungsgrad erst im Frühjahr erreicht. Dagegen sichert der Anbau von Grünland entlang von Fließgewässern, aufgrund der ganzjährigen flächendeckenden Bodenbedeckung von mindestens 60 % und häufig bis zu über 80 % eine gute Retentionswirkung. Ebenfalls etabliert sich in einer neu angelegten KUP eine geschlossene Pflanzendecke. Ein Mulchen im späten Herbst am Ende der Vegetationsperiode kann aber zu einen niedrigen Deckungsgrad (< 40 %) der krautigen Vegetation führen. Der Anteil offenen Bodens bleibt aber trotzdem gering, da die Streu auf der Fläche verbleibt. Inwiefern sich die Retentionswirkung von Bodenvegetation und Streu unterscheidet konnte noch nicht hinreichend geklärt werden. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Bewuchs beider Anbaustrategien – KUP und Grünland – über das gesamte Jahr eine ausreichende Bodendeckung durch Vegetation und Streu bietet, um einen Rückhalt des Oberflächenabflusses und mitgeführter Sedimente von angrenzenden erosionsgefährdeten Ackerschlägen zu puffern.

Biodiversität

Die Etablierung von Gehölzstrukturen an Gewässern führt zur Diversifizierung der krautigen Pflanzenarten und bietet Habitat und Nahrung für Insekten, Vögel und Wirbeltiere. Wird bei der Anlage der KUP, wie auf der Versuchsfläche, keine Begleitvegetation in Form von Untersaaten oder Ackerkulturen etabliert, siedeln sich in den ersten Jahren vor allen typische Vertreter der Segetal- und Ruderalvegetation. Von besonderem Interesse ist, ob unter KUP eine Entwicklung hin zu einer standortstypischen Vegetation der Gewässerrandstreifen stattfindet. Dafür sind weiterführende Beobachtungen innerhalb der Lebensdauer einer gewässerbegleitenden KUP notwendig.

Aus naturschutzfachlicher Sicht und für eine naturnahe, standortsgerechte Gestaltung von KUP entlang von Gewässern ist eine Erweiterung der Artenliste der Baumarten im Kurzumtrieb anzustreben. Diese sollte eine Beimischung von standortsgerechten Sträuchern und Gehölzen auf bis zu 20 % der Fläche ermöglichen.

Anlage einer KUP am Fließgewässer

Bei der Anlage einer KUP am Gewässerrand sind die Bodenbedingungen und die ehemalige Bewirtschaftung der Fläche bei der Planung zu beachten. Bei einer Vornutzung als Ackerland ist

davon auszugehen, dass der Streifen entlang des Gewässers als Vorgewende diente und der Boden in diesem Bereich, insbesondere in den Fahrgassen, zum Teil stark verdichtet ist. Geringe Frühjahrsniederschläge, ein verdichteter Boden und Wildschäden können eine erfolgreiche Etablierung gefährden. Von dem im Versuch angebauten Pflanzgut - Erlenheister, Pappel- und Weidensteckruten - kam die Schwarzerle und Weide mit den vorherrschenden Bedingungen am besten zurecht. Weiden sollten unbedingt gezäunt werden, da ein hohes Risiko besteht, dass diese verbissen und gefegt werden. Bei der Verwendung von Steckruten ist unbedingt darauf zu achten, dass die Ruten tief in den Boden eingebracht werden und höchstens zu zweidrittel der Gesamtlänge aus dem Boden herausragen. Erfahrungen aus dem Versuch lassen darauf schließen, dass eine Herbstpflanzung von Ruten höhere Anwuchschancen hat. Bei der Anlage einer KUP mit Steckhölzern kann die Nutzung einer Mulchfolie den Aufwuchs der Begleitvegetation in den ersten Monaten in den Baumreihen verhindern. In KUP-Pufferstreifen sollte zugunsten einer geschlossenen Pflanzendecke in der Vegetationsruhe auf ein Mulchen im späten Herbst verzichtet werden.

Rahmenbedingungen

Der Anbau von KUP-Pufferstreifen entlang von stoffeintragsgefährdeten Gewässern ist derzeit durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen im Gewässerrandstreifen kaum möglich. Dabei wird durch die ökologische, strukturverbessernde und bodenverbessernde Wirkung von KUP die Zielsetzung des WGH (§27) gezielt unterstützt und umgesetzt. Insbesondere tragen KUP-Streifen an Fließgewässern zum Rückhalt von Sedimenten, gelösten und partikelgebunden Nährstoffen in die angrenzenden Gewässer bei und können damit die noch immer hohen Nährstoffeinträge aus diffusen Quellen der landwirtschaftlichen Nutzung mindern. Daher besteht ein dringender Handlungsbedarf, den Anbau von KUP im Gewässerrandstreifen rechtskonform zu gestalten. Möglich wäre eine Erweiterung des § 38 des WGH oder die Anpassung der Wassergesetze der Länder.

Außerdem ist eine gezielte Förderung von KUP-Pufferstreifen notwendig, um deren Umsetzung in die Praxis zu forcieren. Für KUP-Pufferstreifen sollten im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen oder im Greening ein finanzieller Ausgleich für die erbrachten Umweltleistungen, wie die Bereicherung der Biodiversität, eine bodenschonende Bewirtschaftung, den Verzicht auf Pflanzenschutzmittel (außer im Anlagejahr) und Düngung gewährleistet werden. Mit dem Greening bestand die Möglichkeit den Anbau von Energieholz für den Landwirt attraktiver zu gestalten und somit die deutschlandweite Anbaufläche zu erhöhen. Leider wurde diese Chance vergeben. Der niedrige Gewichtungsfaktor von 0,3 und eine nur sehr eingeschränkte Baumartenwahl bieten kein Anreiz, sich für dieses langfristige Anbausystem zu entscheiden. Für die Anlage einer naturnahen KUP an Fließgewässern ist insbesondere die Einschränkung der zugelassen Weiden ein großes Hindernis, da standortsgerechte Arten wie die Silberweide (*Salix alba* L.) nicht zugelassen sind. Ein möglicher Anreiz für den Anbau von KUP-Streifen könnte eine einmalige investiven Förderung in Höhe von 2500 bis 3000 €/ha sein (BÄRWOLFF ET AL. 2012).

Bewertung der Anbauoptionen im Gewässerrandstreifen

Die drei untersuchten Nutzungsoptionen für den Randstreifen einer erosionsgefährdeten ackerbaulichen Nutzfläche entlang eines Fließgewässer - Ackerland, Grünland und KUP - tragen in unterschiedlichem Maß zu einer nachhaltigen, standortsgerechten Landwirtschaft unter Wahrung der ökologischen Funktion des Uferrandstreifens bei.

Eine ackerbauliche Nutzung bis an den Gewässerrand birgt, auch bei erosionsmindernder Bewirtschaftung (konservierende Bodenbearbeitung, Mulchsaat, Zwischenfruchtanbau) die Gefahr, dass Nährstoffe in das angrenzende Gewässer eingetragen werden. Eine naturnahe Ufervegetation kann sich auf solchen Flächen nicht entwickeln.

Grünlandflächen können aufgrund der ganzjährigen, flächendeckenden Bodenbedeckung und guten Durchwurzelung effizient erosionsbedingte Stoffeinträge (Feinmaterial und Nähr-stoffe) zurückhalten. Es besteht aber die Gefahr, dass bei einem Umbruch aller 5 Jahre ein Teil dieser Nähstoffe wieder freigesetzt wird. Grünlandstreifen tragen in einer ackerbaulich geprägten Landwirtschaft zur Bereicherung der Biodiversität und des Landschaftsbildes bei. Die Ansiedlung einer natürlichen Ufervegetation ist in Grünlandstreifen unwahrscheinlich.

Der Anbau von Energieholz als Pufferstreifen zeichnet sich durch eine sehr hohe Retenti-onskapazität aus. Ursachen dafür sind eine ganzjährige Bodenbedeckung und verbesserte Bodenstruktur/Infiltrationsleistung aufgrund einer sehr intensiven und tiefreichenden Durchwurzelung des Boden durch die Bodenvegetation und Gehölze, einer langjährigen Bodenruhe und der Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Boden durch den Eintrag von Streu und abgestorbener Wurzelbiomasse. Außerdem leisten KUP einen Beitrag zum Klimaschutz, zur Erhöhung der Biodiversität sowie zur Strukturierung und Diversifizierung der Landschaft. Eine Rückumwandlung der Fläche, die mit einer teilweisen Freisetzung von Nährstoffen verbunden sein kann, ist erst frühestens in 30 bis 40 Jahren zu erwarten. Die Bereitstellung dieser vielfältigen Ökosystemleistungen ist aber mit finanziellen Einbußen für den Landwirt verbunden. Derzeit können KUP-Pufferstreifen nicht mit einer acker-baulichen Nutzung konkurrieren. Daher ist eine Ausgleichzahlung/Förderung notwendig, um dem Anbau dieses vielversprechenden Anbausystems zu forcieren.

6 Verwertung und Erfolgsaussichten

Das Projekt leistete Pionierarbeit auf dem Gebiet der Nutzung von Energieholz als Pufferstreifen entlang von Fließgewässern. Mit der seit nunmehr vier Jahren bestehenden Versuchsfläche in Wolferschwenda wurde eine deutschlandweite einzigartige Beobachtungsfläche geschaffen, deren Entwicklung sehr detailliert untersucht wurde. Die wissenschaftliche Begleitforschung des abgeschlossenen Projektes liefert eine fundierte Datengrundlage der Etablierungsphase eines gewässernahen KUP-Pufferstreifens.

KUP mit geringer Pflanzdichte weisen alle Charakteristika eines natürlichen Biopufferns, wie eine ganzjährige Bodendeckung, gute Durchwurzelung, Verbesserung der Bodenstruktur durch Bodenruhe und den Eintrag organischen Kohlenstoffs auf. Außerdem ist davon auszugehen, dass die bodenmikrobielle Aktivität und das Spektrum der Bodenorganismen durch den Anbau von Bäumen nachhaltig beeinflusst werden. Diese Faktoren ermöglichen KUP erosionsbedingte Stoffeinträge von angrenzenden Flächen effektiv zu puffern. Generelle Aussagen über die Retentionswirkung von KUP sind aber nur durch Langzeitstudien und unter Einbeziehung verschiedener Standorte und Anbauformen (Streifenbreite, Gehölzart, Umtriebszeit) möglich, da bewirtschaftungsbedingte Änderungen in der Bodenstruktur und den Nährstoffgehalten im Boden erst nach mehreren Jahren bzw. Jahrzehnten klar quantifizierbar sind. Pufferstreifen mit im Kurzumtrieb bewirtschafteten schnellwachsenden Baumarten stellen eine neuartige Landnutzungsform dar, über deren Einflussnahme auf den Bodenhaushalt und auf die Biodiversität bislang für Deutschland keine Ergebnisse vorliegen. Das Projekt KUP am Fließgewässer bietet die einmalige Chance, KUP-Pufferstreifen im Vergleich zu Graspufferstreifen langfristig – zumindest aber über die Zeit einer Nutzungsperiode (8 – 15 Jahre) – zu beobachten. Diese Möglichkeit gilt es war zunehmen und diese vielversprechende Verknüpfung von Gewässerschutz und Landnutzung anhand von Langzeitmessreihen zu bewerten.

Bereits jetzt haben die positiven Ergebnisse und die Öffentlichkeitsarbeit zu einem verstärkten Interesse am Anbau von Energieholz zur Reduktion erosionsbedingter Stoffeinträge in angrenzende Gewässer geführt. Die Erfahrung aus dem Projekt konnten in die Planung bzw. Anlage von weiteren KUP-Pufferstreifen in Sachen, Schleswig-Holstein und Bayern mit einfließen. Aufgrund des aktuell auch politisch sehr bedeutsamen Forschungsthemas kann von einem breiten gesellschaftlichen Interesse an den aktuellen und zukünftigen Projektergebnissen ausgegangen werden. Eine mittel- bis langfristig fortschreitende, nachhaltige, deutschlandweite Verbreitung von KUP-Pufferflächen bedarf aber weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen, um Risiken und Chancen von KUP-Pufferstreifen über die Etablierungsphase hinaus abzuschätzen und zu bewerten. Zusätzlich sind eine intensive Öffentlichkeitsarbeit, einer engen Kooperation mit den Praxispartnern und nicht zuletzt die Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen und Schaffung von Förderinstrumenten voranzutreiben, um die Umsetzung von KUP-Pufferstreifen zu forcieren. Dies ist im Rahmen eines Folgeprojektes in angestrebt.

7 Erkenntnisse Dritter

Die Etablierung von KUP als Pufferstreifen entlang von Fließgewässern findet zunehmend mehr Interesse in der Öffentlichkeit, bei Behörden und in der Forschung (eigene Erfahrung, KRÖBER 2015). Die Anlage einer 0,2 ha großen Versuchsfläche zur Bewertung von Pufferstreifen mit einer Kombination aus Grasstreifen und Gehölzen ist aus Dänemark bekannt (CHRISTEN UND DALGAARD 2012).

8 Ausblick

KUP bieten eine neue Option zur Verknüpfung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung mit dem Gewässerschutzes, dem Klimaschutz, der Diversifizierung des Landschaftsbildes und der ökologischen Aufwertung ackerbaulich genutzter Gewässerrandstreifen. Die Ergebnisse des Projektes „KUP am Fließgewässer“ liefern eine fundierte Grundlage für die Landwirtschaft, Politik und Forschung, um dieses Konzept mit Leben zu erfüllen und weiter zu entwickeln. Die Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des Projektes führte dazu, dass derzeit der Anbau und die Wirkung von KUP-Pufferstreifen intensive diskutiert und weitere Flächen unter anderem in Thüringen, Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein und Bayern angelegt wurden bzw. in der Planung sind.

In der Zukunft ist es wichtig, weitere Anbaukonzepte für KUP-Pufferstreifen, die den standörtlichen Gegebenheiten und der Agrarstruktur anderer Bundesländer entsprechen, zu entwickeln und zu testen. Außerdem ist eine wissenschaftliche Begleitforschung über die Etablierungsphase einer KUP hinaus für eine abschließende Gesamtbewertung der Retentionswirkung und anderer ökologischer und ökonomischer Aspekte von KUP-Pufferstreifen unerlässlich. Desweitern gilt es, neue Absatzoptionen für die Verwertung von starkem bzw. hochwertigem Holz (Erle) aus KUP-Pufferstreifen mit einer langen Umtriebszeit zu erschließen und durch eine mögliche Kaskadennutzung, den Beitrag zum Klimaschutz zu optimieren. Nicht zuletzt hängt der Erfolgt der KUP-Pufferstreifen aber auch maßgeblich von einer intensiven Zusammenarbeit mit Landwirten, Behörden und politischen Entscheidungsträgern ab. Weiterführende Forschung und eine intensive Öffentlichkeitsarbeit können zu einer mittel- bis langfristigen deutschlandweiten Etablierung dieses Anbausystems führen.

Danksagung

Die Anlage der Versuchsfläche förderte das Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Forsten als Pilot- und Demovorhaben. Die Autoren danken RWF GmbH Wolferschwenda unter der Leitung von Frau Judith Beck und Herrn Thomas Beck für die Bereitstellung der Versuchsfläche und Unterstützung bei der Anlage, Pflege und weiteren Betreuung der Anlage. Die wissenschaftliche Begleitforschung – das Projekt „KUP am Fließgewässer“ förderte das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Verbraucherschutz im Rahmen des Förderprograms „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Ein großer Dank gilt dem Leiter der thüringischen Versuchsstation Kirchengel Dr. Uwe Rössler und seinen Mitarbeitern, die zuverlässig alle landwirtschaftlichen Tätigkeiten auf der Fläche durchführten und bei arbeitsintensiven Untersuchungen mithalfen. Für Ihre fachliche und technische Unterstützung rund um das Thema Fließgewässer und Schwebstoffe danken wir insbesondere Marianne Magin der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie sowie Eiko Hermann (B.P.S. Engineering GmbH). Die Erosionsgefährdungsanalyse (AP1) erstellten Dr. Jörg Perner und seine Mitarbeiter (U.A.S Umwelt- und Agrarstudien GmbH) – herzlichen Dank. Herr Hohnvehlmann (†) von der TLUG übernahm freundlicher Weise die Bodenansprache der vier Bodenprofile. Ein besonderer Dank gilt den Arbeitskollegen aus dem Referat Nachwachsende Rohstoffe, insbesondere Torsten Graf, Andrea Biertümpfel, Linda Jung, Manuela Bärwolff und Thomas Hering. Außerdem trug die unkomplizierte Unterstützung von Mitarbeitern anderer Referate der TLL in fachlichen und technischen Fragen zum Gelingen des Projektes bei. Last but not least möchten wir Dirk Harzendorf danken, der umsichtig und tatkräftig die Versuchsfläche betreute, den größten Teil der Daten erhob und mit vielen Fotos die Entwicklung der Versuchsfläche im Jahresverlauf und über die Jahre hinweg dokumentierte.

Literatur

AD-HOC-AG-BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hg.). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Hannover, 483 S.

AUERSWALD, K. UND VON PERGER, P. (1998): Bodenerosion durch Wasser. Ursachen, Schutzmaßnahmen und Prognose mit PC ABAG. Bonn. AID (AID, 1378).

ARONSSON P.G. UND BERGSTRÖM L.F. (2001): Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N application, irrigation and soil type. Biomass Bioenergy 21 (3):155–164.

BÄRWOLFF, M. UND VETTER, A. (2012): Gewässerrandstreifen als Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme. Gutachten für das Bundesumweltamt.

BMU – BUNDESMINISTERIM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2013): Die Wasserrahmenrichtlinie. Eine Zwischenbilanz zur Umsetzung der Maßnahmenprogramme 2012. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/ sites/default/files/medien/378/publikationen/wasserrahmenrichtlinie_2012.pdf, zuletzt geprüft am 22.01.2015.

BMLUW – BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND. UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2009): Effektivität von Gewässerrandstreifen zum Schutz von Oberflächengewässern. Endbericht.

CHRISTEN B. (2007): Tree root influences on soil physical properties under shelterbelts on pasture: design and evaluation of an approach using dye staining. Dissertation. UK: University of Wales, Bangor.

CHRISTEN B. UND DALGAARD T. (2012): Use of buffers on agricultural land in temperate Europe – mechanisms behind principal ecosystem function and services. Biomass and Bioenergy 55: 53 - 67.

CLAUS, E.; BÖTTCHER, G.; FREY, S. KRÄMER T.; NAUMANN, U.; RAUCH, H.; RICKLING, M. (2010): Empfehlung für Schwebstoffuntersuchungen an Überblicksmessstellen im Elbeeinzugsgebiet. http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fgg-elbe.de%2Fhintergrundinformationen.html%3Ffile%3Dtl_files%2FDownloads%2FEG_WRRL%2Fhgi%2Fhgd_bp1%2Fempfehlung_schwebstoffuntersuchungen_2010.pdf&ei=UopZVeWCGMj1Uo7PgLAB&usg=AFQjCNEos4EcRVuoRPV5l3eWjO38rwUSvg&bvm=bv.93564037,d.d24. zuletzt geprüft am 18.05.2015.

DEUTSCHER WETTERDIENST (2013): Stark- und Dauerregen. (Hg. DWD). Online verfügbar unter http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_result_page&portletMasterPortlet_i1gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FAufgabenspektrum%2FNumerische__Modellierung%2FVorhersagedienst%2FDauerregen__node.html%3F__nnn%3Dtrue, zuletzt geprüft am 13.05.2013.

DILLAHA, T. A., RENEAU, R. B., MOSTAGHIMI, S. UND LEE, D. (1989): Vegetative filter strips for agricultural non-point source pollution control. In: Transactions of the ASAE 32 (2), S. 513-519.

DIMITRIOU, I. UND ARONSSON, P. (2011): Wastewater and sewage sludge application to willows and poplars grown in lysimeters—plant response and treatment efficiency. Biomass Bioenergy 35 (1):161–170

DUCHEMIN, M., HOGUE, R. (2009): Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year of following establishment on an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada). Agriculture, Ecosystems and Environment 131, 85-97.

DORIOZ, J. M., WANG, D., POULENARD, J. UND TREÉVISAN, D. (2006): The effect of grass buffer strips on phosphorous dynamics – a criticalo review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 117, S. 4-21.

FARACK, M., DEGNER, J., GUDDAT, C., ZORN, W., PAUL, R., GÖTZ, R. (2011): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Winterweizen. TLL (Hg.).

FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hg.) (2012): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Rostock

HAY, V., PITTROFF, W., TOOMAN, E. E., MEYER, D. (2006): Effectiveness of vegetative filter strips in attenuating nutrient and sediment runoff from irrigated pastures. Journal of Agricultural Science 144, 349-360.

HARTMANN G. (1995): Wurzelhalsfäule der Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) – eine bisher unbekannte Pilzkrankheit durch Phytophthora cambivora. In: Forst und Holz 50, S. 555–557

HEß, H. UND ZORN, W. (2008) Betriebsbezogene handschriftliche Nährstoffbilanz gemäß Düngeverordnung (DüV) 2007 - Formulare - Berechnungshilfe – Richtwerte – Elementwerte. TLL (Hg.). S. 33

JUG, A., HOFMANN-SCHIELLE, C., MAKESCHIN, F., REHFUESS, K. E. (1999) Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. For Ecol Manage 121, 67–83.

KADEREIT, A. (1995): Prognose von Bodenerosion. Workshop. Karlsruhe: LfU (Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg).

KÖHLE, K UND HEINRICH, J. (2015): Wo passen Holzplantagen? agrarmanager März 2013, S.32-35.

LIANG, W. L., KOSUGI K., MIZUYAMA T. (2009). A three-dimensional model of the effect of stemflow on soil water dynamics around a tree on a hillslope. Journal of Hydrology 366 (1-4), S. 62-75

LIN, Y. F., LIN, C. Y., CHOU, W. C., LIN, W. T., TSAI, J. S., WU, C. H.(2004): Modeling of riparian vegetated buffer strip width and placement: A case study in Shei Pa National Park, Taiwan. Ecological Engineering 23, 327-339.

MAGIN, M. (2013). Bach aus Freienbessingen. Jena, 29.04.2013. E-Mail.

MAGETTE, W. L. BRINSFIELD, R. B., PALMER, R. E. UND WOOD, J. D. (1989): Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. In: Transactions of the ASAE32 (2), S. 663-667.

PERNER, J. UND WURLITZER, J. (2005): Modellprojekt: Verminderung der Stoffaustragsgefahr durch Wasser-erosion von landwirtschaftlich genutzten Flächen (VERSTOLA): Maßnahmen gegen bodenerosions-bedingte Stoffausträge in Thüringer Landwirtschaftsbetrieben (unveröffentlichter. Abschlussbericht im Auftrag der TLL).

OSTERBURG, B. UND RUNGE, T. (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 307

ORLIK, S.; KASIMIR, P. UND GÖBKE, A. (2007): Auswertung von Analysen des abzentrifugierten Schwebstoffs aus Fließgewässern in Sachsen-Anhalt im Zeitraum 2005 bis Mitte 2007. Hg. v. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.

ROGERS, R. D. UND SCHUMM, S. A. 1991: The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield. Journal of Hydrology 123, S. 19–24.

SCHÄUBLE, H. (1999): Erosionsprognosen im GIS und EDV. Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft. Diplomarbeit. Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

SCHÄUBLE, H. (2005): AVErosion 1.0 für ArcView - Berechnung von Bodenerosion und - akkumulation nach den Modellen RUSLE und MUSLE87. Online verfügbar unter http://www.terracs.de, zuletzt geprüft am 23.05.2013.

SCHÄUBLE, H., MARINONI, O. UND HINDERER M. (2008): A GIS-based method to calculate flow accumulation by considering dams and their specific operation time. In: *Computer and Geosciences* 6 (34), S. 635–646.

SCHINDEWOLF, M. UND SCHMIDT, W. (2012): Abschätzung der erosionsbedingten Nährstoffeinträge in Oberflächenwasserkörper nach EU-WRRL in Sachsen mit Hilfe des Modells EROSION 3D. Schriftenreihe LfULG 11/2012. Dresden.

SCHMITT, T. J., DOSSKEY, M. G. UND HOAGLAND, K. D. (1999): Filter strip performance and processes for different vegetation, width and contaminants. Journal of Environmental Quality 28, S. 1479-1489.

SCHWERTMANN, U., VOGL, W. UND KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Aufl. Stuttgart: Ulmer

SCHULLA, J. UND JASPER, K. (2007): Model description WaSiM-ETH. Technical Report. ETH Zürich. Online verfügbar unter: http://www.wasim.ch/products/wasim_description.htm, zuletzt geprüft am 10.06.2013

SCHUSTER, K. (2007): Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen (Kurzumtrieb, Short-Rotation-Farming). Erfahrungen in Niederösterreich. http://bfw.ac.at/rz/document_api.download?content=Schuster_Energieholzproduktion.pdf. zuletzt geprüft am 20.03.2012.

SKODAWESSELY, C.; PRETZSCH, J. UND BEMMANN, A. (Hg.). (2010): Beratungshandbuch zu KUP. Eigenverlag der TU Dresden.

TLL - THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFt (Hg.) (TLL) (2008): Standpunkt Energieholzanbau auf gewässernahen Ackerflächen. http://www.tll.de./ainfo/pdf/ ehol0208.pdf., zuletzt geprüft am 21.05.2015

TLL - THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFt (Hg.) (2009): 15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen. http://www.tll.de./ainfo/pdf/ehol1009.pdf. aufgerufen am 20.03.2012.

TLUG -THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hg.) (2011). Handbuch zur naturnahen Unterhaltung und zum Ausbau von Fließgewässern, Schriftenreihe der TLUG 99.

TMUEN – THÜRINGER MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND NATURSCHUTZ (2015): Thüringer Landesprogramm Gewässerschutz. Texteil. Entwurf

TMLFUN - THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN, UMWELT UND NATURSCHUTZ (2014a): Thüringer Bioenergieprogramm 2014

TMLFUN - THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN, UMWELT UND NATURSCHUTZ (2014b): Maßnahmenbeschreibung zum Thüringer Programm zur Förderung von umwelt- und klimagerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege (KULAP 2014). Entwurf.

TOMER, M. D., JAMES, D. E., ISENHART, T. M., 2003: Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. Journal of Soil and Water Conservation 58(4), 198-206.

TRAUPMANN, P. (2004): Anleitung zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen. http://www.dendrom.de/daten/downloads/anleitung%20KUP%20burgenland.pdf. zuletzt geprüft am 19.03.2012.

WISCHMEIER, W.H. UND SMITH, D.D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. Washington, D.C: U.S. Gov. Print. Off. (United States Department of Agriculture. Agriculture handbook, 537.

Anhang A - Tabellen

Tab. A 1: Angaben zur Bewirtschaftung der AL-Parzellen

Ackerfrucht	Datum	Bewirtschaftung	Verwendetes Mittel/Sorte	Konzentration
Winterraps	26.08.2011	Aussaat	50 Körner/m²	50 Körner/m²
	26.08.2011	Herbizid	Butisan Gold	2,5 l/ha
	09.09.2011	Herbizid	Agil S	1,0 l/ha
	15.03.2012	1.N-Gabe	Ammonsulfatsalpeter	100 kg N/ha
	11.04.2012	2.N-Gabe	Kalkammonsalpeter	100 kg N/ha
	26.07.2012	Ernte	50 Körner/m²	2,5 l/ha
Winterweizen	04.10.2012	Aussaat	Sorte Tobak	350 Körner/m²
	19.10.2012	Herbizid	Baccara forte	1,0 l/ha
	09.04.2013	1.N-Gabe	Kalkammonsalpeter	90 kg N/ha
	15.05.2013	2.N-Gabe	Kalkammonsalpeter	80 kg N/ha
	21.05.2013	Herbizid	Basagran DP MCPA	2,5 l/ha 1,0 l/ha
	23.05.2013	Fungizid Wachstumsregler	Adexar Moddus	2,0 l/ha 0,3 l/ha
	22.08.2013	Ernte		
Durum	05.03.2014	Aussaat		400 Körner/m²
	11.03.2014	1.N-Gabe	AHL	100 kg N/ha
	06.05.2014	Herbizid	Broadway	220 g/ha
	15.05.2014	Wachstumsregler	Moddus	0,3 l/a
	15.05.2014	Fungizid	Adexar	1,5 l/ha
	08.08.2014	Ernte		

Tab. A 2: Nährstoffgehalte in der wässrigen Phase im hydrologischen Jahr 2013. Bennebach (W1 – W4), Drainagen (W6 – W9).

Probepunkt	NH4-N			o-PO4			Corg		
	M	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*	*M*	*SD*	*N*
W1	3,01	6,57	12	0,443	,684	12	5,94	4,47	12
W2	2,54	6,10	12	0,397	,541	12	5,74	4,21	12
W3	2,68	6,15	12	0,392	,582	12	5,66	3,22	12
W4	1,09	2,10	12	0,258	,168	12	4,85	3,50	12
W5	,63	1,12	10	0,073	,098	10	2,89	,65	10
W6	,26	,51	10	0,050	,028	10	2,89	1,44	10
W8	,10	,07	9	0,035	,011	9	2,40	1,08	9
W9	,13	,12	8	0,036	,015	8	2,12	0,61	8

Anhang B - Abbildungen

Vor-Ort-Parameter

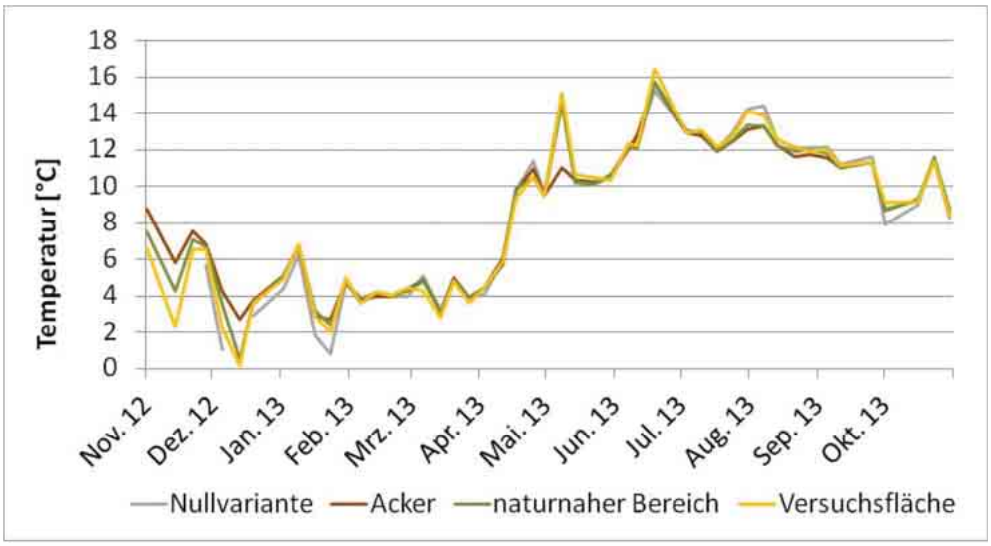

Abb. B 1: Jahresgang Wassertemperatur im hydrologisches Jahr 2013 an den Messstellen W1 – W4.

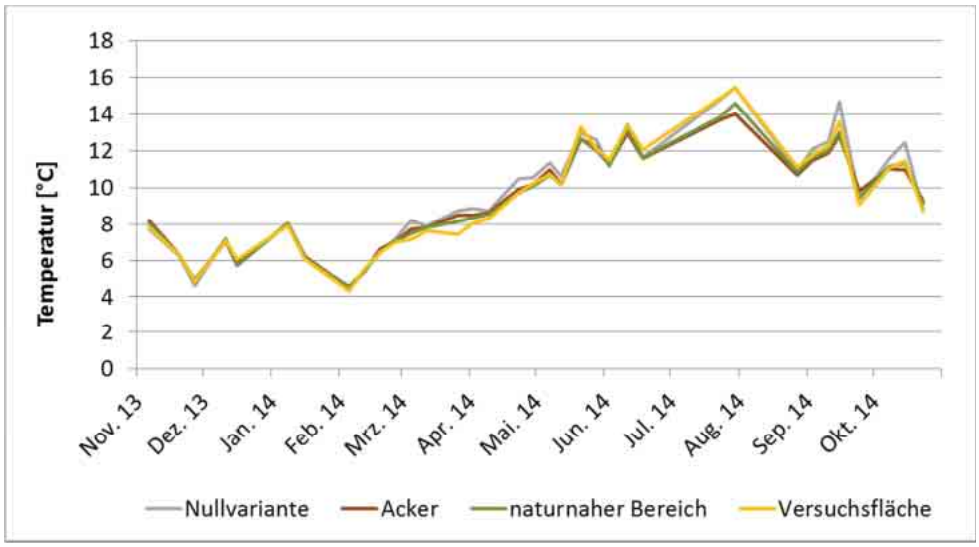

Abb. B 2: Jahresgang Wassertemperatur im hydrologisches Jahr 2014 an den Messstellen W1 – W4.

Schwebstoffe

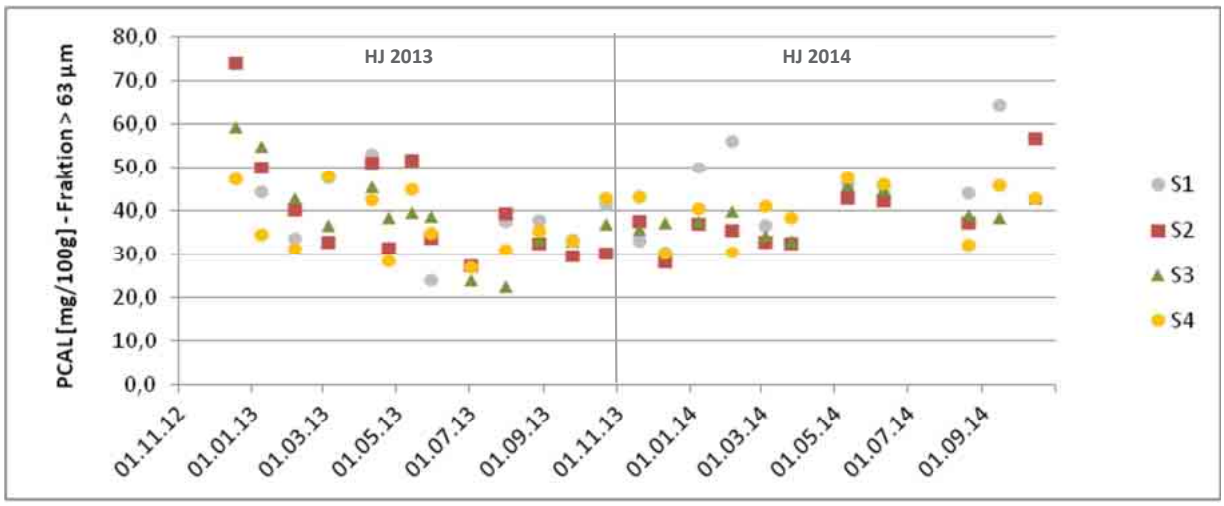

Abb. B 3: Pcal-Gehalt der Sandfraktion in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

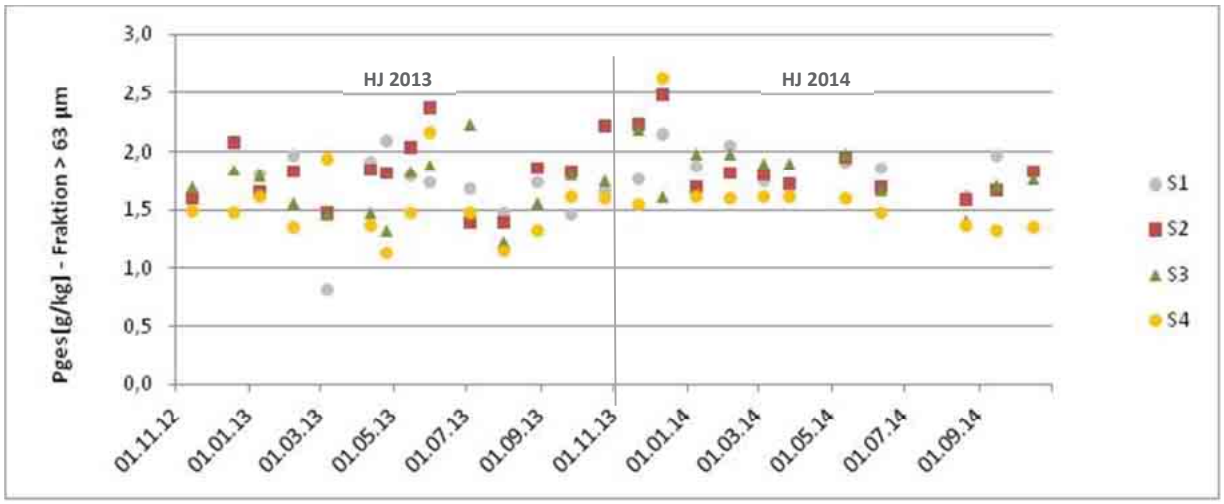

Abb. B 4: P_{ges}-Gehalt in g/kg der Sandfraktion in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

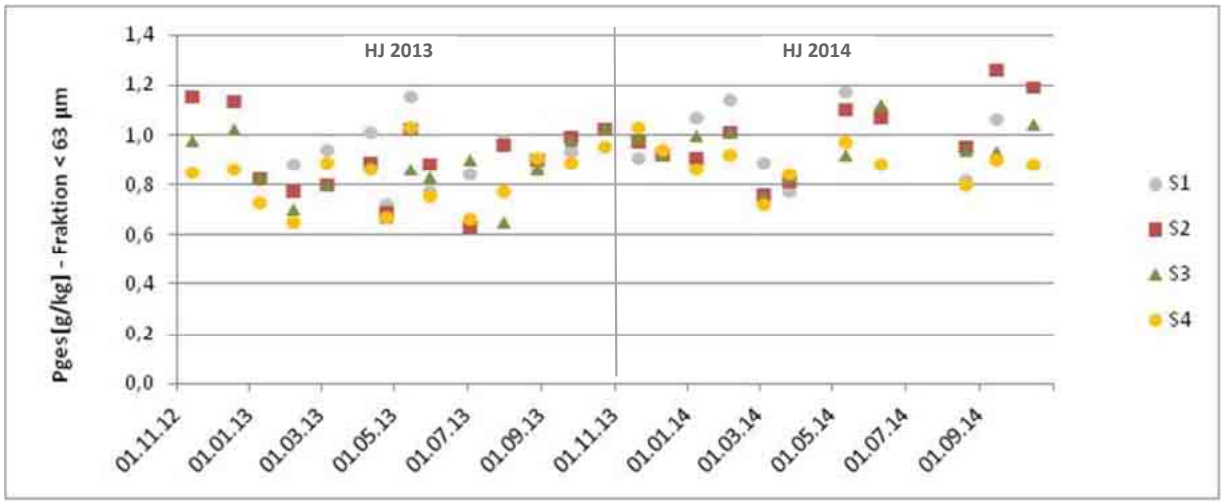

Abb. B 5: P_{ges}-Gehalt in g/kg der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

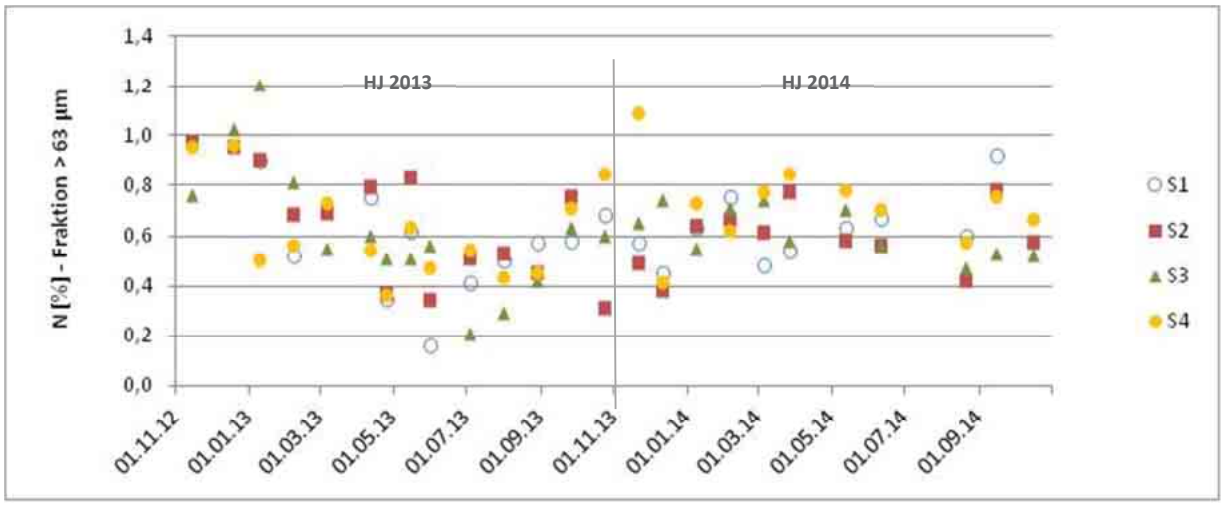

Abb. B 6: N-Gehalt der Sandfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

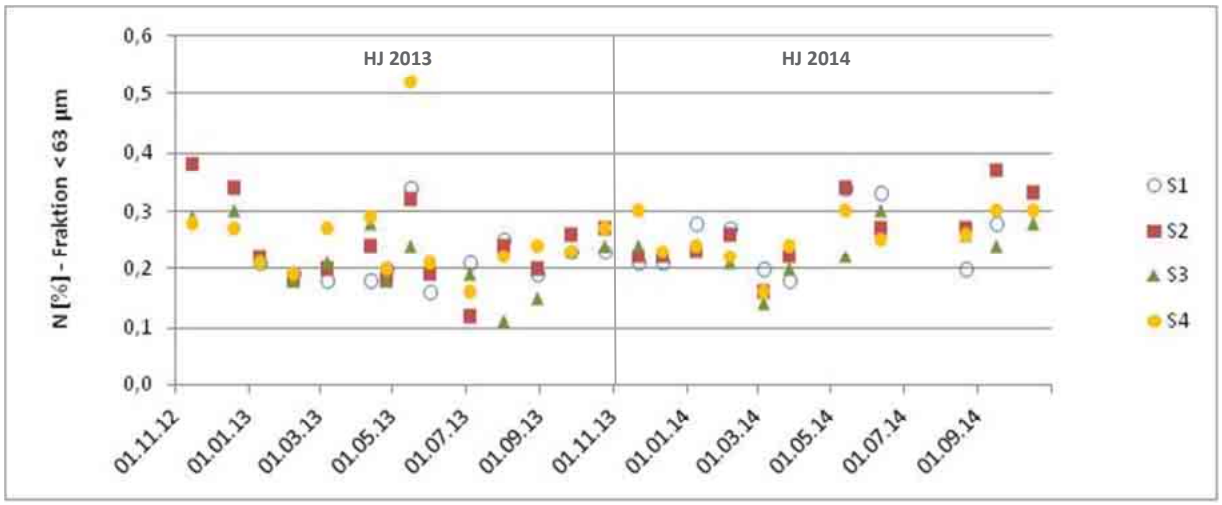

Abb. B 7: N-Gehalt der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

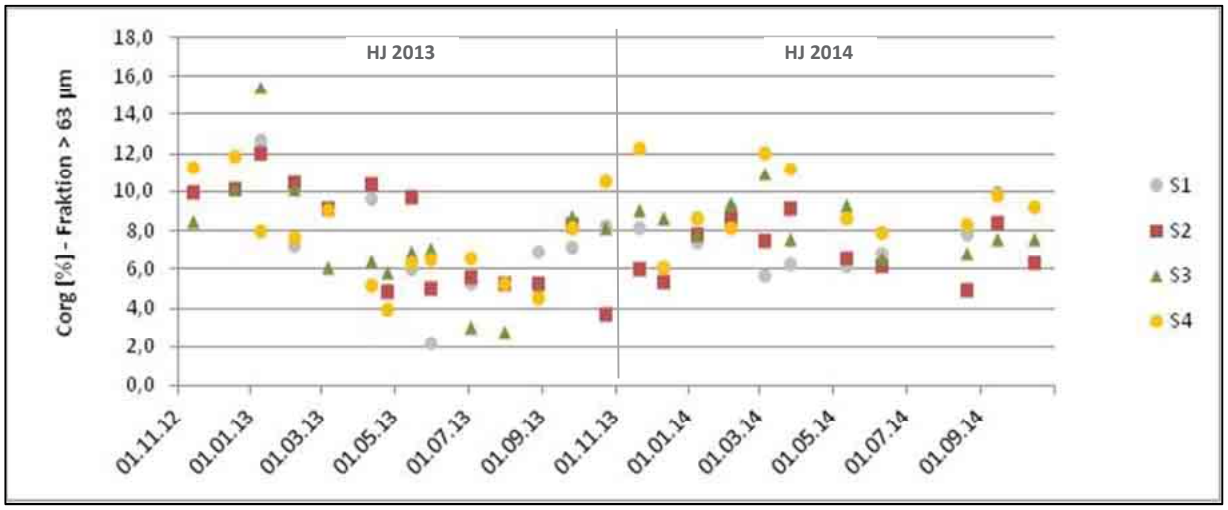

Abb. B 8: C_{org}-Gehalt der Sandfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

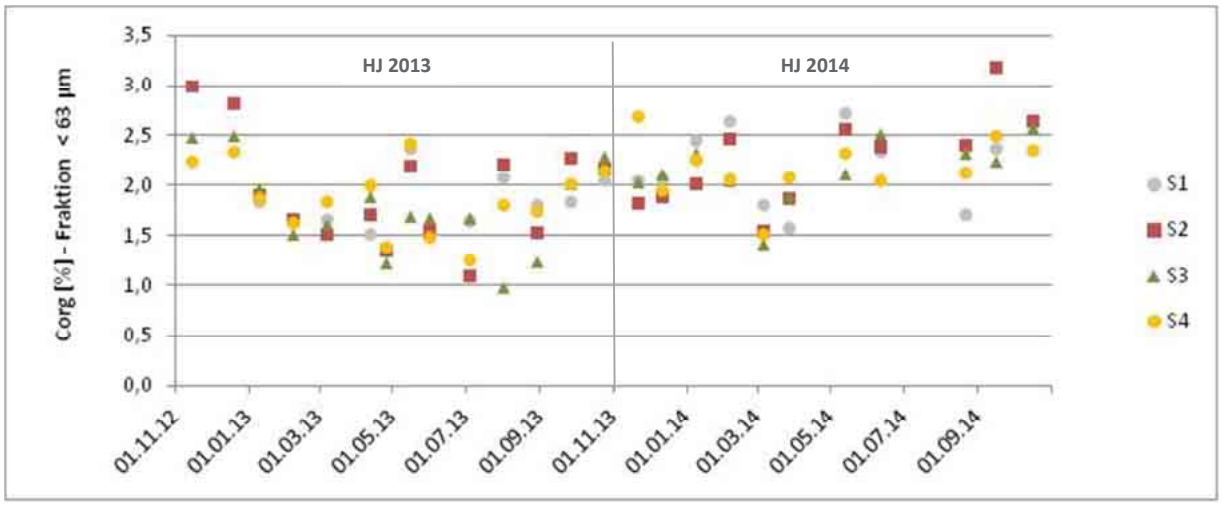

Abb. B 9: C_{org}-Gehalt der Schluff- und Tonfraktion der Sedimente in den Schwebstofffallen. S1) Kontrolle, S2) Ackerland, S3) naturnaher Weidenbestand, S4) Versuchsfläche.

Anhang C – Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes

Publikationen

Fürstenau, C. (in Vorbereitung): Short rotation coppice as riparian buffer strips. Energy, Sustainability and Society

Fürstenau, C., Schulz, D., Bärwolff, M. (in Vorbereitung): Kurzumtriebsplantagen als Gewässerrandstreifen – ein neuer Wege zur Reduktion erosionsbedingter Phosphateinträge? WasserWirtschaft

Fürstenau, C. (2014): Kurzumtriebsplantagen zum Gewässerschutz. Bauernzeitung 55

Bärwolff, M., Gödeke, K., Fürstenau, C. (2014): Einsatzfälle KUP: Greening, Gewässer und Erosionsschutz, Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen (PIK). In: Thüringer Bioenergietag - Optionen von Energieholz aus KUP für die Landwirtschaft. TLL (Hg.), S. 9-16.

Fürstenau, C. und Vetter, A. (2014): Short rotation coppices along watercourses - an innovative combination of sustainable agriculture and water protection. In: Book of Abstract. 2nd European Agroforestry Conference. 04 -06 June 2014, Cottbus. 2014

Fürstenau, C., Harzendorf, D., Jung, L., Vetter, A. (2013): KUP am Fließgewässer - Streifenförmiger Anbau schnellwachsender Bäume entlang eines Fließgewässers zur Vermeidung von Stoffeinträgen. In: Jahresbericht 2012. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.). Schriftenreihe „Landwirtschaft und Landschaftspflege“. Heft 2/2013. S. 151 – 153

Jung, L. (2013): Kurzumtriebsplantagen an Fließgewässern - Gewässerschutz durch Erosionskontrolle und Verringerung des Stoffeintrages. In: Agrarholz - Kongress 2013. Gülzower Fachgespräche Band 43. FNR (Hg.). S. 30 – 31

Vorträge

Fürstenau, C. (2014): Kurzumtriebsplantagen an Fließgewässern zur Vermeidung von Stoffeinträgen. 4. Forum Agroforstsysteme. 03./04.12.2014. Dornburg

Fürstenau, C. und Bärwolff, M. (2014): Short rotation coppice as riparian buffer strips. Biomass for energy - lessons from the Bioenergy Boom. 24./25. November 2014. Leipzig.

Fürstenau, C.; Harzendorf, D.; Vetter, A. (2014). Retentionswirkung von KUP, Grünland und Ackerland - Ergebnisse des zweijährigen Boden- und Gewässermonitorings. Fachgespräch „KUP am Fließgewässer“ 15.05.2013. Jena

Fürstenau, C. und Jung, L. (2013). Gehölzstreifen/Agroforstsysteme – Beitrag zu einer vielfältigen und nachhaltigen Landnutzung. Energieforum auf der Brandenburger Forstausstellung. 24. August 2013. Paaren.

Fürstenau, C.; Jung, L.; Vetter, A. (2013). Kurzumtriebsplantagen an Fließgewässern - Gewässerschutz durch Erosionskontrolle und Verringerung des Stoffeintrages. Agrarholz-Kongress 2013. 19./20. Februar 2013. Berlin.

Fürstenau, C. (2012): Erosions- und Gewässerschutz durch Gehölzstreifen. 3. Forum Agroforstsysteme. 6./7. Juni 2012. Cottbus