



Das Lebensministerium



Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft  
Heft 12 – 10. Jahrgang 2005

Freistaat  Sachsen  
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

## **Veränderte Landnutzungssysteme in hochwassergefährdeten Gebieten**

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung.....</b>  | <b>10</b> |
| 1.1      | Veranlassung .....  | 10        |
| 1.2      | Projektstruktur .....   | 11        |
| <b>2</b> | <b>Material und Methoden .....</b>  | <b>11</b> |
| 2.1      | Kartengrundlage .....   | 11        |
| 2.2      | Untersuchungsflächen .....  | 11        |
| 2.3      | Bodenkundliche Untersuchungen .....   | 12        |
| 2.3.1    | Bodenansprache .....  | 12        |
| 2.3.2    | Probenahme .....  | 13        |
| 2.3.3    | Korngrößenanalyse.....  | 13        |
| 2.3.4    | Wasserretentionskurve .....   | 13        |
| 2.3.5    | Hydraulische Leitfähigkeit bei Feldsättigung .....  | 13        |
| 2.3.6    | Agrarmeteorologische Messungen .....  | 14        |
| <b>3</b> | <b>Rechtlich-administrative Aspekte des Hochwasserschutzes .....</b>                              | <b>14</b> |
| 3.1      | Die Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in nationales Recht.....                            | 14        |
| 3.1.1    | Europäische Union.....  | 14        |
| 3.1.2    | Deutschland .....   | 15        |
| 3.1.3    | Sachsen .....   | 16        |
| 3.2      | Hochwasserschutz durch Festsetzung von Überschwemmungsgebieten– Situation in<br>Deutschland ..... | 17        |
| 3.2.1    | Rechtliche Grundlagen.....  | 17        |
| 3.2.2    | Nutzungseinschränkungen und Ausgleich .....   | 19        |
| 3.2.3    | Deichrückbauten und Polderanlagen in Deutschland .....  | 20        |
| 3.3      | Hochwasserschutzpolitik und Landwirtschaft – Situation in anderen Staaten.....                    | 25        |
| 3.3.1    | Großbritannien .....  | 25        |
| 3.3.2    | Niederlande.....  | 26        |
| 3.3.3    | USA .....   | 28        |
| <b>4</b> | <b>Beschreibung des Untersuchungsgebietes .....</b>   | <b>29</b> |
| 4.1      | Naturräumliche Gliederung .....   | 29        |
| 4.1.1    | Geologische Gliederung.....   | 29        |
| 4.1.2    | Sächsische Naturraumkartierung.....   | 30        |
| 4.2      | Klimatische Verhältnisse .....  | 32        |
| 4.3      | Grundwasser.....  | 32        |
| 4.4      | Bodenverhältnisse .....   | 34        |
| 4.4.1    | Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung .....                                     | 34        |
| 4.4.2    | Bodenbezogene Untersuchungen.....   | 38        |
| 4.5      | Potenziell natürliche Vegetation.....   | 39        |
| 4.6      | Landnutzung des Untersuchungsgebietes .....   | 39        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.6.1    | Historische Landnutzung.....   | 39         |
| 4.6.2    | Heutige Landnutzung .....  | 40         |
| 4.6.3    | Bewirtschaftungsstruktur.....  | 44         |
| <b>5</b> | <b>Hochwasserschutz und –vorsorge im Untersuchungsgebiet.....</b>  | <b>46</b>  |
| 5.1      | Hochwasserschutz-Planungen im Bereich der Vereinigten Mulde.....   | 46         |
| 5.2      | Hochwasserschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet .....   | 48         |
| 5.2.1    | Planung I – Linker Muldedeich zwischen Bennewitz und Groitzsch.....  | 48         |
| 5.2.2    | Planung II – Linker Muldedeich Eilenburg-Hainichen-Zscheplin .....   | 49         |
| 5.2.3    | Planung III – Rechter Muldedeich Mörtitz-Gruna-Laußig .....  | 49         |
| 5.2.4    | Planung IV – Rechter Muldedeich Pristäblich .....  | 49         |
| 5.2.5    | Planung V – Rechter Muldedeich Wurzen-Canitz-Kollau.....   | 49         |
| 5.2.6    | Planung VI – Linker Muldedeich Hohenprießnitz-Glauchau.....  | 49         |
| 5.2.7    | Planung VII – Linker Muldedeich Wellaune-Schnaditz-Löbnitz.....  | 50         |
| 5.3      | Auswirkungen auf die Landwirtschaft.....   | 50         |
| <b>6</b> | <b>Überflutungen und landwirtschaftliche Nutzung .....</b>   | <b>55</b>  |
| 6.1      | Häufigkeit von Hochwasserereignissen .....   | 55         |
| 6.2      | Hochwasserempfindlichkeit landwirtschaftlicher Flächen.....  | 57         |
| 6.3      | Hochwasserschäden auf landwirtschaftlichen Flächen .....   | 57         |
| 6.3.1    | Schäden durch Überstau .....   | 58         |
| 6.3.2    | Schäden durch Stoffeintrag.....  | 60         |
| 6.3.3    | Schäden durch fließendes Wasser .....  | 66         |
| 6.3.4    | Indirekte Schäden durch das Hochwasser.....  | 71         |
| 6.3.5    | Handlungsempfehlungen und weiterer Untersuchungsbedarf .....   | 71         |
| <b>7</b> | <b>Optionen zur Änderung der landwirtschaftlichen Landnutzung .....</b>  | <b>72</b>  |
| 7.1      | Umwandlung von Ackerland in Grünland .....   | 72         |
| 7.2      | Umstellung auf Konservierende Bodenbearbeitung.....  | 74         |
| 7.2.1    | Erosionsminderung .....  | 74         |
| 7.2.2    | Verbesserte Abtrocknung.....   | 75         |
| 7.3      | Nutzungsmöglichkeiten überflutungsgefährdeter landwirtschaftlicher Flächen mit nachwachsenden Rohstoffen ..... | 86         |
| 7.3.1    | Energetische und stoffliche Verwertung von Grünlandaufwüchsen .....  | 86         |
| 7.3.2    | Alternative Nutzung von hochwassergefährdeten Ackerflächen .....   | 97         |
| 7.3.3    | Gesamtbewertung – Nachwachsende Rohstoffe .....  | 115        |
| <b>8</b> | <b>Betriebswirtschaftliche Aspekte.....</b>  | <b>119</b> |
| 8.1      | Methodik und Datengrundlagen .....   | 119        |
| 8.2      | Referenzszenario .....   | 121        |
| 8.3      | Vergleichsszenarien.....   | 123        |
| 8.3.1    | Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung .....   | 123        |
| 8.3.2    | Verzicht auf den Anbau von Hackfrüchten .....  | 125        |
| 8.3.3    | Verzicht auf den Anbau von Silomais.....   | 126        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 8.3.4    | Flächenstilllegung/ Mindestpflege aus der Produktion genommener Flächen ..... | 130        |
| 8.3.5    | Umwandlung von Ackerland in Grünland .....                                    | 132        |
| 8.4      | Ermittlung des Schadenspotenzials durch Überschwemmungsereignisse .....       | 141        |
| 8.4.1    | Schadenspotenzial wichtiger Kulturen infolge eines Hochwasserereignisses..... | 144        |
| 8.4.2    | Vergleich des Schadenspotenzials der Szenarien .....                          | 147        |
| 8.5      | Deichpflege .....   | 150        |
| 8.6      | Auswirkung veränderter Landnutzung auf den Fixkostenbereich.....              | 151        |
| <b>9</b> | <b>Literatur</b> .....  | <b>152</b> |
|          | <b>Anhang</b> .....   | <b>160</b> |

## Tabellenverzeichnis

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabelle 1  | Beispiele für geplante und realisierte Deichrückbauten und Polderanlagen in Deutschland (LW = Landwirtschaft, DRV = Deichrückverlegung, IRP = Integriertes Rheinprogramm, PF = Planfeststellung, MS = Machbarkeitsstudie)..... | 20 |
| Tabelle 2  | Angaben zu Flächengrößen und Flächenanteilen der Wasserverhältnisse am Untersuchungsgebiet (Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979).....  | 33 |
| Tabelle 3  | Flächengrößen und Flächenanteile der Bodenartengruppen am Untersuchungsgebiet nach MMK (Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979) .....   | 37 |
| Tabelle 4  | Flächengrößen und Flächenanteile der MMK-Leitbodenformen am Untersuchungsgebiet (sortiert nach Anteilen an der Gesamtfläche).....  | 37 |
| Tabelle 5  | Profilbeschreibung der Untersuchungsflächen 1-4 .....  | 38 |
| Tabelle 6  | Größe und relative Anteile der durch Haupterwerbsbetriebe bewirtschafteten Ackerflächen und Grünlandflächen im Untersuchungsgebiet (Ergebnisse Betriebsbefragung) .....  | 45 |
| Tabelle 7  | Scheiteldurchflüsse für Hochwässer unterschiedlicher Wiederkehrswahrscheinlichkeit (Angaben in m <sup>3</sup> ) für die Pegel Golzern und Bad Dübén (Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH, 2004).....                           | 47 |
| Tabelle 8  | Richtwerte für durch landwirtschaftliche Flächen maximal tolerierbare Überstauzeiten und –höhen bei Überflutungen landwirtschaftlicher Kulturen (nach Desbos, 1997) .....  | 58 |
| Tabelle 9  | Schwermetallgehalte (Wasser, Sediment, Schwebstoff) in der Vereinigten Mulde.....  | 63 |
| Tabelle 10 | Geogene Hintergrundwerte von Schwermetalle und Arsen im Gebiet der Vereinigten Mulde – Angaben in mg/kg .....  | 64 |
| Tabelle 11 | Schwermetallgehalte von Sedimentproben der Vereinigten Mulde und Kennzeichnung der Überschreitungen von Grenzwerten nach § 8 BBodSchG (Angaben in mg/kg) – Angabe der Grenzwerte bei Analytik im Königswasserextrakt.....      | 65 |
| Tabelle 12 | Grenzscherpspannung $\tau_0$ (nach DIN 19661-2) für Böden .....  | 68 |
| Tabelle 13 | Vergütung für Strom aus Biomasse nach § 5 EEG.....   | 86 |
| Tabelle 14 | Stoffeigenschaften und Biogasausbeuten verschiedener Substrate (Quelle: Schattauer, Weiland (2004)).....   | 90 |
| Tabelle 15 | Biomassekosten von Feldfrüchten (Quelle: TLL Jena) .....   | 90 |
| Tabelle 16 | Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung auf der Grundlage von Grünlandsilage .....  | 91 |
| Tabelle 17 | Eigenschaften und Inhaltsstoffe von Biobrennstoffen (Quelle: Hartmann, 2001 in: Leitfaden Bioenergie, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe .....  | 94 |
| Tabelle 18 | Energiegehalte und Schüttdichten ausgewählter biogener Brennstoff im Vergleich zu Heizöl EL (nach Oberberger, 1998) .....  | 95 |
| Tabelle 19 | Kostenkalkulation Heuproduktion zur Festbrennstoffgewinnung – zwei Intensitätsstufen.....  | 95 |
| Tabelle 20 | Wärmegestehungskosten für eine Heizanlage von 10 kW und 1500 Vollbenutzungsstunden (nach Holz, 2003) .....   | 96 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabelle 21  | Kalkulation der Wärmegestehungskosten eines Stroh-Heu-)Heizwerkes 5 MW ohne Wärmeverteilung, ohne Förderung.....   | 96  |
| Tabelle 22  | Vergleich der Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Winterraps Food und Non-Food auf Flächen mit Energiepflanzenprämie (Schmidt et al., 2005) .....                                      | 100 |
| Tabelle 23  | Biomassekosten von Feldfrüchten (TTL Jena; Schmidt et al., 2005).....  | 101 |
| Tabelle 24  | Einsatz von Maissilage in Biogasanlagen (Jäkel, 2005) .....  | 102 |
| Tabelle 25  | Energiemaissorten – Übersicht (nach Eder, LfL Bayern, 2005).....   | 102 |
| Tabelle 26  | Übersicht zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb.....  | 103 |
| Tabelle 27  | Erträge schnellwachsender Baumarten – Standort Kalkreuth, stark sandiger Lehm, Ackerzahl 49, Bestandesdichte 17.778 Pflanzen/ha.....   | 103 |
| Tabelle 28  | Vollkostenkalkulation für den Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb; Annahme: 11.000 Bäume/ha, 20 Nutzungsjahre, Umtrieb 4 Jahre.....                                     | 104 |
| Tabelle 29  | Kosten-Leistungsvergleich für die Hackschnitzelbereitstellung aus Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten.....   | 104 |
| Tabelle 30  | Chancen schnellwachsender Baumarten auf dem Industrie- und Energiemarkt .....  | 105 |
| Tabelle 31  | Wichtige Bauarten automatisch beschickter Feststofffeuerungen .....  | 105 |
| Tabelle 32  | Anbauvarianten für schnellwachsende Baumarten.....   | 106 |
| Tabelle 33  | Erträge von <i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>Giganteus</i> in Anbauversuchen unter gemäßigten Klimabedingungen <sup>1)</sup> (Schwarz und Schnug, 1994; Röhrich et al., 2002)..... | 110 |
| Tabelle 34  | Brennstoffeigenschaften ausgewählter Biobrennstoffe.....   | 110 |
| Tabelle 35  | Kostenkalkulation <i>Miscanthus</i> Anbauverfahren .....   | 110 |
| Tabelle 36  | Qualitätsanforderungen an Ernteprodukte von <i>Miscanthus sinensis</i> .....   | 111 |
| Tabelle 37  | Kostenanalyse für die Prozesskette Energiepflanzengetreide (Wintertriticale) für mittleres Ertragsniveau 12 t/TM (15 % Wassergehalt) – Ballenlinie .....                             | 113 |
| Tabelle 38  | Kosten Ganzpflanzengetreide-Pellets.....   | 114 |
| Tabelle 39  | Ausgewählte anbau- und brennstofftechnische Daten von Rohrglanzgras (El Bassam, 1998; Schrader und Kaltofen, 1987) .....   | 114 |
| Tabelle 40  | Anbaualternativen auf Überschwemmungsflächen – Ackerland.....  | 117 |
| Tabelle 41  | Gesamtbewertung der alternativen Verwertung der Biomasse von Überschwemmungsflächen .....  | 117 |
| Tabelle 42  | Gesamtbewertung Anbaualternativen auf Überschwemmungsflächen - Ackerland.....  | 118 |
| Tabelle 43  | Energiefruchtfolgen – Biogas.....  | 118 |
| Tabelle 44  | Energiefruchtfolge – Festbrennstoff-Kraftstoff leichte Böden.....  | 118 |
| Tabelle 45  | Rahmenbedingungen der Kalkulation.....   | 121 |
| Tabelle 46: | Kosten-Vergleich zwischen Mulchsaat und konventioneller Bodenbearbeitung in EUR/ha (Quelle: Prämienkalkulation UL).....  | 124 |
| Tabelle 47  | Handlungsoptionen bei Anbauverbot Silomais .....   | 127 |
| Tabelle 48  | Notwendige Anbauausdehnung bei Ersatz Silomais durch Ganzpflanzensilage oder Klee gras.....  | 128 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabelle 49 | Vergleich der Deckungsbeiträge bei Ersatz Silomais durch Wintergerste-Ganzpflanzensilage und Klee gras vor Agrarreform .....  | 129 |
| Tabelle 50 | Vergleich der Deckungsbeiträge bei Ersatz Silomais durch Wintergerste-Ganzpflanzensilage und Klee gras nach Agrarreform .....   | 129 |
| Tabelle 51 | Deckungsbeitrag bei Flächenstilllegung bzw. Mindestpflege.....  | 131 |
| Tabelle 52 | Anpassungsmöglichkeiten bei der Umwandlung von Ackerland in Grünland (nach Neubert & Thiel; 2004).....  | 134 |
| Tabelle 53 | Wirtschaftlichkeit der Mutterkuh-Freilandhaltung (LfL 2001, verändert).....   | 135 |
| Tabelle 54 | Wirtschaftlicher Nachteil infolge auflagenbedingter Nutzungsänderungen der Ackerfläche in Abhängigkeit der angebauten Kultur (nach der Agrarreform).....  | 138 |
| Tabelle 55 | Wirtschaftlicher Nachteil infolge auflagenbedingter Nutzungsänderungen der Ackerfläche am Beispiel der vereinfachten Anbaustruktur der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe (nach der Agrarreform) ..... | 139 |
| Tabelle 56 | Kategorisierung und Bewertung landwirtschaftlicher Schäden (Neubert, G. Thiel, R., 2004) .....  | 143 |
| Tabelle 57 | Durchschnittliches Schadenspotenzial in der Fruchtfolge in Abhängigkeit von der Überstaudauer (EUR/ha).....   | 148 |
| Tabelle 58 | Hochwasser-Eintrittshäufigkeit in Abhängigkeit von der Überstaudauer und der Durchflussmenge (Pegeldaten Bad Düb en 1983-2000) .....  | 148 |
| Tabelle 59 | Aufsummiertes jährliches Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit bei Getreideernte im Juli über den Betrachtungszeitraum 1983-2003 in EUR/ha/a .....   | 149 |
| Tabelle 60 | Aufsummiertes jährliches Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit bei Getreiderente im August über den Betrachtungszeitraum 1983-2003 in EUR/ha/a .....   | 149 |
| Tabelle 61 | Verhältnis von Deichlänge zur geschützten Ackerfläche im Deichhinterland.....   | 150 |
| Tabelle 62 | Umlage der Deichpflegekosten (Pflege mit Schafen 511 EUR/ha) auf die geschützten Ackerflächen im Deichhinterland (EUR/ha/a) .....   | 151 |

## Abbildungsverzeichnis

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1  | Lage der Untersuchungsflächen 1-4.....  | 12 |
| Abbildung 2  | Linkes Bild - Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes nach Mannsfeld und Richter (1995); Rechtes Bild - Grenzen der Mikrogeochoren gem. Naturraumkartierung des Freistaates Sachsen (rote Linie) und des Überschwemmungsgebietes für ein HQ100 (Ist-Zustand) gem. Hochwasserschutzkonzept (blaue Linie) ..... | 31 |
| Abbildung 3  | Verteilung der grund- und stauwasserbeeinflussten Böden im Untersuchungsgebiet (nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979).....  | 33 |
| Abbildung 4  | Verteilung der Bodenartengruppen im Untersuchungsgebiet nach M (nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979).....  | 35 |
| Abbildung 5  | Verteilung der Leitbodenformen nach MMK im Untersuchungsgebiet (dargestellt sind nur die auch im Untersuchungsgebiet vorkommenden Bodenformen; nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979).....   | 36 |
| Abbildung 6  | Verlauf der Niederschläge und Bodenwasserspannungen am Standort Zschepplin im Jahre 2003( Bodenwasserspannung 30 cm, 60 cm und 90 cm Tiefe) .....   | 39 |
| Abbildung 7  | Landnutzung im Untersuchungsgebiet (LfUG, 2000).....  | 41 |
| Abbildung 8  | Landnutzung des Untersuchungsgebietes (Color-Infrarot-(CIR)-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung, LfUG, 2000).....   | 42 |
| Abbildung 9  | Lage der unter Naturschutz stehenden Flächen innerhalb des Untersuchungsgebietes .....  | 44 |
| Abbildung 10 | Lage der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen des HWSK im Untersuchungsgebiet.....   | 48 |
| Abbildung 11 | Überflutete Gesamtfläche für verschiedene Hochwasserstände im Ist (ohne Schraffur)- und Plan-Zustand (mit Schraffur) im Untersuchungsgebiet (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK) .....  | 51 |
| Abbildung 12 | Relative Anteile der überfluteten Acker- und Grünlandfläche an der Gesamtüberflutungsfläche im Ist- und Planzustand für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK).....   | 52 |
| Abbildung 13 | Relative Anteile der überfluteten Acker- und Grünlandflächen im Vergleich zur maximal überfluteten Acker- und Grünlandflächen (HQ100 Ist) für verschiedene Überflutungshäufigkeiten im Ist- und Planzustand .....   | 52 |
| Abbildung 14 | Veränderung der Überflutungsfläche für verschiedene Planzustände (dargestellt sind die Zu- bzw. Abnahmen der Überflutungsflächen gegenüber dem angenommenen Ist-Zustand).....   | 53 |
| Abbildung 15 | Überflutete Ackerfläche im Ist- (ohne Schraffur) und Plan-Zustand (mit Schraffur) im Untersuchungsgebiet für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK).....  | 54 |
| Abbildung 16 | Überflutete Grünlandfläche im Ist- und Plan-Zustand im Untersuchungsgebiet für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK).....  | 54 |
| Abbildung 17 | Häufigkeit von Hochwassereignissen an der Vereinigten Mulde für ausgewählte Wiederkehrintervalle (> HQ2, > HQ5, >HQ10, >HQ20, >HQ25)- Pegel Golzern, Grundlage Pegeldaten 1983-2003 (LfUG, 2004).....   | 55 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Abbildung 18 | Häufigkeit von Hochwassereignissen an der Vereinigten Mulde für ausgewählte Wiederkehrintervalle (> HQ2, > HQ5, >HQ10, >HQ20, >HQ25) - Pegel Bad Dübener; Grundlage Pegeldata 1983-2003 (LfUG, 2004).....   | 56  |
| Abbildung 19 | Häufigkeit von Hochwassereignissen ausgewählter Jährlichkeiten - Pegel Golzern überlagert mit zeitlichem Verlauf des Bedeckungsgrades für verschiedene Kulturpflanzen (nach LfL und LfUG, 1996).....  | 59  |
| Abbildung 20 | Häufigkeit von Hochwassereignissen ausgewählter Jährlichkeiten - Pegel Bad Dübener überlagert mit zeitlichem Verlauf des Bedeckungsgrades für verschiedene Kulturpflanzen (nach LfL und LfUG, 1996).....  | 60  |
| Abbildung 21 | Flächenanteile mit unterschiedlicher Erosionsgefährdung (geschätzte Schlepkräfte des Überflutungswassers) im Untersuchungsgebiet für verschiedene Hochwassereignisse und Planungsszenarien.....   | 69  |
| Abbildung 22 | Vergleich zwischen gemessenen Wasserretentionskurven von konventionelle bearbeiteten Oberböden (Untersuchungsfläche 3 und 4, gekennzeichnet durch Symbole) und einer konservierend bestellten Ackerfläche im Lößhügelland (ohne Markierung).....                          | 76  |
| Abbildung 23 | Typische Porengrößenverteilung für einen Versuchstandort mit bindigem Boden (errechnet aus mittleren Wasserretentionskurven) bei konventioneller (unmittelbar nach dem Pflügen, schwarzer Balken) und konservierender Bodenbearbeitung in 20 cm Tiefe (Bodenart Ut4)..... | 77  |
| Abbildung 24 | Idealisierte Wasserretentionskurven für einen Versuchstandort mit bindigem Boden mit konventioneller (schwarzer Kreis) und konservierender (Kreuz) Bodenbearbeitung in 20 cm (oben) und 40 cm Tiefe (Bodenart Ut4).....   | 78  |
| Abbildung 25 | Idealisierte Wasserretentionskurven für eine konservierend bearbeitete Fläche (Mulch) und drei Pflugstandorte (Pflug 1 – Pflug 3) im Bearbeitungshorizont.....  | 80  |
| Abbildung 26 | Angenommene Porengrößenverteilung für die idealisierten Wasserretentionskurven.....   | 81  |
| Abbildung 27 | Entwässerungsprofil (Wasserspannung) für die Bodenprofile Pflug 1, 2, 3 und Mulch nach einer Entwässerungszeit von 20 Tagen.....  | 82  |
| Abbildung 28 | Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit $K(h)$ mit zunehmender Entwässerung für die Standorte Pflug 1, 2, 3 und Mulch.....  | 83  |
| Abbildung 29 | Entwässerungsprofil (Wasserspannung) für die Bodenprofile Pflug 1, 2, 3 und Mulch nach einer Entwässerungszeit von 20 Tagen unter Berücksichtigung von Niederschlag und Evaporation (Wetterdaten August 2003; Mess-Station Zschepplin).....                               | 84  |
| Abbildung 30 | Verwertungsmöglichkeiten von Graslandaufwüchsen im Bereich nachwachsender Rohstoffe – Übersicht Energie.....  | 88  |
| Abbildung 31 | Verfahrensketten zur Brennstoffbereitstellung aus Heu.....  | 92  |
| Abbildung 32 | Verwertungsmöglichkeiten von Graslandaufwüchsen im Bereich nachwachsender Rohstoffe.....  | 94  |
| Abbildung 33 | Anbaumöglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe – Übersicht.....   | 100 |
| Abbildung 34 | Anbau und Bereitstellung von Biomasse – Holzartige Biomasse.....  | 106 |
| Abbildung 35 | Verfahren Miscanthus-Ernte.....   | 109 |
| Abbildung 36 | Stoffliche Einsatzmöglichkeiten von Miscanthus sinensis.....  | 109 |
| Abbildung 37 | Anbau und Bereitstellung von Biomasse – Halmgutartige Biomasse.....   | 113 |
| Abbildung 38 | Anbaustruktur der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe in % der Ackerfläche (Agrarförderung LfL-intern, Agrarförderung 2000-2003).....   | 122 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Abbildung 39 | Vergleich der Deckungsbeiträge II der Fruchtfolgen in der Referenzsituation .....  | 123 |
| Abbildung 40 | Wirtschaftlicher Nachteil durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung in verschiedenen Fruchtfolgen .....   | 125 |
| Abbildung 41 | Wirtschaftlicher Nachteil durch ein Verbot des Zuckerrübenanbaus im Untersuchungsgebiet im Vergleich zur Standardfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - Winterraps unter Berücksichtigung verschiedener Zuckerrübenanteile in der Ausgangsfruchtfolge ..... | 126 |
| Abbildung 42 | Wirtschaftlicher Nachteil beim Ersatz von Silomais (Fruchtfolgeanteil 24 %) durch Ganzpflanzensilage oder Klee gras ohne Berücksichtigung möglicher Leistungseinbußen in der Milchproduktion .....   | 130 |
| Abbildung 43 | Wirtschaftlicher Nachteil der Mindestpflege im Vergleich zur Referenzfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste – Winterraps .....  | 132 |
| Abbildung 44 | Verwertungsmöglichkeiten des Aufwuchses von extensivem Grünland (Köhne, 2003).....   | 133 |
| Abbildung 45 | Wirtschaftlicher Nachteil der Mutterkuh-Freilandhaltung zur Standard-Fruchtfolge auf der Ebene Deckungsbeitrag II bei unterschiedlicher Besatzdichte .....   | 136 |
| Abbildung 46 | Wirtschaftlicher Nachteil bei der Vermarktung von Grünlandaufwuchs als Heu in Abhängigkeit der erzielten Erzeugerpreise .....  | 137 |
| Abbildung 47 | Wirtschaftlicher Nachteil der Mindestbewirtschaftung auf Grünland im Vergleich zur Referenzfruchtfolge auf Ebene Deckungsbeitrag II .....  | 137 |
| Abbildung 48 | Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterweizen.....  | 145 |
| Abbildung 49 | Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – Winterraps .....   | 145 |
| Abbildung 50 | Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Zuckerrübe .....   | 146 |
| Abbildung 51 | Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – Silomais.....  | 146 |
| Abbildung 52 | Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – extensives Grünland.....   | 147 |

## **1 Einleitung**

### **1.1 Veranlassung**

In Folge der Hochwasserkatastrophe im Sommer 2002 in Sachsen wurden und werden verschiedene Möglichkeiten eines verbesserten Hochwasserschutzes und der Hochwasserprävention geprüft. Zu den in diesem Zusammenhang diskutierten vorbeugenden und schützenden Maßnahmen gehören auch die Verlegung bzw. der Rückbau von Hochwasserschutzdeichen oder Veränderungen der Landnutzung in den Auen.

Vor dem Hintergrund der möglicherweise erheblichen Konsequenzen für die Landwirtschaft in bestimmten Gebieten wurde daher analysiert, welche Risikoabschätzungen, Entscheidungshilfen und Handlungsempfehlungen aus landwirtschaftlicher Sicht für potenziell hochwassergefährdete Rückdeichungsgebiete und Polder in Sachsen in Betracht zu ziehen sind. Hierzu waren neben den Belangen der Landwirtschaft und des Verbraucherschutzes auch wasserwirtschaftliche, naturschutzfachliche, wirtschaftliche und juristisch- gesetzliche Aspekte zu berücksichtigen.

Deichverlegungen bewirken eine Veränderung der Wasserstandsdynamik. Heutige Binnendeichflächen werden zukünftig periodische Überflutungen erfahren und dadurch in ihrer landwirtschaftlichen Bewirtschaftbarkeit eingeschränkt werden. Mögliche Auswirkungen auf die Landwirtschaft bestehen in:

- Ernteverlusten durch Schädigungen von Kulturen und Restriktionen des Futtermittelrechtes,
- Behinderungen von Beweidung, Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit während und nach Überflutungen,
- Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes (Bodenwasserdargebot, Grundwasserstände),
- Stoffeinträge durch Sedimentablagerungen mit Relevanz aus der Sicht des Bodenschutzes,
- Stoffausträge von landwirtschaftlichen Flächen mit Relevanz aus der Sicht des Erosionsschutzes, der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL 92/43/EG) oder der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000/60/EG).

Wesentliche Aufgaben der Untersuchungen waren:

- die Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen von Konzepten zur landwirtschaftlichen Nutzung von zukünftigen Überschwemmungsflächen,
- die Untersuchung von agrarökologischen Auswirkungen,

- die Erstellung von Entscheidungshilfen für die Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen (z.B. Bemessung von Poldern, Auswahl von Rückdeichungsflächen),
- die Einschätzung von möglichen Auswirkungen der aktuellen Umwelt-, Raumplanungs- und Verbraucherschutzgesetzgebung (Wasserrahmenrichtlinie, FFH-Richtlinie, Bundesbodenschutzgesetz ...) auf die Landwirtschaft in Überschwemmungsgebieten.

## **1.2 Projektstruktur**

Im Rahmen des Projektes wurden drei Teilaspekte bearbeitet. Ziel war die Bewertung der Auswirkungen der geplanten Hochwasserschutz- und -präventivmaßnahmen in den Auen auf die Landwirtschaft. Die Teilprojekte lauten im Einzelnen:

1. Überflutung landwirtschaftlicher Flächen - Wirkungen, Folgen und Anpassungsstrategien,
2. Nutzung hochwassergefährdeter und geogen belasteter Flächen mit nachwachsenden Rohstoffen,
3. Veränderte Landnutzungssysteme – Betriebswirtschaftliche Bewertung verschiedener Nutzungsszenarien sowie Kosten-Nutzen-Analysen als Grundlage für Entschädigungs- und Ausgleichszahlungen.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Kartengrundlage**

Grundlage der Kartierungsarbeiten bildeten die topographischen Karten 1:10.000 (TK 10). Verwendet wurden außerdem die digitalen Orthofotos des Untersuchungsraumes im Maßstab 1:10.000.

Basis der Geländemodellierung waren die Daten des Digitalen Geländehöhenmodelles ATKIS® 25 (DGM 25) des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems.

Grundlage der bodenkundlichen Kartierung bildeten die Angaben der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung im Maßstab 1:25.0000.

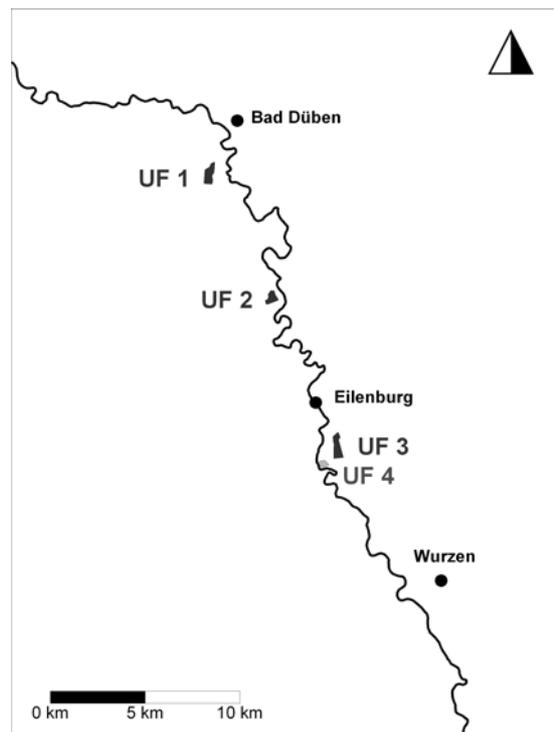
### **2.2 Untersuchungsflächen**

Im Projekt werden ergänzende Erhebungen bodenkundlicher Kennwerte im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden basierend auf einer Auswertung vorhandener bodenkundlicher Kartierungen und den Vorplanungen zum Hochwasserschutzkonzept repräsentative Untersuchungsflächen (UF) ausgewählt, auf denen die verschiedenen bodenkundlichen Untersuchungen stattfinden.

Im Jahr 2002 wurden vier Standorte untersucht:

- UF 1 – Acker Wellaune,
- UF 2 – Acker Zschepplin,
- UF 3 – Acker Kollau,
- UF 4 – Grünland Kollau.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Lage der einzelnen UF des Jahres 2002 im Untersuchungsgebiet.



**Abbildung 1 Lage der Untersuchungsflächen 1-4**

## **2.3 Bodenkundliche Untersuchungen**

### **2.3.1 Bodenansprache**

Die Bodenansprache auf den Untersuchungsflächen erfolgt mittels Probenahme mit dem Pürckhauer-Bohrer ( $\varnothing$  2 cm). Die Beprobung wurde bis in eine Tiefe von 2,0 m durchgeführt. Des Weiteren fand je Untersuchungsfläche eine Bodenprofilschachtung statt.

Im Zuge der Bodenansprache wurden folgende horizontbezogene Kenngrößen gemäß den Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 (AG Bodenkunde, 1992) erfasst:

Die Bodenhorizonte wurden entsprechend der Vorgaben der KA 4 benannt.

### **2.3.2 Probenahme**

Das angelegte Bodenprofil diente der Gewinnung von Bodenproben. Je Horizont wurde eine Beutelmischprobe und 4 ungestörte Stechzylinderproben (250 cm<sup>3</sup>) entnommen. Die Bodenproben wurden feldfrisch vom Tag der Entnahme bis zur endgültigen Verwendung gekühlt gelagert.

Die Beutelmischproben dienten der Bestimmung der Korngrößenverteilung. Die Stechzylinderproben wurden für die Bestimmung von Wasserretentionskurven verwendet.

### **2.3.3 Korngrößenanalyse**

Die luftgetrockneten Proben für die Korngrößenanalyse werden mechanisch zerkleinert und auf 2 mm abgeseibt. Die Feinbodenfraktion (< 2 mm) wird anschließend einer chemischen Dispergierung zur Auftrennung von Kornverklebungen unterzogen. Für die Proben des A-Horizontes findet vor der Dispergierung eine Zerstörung der organischen Substanz mittel H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> statt.

Die dispergierte Probe wird durch Siebung in die einzelnen Kornfraktionen aufgetrennt. Die Fraktionen von 63 mm bis 2 mm (Grobschluff bis Ton) werden mittels Sedimentationsmethode (Pipettmethode nach KÖHN) aufgetrennt.

### **2.3.4 Wasserretentionskurve**

Die Bestimmung der Wasserretentionscharakteristik (Zusammenhang zwischen Bodenwassergehalt und Wasserspannung) erfolgte für den Druckstufenbereich bis pF 1,8 mittels Unterdruckmethode (Sandbox) und für den Wasserspannungsbereich bis zum permanenten Welkepunkt (pF 4,2) mittels Überdruckentwässerung (Hartge und Horn, 1991). Die Wasserretentionskurve ist eine wesentliche Basis für das Verständnis bodenhydraulischer Vorgänge.

### **2.3.5 Hydraulische Leitfähigkeit bei Feldsättigung**

Zur Bestimmung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (K<sub>s</sub>) wurden Messungen mittels Guelph-Permeameter durchgeführt (Reynolds und Elrick, 1986). Dieses Gerät erlaubt die Ermittlung von K<sub>s</sub>-Werten im Feld. Das Guelph-Permeameter gehört zur Gruppe der Bohrlochinfiltrometer und arbeitet nach der Methode des „constant head well“ (konstante Druckhöhe). Im Bohrloch, wird mittels des Permeameters nach dem Prinzip der Mariott'schen Flasche ein konstanter Wasserspiegel (Druckhöhe) eingestellt. Es erfolgt eine Messung des infiltrierenden Wassers und eine Bestimmung der konstanten Infiltrationsrate für die eingestellte Druckhöhe. Die Messung wird für zwei Druckhöhen durchgeführt und aus den ermittelten Werten für die Infiltrationsrate lässt sich die hydraulische Leitfähigkeit bei Feldsättigung errechnen.

### **2.3.6 Agrarmeteorologische Messungen**

Es wurde eine agrarmeteorologisch-bodenphysikalische Mess-Station eingesetzt, die eine kontinuierliche Erfassung von:

- Niederschlag,
- Temperatur,
- Windgeschwindigkeit,
- Wasserspannung am Standort in drei Bodentiefen,
- Wassergehalt am Standort in drei Bodentiefen,

ermöglicht. Diese Daten dienen der Kalibrierung des bodenhydrologischen Modelles, das im Zuge der Auswertung eingesetzt wurde (Kapitel 7.2.2 ).

## **3 Rechtlich-administrative Aspekte des Hochwasserschutzes**

### **3.1 Die Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in nationales Recht**

#### **3.1.1 Europäische Union**

Der grundlegende Handlungsrahmen für die Wasserwirtschaft und den Hochwasserschutz in Europa wird durch die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (WRRL) bestimmt. Diese trat am 22. Dezember 2002 in Kraft und bildet die Basis für eine gemeinsame Gewässerschutzpolitik der Staaten der Europäischen Union. Durch die WRRL wurden neue Leitlinien der Wasserwirtschaft festgeschrieben, die im nationalen Rahmen umzusetzen sind. Im Wesentlichen sind dies:

- Bewirtschaftung der Gewässer auf der Basis einer auf das Flusseinzugsgebiet bezogenen, gesamtheitlichen Betrachtungsweise, d.h. die Orientierung der wasserwirtschaftlichen Entscheidungen an hydrologischen und nicht mehr an politisch-administrativen Gegebenheiten
- Beurteilung des Gewässerzustandes an ökologischen Kriterien (im Gegensatz zur Beurteilung an physikalischer und chemischer Parameter)
- Verpflichtung zur Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen für die jeweiligen Flussgebiete, die Maßnahmenprogramme zur Erreichung eines guten Gewässerzustandes enthalten.

Die WRRL ist bis Ende 2003 in nationales Recht (Wasserhaushaltsgesetz, Landeswassergesetze und Verordnungen) umzusetzen.

Der Hochwasserschutz wird durch die WRRL nicht direkt behandelt, jedoch als Ziel der Gewässerschutzpolitik formuliert. Im Artikel 1 wird der „Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen“ als Aufgabe zukünftiger Gewässerschutzmaßnahmen genannt.

### **3.1.2 Deutschland**

Das für die Wasserwirtschaft und den Hochwasserschutz in Deutschland maßgebende Gesetzeswerk ist das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Die Umsetzung der WRRL in das nationale Recht wurde durch die Neufassung des WHG am 25. Juni 2002 begonnen. Hier konnten jedoch nur die wesentlichen „Rahmen“-Grundsätze der WRRL aufgenommen werden, da der Bund lediglich eine Rahmengesetzgebungskompetenz besitzt. Die konkrete Umsetzung aller Regelungen der WRRL liegt in der Verantwortung der einzelnen Bundesländer, die hierfür eine Anpassung der Landeswassergesetze vornehmen müssen (bis spätestens Ende 2003). Neben verfahrensrechtlichen Aspekten, Grundsätzen zur Öffentlichkeitsbeteiligung, Überwachungsvorschriften und Regelungen zu Datenaustausch betrifft dies vor allem die in der WRRL getroffenen Vorgaben zur Erfassung und Bewertung des ökologischen Gewässerzustandes. Hierzu sind in den Ländern neben den Änderungen der Landeswassergesetze entsprechende Verordnungen zu erlassen. Das Sächsische Wassergesetz (SächsWG) wurde daraufhin novelliert (aktuelle Fassung Oktober 2004).

Insgesamt befinden sich in Deutschland zehn Flusseinzugsgebietseinheiten, darunter z. B. die Elbe und die Oder. Diese Flussgebietseinheiten sind im § 1b (1) WHG festgeschrieben und bilden die Grundlage der zukünftigen länder- und staatsgrenzenüberschreitenden Gewässerpolitik.

Veranlasst durch die Flutkatastrophe im Sommer 2002, verabschiedete die Bundesregierung am 15. September 2002 ein 5-Punkte-Programm zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Das in diesem Programm definierte Handlungskonzept mündete in der Neufassung eines Gesetzes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes (Artikelgesetz, HwSchG). Diese soll das den Hochwasserschutz in Deutschland betreffende rechtliche Instrumentarium neu regeln. Im Einzelnen sind dies:

- Baugesetzbuch,
- Raumordnungsgesetz,
- Bundeswasserstraßengesetz,
- Gesetz über den Deutschen Wetterdienst und
- Wasserhaushaltsgesetz.

Das Gesetz trat im Mai 2005 in Kraft.

Ziel des Gesetzes ist es, eine deutliche Verbesserung der Hochwasservorsorge zu erreichen, wobei insbesondere eine weitere Erhöhung des Schadenspotenzials in vom Hochwasser bedrohten Gebieten angestrebt wird.

Zu den wesentlichen Neuregelungen gehören:

- Verpflichtung der Länder, Gewässer bzw. Gewässerabschnitte festzulegen, an denen durch Hochwasser Schäden entstanden sind bzw. entstehen können.
- Ausweisung von Überschwemmungsgebieten an den ausgewiesenen Gewässern bzw. Gewässerabschnitten, wobei ein 100-jährliches Hochwasser als Bemessungsgrundlage heranzuziehen ist,
- Bodenerosion und Schadstoffeinträge in Gewässer von landwirtschaftlichen Nutzflächen ist zu vermeiden oder zu verringern, hierfür sind den Ländern entsprechende Regelungen vorbehalten,
- Ausweisung von sog. überschwemmungsgefährdeten Gebieten, d.h. Flächen, die zwar generell durch z. B. Deiche geschützt sind, aber in Falle von Schäden an den Hochwasserschutzanlagen überschwemmt werden können,
- Verpflichtung der Länder innerhalb von vier Jahren Pläne zur Erreichung eines abgestimmten Hochwasserschutzes entlang der Gewässer aufzustellen

### **3.1.3 Sachsen**

Bereits im November 2002 wurde in Sachsen das „Gesetz zur Erleichterung des Wiederaufbaus und zur Verbesserung des Hochwasserschutzes“ (Wiederaufbau-Erleichterungsgesetz) verabschiedet. Dieses Gesetz entstand unter dem Eindruck der Hochwasserkatastrophe 2002 und führte eine stärkere Wichtung des Schutz- und Vorsorgeprinzips in das SächsWG ein.

Das Land Sachsen erstreckt sich über zwei Flussgebietseinheiten – die Flussgebietseinheit Elbe und die Flussgebietseinheit Oder (staaten- und bundesländerübergreifende Flussgebiete).

In Art. 3 (4) WRRL werden die Staaten verpflichtet, die jeweiligen Bewirtschaftungspläne und abgeleiteten Maßnahmenprogramme für die Flussgebietseinheiten abzustimmen und kohärent auszugestalten. Zu diesem Zweck werden die Flussgebietseinheiten in sog. Koordinierungsräume unterteilt. Im Falle der Flussgebietseinheit Elbe hat Sachsen Anteil an drei dieser Koordinierungsräume – Havel (HAV), Saale (SAL) und Mulde-Elbe-Schwarze Elster (MES). Für Letzteren obliegt Sachsen die Federführung, wobei die Koordinierung der Arbeiten durch das LfUG übernommen wird. Die Koordinierungsräume können nach hydrologischen Gesichtspunkten weiter

in Bearbeitungsgebiete unterteilt werden. Für den Koordinierungsraum MES wurden vier Bearbeitungsgebiete ausgewiesen:

- Elbeschlauch Sachsen-Anhalt,
- Schwarze Elster,
- Mulde und
- Elbeschlauch Sachsen.

Mit der Novellierung des SächsWG wird in Sachsen erstmals das Konzept von Hochwasserentstehungsgebieten (§ 100 a) eingeführt. Unter der Prämisse des vorsorgenden Hochwasserschutzes soll die Ausweisung dieser Gebiete einer Verbesserung des Wasserrückhalts in den Einzugsgebieten dienen. Die betreffenden Flächen sollen auf der Grundlage verschiedener naturräumlicher Gegebenheiten (Geländemorphologie, klimatische Verhältnisse, Geologie) und von Nutzungsaspekten durch das LfUG ausgewiesen werden. Für diese Gebiete besteht zukünftig ein besonderes Genehmigungserfordernis bei bestimmten Vorhaben.

### **3.2 Hochwasserschutz durch Festsetzung von Überschwemmungsgebieten– Situation in Deutschland**

#### **3.2.1 Rechtliche Grundlagen**

Ein wesentliches Werkzeug des auf einen verbesserten Hochwasserschutz orientierten Flächenmanagements ist die gesetzliche Festlegung von Überschwemmungsgebieten. Die rechtliche Definition erfolgte durch das HwSchG und die damit einhergehenden Änderungen des WHG. Hierbei handelt es sich um „Überschwemmungsgebiete sind Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern und sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen oder die für Hochwasserentlastung oder Rückhaltung beansprucht werden.“ (§ 31b (1) WHG). Die Festsetzung erfolgt durch die Länder (§ 31b (2) WHG). Hierbei ist ein dreistufiges Verfahren vorgesehen. Im ersten Schritt hat eine Bestimmung der Gewässer oder Gewässerabschnitte zu erfolgen, „bei denen durch Hochwasser nicht nur geringfügige Schäden entstanden oder zu erwarten“ sind. Diese Gebiete sind vor der förmlichen Festsetzung in einer eigenen rechtlichen Regelung (z. B. Rechtsverordnung) darzustellen. Innerhalb von fünf Jahren nach In-Kraft-Treten des HwSchG müssen durch die Länder an den im ersten Schritt definierten Gewässern, die Überschwemmungsgebiete festgesetzt werden, „in denen ein hohes Schadespotenzial bei Überschwemmungen entsteht, insbesondere Siedlungsgebiete“. Bis 2012 hat dann auch für die übrigen Überschwemmungsgebiete die Festsetzung zu erfolgen. Zusätzlich ist die Ausweisung von „überschwemmungsgefährdeten Gebieten“ vorgesehen. Hierunter sollen alle Flächen erfasst werden, die zwar Überschwemmungsgebiete im Sinne des §

31b (1) WHG darstellen, aber keiner Festsetzung nach § 31b (2-4) WHG bedürfen oder, die bei Versagen von Hochwasserschutzanlagen überschwemmt werden können.

Hierbei handelt es sich um naturräumlich spezifische (gewässer- und landschaftsbestimmte) Hochwasserabflüsse, denen ein definiertes statistisches Wiederholungsintervall zugeordnet ist. Die Überschwemmungsgebiete werden durch die zuständige Behörde ermittelt und per Rechtsverordnung festgesetzt.

Überschwemmungsgebiete im Sinne des WHG werden auf der Basis eines maßgebenden Hochwassers abgegrenzt. Laut HwSchG soll für die gesetzliche Festschreibung der Überschwemmungsgebiete die Überflutungsgrenze eines Hochwassers mit einhundertjähriger Wiederkehrswahrscheinlichkeit die Grundlage bilden (Bemessungshochwasser).

In § 31b (2) WHG erfolgt weiterhin eine Definition der Ziele, die eine Festsetzung von Überschwemmungsgebieten rechtfertigen:

1. zum Erhalt oder zur Verbesserung der ökologischen Strukturen der Gewässer und ihrer Überflutungsflächen,
2. zur Verhinderung erosionsfördernder Maßnahmen,
3. zum Erhalt oder zur Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen oder
4. zur Regelung des Hochwasserabflusses oder
5. zur Vermeidung und Verminderung von Schäden durch Hochwasser

In Satz 6 desselben Paragraphen wird weiterhin festgeschrieben, dass die Überschwemmungsgebiete in ihrer Funktion als Rückhaltefläche zu erhalten sind, wobei Ausnahmen nur aus Gründen des Allgemeinwohls zulässig sind. In diesem Fall ist für den verlorenen Retentionsraum ein Ausgleich zu schaffen. Ehemalige Überschwemmungsflächen, die eine Rückhaltefunktion erfüllen können, sollen revitalisiert werden, soweit auch hier keine Gründe aus der Sicht des Allgemeinwohls entgegenstehen.

In Sachsen erfolgte bereits im November 2002 mit dem Gesetz zur Erleichterung des Wiederaufbaus und zur Verbesserung des Hochwasserschutzes (Wiederaufbau-Erleichterungsgesetz) eine Konkretisierung der Bestimmungen zu Überschwemmungsgebieten. Überschwemmungsgebiete sind hier von den unteren Wasserbehörden per Rechtsverordnung festzusetzen, wobei ein 100-jährliches Hochwasser als Grundlage heranzuziehen ist.

Das wesentliche Instrument der Hochwasservorsorge sind die Hochwasseraktionspläne (i. F.: HAP). Die Verpflichtung zur Aufstellung von HAP wurde auf der Umweltministerkonferenz von 1995 getroffen, wobei hier das Augenmerk vorrangig auf die Einzugsgebiete der großen deutschen

Flüsse gerichtet war. Für Sachsen wird die ist die gesetzliche Pflicht zur Aufstellung eines landesweiten HAP mit der Novellierung des SächsWG im § 99 a festgeschrieben. Weiterhin besteht für alle Gewässer 1. Ordnung und für den sächsischen Teil der Elbe die gesetzliche Pflicht zur Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten (§ 99 b SächsWG).

Die Verpflichtung zur zentralen Hochwasserschutzplanung wird durch das HwSchG nochmals konkretisiert. Gemäß sind die Länder zukünftig verpflichtet Hochwasserschutzpläne aufzustellen. Diese sollen einen schadlosen Wasserabfluss gewährleisten sowie den technischen Hochwasserschutz und die Gewinnung, insbesondere die Rückgewinnung von Rückhalteflächen regeln. Ziel ist die Minimierung der Gefahren, die von einem hunderjährigen Hochwasser ausgehen. Die Aufstellung der Hochwasserschutzpläne hat bis zum Mai 2009 zu erfolgen.

Außerdem wird im HwSchG die Kooperation in sog. Flussgebietseinheiten geregelt. Hierunter wird vor allem die Zusammenarbeit bei der Abstimmung der Hochwasserschutzpläne und der dazugehörigen Hochwasserschutzmaßnahmen verstanden.

### **3.2.2 Nutzungseinschränkungen und Ausgleich**

Im WHG ist festgeschrieben, dass wirtschaftliche Nachteile infolge von Anordnungen, die im Zusammenhang mit der Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen stehen, auszugleichen sind: „Setzt eine Anordnung ... erhöhte Anforderungen fest, die die ordnungsgemäße land- oder forstwirtschaftliche Nutzung eines Grundstücks beschränken, so ist für die dadurch verursachten wirtschaftlichen Nachteile ein angemessener Ausgleich nach Maßgabe des Landesrechts zu leisten ...“ (§ 19 (4) Satz 1 WHG).

Der HwSchG sieht Einschränkungen der Nutzung in Überschwemmungsgebieten vor. Zum einen dürfen in Überschwemmungsgebieten zukünftige keine neuen Baugebiete mehr ausgewiesen werden. Unter bestimmten Voraussetzungen (§ 31b (4) WHG) sind jedoch Ausnahmen möglich.

Darüber hinaus werden bestimmte Bedingungen für die ackerbaulichen Nutzung gesetzlich festgeschrieben (§ 31b (3) WHG). Entgegen der in früheren Entwürfen vorgesehenen Bewirtschaftungsauflagen, die auch ein ganz oder teilweises „Ackerbauverbot“ in Überschwemmungsgebieten enthielten, sieht das HwSchG in seiner verabschiedeten Fassung nun vor, „für landwirtschaftlich genutzte und sonstige Flächen“ Regelungen auf der Basis des Landesrechtes zu erlassen, um „mögliche Erosionen oder erheblich nachteilige Auswirkungen auf Gewässer insbesondere Schadstoffeinträge zu vermeiden oder zu verringern.“ Die frühere Forderung der Bundesregierung nach konkreten Bewirtschaftungsauflagen (z. B. Festschreibung der konservierenden Bodenbearbeitung, ganzjährige Bodenbedeckung, Ackerbauverbot in Abflussbereichen) konnte damit nicht durchgesetzt werden. Das SächsWG in der Fassung vom 4. März 2003 regelt den Anspruch auf Ausgleich von Nutzungseinschränkungen in § 100 (2) Satz 3. Hier heißt es: „Werden bei der Rückgewinnung von natürlichen Rückhalteflächen Anordnungen getroffen, die erhöhte Anforderungen an die ordnungsgemäße land- und forstwirtschaftliche

Nutzung eines Grundstückes festsetzen, gilt § 48 (7) entsprechend.“ Der § 48 (7) des SächsWG regelt den Ausgleich nach § 19 (4) WHG. Hier wird bestimmt, dass der Ausgleich durch den Begünstigten zu leisten ist, bzw. bei Nichtbestimmbarkeit des Begünstigten durch den Freistaat Sachsen. Ausgleich ist nach § 48 (8) des SächsWG in Form eines jährlich fällig werdenden Geldbetrages zu leisten. Ein Ausgleichsanspruch nach SächsWG entfällt, wenn die wirtschaftlichen Nachteile durch anderen Leistungen aus öffentlichen Haushalten oder von Dritten ausgeglichen werden (§ 48 (8) Satz 2 Nr. 2)

### 3.2.3 Deichrückbauten und Polderanlagen in Deutschland

Die folgende Übersicht enthält eine Zusammenstellung von Beispielen für Deichrückbauten und Polderanlagen in Deutschland. Neben der Bezeichnung des Ortes (Flussgebiet, Standorte) enthält die Übersicht Angaben zur planenden Behörde, Anlagentyp, Größe und zu Nutzungsaspekten innerhalb der Überschwemmungsgebiete. Die Daten wurden als Ausgangspunkt für eine weitergehende Analyse des praktischen Hochwasserschutzes in Deutschland erhoben.

**Tabelle 1 Beispiele für geplante und realisierte Deichrückbauten und Polderanlagen in Deutschland (LW = Landwirtschaft, DRV = Deichrückverlegung, IRP = Integriertes Rheinprogramm, PF = Planfeststellung, MS = Machbarkeitsstudie)**

| Flussgebiet/Bezeichnung – Bundesland/Ort – Jahr der Realisierung   |
|--|
| Größe der Fläche/Typ   |
| Nutzung vorher/nachher   |
| Ggf. Angaben zu Entschädigungsregelungen<br>Typ  |
| Oberrhein/Sonderheim - RLP-Sonderheim -2001  |
| 11,5 ha, 290.000 m <sup>3</sup><br>Deichrückverlegung<br>Schlitzung des Altdeiches auf 250 m Länge, Altdeich bleibt als Leitdeich erhalten   |
| Vorher -lw Nutzung<br>Nachher - LW nur noch extensiv möglich<br>Renaturierung natürlicher Auenvvegetation  |
| Oberrhein/„Mittlerer Busch“ – Worms/RLP-Worms - 2003   |
| 65,0 ha, 2,1 Mio. m <sup>3</sup><br>Deichrückverlegung/Polder<br>teilweiser Abtrag des Altdeiches (Teil bleibt erhalten)<br>Zweiteilung der Überflutungsfläche; nördlicher Teil durch Trenndeich vom südlichen Teil getrennt); südlicher Teil wird erst bei 12-15jährigem HW überflutet  |
| Vorher - Intensive lw Nutzung<br>Nachher - Im nördlichen ungeschützten Teil Nutzung analog Deichvorland<br>Im südlichen Teil keine Nutzungsänderung  |
| Im südlichen Teil verursachte Ernteaufschläge, Mehraufwendungen und alle anderen hier auftretenden Schäden werden durch das Land Rheinland-Pfalz ersetzt<br>jeder der betroffenen Grundstückseigentümer erhält für seine Zustimmung zur Flutung der Rückhaltung auf der Basis eines notariell beurkundeten „Grunddienstbarkeitsvertrags“ eine einmalige Zahlung.<br>Bodenordnungsverfahren für die entzogene lw Fläche (Flächen für Bauwerke, Neuordnung der verbliebenen Nutzflächen)<br>dauerhaft entzogene Flächen werden vom Land entsprechend Verkehrswert erworben |
| Oberrhein/„Im Kirchengrün“ – Speyer/RLP-Speyer -2001   |

|  |
|--|
| Vorher - lw Nutzung  |
| Nachher - extensives Grünland, naturnahe Bewirtschaftung                         |
| Oberrhein/Rheinschanzinsel (IRP) - BW-Rheinhausen - Beginn Planfeststellung 2002 |
| 210,0 ha, 6,2 Mio. m <sup>3</sup><br>mittlerer Polder                            |
| Nachher  |
| Nutzungsintensivierung auf landeseigenen Flächen                                 |
| Überflutungswahrscheinlichkeit 20 Jahre  |
| Oberrhein/Südliches Kulturwehr Breisach (IRP)                                    |
| 1020 ha, 25 Mio. m <sup>3</sup> Vorlandtieferlegung                              |
| Oberrhein/Breisach/Burkheim (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                     |
| 600 ha, 6,5 Mio. m <sup>3</sup><br>Polder  |
| Oberrhein/Wyhl/Weisweil (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                         |
| 600 ha, 7,7 Mio. m <sup>3</sup><br>Polder  |
| Oberrhein/Elzmündung (IRP) – GWD Nördlicher Oberrhein                            |
| 550 ha, 5,3 Mio. m <sup>3</sup><br>Polder  |
| Oberrhein/Altenheim (IRP) -GWD Nördlicher Oberrhein                              |
| 520 ha, 17,6 Mio. m <sup>3</sup><br>Polder                                       |
| Oberrhein/KWK/ Straßburg (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                        |
| 700 ha, 37,0 Mio. m <sup>3</sup><br>Wehr   |
| Oberrhein/Freistett (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                             |
| 460 ha, 9,0 Mio. m <sup>3</sup><br>mittlerer Polder                              |
| Oberrhein/Söllingen/Greffern (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                    |
| 580 ha, 12,0 Mio. m <sup>3</sup><br>Polder                                       |
| Oberrhein/Bellenkopf/Rappenwört (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein                 |
| 510 ha, 14,0 Mio. m <sup>3</sup><br>Deichrückverlegung oder Polder               |

|  |
|--|
| <p>Oberrhein/Wörth/Jockgrimm – RLP Genehmigungsdirekt. Süd - 2006</p> <p>420 ha, 12,0 Mio. m<sup>3</sup><br/> Kombination Deichrückverlegung und gesteuerter Polder<br/> 145 ha natürliche Überflutung (DRV)<br/> 275 ha gesteuerter Polder</p> <p>Vorher - 70 % LW, 24 % Waldfläche, 6 % Kiesabbau<br/> Nachher -<br/> extensive lw Nutzung im Bereich der Deichrückverlegung<br/> keine Nutzungsänderung im gesteuerten Polder<br/> Überflutungswahrscheinlichkeit im gesteuerten Polder 20 Jahre</p> <p>Wie Polder „Mittlerer Busch“<br/> Klage betroffener Landwirte gegen die Planfeststellung wurde abgewiesen, da (u. a.) durch die Dimensionierung sowohl den Landwirten als auch öffentlichem Interesse Rechnung getragen und Ernteauffälle entschädigt würden</p>  |
| <p>Oberrhein/Elisabethenwört (IRP) - GWD Nördlicher Oberrhein</p> <p>400 ha, 11,9 Mio. m<sup>3</sup><br/> Deichrückverlegung oder Polder</p> <p>Oberrhein/Kollerinsel RLP/BW-Speyer -2004</p> <p>232 ha, 6,1 Mio. m<sup>3</sup><br/> gesteuerter Polder</p> <p>Vorher - intensiver Ackerbau, vereinzelt Wiesennutzung einige Höfe<br/> Nachher - Naherholung (Campingplatz, Reitwege)<br/> Natürliche Sukzessionsflächen (ökologische Flutungen)<br/> Abriss der Höfe und Neubau eines hw-sicheren (Warft) Hofes (Pferdepension)<br/> Ackerbauliche Nutzung höher gelegener Flächen<br/> Entwicklung hin zu Wiesen- und Weidenutzung angestrebt<br/> Überflutungswahrscheinlichkeit 20 Jahre</p>   |
| <p>Oberrhein/Flotzgrün - RLP-Insel Flotzgrün- 2001</p> <p>5 Mio. m<sup>3</sup><br/> gesteuerter Polder auf der Insel Flotzgrün</p> <p>Vorher - LW<br/> Nachher - LW<br/> Überflutungswahrscheinlichkeit 20 Jahre</p> <p>Wie Polder „Mittlerer Busch“</p>   |
| <p>Oberrhein/Altrip/Waldsee/Neuhofen - RLP-südlich Ludwigshafen -2003 PF</p> <p>327 ha, 9 Mio. m<sup>3</sup><br/> Kombination Deichrückverlegung und gesteuerter Polder<br/> 45 ha natürliche Überflutung (DRV), 1,2 Mio. m<sup>3</sup><br/> 237 ha gesteuerter Polder, 7,8 Mio. m<sup>3</sup></p> <p>Vorher - 49 % LW, 49 % Forst, 2 % freizeithliche Nutzung<br/> Nachher - Überflutungswahrscheinlichkeit 25 Jahre im Winter, 100 Jahre im Sommer</p> <p>entstehende Schäden, wie z.B. Aufwuchsschäden, Ertragsminderungen oder –ausfall, sowie sämtliche Folgeschäden werden gemäß den Festlegungen eines von der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz öffentlich bestellten und vereidigten landwirtschaftlichen Sachverständigen unverzüglich vom Land Rheinland-Pfalz entschädigt<br/> Die Räumung der gefluteten Flächen von Unrat und Treibgut erfolgt durch das Land Rheinland-Pfalz.<br/> Bodenordnungsverfahren nach Flurbereinigungsgesetz</p> |

|   |
|---|
| Oberrhein/Bodenheim - RLP-südöst. Mainz- 2006   |
| 210 ha, 6,3 Mio. m <sup>3</sup><br>gesteuerter Polder   |
| Vorher - LW<br>Klärwerk (bei Übernahme der Klärfunktion durch Stadt Mainz, kann dieses abgerissen werden)<br>Nachher - LW ohne Nutzungsbeschränkung   |
| wie Polder „Mittlerer Busch“  |
| Donau/Flutpolder Katzau   |
| 390 ha, 9 Mio. m <sup>3</sup><br>gesteuerter Polder   |
| Vorher - lw Nutzung u. a.<br>Nachher - keine Nutzungsbeschränkungen<br>es werden keine negativen Auswirkungen auf Bebauung, Infrastruktur und Naturhaushalt erwartet<br>bei einer Flutung entstehende Schäden (z.B. Ernteauffälle, Bewirtschaftungserschwerisse) werden vom Träger des Vorhabens ausgeglichen<br>Flächen für technische Bauwerke werden vom Freistaat Bayern erworben, alle anderen Flächen bleiben Eigentum des bisherigen Eigentümers |
| Donau/Flutpolder Riedensheim  |
| 220 ha; 8,3 Mio. m <sup>3</sup><br>gesteuerter Polder   |
| Vorher - lw Nutzung u. a.<br>Nachher - keine Nutzungsbeschränkungen<br>es werden keine negativen Auswirkungen auf Bebauung, Infrastruktur und Naturhaushalt erwartet<br>bei einer Flutung entstehende Schäden (z.B. Ernteauffälle, Bewirtschaftungserschwerisse) werden vom Träger des Vorhabens ausgeglichen<br>Flächen für technische Bauwerke werden vom Freistaat Bayern erworben, alle anderen Flächen bleiben Eigentum des bisherigen Eigentümers |
| Main/Flutpolder Bergheinfeld- Nach 2007   |
| 170 ha, 3,4 Mio. m <sup>3</sup><br>gesteuerter Polder   |
| Vorher - lw Nutzung u. a.<br>Nachher - keine Nutzungsbeschränkungen<br>es werden keine negativen Auswirkungen auf Bebauung, Infrastruktur und Naturhaushalt erwartet<br>bei einer Flutung entstehende Schäden (z.B. Ernteauffälle, Bewirtschaftungserschwerisse) werden vom Träger des Vorhabens ausgeglichen<br>Flächen für technische Bauwerke werden vom Freistaat Bayern erworben, alle anderen Flächen bleiben Eigentum des bisherigen Eigentümers |
| Elbe/Köllitzsch – Köllitzsch  |
| 70 ha<br>Deichrückverlegung oder steuerbarer Flutungspolder<br>Entscheidung fällt nach Vorlage des HW-Schutzkonzeptes   |
| Elbe/Döbeltitz – Döbeltitz  |
| 110 ha<br>wie Köllitzsch  |
| Elbe/Kamenz – Kamenz  |
| 60 ha<br>wie Köllitzsch   |
| Elbe/Zwethau – Zwethau  |
| 140 ha<br>wie Köllitzsch  |
| Elbe/Oderluch bei Rosslau - Rosslau   |
| 140 ha<br>Deichrückverlegung<br>Baubeginn 2002  |

|   |
|---|
| Elbe/Löderitzer Forst - Aken  |
| 590 ha<br>Deichrückverlegung<br>Baubeginn 2008                            |
| Elbe/Glindenberg - Glindenberg  |
| 180 ha<br>Deichrückverlegung<br>Entscheidung steht aus                    |
| Elbe/Ohremündung - Rogätz   |
| 130 ha<br>Deichrückverlegung<br>Entscheidung steht aus                    |
| Elbe/Klietznick - Klietznick  |
| 160 ha<br>Deichrückverlegung<br>Entscheidung steht aus                    |
| Elbe/ Sandau-Süd - Sandau   |
| 120 ha<br>Deichrückverlegung<br>Entscheidung steht aus                    |
| Elbe/Sandau-Nord - Sandau   |
| 140 ha<br>Deichrückverlegung<br>Voruntersuchungen begonnen                |
| Elbe/Südlich Mühlberg - Borschütz   |
| 206 ha<br>Deichrückverlegung<br>Voruntersuchungen begonnen                |
| Elbe/Rühstädter Bogen - Rühstädt  |
| 90 ha<br>Deichrückverlegung<br>UVS, FFH-Verträglichkeitsstudie begonnen   |
| Elbe/Böser Ort - Lenzen   |
| 425 ha<br>Deichrückverlegung<br>Baubeginn 2005                            |
| Elbe/Neu Bledewecke - Neu Bledewecke                                      |
| 100 ha<br>Deichrückverlegung<br>Entscheidung 2004/2005 (Planfeststellung) |
| Elbe/Trebnitz-Lößnig  |
| 900 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung                                |
| Elbe/Aussig-Seidewitz   |
| 400 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung                                |
| Elbe/Ammelgoßwitz-Liebersee   |
| 430 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung                                |
| Elbe/Döhlen/Neublessern   |
| 490 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung                                |

|   |
|---|
| Elbe/Dautzschen                             |
| 350 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung  |
| Elbe/Dommitzsch Süd                         |
| 300 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung  |
| Elbe/Dommitzsch Nord                        |
| 90 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung   |
| Elbe/Prettin-Mauken II                      |
| 1100<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung    |
| Elbe/Seegrehna                              |
| 560 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung  |
| Elbe/Rhesen-Schönitz II                     |
| 550 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung  |
| Elbe/Schartau-Blumenthal                    |
| 890 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung  |
| Elbe/Schönhausen-Schönfeld                  |
| 2460 ha<br>steuerbarer Polder<br>Vorprüfung |

### **3.3 Hochwasserschutzpolitik und Landwirtschaft – Situation in anderen Staaten**

#### **3.3.1 Großbritannien**

Folgende Gesetze treffen Festlegungen zu Ausgleichszahlungen oder Landkäufen im Zusammenhang mit der Errichtung von Hochwasserschutzanlagen:

- Land Drainage Act 1994
- Land Compensation Act 1961
- Water Resources Act 1991 und
- Coast Protection Act 1949.

In der "Strategy for Flood and Coastal Defence in England and Wales states" werden Richtlinien für Maßnahmen des HW- und Küstenschutz. Diese sollen u. a. so ausgebildet sein, dass die

natürlichen Prozesse und die Dynamik der Flüsse und Küstenregionen nach Möglichkeit nicht unterbunden werden mit der Ausnahme in Gebieten, wo die menschliche Gesundheit oder bedeutende Kulturgüter in Gefahr sind.

Für Landeigentümer besteht nach diesen Richtlinien kein Rechtsanspruch auf den Fortbestand von Schutzmaßnahmen, deren zukünftige Erhaltungskosten den Wert der Schutzgüter übersteigen. Gleichfalls wird ein Rechtsanspruch an die öffentliche Hand auf Entschädigung abgelehnt, wenn eine HW-Schutzeinrichtung auf Grund technischer, ökonomischer oder ökologischer Überlegungen aufgegeben wird. Hierbei wird die juristische Auffassung vertreten, dass die Bereitstellung von HW-Schutzanlagen, die eine Bewirtschaftbarkeit des Landes erst ermöglichen, bereits eine finanzielle, staatliche Unterstützung darstellen, auf deren Fortbestand kein Rechtsanspruch erhoben werden kann. Wünscht ein Landeigentümer den Erhalt der Schutzeinrichtungen privat, ohne staatliche Unterstützung weiter zu finanzieren, ist dies möglich, wenn durch den Erhalt der Schutzeinrichtung und den damit verbundenen Arbeiten klar und nachweisbar keine nachteiligen Wirkungen auf die Umwelt oder die weitere Umgebung zu erwarten sind

### **3.3.2 Niederlande**

Wesentliche Richtschnur des auf den Hochwasserschutz gerichteten Handelns ist die „Raum für Wasser“ – Leitlinie. Diese wurde 1995 verabschiedet und soll eine Verbindung wasserbaulicher Ziele mit Landnutzungsaspekten ermöglichen. In ihr ist die Forderung nach der Schaffung neuer Retentionsflächen zur Förderung natürlichen Hochwasserschutzes mit Vorrang vor künstlichen Schutzmaßnahmen festgeschrieben.

#### **Vierter Plan zur Integralen Wasserpolitik**

Dieser Plan wurde 1998 verabschiedet und setzt die Forderungen der „Raum für Wasser“-Leitlinie um. Gemäß dieses Planes sind Entscheidungen über Landnutzungsänderungen an der natürlichen Dynamik des Wasser auszurichten. Der natürlichen Dynamik des Wassers wird hierbei Vorrang vor anderen (nutzungsorientierten) Interessen eingeräumt („where natural water is competing with other claims on the limited remaining space in the Netherlands, space for water should prevail“).

#### **Überarbeitung des Fluss-Management-Gesetzes (River Management Act)**

Die Überarbeitung erfolgte 1998 und erweiterte die Rechtswirksamkeit im Hinblick auf die Möglichkeiten der Enteignungen von Überflutungsflächen.

#### **Staatliche Kommission für das Wasser-Management im 21. Jahrhundert (Commissie Waterbeheer 21e Eeuw)**

Ihr obliegt die Prüfung von Möglichkeiten zur Institutionalisierung eines integralen Wassermanagements. So empfahl die Kommission im Jahr 2000 die Einrichtung von

Haushaltstiteln für die Enteignung von Überflutungsflächen und zur Entschädigung von Landnutzungsbeschränkungen in Überflutungsflächen. Eine weitere Empfehlung führte zur Aufteilung der Verantwortlichkeiten für Flutschäden auf nationale und regionale Entscheidungsträger als auch die privaten Landeigentümer. So können die Wasserbehörden ihre Verantwortlichkeit reduzieren, wenn sie Wasserretentionsflächen zur Verfügung stellen, die den Anforderungen eines festgelegten Normen- und Sicherheitsystems genügen, welches die Größe der in einem bestimmten Einzugsgebiet erforderlichen Speicherflächen, festlegt (Commissie WB21).

### **Integraler Ansatz für Landnutzungsänderungen und Wiederherstellung von Überflutungsflächen als Alternative Hochwasserschutzmaßnahmen**

Dieser Plan setzt die Anforderungen des Vierten Plans zur Integralen Wasserpolitik um. Planungsgebiet ist das Untere Flussdelta der Flüsse Rhein und Maas in den Niederlanden. Die Planung sieht die Aufgabe von 10 % des Ackerlandes im Planungsgebiet vor (ca. 6.800 ha). Nach der Umsetzung werden weitere 25-30 % des Ackerlandes im Planungsgebiet durch steigende Grundwasserspiegel oder gelegentliche Überflutung betroffen (kombinierte Nutzung; ca. 20.000 ha).

Eine Vorstudie zu den Kosten für die Umsetzung dieser Planung betrachtet folgende Entschädigungen und Ausgleichszahlungen:

- Kauf der Flächen, deren gegenwärtige Landnutzung bei Überflutung unmöglich wird und
- Entschädigung für Ernteverluste oder sonstige Schäden von Landwirten bei gelegentlicher Überflutung.

In der Studie wurden für die Kosten der Landnutzungsänderung folgende Entschädigungszahlungen kalkuliert:

- bezahlt wird „landesüblicher“ Preis, der sowohl die zukünftigen Ernteverluste als auch Kosten eines Standortwechsel berücksichtigen,
- Einmalzahlung eines Pauschalbetrages:
  - von 12 NLG/m<sup>2</sup> (ca. 5,4 €/m<sup>2</sup>) für Landwirtschaftsflächen bei Flächenkauf
  - von 6 NLG/m<sup>2</sup> (ca. 2,7 €/m<sup>2</sup>) als Entschädigung bei erhöhtem Grundwasserstand und gelegentliche Überflutungen auf Landwirtschaftsflächen

Die Entschädigung von Flächen, die mit erhöhtem Grundwasserstand zu rechnen haben, wurde mit Hilfe des Modells Agricom errechnet. Dieses ermittelt die Größe des Ertragsverlustes in Abhängigkeit vom steigenden Grundwasserstand.

### **3.3.3 USA**

Eine detaillierte Übersicht über die Hochwasserschutzprogramme der USA bietet die Broschüre „National Flood Programs in Review – 2000“ (ASFPM, 2000). Neben zahlreichen Hilfsprogrammen und gesetzlichen Regelungen auf der Ebene der Bundesstaaten sind folgende staatliche Programme besonders bedeutsam.

#### **Emergency Wetland Reserve Program**

Dieses Programm wurde 1993 durch das U.S. Department of Agriculture initiiert. Es ermöglichte den Erwerb von Grunddienstbarkeiten für überschwemmungsgefährdetes Ackerland zur Sicherung von Retentionsräumen. Auf den betreffenden Flächen wurden die natürlichen Überflutungsressourcen und Retentionsfunktionen wiederhergestellt. Ausschlaggebend für die Auswahl der Flächen waren die Kosten zur Wiederherstellung (Aufrechterhaltung) der landwirtschaftlichen Produktionseigenschaften. Die Kosten für den Erwerb der Grunddienstbarkeit mussten geringer sein, als die Instandsetzungs- bzw. Erhaltungskosten.

#### **Farm Bill**

Das Gesetz wurde 1996 durch den US-amerikanischen Kongress erlassen (Änderung des Food Security Act von 1985). Es enthält eine Option zum Erwerb von Grunddienstbarkeiten im Rahmen des sog. Emergency Watershed Protection Program. Zwischen 1997 – 1999 wurden 15 Mio. \$ jährlich zum Erwerb von langfristigen Grunddienstbarkeiten aufgewendet. Hierbei entsprach die Höhe des Flächenpreises annähernd dem landwirtschaftlichen Wert der betreffenden Flächen.

#### **Emergency Conservation Program**

Hierbei handelt es sich um ein Programm zur finanziellen Unterstützung von Landwirten, deren Flächen durch Naturkatastrophen zerstört wurden (Kostenübernahme bis zu 64 %). Es umfasst finanzielle Unterstützung bei der Beseitigung von Ablagerungen auf den Flächen, Einebnung von Flächen, Wiederherstellung von Zäunen und Beregnungsanlagen. Allerdings ist die Inanspruchnahme ursächlich für Schäden vorgesehen, die dem Typ nach im betreffenden Gebiet nicht regelmäßig wiederkehrend sind. Allerdings werden im Rahmen dieses Programm oft Zahlungen an Landwirte in Überschwemmungsgebieten getätigt.

Weitere finanzielle Hilfsprogramme sind das Noninsured Crop Disaster Assistance, Emergency Loan Assistance und das Emergency Haying and Grazing Assistance program

#### **Flood Risk Reduction Program**

Dieses Programm ermöglicht die Zahlung von Geldbeträgen in Höhe von 95 % des Durchschnittsmarktwertes der letzten 7 Jahre gezahlt (kein Kauf). Es soll für Flächen mit besonders hohen Überflutungsrisiken angewandt werden. Der Eigentümer kann das Land weiter nutzen, muss jedoch einwilligen, für das betreffende Land zukünftig auf Grundstücks-Hypotheken, öffentliche Beihilfen im Falle einer Überflutung oder Ernteversicherungen zu verzichten. Das Programm wurde durch das Farm Bill angeregt, jedoch bis heute nicht umgesetzt, da in den entsprechenden Verwaltungen Zweifel an der ausreichenden Anreizwirkung der Einmalzahlung bestehen.

## **4 Beschreibung des Untersuchungsgebietes**

### **4.1 Naturräumliche Gliederung**

#### **4.1.1 Geologische Gliederung**

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Niederung der Mulde im Bereich von Wurzen bis Bad Dübener Heide und hat eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 32 km. Nördlich wird das Untersuchungsgebiet durch die sächsische Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt begrenzt.

Das Relief dacht hierbei von Süd nach Nord ab. So liegt der südliche Bereich des Untersuchungsgebietes auf einer Höhe von ca. 110 – 115 mm NN und fällt auf ca. 80 m im Bereich von Bad Dübener Heide ab (vgl. Abbildung 2).

Eine geologisch begründete naturräumliche Gliederung wird durch Mansfeld und Richter (1995) vorgenommen. Bezüglich dieser Gliederung ist der südliche Bereich dem Nordsächsischen Platten- und Hügelland zuzurechnen, während der nördliche Bereich zum Naturraum der Dübener-Dahlener Heide gehört. Die Grenze zwischen beiden Naturräumen verläuft in West-Ost-Richtung ungefähr auf Höhe der Stadt Eilenburg. Eine detaillierte Beschreibung dieser beiden Naturräume findet sich in Mansfeld und Richter (1995).

Im Norden geht das Untersuchungsgebiet in den Naturraum der Dübener Heide über. Hierbei handelt es sich um ein Stauendmoränengebiet der Saalekaltzeit, das gemeinsam mit der Stauchendmoränenfläche der Dahlener Heide zum Naturraum der Dübener-Dahlener Heide zusammengefasst wird. Im Süden schließt sich an die Höhenlage der Dübener Heide eine Niederungsfläche an, die Torgau-Dübener Niederung. Hierbei handelt es sich um eine flache Ausschüfung, die sich an die Dahlener Endmoräne anschließt und später übersandet wurde. Gegenüber der Muldeniederung ist eine deutliche Randbildung zu erkennen.

Westlich wird die Muldeniederung durch die Höhenlage der Prellheide und Noitzscher Heide begrenzt, die gleichfalls dem Naturraum der Dübener-Dahlener Heide zugeordnet werden. Hierbei handelt es sich um Grundmoränenbildungen und Ablagerungen von Schmelzwassersedimenten, welche saalezeitliche Schotter der Mulde überlagern.

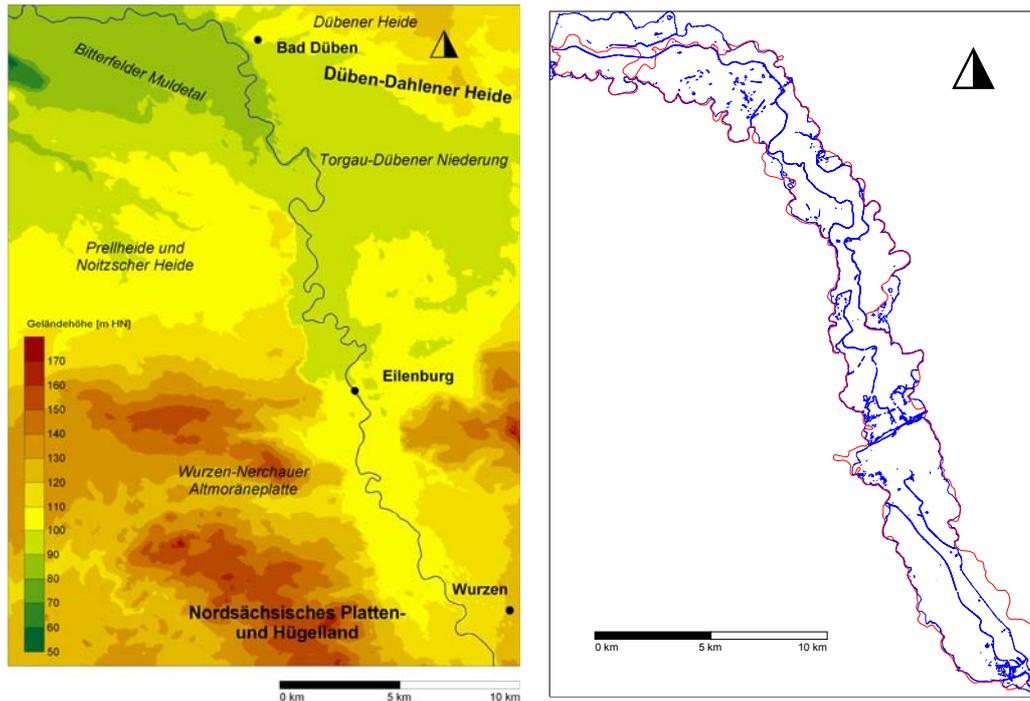
Die Muldeniederung zwischen Eilenburg und Bitterfeld im Norden hat sich im Ergebnis des Warthestadiums der Saaleeiszeit als Abflussbahn herausgebildet. Ab Eilenburg hat sich die Mulde tiefer in die pleistozänen Platten eingeschnitten und es finden sich in der nördlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes Talrandbildungen mit z. T. mehreren Metern Höhendifferenz.

#### **4.1.2 Sächsische Naturraumkartierung**

Gemäß der sächsischen Naturraumkartierung (Sächs. Akad. d. Wiss., 1997) ist das gesamte Untersuchungsgebiet der Makrogeochore der Düben-Dahlener Heide zuzurechnen und hier der Mesogeochore der Eilenburg-Dübener Mulde-Niederung zuzurechnen.

Im Gegensatz zur im Wesentlichen geologisch basierten Naturraumgliederung von Mannsfeld und Richter werden durch die Naturraumkartierung gefüge- und komponentenbezogene Merkmale und ökologische Potenziale und Landschaftsfunktionen in die Betrachtung einbezogen. Die Bezugseinheit dieser Kartierung – die Mikrogeochore – ist eine Einheit mittleren Maßstabes mit einer Flächengröße von 10-15 km<sup>2</sup>. Innerhalb der Eilenburg-Dübener Mulde-Niederung erstreckt sich das Untersuchungsgebiet über vier Mikrogeochoren. Von Süd nach Nord sind dies:

- Wurzener Mulde-Aue,
- Eilenburger Mulde-Aue,
- Hainichen-Glauchauer Mulde-Aue,
- Bad Dübener Mulde-Aue.



**Abbildung 2** Linkes Bild - Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes nach Mannsfeld und Richter (1995); Rechtes Bild - Grenzen der Mikrogeochoren gem. Naturraumkartierung des Freistaates Sachsen (rote Linie) und des Überschwemmungsgebietes für ein HQ100 (Ist-Zustand) gem. Hochwasserschutzkonzept (blaue Linie)

Hierbei handelt es sich um Mikrogeochoren der schwach und mäßig hydromorphen Ebenen aus Auenlehm. Das durch diese vier Mikrogeochoren erfasste Gebiet wird im Folgenden als Grundlage der geographischen Abgrenzung der weiteren Kartendarstellungen verwendet. Dies erschien sinnvoll, da die Abgrenzung der Mikrogeochoren durch die am Rand der Niederung aufsteigenden Hänge gegeben ist, die gleichzeitig die reliefbedingte Grenze der potenziellen Mulde-Überschwemmungsfläche darstellen. Deutlich wird dies auch bei einer Überlagerung der Grenzen der Mikrogeochoren mit der im Hochwasserschutzkonzept Mulden (Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH, 2004) ausgewiesenen Grenze der Überschwemmung für ein hundertjähriges Hochwasser (Abbildung 2).

Die Gesamtgröße des Untersuchungsgebietes beträgt 99,8 km<sup>2</sup>. Bezüglich des Mesoreliefs handelt es sich um den Typ der Nieder- bzw. Auenebenen. Die geologische Struktur ist von Eilenburg bis zur nördlichen Grenzen sehr einheitlich. Es handelt sich hierbei um die geologisch-strukturelle Einheit einer Aue mit mächtigen Auenlehm- und -kiesen sowie Niederterassenschottern. Außerdem finden sich in diesen Bereich zahlreiche Altarme. Beim Bereich der höher gelegenen Wurzener Mulde-Aue handelt es sich um einen Auen-Niederterassen-Komplex mit inselartigen

sandig-schluffigen Terrassenkörpern und schluffig-sandigem bis kiesigem Holozän. Über die gesamte Ausdehnung des Untersuchungsgebietes zeigt sich ein stark durch flussbürtige Erosionen und Akkumulation beeinflusstes Mesorelief. Die Hangneigung im Gebiet ist überwiegend sehr gering ( $\geq 80$  % der Fläche  $< 1$  % Hangneigung).

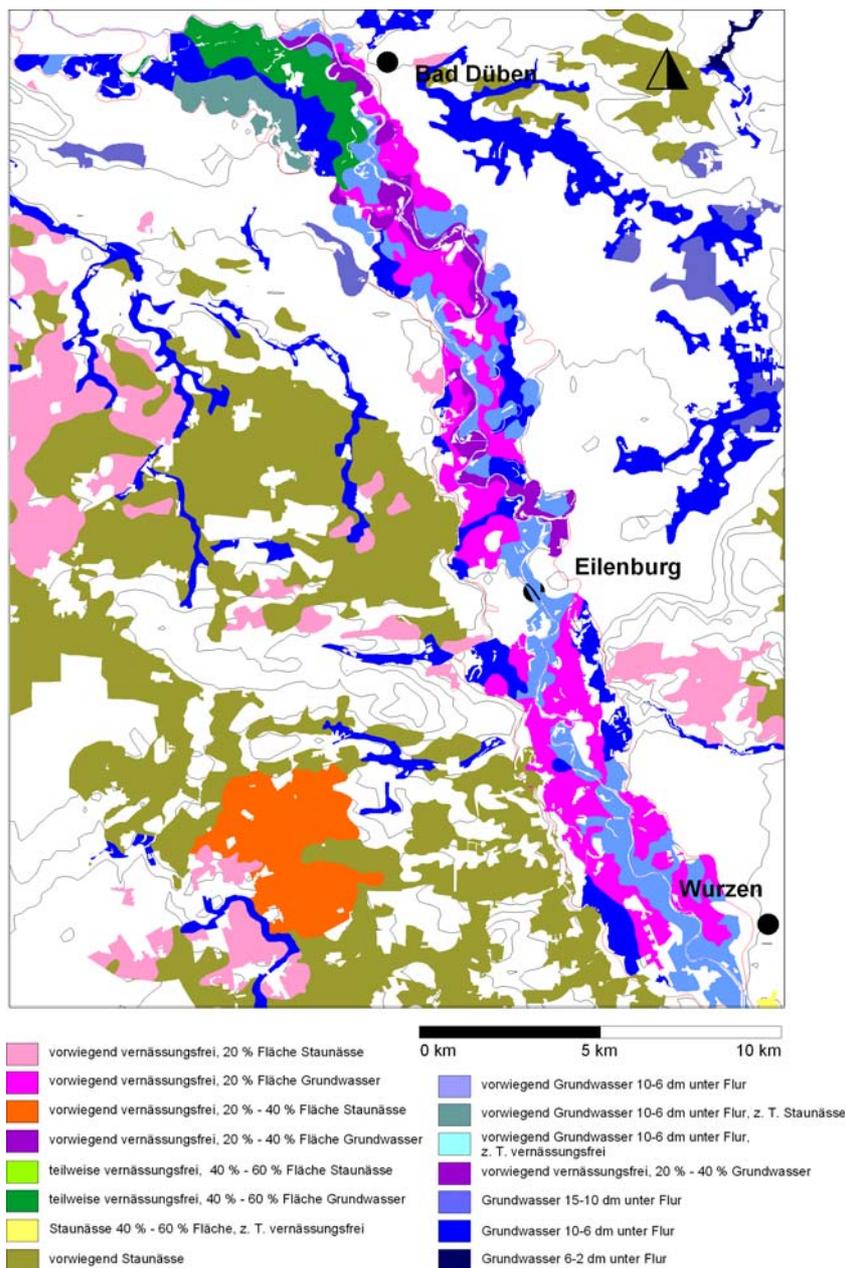
#### **4.2 Klimatische Verhältnisse**

Der Untersuchungsraum ist gemäß der Klimagebietsgliederung unter besonderer Berücksichtigung des Niederschlages dem Subkontinentalen Binnentiefeland zuzurechnen (Mannsfeld und Richter, 1995). Kennzeichnend für das Tieflandsklima ist der gegenüber den Mittelgebirgsklimagebieten größere Anteil trockener Monaten (Niederschlagssumme  $< 40$  mm). Nach Haase (1971) wird das Gebiet des Muldentieflandes innerhalb des Niederschlagsbezirkes des Subkontinentalen Binnentieflandes der planaren Klimastufe zugerechnet.

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt ca. 500 mm bis 650 mm, wobei hier eine makroklimatische Differenzierung zwischen dem Süd- und Nordteil des Untersuchungsgebietes festzustellen ist. Während im Südteil, im Gebiet der Wurzener Mulde-Aue, mit durchschnittlichen Jahresniederschlägen von ca. 540 mm – 660 mm zu rechnen ist, ist im nördlichen Bereich die durch den Harz bedingte Lee-Wirkung stärker wirksam und der durchschnittliche Niederschlag beträgt hier ca. 480 – 580 mm/Jahr. Dieser Unterschied schlägt sich auch in einer Differenzierung bezüglich der Makroklimastufe nieder. Hier wird die Wurzener Mulde-Aue dem Tiefland mit mäßig trockenem Klima zugeordnet, während der nördliche des Untersuchungsgebietes als Tiefland mit trockenem Klima angesprochen wird.

#### **4.3 Grundwasser**

Das Untersuchungsgebiet kann als mäßig hydromorph und mäßig grundwasserbestimmt gekennzeichnet werden. Die folgende Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Grundwasserflurabstände und die Hydromorphie des Untersuchungsgebietes. Auf ca. 45 % der Fläche beträgt der Grundwasserflurabstand lediglich 10 - 6 dm. Die folgende Abbildung enthält Informationen zu den unterschiedlichen Wasserverhältnissen im Untersuchungsgebiet.



**Abbildung 3** Verteilung der grund- und stauwasserbeeinflussten Böden im Untersuchungsgebiet (nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979)

**Tabelle 2** Angaben zu Flächengrößen und Flächenanteilen der Wasserverhältnisse am Untersuchungsgebiet (Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979)

|   | Flächengröße [ha] | Flächenanteil |
|---|-------------------|---------------|
| vorwiegend vernässungsfrei, 20 % Fläche Grundwasser | 2.362             | 31,46 %       |
| vorwiegend Grundwasser, 10 - 6 dm unter Flur        | 1.944             | 25,90 %       |

|  |  |       |         |
|--|--|-------|---------|
| Grundwasser 10 - 6 dm unter Flur   |  | 1.451 | 19,33 % |
| vorwiegend vernässungsfrei,<br>20 % - 40 % Fläche Grundwasser  |  | 641   | 8,54 %  |
| teilweise vernässungsfrei,<br>40 % - 60 % Fläche Grundwasser, 15 - 10 dm unter Flur,<br>z. T. 10 - 6 dm unter Flur |  | 588   | 7,83 %  |
| vorwiegend Grundwasser,<br>10 - 6 dm unter Flur, z. T. Staunässe   |  | 370   | 4,92 %  |
| vorwiegend Staunässe   |  | 69    | 0,92 %  |
| vernässungsfrei  |  | 68    | 0,91 %  |
| vorwiegend vernässungsfrei, 20 % Fläche Staunässe  |  | 14    | 0,19 %  |
| Grundwasser 15 - 10 dm unter Flur  |  | 1     | 0,01 %  |
| Summe  |  | 7.508 | 100 %   |

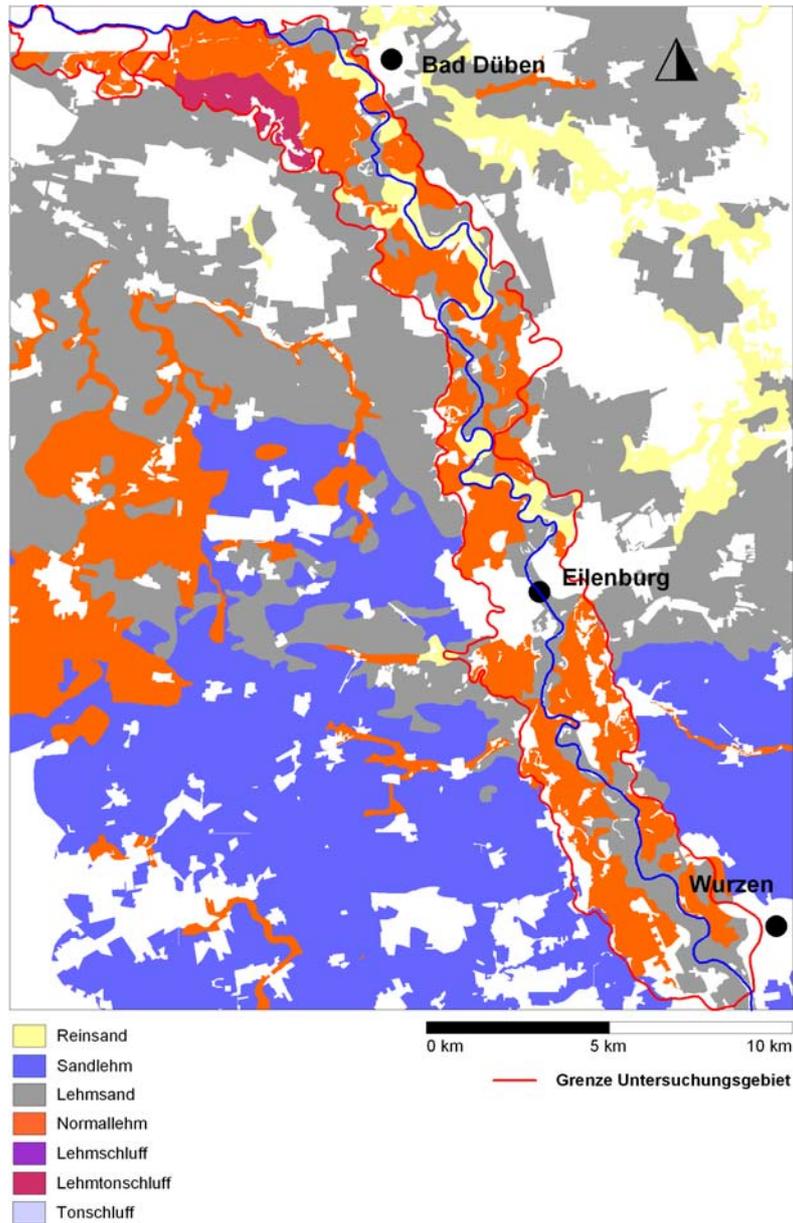
#### 4.4 Bodenverhältnisse

##### 4.4.1 Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung

Eine Grundlage zur Kennzeichnung der Bodenverhältnisse im Gebiet bilden die Ergebnisse der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). Diese Kartierung erfolgte in den Jahren von 1974-1981 unter der Federführung des Forschungszentrums für Bodenfruchtbarkeit Münchenberg. Die Kartierung erfolgte im Maßstabe 1:100.000 und hatte das Ziel, Angaben zu standortkundlichen Aspekten für die landwirtschaftliche Produktion und Meliorationsbedürftigkeiten und –eignungen zusammenzufassen. Hierbei wurde durch die MMK die gesamte landwirtschaftliche Produktionsfläche der DDR erfasst.

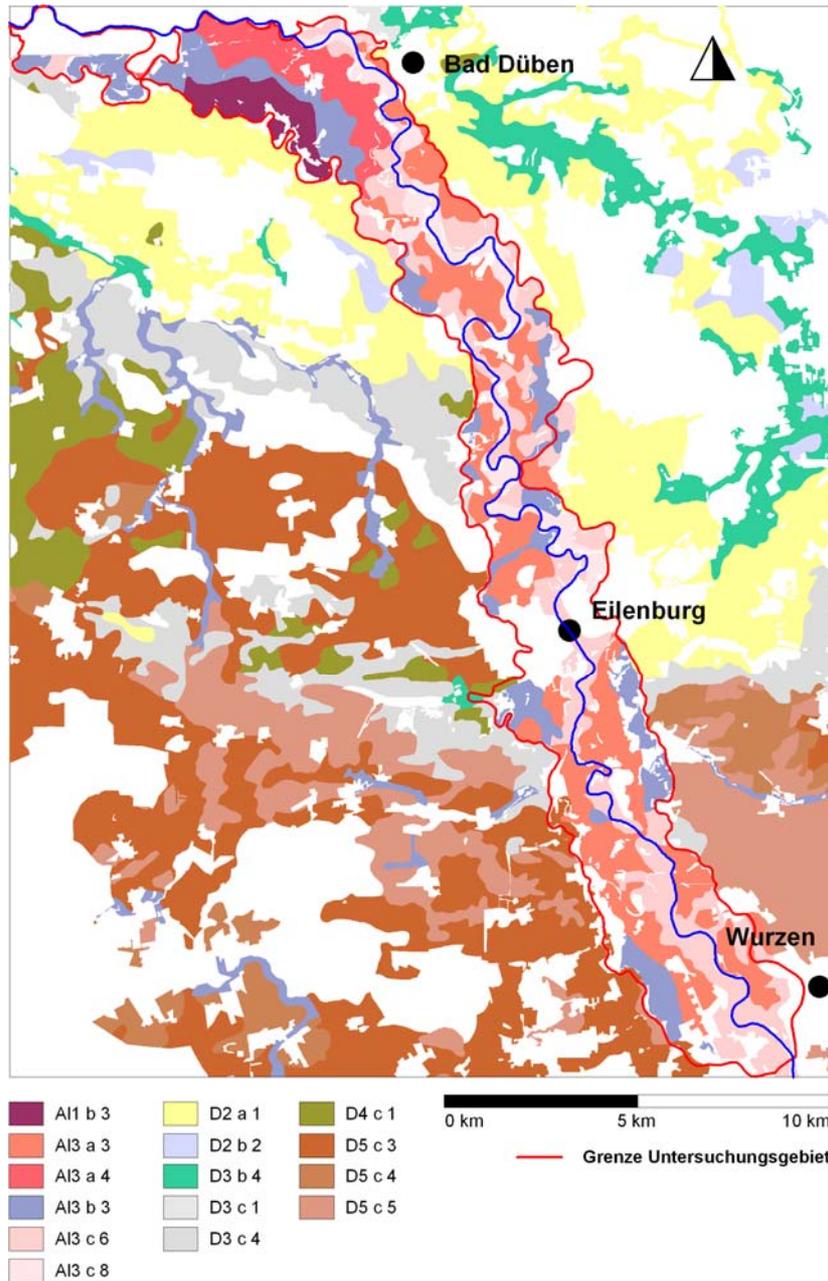
Weiterhin enthält der MMK Angaben zu den Leitbodenformen. Diese werden durch eine Kombination vom Substrattyp und Bodentyp abgeleitet. Tabelle 3 enthält eine Aufstellung der im Untersuchungsgebiet vertretenen Bodenarten. Dominierende Bodenart ist der Lehmsand, der auf über der Hälfte der in der MMK erfassten Flächen des Untersuchungsgebietes anzutreffen ist. Die zweithäufigste Bodenart ist der Lehmsand, der immer noch auf ca. einem Drittel der Flächen vorkommt. Mit zusammen ca. 90 % Flächenanteil dominieren diese beiden Bodenartengruppen das Untersuchungsgebiet. Deutlich sichtbar wird dies auch in der Abbildung 4, welche die Verteilung der Bodenarten im Untersuchungsgebiet zeigt.

In Tabelle 4 sind die aus der MMK entnommenen, im Untersuchungsgebiet auftretenden Leitbodenformen aufgeführt. Dominierende Bodenform sind die Vegen bzw. die grundwasserbeeinflussten Vega-Gleye, die insgesamt ca. 90 % des Untersuchungsgebietes bedecken. Die Bodenform der stau- bzw. sickerwasserbestimmten Auenlehm-Vega (AI3 a 3, Anteil an Gesamtfläche: ca. 31 %), tritt vor allem im südlichen und mittleren Teil der Muldeniederung auf, während sie im Bereich der Bad Dübener Mulde-Niederung fast völlig fehlt. Hier werden die Böden deutlich hydromorpher. Der im Mittel geringere Grundwasserflurabstand im nördlichen Bereich der Mulde-Niederung führt zu Vergleyungen des Unterbodens und es finden sich vermehrt Vega-Gleye und Übergangsformen. Eine bildliche Darstellung der räumlichen Verteilung der MMK-Leitbodenformen findet sich in Abbildung 5.



**Abbildung 4** Verteilung der Bodenartengruppen im Untersuchungsgebiet nach M (nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979)

Auffällig ist die Zunahme hydromorpher Merkmale (AI3 b 3) zum Talrand hin, was auf Substratunterschiede hindeutet. In vom Fluss weiter entfernten Bereichen werden im Zuge von Überschwemmungen in Folge der Abnahme der Fließgeschwindigkeiten meist feinkörnigere Sedimente abgelagert, was zu Verstärkungen von Stauwassernäseeffekten führen kann.



**Abbildung 5** Verteilung der Leitbodenformen nach MMK im Untersuchungsgebiet (dargestellt sind nur die auch im Untersuchungsgebiet vorkommenden Bodenformen; nach Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979)

**Tabelle 3 Flächengrößen und Flächenanteile der Bodenartengruppen am Untersuchungsgebiet nach MMK (Akad. d. Landwirtschaftswiss. der DDR, 1979)**

| Bodenartengruppe (zugehörige Bodenarten nach KA4)         | Flächengröße [ha] | Flächenanteil |
|---|-------------------|---------------|
| Reinsand (ss)   | 566               | 8 %           |
| Sandlehm – (Slu, Sl4, St3)                                | 45                | 1 %           |
| Lehmsand – (St2, Su2, Sl2, Sl3)                           | 2.304             | 27 %          |
| Normallehm – (Lt2, Ls2, Ls3, Ls4)                         | 5.172             | 60 %          |
| Lehmschluff/Tonschluff – (Ut2, Ut3, Ut4, Lu, Uls, Us, Uu) | 370               | 5 %           |
| Summe   | 7.474             | 100 %         |

**Tabelle 4 Flächengrößen und Flächenanteile der MMK-Leitbodenformen am Untersuchungsgebiet (sortiert nach Anteilen an der Gesamtfläche)**

| Leitbodenform  | Kartierungseinheit MMK | Fläche [ha] | Anteil an Gesamtfläche |
|--|------------------------|-------------|------------------------|
| Auenlehm-Vega  | A13 a 3                | 2.361,9     | 31,46 %                |
| Deckauenlehmsand- und Auenlehmsand-Vega und -Vegagley            | A13 c 6                | 1.944,5     | 25,90 %                |
| Auenlehm-Vegagley, Auenlehm-Gley                                 | A13 b 3                | 1.443,8     | 19,23 %                |
| Auensand- und Deckauenlehmsand-Vega mit Sand-Gley                | A13 c 8                | 640,9       | 8,54 %                 |
| Auenlehm-Vega und Auenlehm-Vegagley                              | A13 a 4                | 587,5       | 7,83 %                 |
| Auenton-Gley und Auenton-Amphigley                               | A11 b 3                | 369,6       | 4,92 %                 |
| Sandlößtieflehm-Braunstaugley                                    | D5 c 3                 | 69,1        | 0,92 %                 |
| Decklehmsand-Braunerde und -Parabraunerde                        | D3 c 4                 | 43,0        | 0,57 %                 |
| Sand-Braunerde   | D2 a 1                 | 16,6        | 0,22 %                 |
| Lehmsand-Parabraunerde und -Braunerde mit Tieflehm-Braunstaugley | D4 c 1                 | 13,5        | 0,18 %                 |
| Decksandlöß-Parabraunerde mit Sandlößtieflehm-Parabraunerde      | D5 c 5                 | 8,4         | 0,11 %                 |
| Lehmsand-Gley  | D3 b 4                 | 7,5         | 0,10 %                 |
| Sand-Braungley   | D2 b 2                 | 0,9         | 0,01 %                 |
| Sandlößtieflehm-Parabraunerde mit -Braunstaugley                 | D5 c 4                 | 0,7         | 0,01 %                 |
| Decklehmsand-Braunerde und Sand-Braunerde                        | D3 c 1                 | 0,2         | 0,003 %                |
| Summe  |                        | 7.508       | 100 %                  |

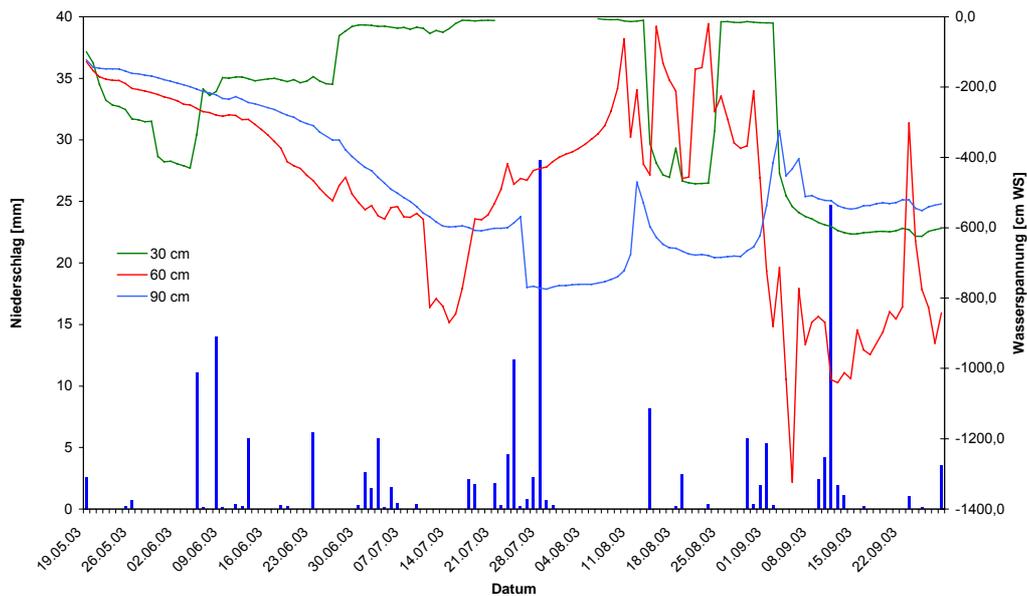
#### 4.4.2 Bodenbezogene Untersuchungen

Im Rahmen des Projektes gilt es, die Auswirkungen zukünftiger Überflutungen auf den Bodenwasserhaushalt der betroffenen Flächen abzuschätzen. Dies ist eine wesentliche Grundlage für die zu treffenden Nutzungsprognosen für landwirtschaftliche Flächen in Überschwemmungsgebieten. Abschätzungen der Dynamik des Bodenwasserhaushaltes setzen jedoch u. a. eine Kenntnis bodenphysikalischer Kennwerte der zu untersuchenden Flächen voraus. Die vorhandenen Quellen geben hier leider nur eine grobe Orientierung. Die vorliegenden Daten erlauben zwar die flächenhafte Beschreibung des Untersuchungsgebietes, genügen jedoch nicht den Ansprüchen an eine detaillierte Charakterisierung bestimmter Flächen. Mit Hilfe eigener Untersuchungen soll die Kenntnislücke für ausgewählte Bodenformen geschlossen werden.

Ziel der Untersuchungen war eine verbesserte Beschreibung bodenphysikalischer Eigenschaften der im Untersuchungsgebiet dominierenden Leitbodenformen Vega und Vega-Gley (90 % der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes). Die bodenkundlichen Information der MMK bildeten die Grundlage für die Auswahl der Untersuchungsflächen (s. Kapitel Material und Methoden). Folgende Profilbeschreibungen wurden erhoben:

**Tabelle 5 Profilbeschreibung der Untersuchungsflächen 1-4**

| Horizontbezeichnung                          | Horizontgrenze [cm] | Bodenart | Ks [cm/d] |
|--|---------------------|----------|-----------|
| Untersuchungsfläche 1 – Acker Wellaune       |                     |          |           |
| Bodentyp: Auen(para)braunerde-Auenpseudogley |                     |          |           |
| Ap   | 35                  | Lts      | 21,6      |
| Bv   | 50                  | Lts      | 5,3       |
| BvSw   | 80                  | Tl       |           |
| BtSd   | 88                  | Tu2      |           |
| Sw   | 115                 | Tl       | 1,7       |
| SwSd   | 180                 | Lts      |           |
| C  |                     | Su2      |           |
| Untersuchungsfläche 2 – Acker Zscepplin      |                     |          |           |
| Bodentyp: Auen-Vega                          |                     |          |           |
| Ap   | 25                  | Lt2      | 12,2      |
| M  | 90                  | Lts      | 31,2      |
| G  |                     | Lts      | 2,3       |
| Untersuchungsfläche 3 – Acker Kollau         |                     |          |           |
| Bodentyp: Auenbraunerde-Auenpseudogley       |                     |          |           |
| Ap   | 30                  | Ut4      | 11,2      |
| BvSw   | 50                  | Tu2      | 3,5       |
| Sw   | 85                  | Ut4      | 11,8      |
| Sd   | 140                 | Ut4      | 8,2       |
| Go   |                     | Tl       | 1,3       |
| Untersuchungsfläche 4 – Grünland Kollau      |                     |          |           |
| Bodentyp: Auengley                           |                     |          |           |
| Ah   | 35                  | Ut4      | 2,7       |
| MGo  | 60                  | Ut3      | 8,2       |
| GoM  | 156                 | Slu      | 10,2      |
| Go   | 186                 | Ut3      | 11,1      |
| Gr   |                     |          |           |



**Abbildung 6 Verlauf der Niederschläge und Bodenwasserspannungen (30 cm, 60 cm und 90 cm Tiefe) unter Zuckerrüben in der Aue bei Zschepplin im Jahre 2003**

Die agrarmeteorologischen Messungen auf der Untersuchungsfläche Zschepplin dienen der Erfassung von Daten zur Wechselwirkung Klima-Bodenwasserhaushalt und wurden zur Kalibrierung der bodenhydrologischen Modellierung in Kapitel 7.2.2 verwendet. Die Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Wasserspannungen, sowie die Niederschläge für die Messperiode 2003.

#### 4.5 Potenziell natürliche Vegetation

Das Untersuchungsgebiet der Muldeniederung ist als natürliches Überschwemmungsgebiet klar von den umgebenden, höher gelegenen Gebieten abgegrenzt. Die Potenziell natürliche Vegetation der Überschwemmungsaue wird durch Pflanzengesellschaften des Auwaldkomplexes gebildet. Hierzu zählen sowohl Weichholzaunen mit Schwarzpappeln und Weiden als auch Hartholzaunen, in denen Eschen, Feldulmen und Ahorn dominieren. Auf vergleyten Böden können sich Erlen- und Erlen-Eschenwälder entwickeln.

#### 4.6 Landnutzung des Untersuchungsgebietes

##### 4.6.1 Historische Landnutzung

Die Mulde-Aue erfuhr im Verlauf der Jahrtausende vielfältige Veränderungen. Mit dem Eintritt der Mulde in die Leipziger Tieflandsbucht ist sie nicht mehr durch felsigen Untergrund in ihrem Verlauf festgelegt und veränderte daher im Mittel- und Unterlauf vielfach ihren Verlauf.

Im Muldeabschnitt zwischen Wurzen und Eilenburg ist bis in das 15. Jahrhundert nichts Näheres über Veränderungen des Flussverlaufes bekannt. Erste Hinweise auf eine natürliche Veränderung im Muldelauf finden sich aus der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts. Wahrscheinlich 1507 wurde der heute unter dem Namen „Alte Dögnitzer Mulde“ bekannte Altarm abgeschnitten. Die Mulde hat sich daraufhin weiter nach Osten verlagert (Schellhorn, o. J.).

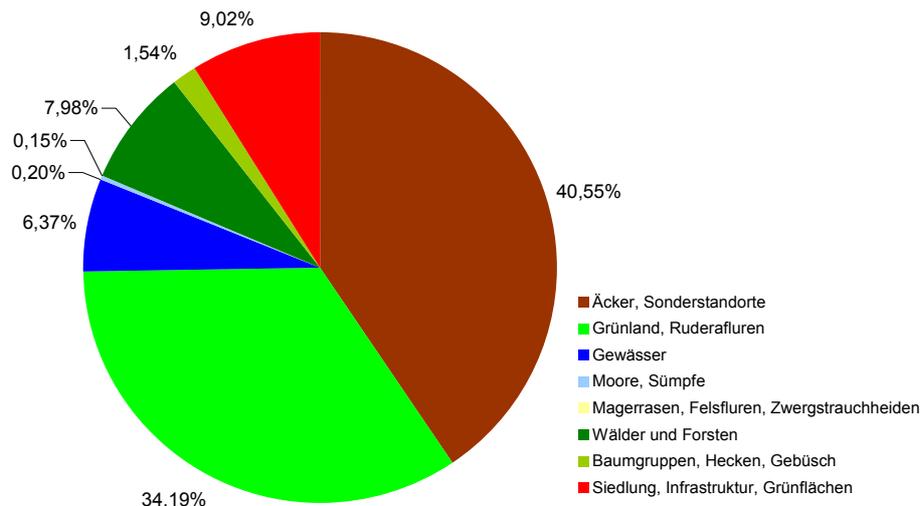
Schon sehr früh siedelten Menschen in der Nähe der Mulde. Laufveränderungen und Überschwemmungen hatten für die Menschen sehr weitreichende Folgen. Um die nachteiligen Auswirkungen von Überschwemmungsereignissen einzudämmen, wurde früh versucht, den Flusslauf zu regulieren. Zwischen Wurzen und Eilenburg wird von ersten Wasserbaumaßnahmen aus dem 16. Jahrhundert berichtet (ebenda). Anfangs beschränkten sich die Maßnahmen auf die Verstärkung der Ufer durch Steine und Holzbarrieren, um ein weiteres Abbrechen des Ufers zu unterbinden. Später kamen Erdaufschüttungen und Dämme hinzu, die Schutz vor größeren Hochwässern bieten sollten. Für den Flussabschnitt zwischen Eilenburg bis Bad Dübener Heide existieren keine Überlieferungen für Wasserbaumaßnahmen aus dieser Zeit. Deutlich sichtbar ist dies auch an der gegenüber dem südlicheren Flussverlauf stärkeren Mäandrierung der Mulde.

Aus den darauf folgenden Jahrhunderten sind immer wieder Berichte über gezielte Laufveränderungen durch den Menschen überliefert. So sind aus dem Jahr 1808 Planungen für einen Durchstich, der die beiden heute nur noch als Altarme existierenden Fluss-Schleifen „Schusterbusch“ östlich von Püchau und „Totes Männchen“ nordöstlich von Püchau verbinden sollte, bekannt. Das eigentliche Ziel des Durchstiches war der Hochwasserschutz für das Dorf Canitz. Der Durchstich wurde letztendlich auf Grund von Grundstücksstreitigkeiten nicht vollzogen, aber eine Begradigung des Flusslaufes vorgenommen. 1810 wurde durch einen Durchstich die Fluss-Schleife „Totes Männchen“ abgetrennt und 1925 der „Schusterbusch“

Es ist anzunehmen, dass mit der Intensivierung der wasserbaulichen Eingriffe auch die Nutzung der Aue weiter zunahm. Viele Flächen erhielten durch Erdaufschüttungen und Dämme den nötigen Hochwasserschutz, um Ackerbau zu betreiben. Zahlreiche Überlieferungen von Hochwasserereignissen belegen die bereits frühe Nutzung der Aue als Weide- und Ackerland. So wird oft von hohen Ernteverlusten berichtet z. B. von der Flut vom 14. August 1573 in der „... alles Getreide verloren ging.“ (ebenda).

#### **4.6.2 Heutige Landnutzung**

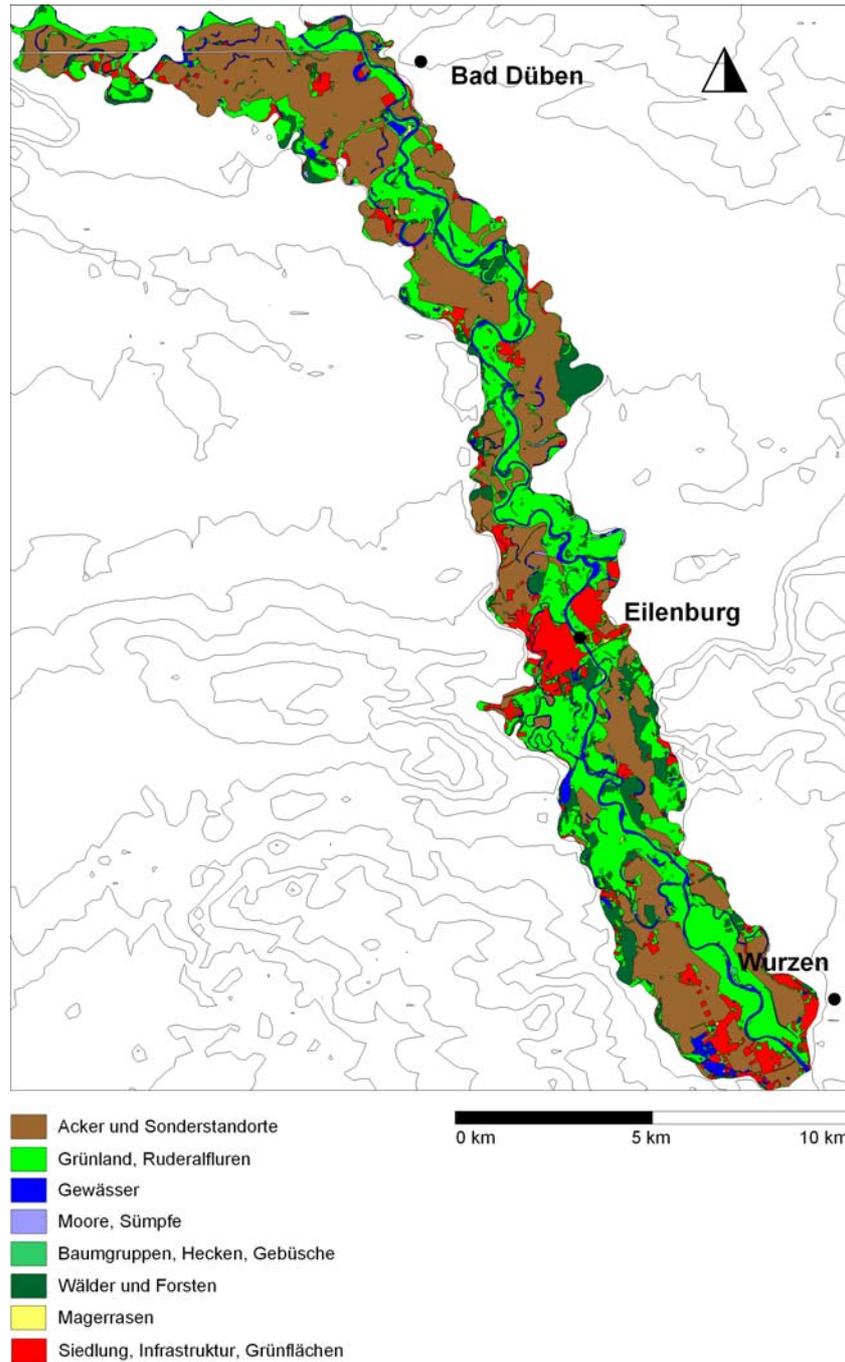
Auf Grund der hohen Ertragsfähigkeit der Böden (gute Wasser- und Nährstoffversorgung) im Untersuchungsgebiet wurden die Flächen bereits früh entwaldet und in eine landwirtschaftliche Nutzung überführt. Das Untersuchungsgebiet ist heute überwiegend landwirtschaftlich geprägt (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8).



**Abbildung 7 Landnutzung im Untersuchungsgebiet (LfUG, 2000)**

Die ackerbauliche Nutzfläche (Ackerflächen, Sonderkulturen) hat einen Flächenanteil von ca. 41 %. Ein Drittel des Untersuchungsgebietes ist Grünland. Bezüglich des Flächennutzungstypes kann das Untersuchungsgebiet also als Acker-Grünland-Mischgebiet in Auenlage eingeordnet werden. Die Eilenburger Mulde-Aue unterscheidet sich auf Grund ihres hohen Siedlungsflächenanteils von den anderen Bereichen des Untersuchungsgebietes, was in der Charakterisierung des Flächennutzungstyps in der Naturraumkartierung für Sachsen (Sächs. Akad. d. Wiss., 1997) durch eine Kombination der Flächenutzungstypen Stadtrand-Kombination und Grünland-Acker-Mischgebiet mit Wald in Auenlage ausgedrückt wird.

Trotz der Dominanz der agrarischen Flächennutzung findet sich im Gebiet noch eine Reihe von Biotopen mit einer hohen Wertigkeit aus naturschutzfachlicher Sicht. Ausdruck der hohen naturschutzfachlichen Bedeutung weiterer Bereiche des Untersuchungsgebietes ist die Unterschutzstellung eines ca. 5.900 ha großen Gebietes entlang der Mulde als Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Gebiet 4340-302 „Vereinigte Mulde und Mulde-Auen“ (s. auch Abbildung 9). Insgesamt sind im Gebiet elf Arten nach Anhang II der FFH-Richtlinie nachgewiesen worden. Der Biber hat im Untersuchungsgebiet sein bedeutendstes sächsisches Reproduktionsgebiet.



**Abbildung 8 Landnutzung des Untersuchungsgebietes (Color-Infrarot-(CIR)-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung, LfUG, 2000)**

Die für das FFH-Gebiet „Vereinigte Mulde und Mulde-Auen“ definierten Erhaltungsziele sind auf folgende Lebensräume ausgerichtet (LfUG, 2002):

- mitteleuropäisch bedeutsamer, colliner bis planarer Flusslauf mit überwiegend naturnaher Fließgewässerdynamik,
- naturnahes Auengebiet mit seinem naturraumtypischen, funktional zusammenhängenden, reich strukturierten Lebensraumkomplex aus Flusslauf, Altwässern, großflächigen Grünländern, Auwäldern und bedeutsamen Laubwaldkomplexen der Hang- und Hochflächen sowie der Seitentäler.

Eine Reihe von Erhaltungs- und Entwicklungszielen im FFH-Gebiet sind auf eine natürliche Fließgewässerdynamik ausgerichtet bzw. damit verknüpft und stehen damit in direkter Berührung zu Hochwasserschutzmaßnahmen im Gebiet (ebenda):

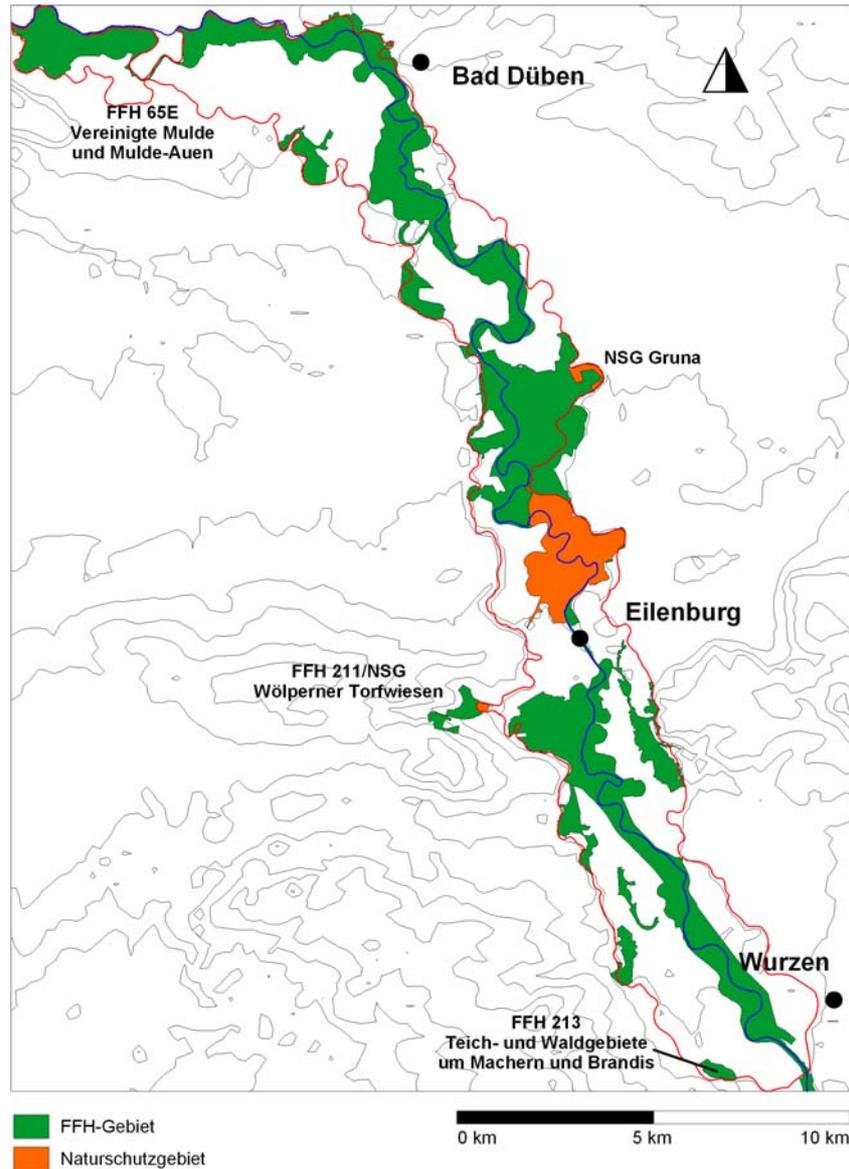
- Erhaltung und partiell Initiierung einer naturnahen Fließgewässerdynamik der Mulde,
- Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Durchgängigkeit des Fließgewässers und Verbesserung der Wasserqualität,
- Erhaltung bzw. zielgerichtete Förderung von naturnahen auendynamischen Prozessen auf dafür geeigneten Flächen, wie z. B. zeitweiliger Überflutung, Sedimentation, Kolkbildungen und Herausbildung von Weichholz- und partiell Hartholzauenwäldern und Sicherung von Retentionsräumen,
- von direkter anthropogener Beeinflussung unbeeinträchtigte, eigendynamische Entwicklung ausgewählter Waldbereiche sowie des überwiegenden Teiles des Muldelaufes einschließlich der Entfernung von Uferbefestigungen als ersteinrichtende Maßnahmen mit günstiger Wirkung,
- Vermeidung neuer bzw. Zurückdrängung vorhandener ackerbaulicher Nutzung der Auenbereich zu Gunsten einer extensiven Grünlandbewirtschaftung.

Im Untersuchungsgebiet befinden sich neben dem FFH-Gebiet noch drei Naturschutzgebiete (vgl. Abbildung 9):

- Gruna (29,3 ha),
- Wölpener Torfwiesen (48,0 ha), z.T. im Untersuchungsgebiet,
- Vereinigte Mulde Eilenburg – Bad Düben (1.453,0 ha).

Im FFH-Gebiet wurden insgesamt 17 Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie gemeldet. Darunter befinden sich drei prioritäre Lebensraumtypen.

Weiterhin konnten insgesamt elf Tierarten nach Anhang II der FFH-Richtlinie nachgewiesen werden.



**Abbildung 9** Lage der unter Naturschutz stehenden Flächen innerhalb des Untersuchungsgebietes

#### 4.6.3 Bewirtschaftungsstruktur

Im Rahmen der Untersuchungen wurde die aktuelle landwirtschaftliche Bewirtschaftungsstruktur des Untersuchungsgebietes erhoben. Folgende Verhältnisse der Landnutzung wurden erfasst:

- Ackerland                    3.152 ha,
- Grünland                    2.010 ha.

Die Ackerflächen des Untersuchungsgebietes werden gegenwärtig von 22 Haupterwerbsbetrieben bewirtschaftet. Der Flächenumfang der Ackerflächen je Betrieb schwankt dabei zwischen 2 ha und 800 ha (vgl. Tabelle 6). Mehr als 50 % der Gesamtackerfläche befinden sich in der Bewirtschaftung von drei Agrargenossenschaften. Der Anteil von Nebenerwerbsflächen ist mit 76,4 ha sehr gering (2,4 % der Gesamtackerfläche). Einen Überblick über die Bewirtschaftersstruktur der Ackerfläche bietet die Karte 1 (Anhang).

Grünlandnutzung im Untersuchungsgebiet betreiben z. Zt. 26 Haupterwerbsbetriebe. Die mittlere Flächengröße des bewirtschafteten Grünlandes je Betrieb beträgt ca. 72 ha, wobei hier im Vergleich zu den Ackerflächen je Betrieb deutlich geringere Unterschiede zwischen den einzelnen Betrieben auftreten (vgl. Tabelle 6). Auch für das Grünland ist der Anteil der Nebenerwerbsflächen an der Gesamtgrünlandfläche mit ca. 3,8 % sehr gering.

**Tabelle 6 Größe und relative Anteile der durch Haupterwerbsbetriebe bewirtschafteten Ackerflächen und Grünlandflächen im Untersuchungsgebiet (Ergebnisse Betriebsbefragung)<sup>1</sup>**

| Betrieb <sup>2</sup><br>Acker | Acker<br>Flächengröße<br>[ha] | Anteil an der<br>Gesamtackerfläche<br>[%] | Betrieb<br>Grünland <sup>2</sup> | Grünland<br>Flächengröße<br>[ha] | Anteil am<br>Gesamtgrünland<br>[%] |
|-------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1                             | 803,1                         | 25,5                                      | 1                                | 274,4                            | 13,7                               |
| 2                             | 413,8                         | 13,1                                      | 2                                | 141,1                            | 7,0                                |
| 3                             | 395,3                         | 12,5                                      | 3                                | 136,9                            | 6,8                                |
| 4                             | 256,4                         | 8,1                                       | 4                                | 113,0                            | 5,6                                |
| 5                             | 189,2                         | 6,0                                       | 5                                | 112,3                            | 5,6                                |
| 6                             | 145,6                         | 4,6                                       | 6                                | 111,3                            | 5,5                                |
| 7                             | 137,5                         | 4,4                                       | 7                                | 105,7                            | 5,3                                |
| 8                             | 123,7                         | 3,9                                       | 8                                | 94,0                             | 4,7                                |
| 9                             | 103,7                         | 3,3                                       | 9                                | 87,9                             | 4,4                                |
| 10                            | 101,7                         | 3,2                                       | 10                               | 81,9                             | 4,1                                |
| 11                            | 85,4                          | 2,7                                       | 11                               | 79,3                             | 3,9                                |
| 12                            | 66,5                          | 2,1                                       | 12                               | 74,3                             | 3,7                                |
| 13                            | 53,9                          | 1,7                                       | 13                               | 72,5                             | 3,6                                |
| 14                            | 46,1                          | 1,5                                       | 14                               | 66,7                             | 3,3                                |
| 15                            | 32,8                          | 1,0                                       | 15                               | 59,8                             | 3,0                                |
| 16                            | 30,9                          | 1,0                                       | 16                               | 58,1                             | 2,9                                |
| 17                            | 21,9                          | 0,7                                       | 17                               | 39,6                             | 2,0                                |
| 18                            | 17,7                          | 0,6                                       | 18                               | 31,6                             | 1,6                                |
| 19                            | 15,0                          | 0,5                                       | 19                               | 30,3                             | 1,5                                |
| 20                            | 8,7                           | 0,3                                       | 20                               | 27,0                             | 1,3                                |
| 21                            | 7,3                           | 0,2                                       | 21                               | 25,9                             | 1,3                                |
| 22                            | 2,6                           | 0,1                                       | 22                               | 20,7                             | 1,0                                |

<sup>1</sup> Die hier gewonnenen Daten zu Verteilung der Landnutzung weichen bezüglich der Flächenanteile von den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Verhältnissen ab. Diese Differenzen sind z. T. auf die unterschiedliche Aktualität der verwendeten Daten zurückzuführen. Die in Kapitel 4.6.2 zu Grunde gelegte Datengrundlage repräsentiert die Verhältnisse im Jahr 1992-2000 (LfUG, 2000)

<sup>2</sup> Die Nummerierung dient lediglich der Kennzeichnung der Anzahl der Haupterwerbsbetriebe. Die Nummern für die in der Tabelle aufgeführten „Betriebe Acker“ und „Betrieb Grünland“ stehen nicht für identische Betriebe.

| Betrieb <sup>2</sup><br>Acker | Acker<br>Flächengröße<br>[ha] | Anteil an der<br>Gesamtackerfläche<br>[%] | Betrieb<br>Grünland <sup>2</sup> | Grünland<br>Flächengröße<br>[ha] | Anteil am<br>Gesamtgrünland<br>[%] |
|-------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|                               |                               |   | 23                               | 11,3                             | 0,6                                |
|                               |                               |   | 24                               | 6,3                              | 0,3                                |
|                               |                               |   | 25                               | 5,8                              | 0,3                                |
|                               |                               |   | 26                               | 2,9                              | 0,1                                |
| Summe                         | 3.152                         |   |                                  | 2.010                            |                                    |

## 5 Hochwasserschutz und –vorsorge im Untersuchungsgebiet

### 5.1 Hochwasserschutz-Planungen im Bereich der Vereinigten Mulde

Das Hochwasserschutzkonzept, dem das Untersuchungsgebiet zugeordnet ist – das Hochwasserschutzkonzept Mulden im Regierungsbezirk Leipzig (i. F. HWSK) - wurde im Januar 2004 fertig gestellt. Es ist in drei Teilabschnitte gegliedert:

1. Zwickauer Mulde - Grenze RB Leipzig bis Sermuth,
2. Freiburger Mulde – Pegel Nossen bis Sermuth,
3. Vereinigte Mulde – Sermuth bis Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt.

Das Bearbeitungsgebiet der vorliegenden Untersuchung befindet sich im Planungsbereich des dritten Teilabschnittes des HWSK.

Im Zuge der Erstellung des HWSK wurde eine statistische Neuberechnung der Hochwasserscheitelabflüsse durchgeführt. Tabelle 7 zeigt die berechneten Durchflusswerte für die Pegel Golzern und Bad Dübau. Diese Angaben bildeten die Grundlage für die hydraulische Modellierung im Rahmen des HWSK, die über die Berechnung von Hochwasserspiegellagen letztendlich auch zur Abschätzung der Überflutungsflächen für unterschiedliche Hochwasserereignisse führte.

Das Untersuchungsgebiet ist derzeit gekennzeichnet durch ein flussbegleitendes Deichsystem, welches streckenweise den Hochwasserabflussbereich stark einschränkt (Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH, 2004). Ursprünglich diente es u. a. dazu, landwirtschaftlich Flächen vor häufiger Überflutung zu schützen und somit besser nutzbar zu machen. Die Eindeichung führte zu einem Rückgang der natürlichen Überflutungsflächen. Gleichzeitig führte die im letzten Jahrhundert immer stärker zunehmende Versiegelung der Landschaft (Siedlung, Verkehr, Landwirtschaft) zu einem ständigen Anstieg der Hochwasserdurchflüsse und damit zu einem Rückgang der Schutzwirkung der für andere Verhältnisse dimensionierten Deiche. In Verbindung mit der Ausdehnung der Siedlungsgebiete in den Flussniederungen stieg die Gefährdung von Menschenleben. Da den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Vergleich zu Siedlungsgebieten aus Sicht der wasserwirtschaftlichen Planungen hinsichtlich des Schadenspotenzials nur eine

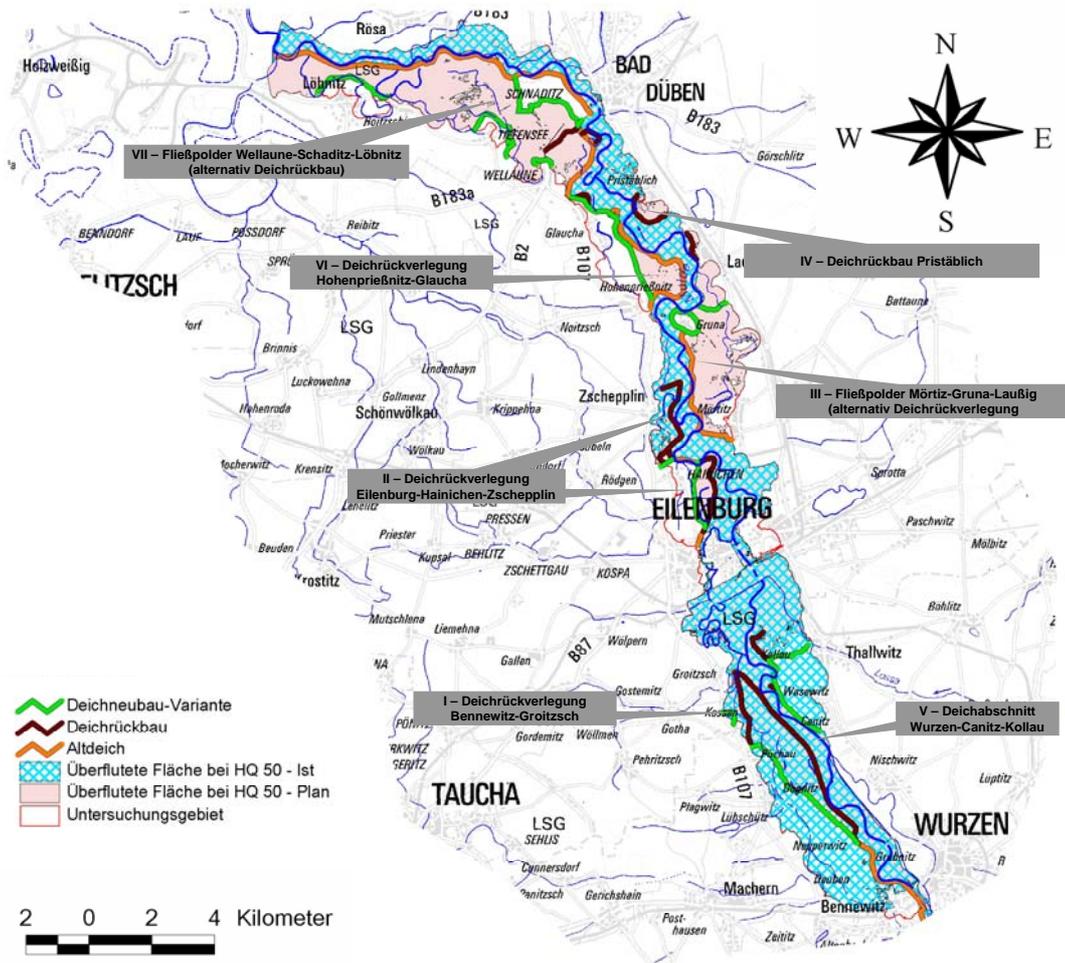
untergeordnete Rolle zukommt, beinhalten einige Planungsvarianten eine unterschiedliche Aufweitung der Hochwasserabflussbereiche in Form von Deichrückbauten und Anlagen von Flutungspoldern zu Lasten von Acker- und Grünlandflächen.

**Tabelle 7      Scheiteldurchflüsse      für      Hochwässer      unterschiedlicher Wiederkehrswahrscheinlichkeit (Angaben in m<sup>3</sup>) für die Pegel Golzern und Bad Düben (Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH, 2004)**

| HQ2             | HQ5 | HQ10 | HQ20 | HQ25 | HQ50 | HQ100 | HQ200 | HQ300 | HQ500 |
|-----------------|-----|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Pegel Golzern   |     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| 425             | 657 | 855  | 1090 | 1180 | 1520 | 1960  | 2570  | 2990  | 3670  |
| Pegel Bad Düben |     |      |      |      |      |       |       |       |       |
| 370             | 598 | 793  | 1020 | 1100 | 1390 | 1730  | 2140  | 2420  | 2770  |

Im HWSK werden die Überflutungsflächen für ausgewählte Hochwasserereignisse im Ist-Zustand und im sog. Plan-Zustand gegenübergestellt. Der Ist-Zustand bildet die Flächenverhältnisse unter der Annahme ab, dass die bestehenden Hochwasserschutzanlagen in der Regel bis zu einem HQ50 voll funktionsfähig sind. Bei Überschreiten dieses Wasserstandes wird ein Überströmen der Hochwasserschutzanlage und eine Überflutung dahinter liegender Bereiche angenommen. Für den sog. Plan-Zustand wurde die hydraulische Modellierung unter Berücksichtigung der verschiedenen im HWSK vorgeschlagenen Hochwasserschutzmaßnahmen durchgeführt. Letztere umfassen sowohl Maßnahmen zur Deichertüchtigung als auch Empfehlungen für Deichrückbauten und die Errichtung von Überflutungspoldern. Im Untersuchungsgebiet dieses Projektes sind durch das HWSK sieben derartige Maßnahmen vorgeschlagen worden, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Für die einzelnen Maßnahmen werden in der Regel verschiedenen Lösungsvarianten dargestellt, wobei eine Variante immer die Beibehaltung der gegebenen Situation bei gleichzeitiger Ertüchtigung der bestehenden Anlagen beinhaltet. Für die folgenden Beschreibungen werden ausschließlich die Varianten dargestellt, die aus Sicht der Überflutungshäufigkeit eine Verschlechterung für die landwirtschaftliche Nutzung bedeuten. Auf eine separate kartographische Darstellung von Lage und Umfang der Maßnahmen wird an dieser Stelle verzichtet. Detailliertere Angaben und Darstellungen finden sich im HWSK.

Abbildung 10 gibt einen Überblick über die Lage der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen. Als Beispiel sind die überfluteten landwirtschaftlichen Flächen beim Hochwasserereignis HQ 50 für den Ist- und Planzustand dargestellt.



**Abbildung 10** Lage der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen des HWSK im Untersuchungsgebiet

## 5.2 Hochwasserschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet

### 5.2.1 Planung I – Linker Muldedeich zwischen Bennewitz und Groitzsch

Der linksseitig der Mulde liegende Deich beginnt in der Ortslage Wurzen und erstreckt sich bis zur Ortschaft Groitzsch (Länge 9,6 km). Durch den Deich sind die Ortslagen Bennewitz, Grubnitz, Deuben, Nepperwitz, Dögnitz, Lübschütz, Püchau und Kossen, einschließlich der hinter dem Deich liegenden landwirtschaftlichen und sonstigen Flächen geschützt.

Eine Variante sieht einen abschnittweisen Neubau, Instandsetzung und Rückverlegung des Deiches vor. Für die landwirtschaftlichen Nutzflächen soll ein Teilschutz bis HQ10 eingehalten werden. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei hoch.

### **5.2.2 Planung II – Linker Muldedeich Eilenburg-Hainichen-Zschepplin**

Der stromabwärts an den Deich Eilenburg-West anschließende Deich Hainichen schützt die Ortschaft Hainichen, die Kläranlage Eilenburg, Einzelbebauungen und Landwirtschaftsflächen. Er endet bei der Ortschaft Zschepplin. Für diesen Deich ist bereits eine weiträumige Deichrückverlegung bis zur Ortslage Hainichen vorgesehen. Die Planung wurde im Oktober 2003 zur Genehmigung eingereicht. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei hoch.

### **5.2.3 Planung III – Rechter Muldedeich Mörtitz-Gruna-Laußig**

Der Deich schützt die betreffenden Ortschaften sowie ausgedehnte Landwirtschaftsflächen. Durch einen teilweise sehr muldennahen Verlauf wird der Abflussquerschnitt stark eingengt. Zwei mögliche Varianten sind mit Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung verbunden.

Eine Variante sieht einen Teilrückbau des Deiches bei gleichzeitiger Neuerrichtung von Deichen zum Schutz der Ortschaften vor. In einer zweiten Variante wird die Anlage eines Flutungspolders vorgeschlagen. Hierbei wird der alte Deich als Polderdeich erhalten und die betreffenden Ortschaften werden durch neu zu errichtende Deiche geschützt. Für die Modellierung des Planzustandes wird eine Flutung des Polders ab HQ25 angenommen. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei hoch.

### **5.2.4 Planung IV – Rechter Muldedeich Pristäblich**

Für den Deichabschnitt Pristäblich (nördlich Laußig) schlägt das HWSK einen Teilrückbau mit einem Teilschutz der landwirtschaftlichen Nutzflächen bis zu einem HQ10 vor.

### **5.2.5 Planung V – Rechter Muldedeich Wurzen-Canitz-Kollau**

Der rechtseitig der Mulde liegende Deich beginnt nördlich von Wurzen und endet ca. 2 km oberhalb der Eisenbahnbrücke Eilenburg an einem Altarm.

Im Wesentlichen soll die bestehende Deichlinie erhalten und instandgesetzt werden. Lediglich für den letzten Deichabschnitt nördlich von Kollau ist eine teilweise Rückverlegung bis zum sog. Eilenburger Weg vorgesehen. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei gering.

### **5.2.6 Planung VI – Linker Muldedeich Hohenprießnitz-Glauchau**

Der Deich schützt die Ortschaften Hohenprießnitz sowie Ober- und Unterglauchau sowie Landwirtschaftsflächen. Neben einer Instandsetzung und Aufhöhung des betreffenden Deichabschnittes sieht eine zweite Variante die Deichrückverlegung bei Gewährung eines Teilschutzes für die Landwirtschaftsflächen bis zu einem HQ10 vor. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei hoch.

### **5.2.7 Planung VII – Linker Muldedeich Wellaune-Schnaditz-Löbnitz**

Der Deich schließt südlich der Ortschaft Wellaune an den unter Maßnahme 5 genannten Deichabschnitt an. Er verläuft über 15,6 km sehr flussnah und endet an der nördlichen Grenze des Untersuchungsgebietes an der Landesgrenze zu Sachsen-Anhalt. Geschützt werden die Ortschaften Wellaune, Tiefensee, Schnaditz, Roitzschjora sowie Löbnitz, Einzelbebauungen und zahlreiche landwirtschaftliche Flächen geschützt.

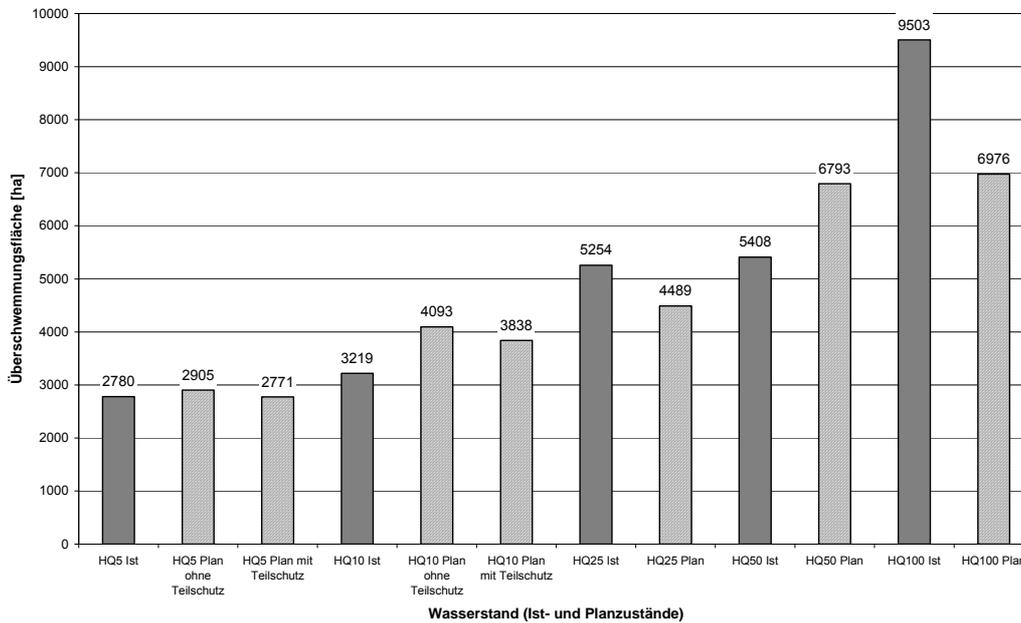
Auch für diesen Deichabschnitt werden zwei Varianten genannt, die Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung haben. Neben der Möglichkeit einen Deichrückbau mit Neubau ortsnaher Deiche wird die Variante eines Flutungspolders genannt. In letzterem Fall ist eine Flutung ab HQ25 geprüft wurden. Der Anteil betroffener Landwirtschaftsfläche ist hierbei hoch.

### **5.3 Auswirkungen auf die Landwirtschaft**

Um die Auswirkungen der Planungen zum Hochwasserschutz im HWSK und der damit möglicherweise einhergehenden Änderungen der Überflutungshäufigkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen bewerten zu können, wurden in einem ersten Schritt die Überflutungsflächen im Ist-Zustand und im Plan-Zustand abgeschätzt. Grundlage der Berechnung waren die digitalen Daten des HWSK zu den Überflutungsflächen im Untersuchungsgebiet sowie die Angaben zu den landwirtschaftlichen Nutzflächen (Acker- und Grünland) in der InVeKOS-Datenbank. Die Abbildung 11 zeigt die Entwicklung der überfluteten Gesamtfläche (landwirtschaftlich genutzte und andere Flächen) für verschiedene Hochwasserstände im Ist- und im Planzustand. Der Ist-Zustand repräsentiert die aktuell gegebene Situation im Untersuchungsgebiet unter Annahme unveränderter Lage der Deich und unveränderten Deichhöhen. Die Planzustände repräsentieren die Auswirkungen von Hochwasserständen, die sich bei der Umsetzung aller Hochwasserschutzmaßnahmen im Untersuchungsgebiet ergeben. Abbildung 12 und Abbildung 13 stellen die auf diese Weise geschätzten Flächenanteile getrennt nach Grünland und Ackerland gegenüber. Für die Planzustände der Hochwasserereignisse HQ5 und HQ10 sind die Auswirkungen noch einmal differenziert. Dargestellt sind die Auswirkungen bei Aufrechterhaltung eines sog. Teilschutzes, d.h. der Überflutungssicherheit bis zu einem zehnjährigen Hochwasserereignis, und bei einem Komplettrückbau der betreffenden Deichabschnitte.

Bei der Analyse der Ist-Situation wird deutlich, dass bereits bei einem statistisch alle fünf Jahre wiederkehrendem Hochwasser 2.780 ha im Untersuchungsgebiet überflutet werden. Davon entfallen 58 % auf Grünlandflächen und 7 % auf Ackerflächen (Abbildung 12). Die Differenz der überfluteten Fläche im Ist-Zustand zwischen HQ25 (5.254 ha) und HQ50 (5.408 ha) liegt bei lediglich 200 ha. Dies ist darin begründet, dass für die Modellierung des Ist-Zustandes eine bestehende Überflutungssicherheit für ein HQ50 angenommen wurde. Für ein 100-jähriges Hochwasser steigt der Wert der Überflutungsfläche im Ist-Zustand dagegen auf 9.503 ha an. Hierbei entfallen 41 % auf Ackerflächen und 28 % auf Grünlandflächen. Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der relativen Anteile der überfluteten landwirtschaftlichen Nutzflächen bezogen auf die

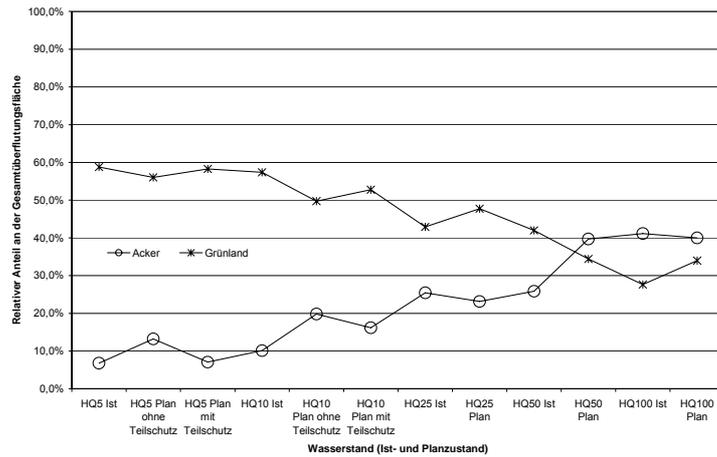
gesamte Überflutungsfläche. Auffällig ist hierbei die Dominanz der Grünlandflächen an der Gesamtüberflutungsfläche für Hochwasserereignisse mit hoher Wiederkehrswahrscheinlichkeit.



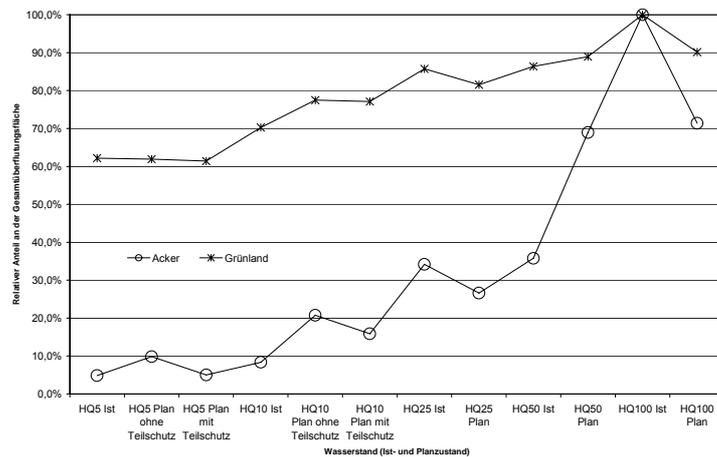
**Abbildung 11 Überflutete Gesamtfläche für verschiedene Hochwasserstände im Ist (ohne Schraffur)- und Plan-Zustand (mit Schraffur) im Untersuchungsgebiet (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK)**

Bei HQ5 sind ca. 60 % der im gesamten Untersuchungsgebiet überschwemmten Fläche Grünländer. Diese Flächen repräsentieren wiederum bereits ca. 60 % der generell überschwemmungsgefährdeten Grünlandflächen (Abbildung 13). Dies macht deutlich, dass bereits gegenwärtig in den flussnahen Bereichen die Grünlandnutzung dominiert. Bei den betroffenen Grünlandflächen gibt es daher im Vergleich zu den Ackerflächen zwischen den einzelnen Varianten auch deutlich geringere Unterschiede bei der Gegenüberstellung unterschiedlicher Hochwasserstände (Abbildung 14). Der Umfang der betroffenen Grünland-Fläche im Vergleich zur Ackerfläche ist derzeit mit 1.634 ha (vorrangig Vordeichgrünland) bereits bei HQ 5 sehr hoch und steigt dann kontinuierlich auf 2.628 ha bei HQ100 an (Abbildung16).

Zu beachten ist, dass trotz der im Plan-Zustand oft betrachteten Deichrückverlegungen im Untersuchungsgebiet nicht generell mit einer Zunahme der Überflutungsflächen zu rechnen ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die betrachteten Plan-Zustände mit einer Ertüchtigung der belassenen Deiche auf ein Bemessungshochwasser von HQ100 einhergehen. Der dadurch bessere Schutz (für die Ist-Zustände wird oft von einem Schutz bis lediglich HQ50 ausgegangen) schlägt sich für einige der betrachteten Zustände in einer geringeren Überflutungsfläche für den Plan-Zustand nieder.



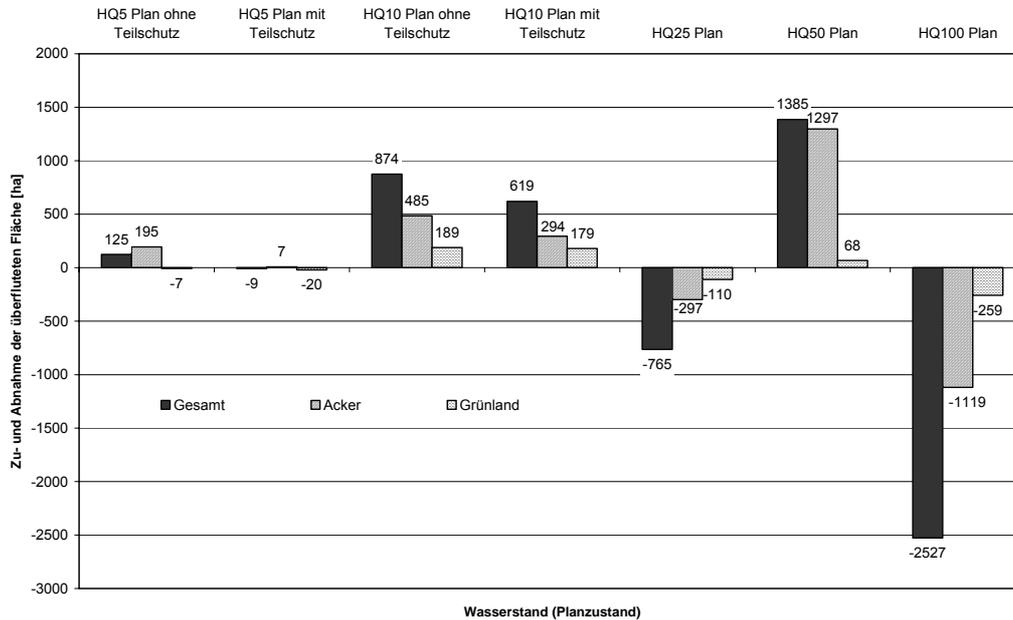
**Abbildung 12** Relative Anteile der überfluteten Acker- und Grünlandfläche an der Gesamtüberflutungsfläche im Ist- und Planzustand für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK)



**Abbildung 13** Relative Anteile der überfluteten Acker- und Grünlandflächen im Vergleich zur maximal überfluteten Acker- und Grünlandflächen (HQ100 Ist) für verschiedene Überflutungshäufigkeiten im Ist- und Planzustand

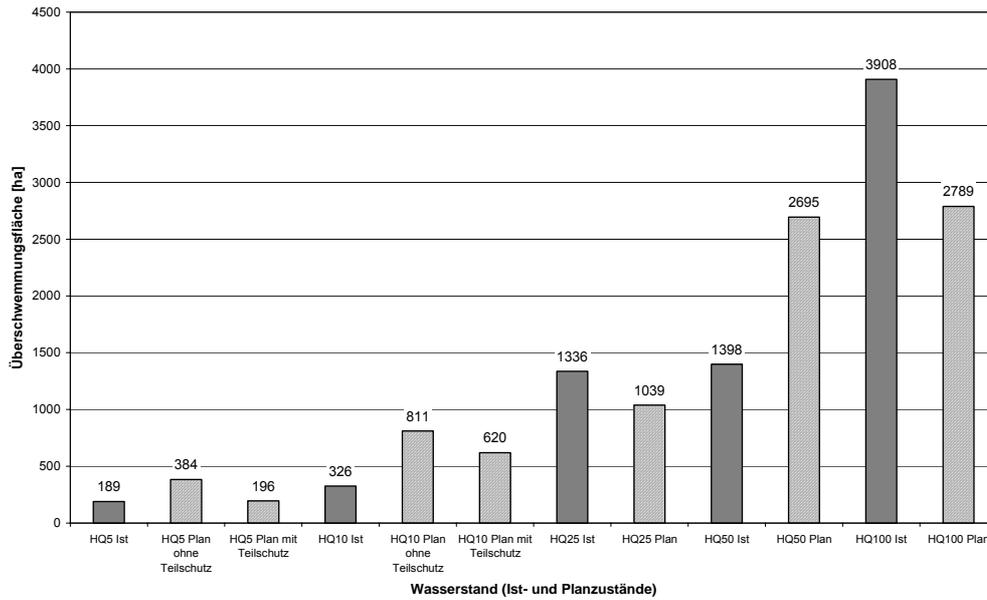
Der Effekt der betrachteten Deichrückbauten wird bereits bei den Zuständen HQ5 und HQ10 deutlich. Abgebildet sind neben den Auswirkungen eines kompletten Deichrückbaus die Effekte, die mit der Gewährung eines sog. Teilschutzes, d.h. der Sicherung des Hochwasserschutzes bis zu einem HQ5 bzw. HQ10 verbunden sind. Letzterer Aspekt ist insbesondere für die landwirtschaftliche Nutzung hinter den alten Deichanlagen von Bedeutung, da in diesen Fällen trotz Deichrückbau der Überschwemmungsschutz bis zum Erreichen eines Hochwasserstandes > HQ10 weiterhin gewährleistet bleibt. Bei genauerer Betrachtung der Überschwemmungsgefährdung der Ackerfläche (Abbildung 15) zeigt sich die derzeit geringe Betroffenheit bei niedrigen

Hochwasserständen (bis zu einem zehnjährigen Hochwasser) im Ist-Zustand. Die Realisierung der Planvariante ohne Teilschutz hätte hier eine deutliche Zunahme der betroffenen Flächen zur Folge.

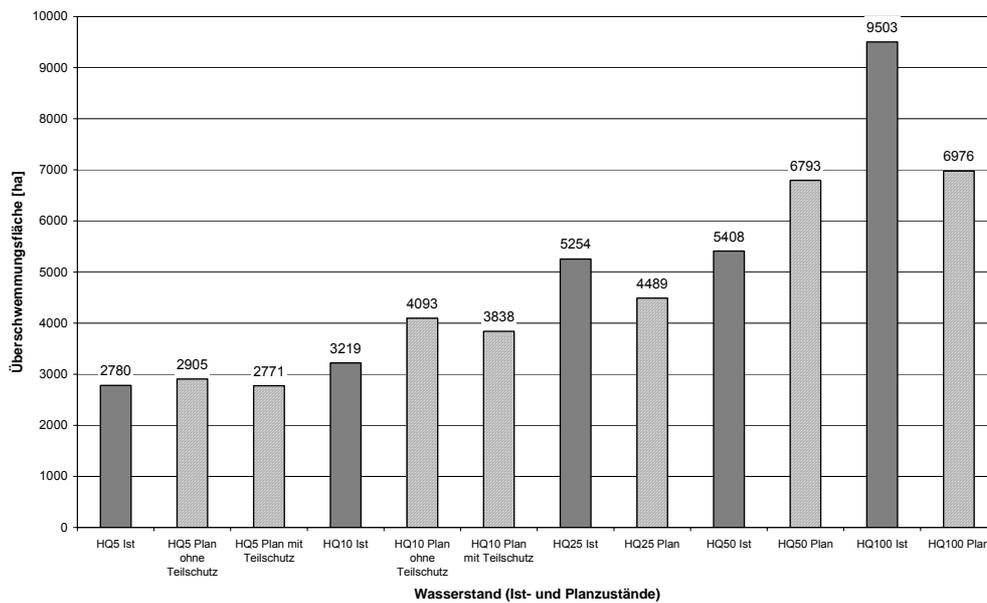


**Abbildung 14** Veränderung der Überflutungsfläche für verschiedene Planzustände (dargestellt sind die Zu- bzw. Abnahmen der Überflutungsflächen gegenüber dem angenommenen Ist-Zustand)

Der starke Anstieg der betroffenen Fläche in der Planungsvariante für ein HQ50 ist fast ausschließlich auf Maßnahme VI, den Flutungspolder zwischen Wellaune Schnaditz und Löbnitz, zurückzuführen. Ab einem HQ 25 soll hier laut Planungsvariante die Möglichkeit bestehen, den Flussunterlauf durch die gezielte Flutung zu entlasten.



**Abbildung 15** Überflutete Ackerfläche im Ist- (ohne Schraffur) und Plan-Zustand (mit Schraffur) im Untersuchungsgebiet für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK)



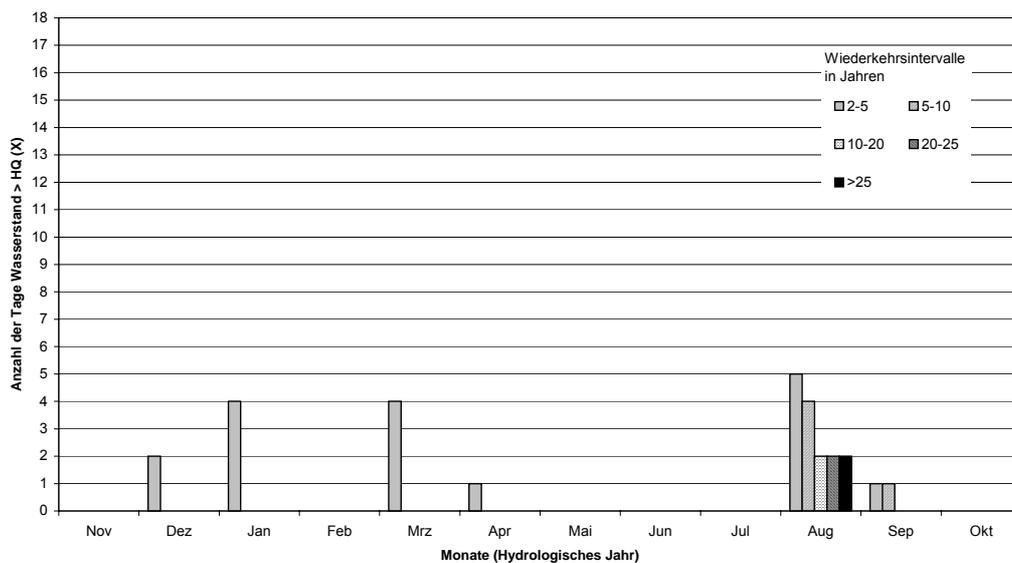
**Abbildung 16** Überflutete Grünlandfläche im Ist- und Plan-Zustand im Untersuchungsgebiet für verschiedene Überflutungshäufigkeiten (Ausdehnung der Überschwemmungsgebiete nach Angaben im HWSK)

## 6 Überflutungen und landwirtschaftliche Nutzung

### 6.1 Häufigkeit von Hochwasserereignissen

Um das Risiko und Auswirkungen von hochwasserinduzierten Schadensereignissen für landwirtschaftliche Flächen beurteilen zu können, ist die Häufigkeit der Hochwasserereignisse ein maßgeblicher Faktor. Zu diesem Zweck wurde rückblickend für die Jahre 1983-2003 die täglichen Messwerte der Mulde-Pegel Golzern und Bad Düben ausgewertet. Grundlage der Auswertung bildeten die im Zuge der Erstellung des „Hochwasserschutzkonzept Mulden im Regierungsbezirk Leipzig“ (Dr. Scholz Planungsgesellschaft, 2004) neu berechneten Scheiteldurchflüsse einzelner Hochwasserereignisse für die beiden Pegel. Diese Durchflusswerte wurden mit den Durchflusstafeln der Pegel (LfUG, 2004) verglichen und auf diese Weise, die tatsächliche Anzahl der Tage mit Überschreitung der Bemessungshochwässer ermittelt.

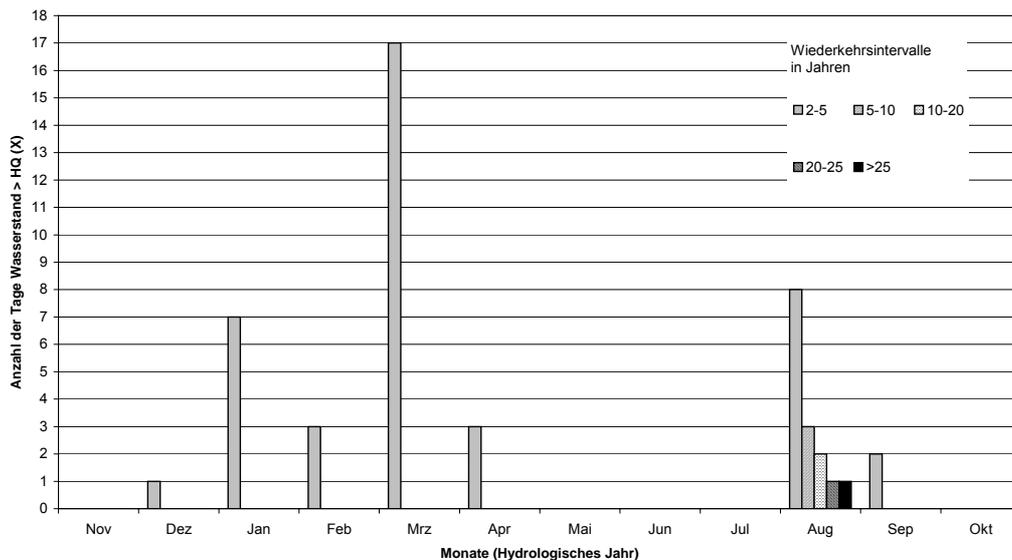
Die folgenden Abbildungen zeigen für den Betrachtungszeitraum von 1983-2003 wann und wie oft der Wasserabfluss einen bestimmten Hochwasserstand (z. B. HQ5, HQ10 ...) überschritten hat (Wasserstände und Wiederkehrintervalle entsprechend der Angaben im Hochwasserschutzkonzept).



**Abbildung 17 Häufigkeit von Hochwassereignissen an der Vereinigten Mulde für ausgewählte Wiederkehrintervalle (> HQ2, > HQ5, >HQ10, >HQ20, >HQ25)-Pegel Golzern, Grundlage Pegeldata 1983-2003 (LfUG, 2004)**

Die Auswertung der Pegeldata zeigt eine Häufung der Hochwasserereignisse im Winterhalbjahr. Das Auftreten größerer Hochwässer ist dagegen eher im Sommer wahrscheinlich. Diese Feststellung deckt sich mit den Auswertungen im Hochwasserschutzkonzept, die

Pegelauswertungen seit 1948 berücksichtigten. Die Monate Mai bis Juli sowie Oktober waren in den letzten zwanzig Jahren hochwasserfrei. Hochwasserereignisse mit einer Wiederkehrswahrscheinlichkeit von zwei bis fünf Jahren treten erwartungsgemäß am häufigsten auf. Eine Überschreitung eines Hochwassers mit fünfjähriger Wiederkehrswahrscheinlichkeit trat lediglich im Zuge des Auguthochwassers 2002 auf. Lediglich für den Pegel Golzern wurde im September 1995 noch an einem Tag eine Überschreitung der Durchflussmenge eines fünfjährigen Hochwassers festgestellt.



**Abbildung 18 Häufigkeit von Hochwasserereignissen an der Vereinigten Mulde für ausgewählte Wiederkehrintervalle (> HQ2, > HQ5, >HQ10, >HQ20, >HQ25) - Pegel Bad Dübener; Grundlage Pegeldaten 1983-2003 (LfUG, 2004)**

Insgesamt lag der Abfluss des Pegels Golzern im Betrachtungszeitraum von 1983-2003 an 17 Tagen zwischen HQ2 und HQ5, an fünf Tagen zwischen HQ5 und HQ10 und an jeweils zwei Tagen wurden Durchflusswerte von HQ10, HQ20 und HQ25 überschritten. Letztere Ereignisse traten alle im Zuge des Auguthochwassers 2002 auf. Dies bedeutet, dass großflächigere Überschwemmungen innerhalb der letzten zwanzig Jahre lediglich bei einem Ereignis (August 2002) auftraten. Für alle anderen Hochwasserereignisse war die Überschwemmungsfläche deutlich kleiner. Für den Pegel Bad Dübener wurden an 41 Tagen ein Durchfluss zwischen HQ2 und HQ5 gemessen. An drei Tagen lag der Durchfluss zwischen HQ5 und HQ10, an zwei Tagen zwischen HQ10 und HQ20 und an jeweils einem Tag wurden das HQ20 und das HQ25 überschritten. Auch hier sind die letzteren Ereignisse dem Auguthochwasser 2002 zuzurechnen.

## **6.2 Hochwasserempfindlichkeit landwirtschaftlicher Flächen**

Das Schadensrisiko, das mit Hochwasserereignissen verbunden ist, ergibt sich aus dem Zusammenspiel zweier unabhängiger Komponenten des Naturereignisses Überflutung - dem Zerstörungspotenzial der Überflutungen auf der einen und der Empfindlichkeit der betroffenen Fläche auf der anderen Seite (Gilard, 1998).

Die Hochwasserempfindlichkeit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche, also der Schaden, der im Falle einer Überflutung zu erwarten ist, hängt dabei neben naturräumlichen und technischen Aspekten nicht zuletzt auch von ökonomischen Randbedingungen ab. Letztere ergeben sich direkt aus der Tätigkeit des Landwirtes durch die Art der angebauten Kultur, Kapitaldienstbarkeiten, erwartete Gewinne etc. Eine Vielzahl der ökonomischen Randbedingungen sind durch Bewirtschaftungsentscheidungen des Landwirtes steuerbar. Damit ist eine Möglichkeit der Beeinflussung der Hochwasserempfindlichkeit der landwirtschaftlichen Flächen gegeben.

## **6.3 Hochwasserschäden auf landwirtschaftlichen Flächen**

Generell kann für landwirtschaftliche Flächen zwischen zwei Arten der Schädigung differenziert werden:

1. Effekte, welche bestimmte Ertragseigenschaften der Fläche permanent bzw. quasi-permanent schädigen und im Wesentlichen unabhängig von der Art der angebauten Kultur sind (z. B. Veränderung des Wasserspeichervermögens, Oberbodenabtrag, Schadstoffeintrag),
2. Effekte, welche die angebauten Pflanzen direkt schädigen (z. B. Erstickung von Pflanzen und Bodenlebewesen, Schädigungen an Pflanzen durch strömendes Wasser) und zu Ertragsverlusten im Jahr der Überflutung führen sowie
3. Indirekte Effekte durch Verzögerung der Bestellbarkeit z. B. infolge verschlechterter Befahrbarkeit.

Die wirtschaftlichen Schäden durch Überschwemmung landwirtschaftlicher Flächen ergeben sich durch:

- Ertragsverluste,
- Qualitätsverluste bei den Ernteprodukten,
- Mehraufwendungen für Neuansaat, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutzmittel,
- Minderung des Wertes der landwirtschaftlichen Flächen (Bodenverluste, Schadstoffeinträge, verringertes Ertragspotenzial).

### 6.3.1 Schäden durch Überstau

Zu den direkten Hochwasserschädigungen zählen Erstickungsschäden an Pflanzen und Tieren infolge von Wasserüberstau von Flächen. Neben den damit verbundenen Ertragsverlusten an landwirtschaftlichen Kulturen können auch die oft beträchtlichen Schädigungen der Bodenfauna (insbesondere Erstickung der Regenwürmer) zu Minderungen des Ertragspotenzials der betroffenen Fläche führen.

Das Ausmaß der Schädigung wird von mehreren Parametern bestimmt. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind:

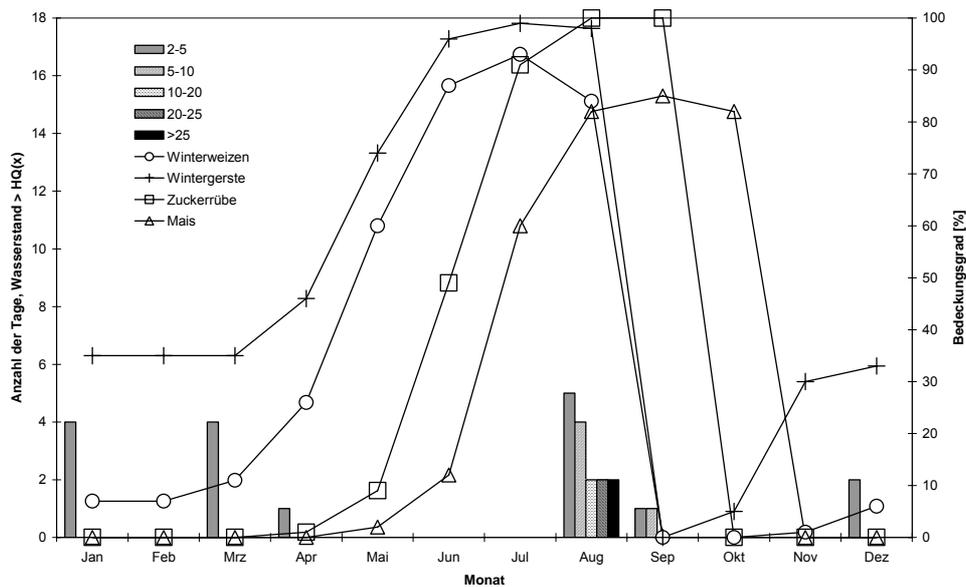
- Art der landwirtschaftlichen Kultur,
- Zeitpunkt der Überflutung, d.h. Jahreszeit und Entwicklungszustand der landwirtschaftlichen Kultur,
- Dauer des Überstaus,
- Höhe des Überstaus und
- Fließgeschwindigkeit des Wassers.

Bisher sind kaum Kenntnisse über das Zusammenspiel der einzelnen, das Schadensmaß bestimmenden Faktoren vorhanden. Die Abschätzung von Schadenspotenzialen wird weiter erschwert, da neben den genannten Faktoren immer auch naturräumliche Gegebenheiten (z. B. bodenphysikalische Eigenschaften der Flächen) oder die Art der Bodenbearbeitung einen Einfluss auf die schädigende Wirkung des Überstaus haben werden.

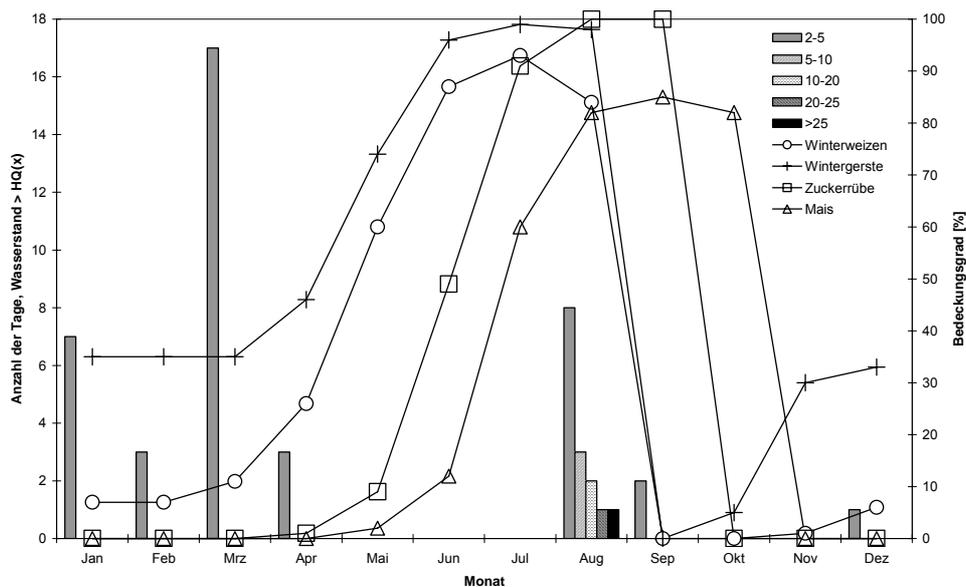
**Tabelle 8 Richtwerte für durch landwirtschaftliche Flächen maximal tolerierbare Überstauzeiten und -höhen bei Überflutungen landwirtschaftlicher Kulturen (nach Desbos, 1997)**

| Kultur                  | Einflussfaktoren   |                          |                          |  |                                      |
|-------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|
|                         | Jahreszeit<br>F-Frühling<br>S-Sommer<br>H-Herbst<br>W-Winter | Maximale<br>Überstauzeit | Maximale<br>Überstauhöhe | Maximale<br>Wiedereintritts-<br>wahrscheinlichk<br>eit | Maximale<br>Fließgeschwindi<br>gkeit |
| Gemüse                  | F <sup>1</sup>   | 0 d – 1 d                |                          | 5 a  | 0,25 m/s                             |
| Feldgemüse<br>Gartenbau | S/H  | 1 d - 3 d                |                          | 5 a  | 0,25 m/s                             |
| Gewächshäuser           | Ganzjährig   | 1 d – 3 d                | 1 m                      | 5 a  |                                      |
| Sommerkulturen          | F/S  | 8 d                      |                          | 5 a  |                                      |
|                         | W/H  | 1 Monat                  |                          | 1 a  |                                      |
| Winterkulturen          | W  | 1 Monat                  |                          | 10 a   |                                      |
|                         | F/S  | 3 d                      |                          | 1 a  |                                      |
|                         | H  | 8 d                      |                          | 1 a  |                                      |

| Kultur             | Einflussfaktoren   |                          |                          |   |                                      |
|--------------------|--|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------------------|
|                    | Jahreszeit<br>F-Frühling<br>S-Sommer<br>H-Herbst<br>W-Winter | Maximale<br>Überstauzeit | Maximale<br>Überstauhöhe | Maximale<br>Wiedereintritts-<br>wahrscheinlich-<br>keit | Maximale<br>Fließgeschwindi-<br>geit |
| Weinanbau          | S/H  | 0 d                      | 0,5 m                    | 10 a  | 0,25 m/s                             |
|                    | W  | 1 Monat                  | 0,5 m                    | 5 a   |                                      |
| Obstplantagen      | F/S  | 1 d                      | 1 m                      | 10 a  | 0,50 m/s                             |
|                    | W  | 1 Monat                  | 1 m                      | 1 a   | 0,30 m/s                             |
| Dauergrünlan-<br>d | F  | 10 d                     |                          | 1 a   |                                      |
|                    | H/W  | 1 Monat                  |                          | 1 a   |                                      |
| Wald               |  | 7 d – 1 Monat            |                          | 1 a   |                                      |



**Abbildung 19** Häufigkeit von Hochwassereignissen ausgewählter Jährlichkeiten - Pegel Golzern überlagert mit zeitlichem Verlauf des Bedeckungsgrades für verschiedene Kulturpflanzen (nach LfL und LfUG, 1996)



**Abbildung 20** Häufigkeit von Hochwassereignissen ausgewählter Jährlichkeiten - Pegel Bad Dübener See überlagert mit zeitlichem Verlauf des Bedeckungsgrades für verschiedene Kulturpflanzen (nach LfL und LfUG, 1996)

Die Tabelle 8 enthält eine Zusammenstellung von Richtwerten hinsichtlich Überstauhöhen und Überstauzeiten, bei deren Überschreitung mit einer Schädigung der jeweiligen landwirtschaftlichen Kultur zu rechnen ist. Hierbei handelt es sich um Werte, die mit Hilfe von Befragungen betroffener nordfranzösischer Landwirte ermittelt wurden und eine grobe Abschätzung von Schadenspotenzialen bestimmter Hochwässer erlauben sollen.

Wie im vorhergehenden Abschnitt dargelegt, ist für das Untersuchungsgebiete eine Häufung von Winterhochwässern typisch. Starke Hochwässer sind dagegen in den letzten zwanzig Jahren nur in den Monaten August bzw. September aufgetreten. Überlagert man die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten mit Angaben zu durchschnittlichen Vegetationsbedeckungsgraden im Jahresverlauf wird deutlich, dass das Risiko für Ernteverluste im August besonders hoch ist (Abbildung 19 und Abbildung 20).

### 6.3.2 Schäden durch Stoffeintrag

#### 6.3.2.1 Allgemeines

Hochwasserbedingte Stoffeinträge können landwirtschaftliche Flächen nachhaltig schädigen. Schädigungen können hierbei durch die physikalische und die chemische Wirkung der eingetragenen Stoffe bedingt sein. Die Beseitigung überflutungsbedingter Ablagerungen ist in der Regel mit hohen Aufwendungen verbunden.

Verbleiben überflutungsbedingte Ablagerungen auf den Flächen oder werden sie in den Oberboden eingearbeitet, so werden die bodenphysikalischen Eigenschaften (Wasserretentionsvermögen, hydraulische Leitfähigkeit) der betroffenen Flächen direkt und irreversibel verändert. Gleiches gilt für die Kapazität zur Stoffbindung der betreffenden Bodenschichten.

Die eingetragenen Stoffe wirken darüber hinaus direkt über ihre chemischen Eigenschaften auf die Flächen ein. Neben düngenden Effekten ist es vor allem der Eintrag von Schadstoffen, der für die landwirtschaftlichen Nutzflächen von Bedeutung ist. Hochwassersedimente und Überflutungswasser besitzen oft ökologisch relevante Schadstoffgehalte (Schwermetalle, organische Schadstoffe) und ein deutliches toxikologisches Potenzial. Mulde und Elbe transportieren trotz der in den letzten Jahren verbesserten Wasserqualität immer noch schwebstoffgebundene Schadstoffe in Konzentrationen, die Maßnahmewerte nach BBodSchV überschreiten (Gröngröft et al, 2003).

Neben der gebundenen, an Feststoffe gebundenen Form können Schadstoffe auch in gelöster Form im Überflutungswasser vorhanden sein (Stoffe  $< 1 \text{ nm}$  = gelöst, Feststoffe bzw. feststoffgebundene Substanzen  $1 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$  = kolloidal gebunden, Feststoffe bzw. feststoffgebundene Substanzen  $> 1 \text{ mm}$  = partikelgebunden). Der Transport und die Ablagerung von Schadstoffen durch Hochwässer wird wesentlich durch die Verteilung zwischen gelöster, kolloidaler und partikulärer Phase bestimmt (Baborowski et al., 2003). Während partikelgebundene Schadstoffe leicht sedimentieren können, werden gelöste und kolloidal gebundene Schadstoffe oft über weite Strecken im Fließgewässer transportiert und auf die Überschwemmungsflächen eingetragen. Untersuchungen zum Augusthochwasser 2002 haben gezeigt, dass beträchtliche Schadstoffanteile in gelöster und kolloidaler Form im Hochwasser transportiert wurden (ebenda). Dies ist besonders von Bedeutung, da im Rahmen von Überwachungsprogrammen in der Regel nur die partikelgebundenen Schadstoffe erfasst werden.

Die im Zuge des Hochwassers 2002 durchgeführten Sonderprojekte und Ad-hoc-Untersuchungen zur Schadstoffsituation in den betroffenen Flussgebieten geben detailliert Auskunft über die Frachten und Konzentrationen zum Zeitpunkt der Überflutungen 2002. Für eine Langzeitprognose der für zukünftige Überflutungsflächen zu erwartenden stofflichen Belastungen und damit verbundenen standörtlichen Veränderungen sind diese Ergebnisse, auf Grund des Extremcharakters der Überflutung, jedoch nur begrenzt geeignet. Um die stofflichen Belastungen von Flächen, die in Folge von Rückdeichungen zukünftig von regelmäßigen Überflutungen betroffen sind, einschätzen zu können, ist eine genaue Kenntnis der „normalen“ Belastungssituation des Flusses und seiner zukünftigen Entwicklung erforderlich.

Die Vereinigte Mulde mit ihren Stammflüssen Zwickauer und Freiburger Mulde entwässert ein Gebiet von ca. 7.600 km<sup>2</sup>, wobei hier die Metall- und Bergbaugebiete des Erzgebirges ebenso eingeschlossen sind, wie die industriell dominierten Regionen von Chemnitz und Bitterfeld. Die Mulde stellt somit das wichtigste Entwässerungssystem des Erzgebirges in nördliche Richtung dar.

Neben der bereits hohen geogenen Schwermetall-Grundlast der Mulde aus dem Erzgebirge sind es vor allem die anthropogenen bergbaubürtigen Quellen, welche die Mulde zu einem der Hauptpeinträger von Schwermetallen in die Elbe machten. Im Erzgebirge wird seit dem 12. Jahrhundert Bergbau betrieben. Grubenwirtschaft einschließlich der Grubenentwässerung, Haldenwirtschaft und die Verhüttung von Erzen führten bereits frühzeitig zu erhöhten Einträgen von Schwermetallen in das Fluss-System. Im letzten Jahrhundert trug auch die vermehrte Ansiedlung weiterer Industriestandorte von der Textil- und Papierindustrie bis zur chemischen Industrie zur Verschlechterung der stofflichen Belastungssituation in der Mulde bei. Generell lassen sich heute vier Hauptfaktoren für stoffliche Belastung kennzeichnen (Beuge et al., 1994):

- Anthropogene Salzbelastung durch kommunale und industrielle Abwassereinleitungen  
Hauptkomponenten Cl, SO<sub>4</sub>, Na, elektrische Leitfähigkeit,
- Belastung durch Buntmetallbergbau, -verhüttung und -verarbeitung – Hauptkomponenten Pb, Zn, Cd, As, Cu,
- Belastung durch Nickelverhüttung und Galvanikabwässer – Hauptkomponenten Cr, Ni, Cd,
- Belastung durch Auswaschung aus versauerten Waldgebieten – Hauptkomponenten Fe, Mn, Co.

Vor allem im Bereich der bergbaulichen Tätigkeit und der Abwasserreinigung hat es in den letzten Jahrzehnten weitreichende Veränderungen gegeben. So wurden die nach Einstellung des Bergbaus verbliebenen Grubenhohlräume geflutet. Überlaufende Grubenwässer führten und führen zum Austrag großer Mengen an Schwermetallen in die Zwickauer und Freiburger Mulde (Martin et al., 1994). Die Flutungen der Gruben im mittleren und westlichen Erzgebirge liegen ca. 50 Jahre zurück. Untersuchungen von Martin et al. (ebenda) haben gezeigt, dass die Grubenwässer auch heute noch für einen beträchtlichen Teil der Schwermetallfracht im Wasser und in den Schwebstoffen verantwortlich sind.

#### **6.3.2.2 Schwermetalle und Arsen**

In der Vereinigten Mulde treffen die Stoff-Frachten der Freiburger und der Zwickauer Mulde zusammen. Die Vereinigte Mulde ist vor allem durch sehr hohe Schwermetallgehalte gekennzeichnet (s. Tabelle 9). Verschiedene Untersuchungen jüngerer Datums haben deutlich gemacht, dass trotz der bereit seit Jahrzehnten zurückliegenden Beendigung des Bergbaus und der Stilllegung vieler Industrieanlagen seit 1990, die Verbesserung der Gewässerqualität nur sehr langsam vor sich geht. So lassen sich neben dem zu erwartenden Trend des Belastungsrückgangs für einige Elemente (Zn) auch Belastungszunahmen (z. B. As) feststellen (Beuge et al., 1994). Andere Elemente zeigen Konzentrationsschwankungen, die auf Veränderungen in Bindungs- und Transportform schließen lassen (Beuge et al., 1994). Tabelle 9 enthält eine Zusammenstellung von Schwermetallgehalten für die Vereinigte Mulde, die im Zuge verschiedener Forschungsprojekte der

letzten Jahre ermittelt wurden. Für die Vereinigte Mulde sind nach diesen Untersuchungen insbesondere As und die Schwermetalle Cd und Zn die Elemente, welche die Belastungssituation prägen.

**Tabelle 9      Schwermetallgehalte (Wasser, Sediment, Schwebstoff) in der Vereinigten Mulde**

|   | As    | Pb  | Cd   | Cr    | Cu    | Hg    | Zn    |
|---|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| Messwerte 1991-1993: Beuge et al., 1994; ATV-DVWK, 2000 |       |     |      |       |       |       |       |
| Filtrat [ $\mu\text{g/l}$ ]                             | 6,2   | 4,2 | 0,6  | 2,7   | 3,4   | 0,01  | 37    |
| Sediment [mg/kg]  | 238   | 380 | 44   | 170   | 216   | 2,8   | 1.900 |
| Schwebstoffe [mg/l]                                     | k. A. | 350 | 46   | 130   | k. A. | k. A. | 5.400 |
| Messwerte 1997: Arge Elbe, 2000                         |       |     |      |       |       |       |       |
| Filtrat [ $\mu\text{g/l}$ ]                             | 8,6   | 0,4 | 0,2  | 0,6   | 2,9   | 2,3   | 12,2  |
| Schwebstoffe [mg/kg]                                    | 123   | 191 | 18,8 | 127   | 103   | 0,2   | 1.208 |
| Messwerte 2002: Rank et al., 2003                       |       |     |      |       |       |       |       |
| Sediment [mg/kg]  | 140   | 257 | 5,0  | k. A. | k. A. | k. A. | k. A. |
| Messwerte 2002, Probenahme Grimma: Klemm et al., 2003   |       |     |      |       |       |       |       |
| Sediment [mg/kg]  | 253   | 436 | 3,2  | 52    | 103   | 1,3   | 410   |
| Messwerte 2003: Broekaert et al., 2004                  |       |     |      |       |       |       |       |
| Sediment [mg/kg]  | 126   | 377 | 13   | 73    | 122   | k. A. | 1.430 |

Eine Bewertung der Belastungssituation setzt die Kenntnis der geogenen Hintergrundbelastung voraus. Die Vereinigte Mulde besitzt auf Grund ihrer erzgebirgischen Stammflüsse einen hohen Belastungshintergrund. Im Rahmen eines vom BMBF und BMU initiierten Forschungsprogrammes zur Schadstoffsituation der Elbe (ATV-DVWK, 2000) wurden die natürlichen Hintergrundwerte von Schwermetallkonzentrationen in der Elbe und den Nebenflüssen einschließlich der Vereinigten Mulde untersucht. Zu diesem Zweck wurden die natürlichen, geogenen Schwermetallkonzentrationen von Auesedimenten der jeweiligen Flussniederungen ermittelt. Die natürliche Auelehmbildung ist in den Flussniederungen industrialisierter Einzugsgebiet mit dichter Besiedelung und Landwirtschaft durch die menschliche Tätigkeit überprägt. Die geogenen Komponenten der Stoffgehalte in den Auesedimenten (Herkunft der Stoffe aus der natürlichen Verwitterung und Erosion von Gesteinen und Erzen) werden durch die anthropogenen Komponenten überlagert und oft deutlich übertroffen. Für die Vereinigte Mulde sind dies insbesondere die Stoff-Freisetzung im Ergebnis des Erzbergbaus und die damit verbundene Ablagerung von Roh- und Reststoffen. Die landwirtschaftliche Tätigkeit in den Flussniederungen greift außerdem in die natürlichen Prozesse der Bodenbildung am Ablagerungsort ein. So werden die natürliche Pedogenese unterbrochen, chemische Umwandlungsprozesse modifiziert, Stoffe durch die Bodenbearbeitung künstlich umgelagert und über den gesamten Bearbeitungshorizont verteilt, was zu Anreicherungen in tieferen Bodenschichten führen kann. Die anthropogenen Stoffeinträge verstärken den Konzentrationsgradienten in den oberen Bodenschichten. Diese Einflüsse erschweren die Bestimmung der natürlichen Hintergrundbelastung von Aueböden

erheblich. In der Regel können die oberen Schichten der Aueböden für eine solche Untersuchung nicht mehr herangezogen werden. Im Falle des genannten Forschungsprogrammes wurden daher ausschließlich tiefere Schichten der holozänen Auensedimente untersucht (ca. 1.500 Jahre alt; Prange et al. 1997), für die eine Beeinflussung durch menschliche Tätigkeiten ausgeschlossen werden konnte.

Eine etwas andere Herangehensweise liegt den vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (1996) ermittelten Hintergrundwerten zu Grunde. Hier erfolgte die Probenahme generell aus dem Oberboden (20 cm Tiefe) und die Hintergrundwerte wurden über das Bodenformenkonzept der Bodenkundlichen Kartieranleitung errechnet. Tabelle 10 enthält eine Gegenüberstellung der geogenen Hintergrundwerte aus beiden Untersuchungen.

**Tabelle 10 Geogene Hintergrundwerte von Schwermetalle und Arsen im Gebiet der Vereinigten Mulde – Angaben in mg/kg**

| Hg  | Cd  | Pb | Zn  | Cr | Cu | As |
|---|-----|----|-----|----|----|----|
| ATV-DVWK 2000 (Königswasserauszug der Korngrößenfraktion < 20 µm) |     |    |     |    |    |    |
| 0,06  | 0,8 | 43 | 260 | 50 | 34 | 46 |
| LfUG 1996 (Königswasserauszug der Fraktion 2 mm)                  |     |    |     |    |    |    |
| 0,13  | 0,4 | 49 | 120 | 22 | 26 | 24 |

Die Hintergrundwerte zeigen eine hohe geogene Belastung. Für Cadmium, Blei, Zink und Arsen besitzt die Vereinigte Mulde im Vergleich der im genannten Elbe-Forschungsprojekt untersuchten deutschen Flüsse (Schwarze Elster, Saale, Unstrut, Weiße Elster, Elbe, Havel/Spree) die höchste Hintergrundbelastung (ATV-DVWK, 2000). Der anthropogene Anteil an den Schwermetallgehalten des Sedimentes übertrifft die Anteile geogenen Ursprungs bei weitem.

Für eine Beurteilung der Beeinflussung der Aueböden durch überflutungsbedingte Sedimenteinträge müssen die pedogenetischen Prozesse, denen die Hochwassersedimente nach der Ablagerung unterworfen sind, in die Betrachtung einbezogen werden. Mit zunehmender Sedimentalterung verschiebt sich das Muster der stofflichen Verteilung bis zu einem gewissen Maß. Verantwortlich hierfür ist vor allem die Mineralisation der allochthonen organischen Sedimentbestandteile. Durch diesen Prozess erfolgt eine relative Anreicherung der Schwermetalle im Sediment, d.h. die Konzentration wird erhöht. Bioturbation, Oxidationsprozesse, strukturelle Bodenveränderungen modifizieren die Verteilung der Stoffe in der oberen Bodenschicht ebenfalls. Letztere pedogenetische Prozesse wirken langfristig in Richtung einer Schadstoffminimierung im Oberboden. Untersuchungen von Schwartz (1999) zeigen, dass dieser Effekt auch in bestimmten Bereichen heutiger Vordeich-Flächen zu beobachten ist.

Die Belastungssituation der Sedimente der Vereinigten Mulde wird bei Überflutung zukünftiger Rückdeichungsbereiche dort sehr wahrscheinlich zu Schadstoffeinträgen führen. Um die Qualität

dieses Eintrages zu beurteilen, können die Grenzwerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) herangezogen werden. Die hier festgeschriebenen Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmewerte dienen dem Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen gem. § 2 (3) Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG). Die Besorgnis schädlicher Bodenveränderung ist gegeben, sobald die Schadstoffgehalte des Bodens die Vorsorgewerte der BbodSchV überschreiten. Dies ist für die in Tabelle 9 aufgeführten Schwermetallgehalte für Sedimente der Vereinigten Mulde aus den Jahren 1991-1993 der Fall. Werden die Prüfwerte der BBodSchV überschritten, so sind weitergehende Untersuchungen zur Klärung der Gefährdungssituation erforderlich. Überschreitet der Schadstoffgehalt dagegen einen Maßnahmewert nach BbodSchV so ist hier ein zwingender Handlungsbedarf durch Nutzungsaufgaben bzw. -verbote gegeben.

Die geogenen Hintergrundwerte der Vereinigten Mulde (Tabelle 10) liegen überwiegend unterhalb der BbodSchV-Vorsorgewerte für Lehm-Schluff (lediglich Zink überschreitet den Vorsorgewert). Werden die konkreten Schadstoffgehalte der Sedimentproben (Tabelle 11) den Prüf- und Maßnahmewerten der BbodSchV gegenübergestellt, so wird deutlich, dass vor allem bei Arsen zu Grenzwertüberschreitungen kommt. Auch die Cadmiumgehalte können kritische Grenzgehalte erreichen. Die Relevanz dieser Einträge auf Polderflächen bzw. Rückdeichungsgebiete z. B. für den Brotgetreideanbau oder die Beweidung bedarf zukünftig besonderer Beachtung. So werden durch die LfL (2003) für Sommergerste, Winterweizen und Winterroggen orientierende Grenzwerte für Cadmium-Konzentrationen im Boden angegeben, bei deren Überschreiten ein Risiko des Überschreitens der Lebens- bzw. Futtermittelkonzentrationen gegeben ist. Für Winterweizen, Sommergerste und Winterroggen liegen diese Bodengrenzwerte in der Größenordnung von 0,7-3,9 mg/kg.

**Tabelle 11 Schwermetallgehalte von Sedimentproben der Vereinigten Mulde und Kennzeichnung der Überschreitungen von Grenzwerten nach § 8 BBodSchG (Angaben in mg/kg) – Angabe der Grenzwerte bei Analytik im Königswasserextrakt**

| As   | Pb   | Cd  | Cu                 | Hg    |
|--|------|-----|--------------------|-------|
| Prüfwerte für den Pfad Boden-Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität – Acker        |      |     |                    |       |
| 200 <sup>1)</sup>  |      |     |                    | 5     |
| Maßnahmewerte für den Pfad Boden-Nutzpflanze im Hinblick auf die Pflanzenqualität – Grünland |      |     |                    |       |
| 50   | 1200 | 20  | 1300 <sup>2)</sup> | 2     |
| Messwerte 1991-1993: Beuge et al., 1994; ATV-DVWK, 2000                                      |      |     |                    |       |
| 238  | 380  | 44  | 216 <sup>2)</sup>  | 2,8   |
| Messwerte 2002: Rank et al., 2003  |      |     |                    |       |
| 140  | 257  | 5,0 | k. A.              | k. A. |
| Messwerte 2002, Probenahme Grimma: Klemm et al., 2003  |      |     |                    |       |
| 253  | 436  | 3,2 | 103                | 1,3   |
| Messwerte 2003: Broekaert et al., 2004   |      |     |                    |       |
| 126  | 377  | 13  | 122                | k.A.  |

<sup>1)</sup> für Böden mit zeitweise reduzierende Verhältnissen = 50 mg/kg

<sup>2)</sup> für Schafe = 200 mg/kg

### 6.3.2.3 Organische und andere Schadstoffe

Neben den Schwermetallen können auch organische Verbindungen, Pflanzenschutzmittel oder Pflanzennährstoffe eine schädliche Stoffbelastung von Hochwasserablagerungen bilden. Das stoffliche Spektrum ist hier sehr variabel. Die Vereinigte Mulde weist einen sehr hohen Belastungsgrad an biogenen und petrogenen Kohlenwasserstoffen auf (ATV-DVWK, 2000). Eine genaue Kennzeichnung des stofflichen Spektrums ist auf Grund der starken zeitlichen Variabilität und nicht bekannten Anzahl der enthaltenen Schadstoffe schwierig.

Untersuchungen an der Vereinigten Mulde im Zuge des Hochwassers 2002 ergaben für die organischen Schadstoffe ein relativ unkritisches Bild. Jedoch traten auch hier lokal erhöhte Konzentrationen für einige Stoffe auf (z. T.  $\beta$ -HCH, PCB, DDT; Anacker et al. 2003)

### 6.3.3 Schäden durch fließendes Wasser

Die Strömungskraft von Hochwasserwellen kann zu Zerstörungen an landwirtschaftlichen Gebäuden, Stallungen, Zäunen, Geräten etc. und nicht zuletzt an den Kulturpflanzen führen. Auch können Weidetiere geschädigt werden. Die Zusammenstellung von Richtwerten zu Schadenspotenzialen von Hochwässern in Tabelle 8 enthält auch Angaben zu für Nutzpflanzen tolerierbare Fließgeschwindigkeiten.

Von großer Bedeutung sind Schädigungen durch Bodenabtrag. In Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit der Hochwasserwelle und der Stabilität der Bodenkörpers werden durch das fließende Wasser Bodenpartikel von den überschwemmten Flächen abgeschwemmt und in das Gewässer eingetragen. Im Fließgewässer werden diese Partikel abtransportiert und gelangen an anderer Stelle wieder zur Ablagerung. Mit den abgetragenen Bodenteilchen kommt es zu einem Stoffeintrag in die Gewässer. Der Bodenabtrag beeinträchtigt direkt die Gewässerqualität und verschärft das Problem der Sedimentablagerung in unteren Flussabschnitten.

Die Ablösung von Bodenpartikeln aus dem Bodenverband durch überströmendes Wasser setzt ein, sobald die Schleppspannung  $\tau$  des Wassers einen kritischen Wert, die sog. Grenzschleppspannung  $\tau_0$  überschreitet. Die Schleppspannung ist dabei im Wesentlichen von der Wassertiefe  $h$  und dem Energieliniengefälle  $I$  abhängig. Die Schleppspannung lässt sich an Hand nachfolgender Gleichung abschätzen (nach DIN 19661-2):

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I = 10.000 \cdot h \cdot I \quad \text{in N/m}^2 \qquad \text{Gleichung 1}$$

- $\rho$  = Dichte des Wassers [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  = Fallbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

- $h$  = Wassertiefe [m]
- $I$  = Energieliniengefälle [m/m]

Die Grenzscheppspannung  $\tau_0$  ist vor allem von der Bodenart und der Art des Bewuchses abhängig. Die DIN 19661-2 enthält eine Übersicht über Grenzscheppspannungen verschiedener Bodenarten und für Grünlandflächen. Bei einer Heranziehung dieser Werte zur Beurteilung der Erosionsgefahr von überschwemmten Ackerflächen ist zu berücksichtigen, dass die Grenzwerte der DIN 19661-2 für Gewässerbetten abgeleitet wurden. Überschwemmungsflächen sind demgegenüber nur sehr kurzzeitig der Schleppkraft des Wassers ausgesetzt. Die Grenzwerte dürften für einen gewachsenen Boden bei nur kurzzeitiger Überströmung höher sein. Bis auf die Bodenart „lehmiger Kies“ und den Standorttyp „Rasen“ trifft die DIN 199661-2 jedoch keine Differenzierung nach der Dauer der Überströmung. Allerdings ist natürlich auch für Überschwemmungsflächen, vor allem in Bereich höherer Fließgeschwindigkeit, mit einem Bodenabtrag zu rechnen. Die tabellierten Grenzscheppspannungen der DIN 19661-2 für Böden sind in Tabelle 12 noch einmal zusammengefasst.

Um eine erste, näherungsweise Abschätzung der Erosionsgefahr für einen Boden zu ermöglichen, kann die Gleichung (1) genutzt werden. Die maßgebliche Fließtiefe entspricht der standörtlichen Wassertiefe (Hochwasserspiegellinie – Geländehöhe). Als Energieliniengefälle kann das Gefälle der Wasserspiegellinie genutzt werden. Sowohl Fließlinie als auch Energieliniengefälle können für das Überschwemmungsgebiet für verschiedene Hochwasserereignisse ermittelt werden. Die Anwendung der Gleichung (1) erlaubt dann eine näherungsweise Abschätzung der auftretenden Schleppspannungen. Diese Berechnung wurde mittels eines rasterbasierten Modellansatzes (Raster 10 m x 10 m) für das Untersuchungsgebiet durchgeführt. Es muss darauf hingewiesen werden, dass eine auf diese Weise vorgenommene Berechnung eine hydraulische Modellierung nicht ersetzen kann.

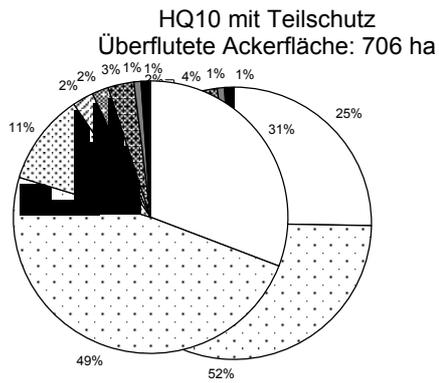
Typische Fließbahnen oder Bereiche in denen infolge der Geomorphologie erhöhte Fließgeschwindigkeiten auftreten, Turbulenzen am Gerinnenrand, veränderte Fließwege bei unterschiedlichen Wasserständen oder Prallufereffekte können durch solch eine rasterbasierte Herangehensweise (Annahmen mittlerer Fließtiefen und Gefällewerte für jede Rasterzelle) nicht berücksichtigt werden. Besonders für kleinmaßstäbige Betrachtungen wie im vorliegenden Fall ermöglicht das Vorgehen jedoch eine erste Abschätzung potenziell gefährdeter Bereiche und kann beim Aufdecken bisher unbekannter Risikobereiche helfen. Flächen, die in Folge solch einer Berechnung als gefährdet ausgewiesen werden, können in einer hydraulisch detaillierteren Modellierung (z. B. unter besserer Berücksichtigung kleinräumiger Fließeffekte) weiter untersucht werden.

Die ermittelten Schleppkräfte wurden in Anlehnung an die Angaben in Tabelle 12 kategorisiert. Folgende Abstufungen wurden vorgenommen:

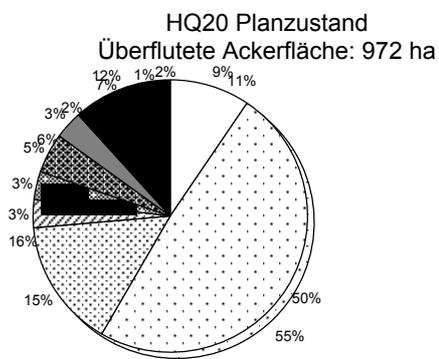
- $\leq 2,0 \text{ N/m}^2$  ungefährdet,
- $> 2,5 \text{ N/m}^2$  wenig kolloidale Böden gefährdet,
- $> 12,0 \text{ N/m}^3$  stark kolloidale Böden gefährdet,
- $> 30,0 \text{ N/m}^2$  Grünland gefährdet.

**Tabelle 12      Grenzscherreisspannung  $\tau_0$  (nach DIN 19661-2) für Böden**

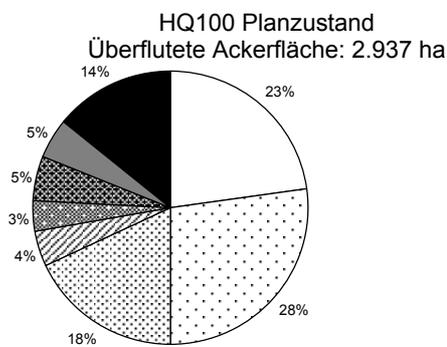
|                        |   | $\tau_0$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|------------------------|---|------------------------------|
| Boden, wenig kolloidal | Lehmiger Sand                           | 2,0                          |
|                        | Lehmhaltige Ablagerung                  | 2,5                          |
|                        | Lockerer Schlamm                        | 2,5                          |
|                        | Lehmiger Kies, langanhaltend überströmt | 15,0                         |
|                        | Lehmiger Kies, kurzzeitig überströmt    | 20,0                         |
| Boden, stark kolloidal | Lockerer Lehm                           | 3,5                          |
|                        | Festgelagerter Lehm                     | 12,0                         |
|                        | Ton                                     | 12,0                         |
|                        | Festgelagerter Schlamm                  | 12,0                         |
| Rasen verwachsen       | Rasen, langanhaltend überströmt         | 15,0                         |
|                        | Rasen, kurzzeitig überströmt            | 30,0                         |



HQ10 ohne Teilschutz  
Überflutete Ackerfläche: 894 ha



HQ50 Planzustand  
Überflutete Ackerfläche: 2.811 ha



Legende Erosionsgefahr

- keine Erosionsgefahr
- 2,5-5 N/m²
- 5-10 N/m²
- 10-12,5 N/m²
- 12,5-15 N/m²
- 15-20 N/m²
- 20-25 N/m²
- > 25 N/m²

**Abbildung 21 Flächenanteile mit unterschiedlicher Erosionsgefährdung (geschätzte Schleppkräfte des Überflutungswassers) im Untersuchungsgebiet für verschiedene Hochwasserereignisse und Planungsszenarien**

Bei der Kategorisierung wurde berücksichtigt, dass die Überströmungszeiten bei Hochwasserereignissen relativ kurz sind und daher die Bodenoberfläche nur kurzzeitig den kritischen Schlepptensionen ausgesetzt ist. Die Kategorisierung soll der Abschätzung möglicher Risikobereiche dienen. Eine generelle Aussage über Art und Ausmaß der Erosionsgefahr kann auf Grund der oben genannten Einschränkungen daraus nicht abgeleitet werden, sondern bedarf einer detaillierteren Betrachtung der tatsächlichen Fließ- und Standorteigenschaften und unterliegt zudem einer zeitlichen Komponente. So werden die tatsächlichen Fließgeschwindigkeiten im Jahresverlauf infolge unterschiedlicher Bewuchshöhen und Bodenbedeckungsgrade variieren. Weiterhin werden sich die tatsächlichen Grenzslepptensionen von Ackerflächen im Zuge der Setzung und zunehmenden Durchwurzelung des Bodens nach der Bodenbearbeitung verändern.

Bei der Ermittlung des potenziellen Erosionsrisikos wurden die Flächen des Untersuchungsgebietes nach der Art der Landnutzung (Ackerland, Grünland) und Böden differenziert. Flächen die bereits gegenwärtig als Grünland genutzt werden, wurden generell als nicht gefährdet eingestuft. Eine Bewertung der Erosionsgefahr erfolgte lediglich für Flächen, die gegenwärtig ackerbaulich genutzt werden. Abbildung 21 gibt einen Überblick über die Verhältnisse der potenziellen Erosionsgefährdung im Untersuchungsgebiet für verschiedene Hochwasserereignisse. Berücksichtigt man die Tatsache, dass im Untersuchungsgebiet Böden mit höheren Tongehalten dominieren wird deutlich, dass für ein zehn- bis zwanzigjähriges Hochwasser das Bodenabtragsrisiko sehr gering ist (> 45 % der Gesamtfläche mit Schlepptkräften < 10 N/m<sup>2</sup>). Dies ist z. T. auch darin begründet, dass die bei diesen Hochwasserhäufigkeiten überfluteten Flächen bereits zu großen Teilen als Grünland bewirtschaftet werden und daher der Anteil der erfassten ackerbaulich genutzter Fläche gering ausfällt und die bei diesen Hochwässern erreichbaren Wasserstände nur geringe Schlepptkräfte erzeugen. Die höchsten Wasserstände werden oft in direkter Nähe der Mulde erreicht und diese Flächen werden bereits jetzt überwiegend als Grünland bewirtschaftet, während die betrachteten Ackerflächen eher in den Randbereichen des jeweiligen Überflutungsgebietes zu finden sind und hier naturgemäß geringere Wassertiefen auftreten.

Die Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen während des Hochwasserereignisses vom August 2002. Während in den Überflutungsgebieten der Freiburger und der Zwickauer Mulde insgesamt Erosionsabträge von mehr als 1,1 Mio. m<sup>3</sup> Erdstoff festgestellt wurden (Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH, 2004) waren die festgestellten Abträge im Bereich der Vereinigten Mulde deutlich geringer. Die Vereinigte Mulde weist gegenüber der Freiburger bzw. Zwickauer Mulde ein deutlich geringeres Fließgefälle und damit einhergehend geringere Fließgeschwindigkeiten auf. Auch traten als Erosionsschäden vor allem Uferabbrüche in Pralluferbereichen oder Seiten- und Tiefenerosionen in Bereichen mit erhöhter Fließgeschwindigkeit auf, während flächenhafte Bodenabträge auf den überfluteten Landwirtschaftsflächen kaum beobachtet wurden. Im Falle des Untersuchungsgebietes handelt es

sich darüber hinaus um eine typische Tieflandsaue, die also eher durch flächenhafte Sedimentation als durch Erosion gekennzeichnet ist.

Das Ausmaß der Erosionsanfälligkeit überschwemmter Flächen wird wesentlich von Art und Umfang der Bodenbedeckung bestimmt. Bewachsene Flächen sind gegenüber dem Bodenabtrag weniger anfällig als gerade abgeerntete oder bestellte Flächen. Ferner kann eine Wirkung des Bodenbearbeitungssystems angenommen werden. Vergleicht man die Angaben zu den Eintrittsdaten unterschiedlicher Hochwasserereignisse und die durchschnittlichen Vegetationsbedeckungsgrade unterschiedlicher Ackerkulturen miteinander (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 20) wird deutlich, dass auf Grund der der Häufung der Winterhochwässer und der geringeren Bodenbedeckung in dieser Zeit Ackerflächen insbesondere in den Monaten Dezember bis März als erosionsanfällig zu bewerten sind. Als kritisch sind auch die Zeiträume unmittelbar nach der Ernte anzusehen, sofern bereits ein Stoppel- oder Grundbodenbearbeitung erfolgte. Tritt das Hochwasserereignis in dieser Zeit auf (insbesondere August/September) ist die Erosionsgefahr besonders groß. Hinsichtlich des potenziellen Erosionsrisikos kritisch zu beurteilen sind darüber hinaus Zuckerrüben und Mais, da hier die Zeiträume geringer Vegetationsbedeckung deutlich länger sind, als z. B. bei Wintergetreide.

#### **6.3.4 Indirekte Schäden durch das Hochwasser**

Neben den genannten direkten Schäden bewirken Überflutungen eine Vielzahl sekundärer Effekte. Zu nennen wären hier Einschränkungen der Befahr- und Bearbeitbarkeit, Verzögerungen in der Bestellung oder Neubestellung der Flächen bis hin zu Auswirkungen auf die Fruchtfolge, die Auswaschung von Nährstoffen, Einspülung von unerwünschten Samen auf Ackerflächen, Beförderung phytopathogener Pilze, Denitrifikationsprozesse.

#### **6.3.5 Handlungsempfehlungen und weiterer Untersuchungsbedarf**

Flächen, die auf Grund der Geländemorphologie die Sedimentation der Wasserinhaltsstoffe z. T. durch Strömungsberuhigung befördern, besitzen ein hohes Schädigungsrisiko. Gleiches gilt für Flächen, die z. B. auf Grund ihrer Lage am Rand der Überschwemmungsflächen einen höheren Feinkornanteil im Hochwassersediment aufweisen. Einen Hinweis auf die Entwicklungsrichtung der Schadstoffbelastungen zukünftiger Überschwemmungsflächen können die Untersuchungen der Stoffgehalte der heute bereits bestehenden Außendeichflächen liefern.

Der Zusammenhang zwischen Geländemorphologie, Überflutungshäufigkeit und Schadstoffdeposition ermöglicht die Abgrenzung von Flächen mit besonders hohem Belastungsrisiko. So weisen tiefer gelegene Bereiche (Flutrinnen, Geländemulden) meist höhere Schadstoffgehalte auf als höher gelegene Flächen. Untersuchungen von Schwartz et al. (1999) und Rinklebe (2003) haben gezeigt, dass eine klare Abhängigkeit der Boden-Schwermetallgehalte von ihrer Lage innerhalb der Überschwemmungsgebiete gegeben ist.

Eine detaillierte Geländehöhenvermessung (Nutzung digitaler Geländemodelle) kann als Grundlage für die Ausweisung von besonders gefährdeten Abschnitten in Rückdeichungsgebieten dienen. Die Kenntnis der Geländemorphologie erlaubt die Prognose von Überschwemmungsdauer und –häufigkeit und Rückschlüsse auf das Strömungsverhalten von Hochwasserwellen.

## **7 Optionen zur Änderung der landwirtschaftlichen Landnutzung**

### **7.1 Umwandlung von Ackerland in Grünland**

Auf Ackerflächen in Überschwemmungsgebieten, die in Poldern oder nach Deichrückbau entstehen, besteht in Bereichen, in denen an- und abströmendes Wasser bestimmte Fließgeschwindigkeiten überschreitet ein potenzielles Risiko von Oberbodenabträgen (vgl. Kapitel 6.3.3). Grünland ist auf Grund der ganzjährigen Bodenbedeckung und der starken Durchwurzelung des Oberbodens hier deutlich weniger gefährdet. Die flächendeckende Umnutzung von Acker- in Grünland ist daher eine der am häufigsten erhobenen Forderungen für die Flussauenbereiche, zumal sie häufig naturschutzfachlichen Zielen entspricht. Diese Forderung besteht somit auch bei Deichrückbau und Poldern.

Die Erfahrungen mit dem Hochwasserereignis im August 2002 zeigen aber auch, dass der überwiegende Anteil der Ackerflächen offensichtlich nicht bzw. kaum von einer überschwemmungsbedingten Erosion betroffen war, da hier das an- und abströmende Wasser nur eine geringe Schleppkraft besaß bzw. die Ackerflächen ausreichend stabil gegenüber einer derartigen Erosion waren. Die Forderung nach einer flächendeckenden Umwandlung von Acker- in Grünland aus Erosionsschutzgründen in den Auen kann daher in Frage gestellt werden, zumal diesbezüglich kaum wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen.

Vorbehaltlich weiterer Untersuchungen kann daher aus den praktischen Erfahrungen mit dem Hochwasser 2002 heraus angenommen werden, dass eine derartige Maßnahme zunächst nur für ausgewählte Flächen, z. B. mit starken Strömungen, in Betracht gezogen werden sollte.

Auch aus Sicht der Landwirtschaft kann die eine flächendeckende Umwandlung von Acker- in Grünland nur bedingt mitgetragen werden. Die Flussauen zählen häufig zu den ertragreichsten Böden einer Region und können für die Wirtschaftlichkeit von Betrieben von existenzieller Bedeutung sein. Erschwerend kommt hinzu, dass unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen Grünland gegenüber dem Marktfruchtanbau kaum konkurrenzfähig ist. Ein weiteres Problem besteht in den abnehmenden Tierbeständen. Im Zuge der Umsetzung der Agrarreform ist mit weiteren Reduzierungen gerade in der Milchviehhaltung zu rechnen, so dass die Verwertungsmöglichkeiten für Grünland weiter abnehmen. Steigende Milchleistungen erfordern zudem Futterqualitäten, die häufig nicht mit Grünlandaufwüchsen zu erreichen sind. Eine landwirtschaftliche Grünlandnutzung steht also zuvorderst dem Problem eines fehlenden Futterbedarfs gegenüber.

Nicht zuletzt können bei Grünlandbewirtschaftung von Überflutungsbereichen Probleme hinsichtlich des hochwasserbedingten Schadstoffeintrages auftreten. Es besteht zumindest lokal das Risiko einer Überschreitung von Prüf- und Maßnahmenwerten des Bodenschutzes (vgl. Kapitel 6.3.2). Das Untersuchungsgebiet wird durch das LfUG als Gebiet mit einem Risiko für „Nutzungsbezogene Überschreitungen von Prüf- und Maßnahmenwerten nach BBodSchV Pfade Boden-Mensch, Bodennutzpflanze“ ausgewiesen (LfL, 2003). Gegenwärtig bestehen noch große Unsicherheiten bezüglich des Aspektes des Schadstoffüberganges vom Boden in die Pflanze. Zudem können überschwemmungsbedingte Anhaftungen an den Grünlandaufwüchsen dazu führen, dass sie aus der Sicht des Futtermittelrechts nicht verwertet werden können (ebenda).

Weitere Ansätze zur Verwertung des Grünlandes wären der Vertragsnaturschutz oder die energetische Verwertung (vgl. Kapitel 7.3). Für beides erscheint eine flächendeckende Anwendung jedoch unrealistisch. Bezüglich des Vertragsnaturschutzes wäre für die Vereinigten Mulde und insbesondere der im Untersuchungsgebiet avisierten Überschwemmungsflächen der damit verbundene finanzielle Aufwand sehr hoch. Gleiches gilt für Lösungen, die auf einem Flächenankauf, der den Weg zu einer unproblematischen Nutzungsumwandlung frei machen würden, basieren. Für jedes der zuletzt genannten Konzepte stellt sich außerdem das Problem der nicht vorhandenen Ausweichflächen für die betroffenen Landwirte. Gerade auch im Untersuchungsgebiet sind in vertretbarer Entfernung von den Auebereichen keine adäquaten Austauschflächen vorhanden. Die deutlich geringere Ertragsfähigkeit, der die Aueflächen einrahmenden Sandstandorte würde zudem eine höhere Flächenkompensation erforderlich machen.

Bezüglich der energetischen Verwertung bestehen derzeit nur sehr begrenzte Verwertungsmöglichkeiten, wie im nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

In ackerbaulich geprägten Überschwemmungsgebieten sollte daher geprüft werden, inwiefern ein überschwemmungsverträglicher Ackerbau den Zielen, die hinter der Forderung nach einer flächendeckenden Umwandlung von Acker- in Grünland stehen, entsprechen kann. Diese Forderung deckt sich mit den durch das HwSchG formulierten Zielen für Überschwemmungsgebiete Folgende Modifikationen des Ackerbaus könnten in Betracht gezogen werden:

- Eine Gründecke ist soweit wie möglich ganzjährig sicher zu stellen, wobei überschwemmungsempfindliche Zwischenfrüchte zu meiden sind (Minimierung des Schadenspotenzials).
- im Falle einer Überflutung schnell verrottende Früchte wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps, Leguminosen und Gemüse dürfen nicht oder nur mit Einschränkung angebaut werden (Getreidebau und Feldfutter (Gras und Mais) sind grundsätzlich zulässig).

- konservierende Bodenbearbeitung,
- Auflage für Pflanzenschutzmittel und Düngung.

## **7.2 Umstellung auf Konservierende Bodenbearbeitung**

### **7.2.1 Erosionsminderung**

Eine Möglichkeit, die Anfälligkeit von Ackerflächen gegenüber einer Wassererosion zu mindern, ist die Umstellung der Bewirtschaftung von einer konventionellen (pflügenden) auf eine konservierende (pfluglose) Bodenbearbeitung. Die erosionsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung ist durch viele Untersuchungen weitreichend belegt (Lfl, 2002). Gegenstand dieser Betrachtungen ist die Wirkung eines Pflugverzichtes auf eine Erhöhung der Grenzschleppspannung und die damit verbundene Minderung eines Oberbodenabtrags bei Überflutung. Im Wesentlichen beruht der Effekt der nachgewiesenen Erosionsminderung durch eine konservierende Bodenbearbeitung auf zwei Effekten (ebenda):

1. Erhöhung des Bedeckungsgrades und der Wasserinfiltration und
2. Erhöhung der Aggregatstabilität/ Verminderung der Verschlammungsanfälligkeit.

Die erosionsmindernde Wirkung wurde bisher unter dem Aspekt niederschlagsinduzierter Oberflächenabflüsse nachgewiesen. Die erhöhte Aggregatstabilität gekoppelt mit der bei konservierender Bearbeitung vorhandenen Mulchauflage sowie die höhere Lagerungsdichte langjährig pfluglos bestellter Flächen lassen jedoch auch eine verbesserte Gefügestabilität für abfließendes Wasser von Überflutungsflächen erwarten.

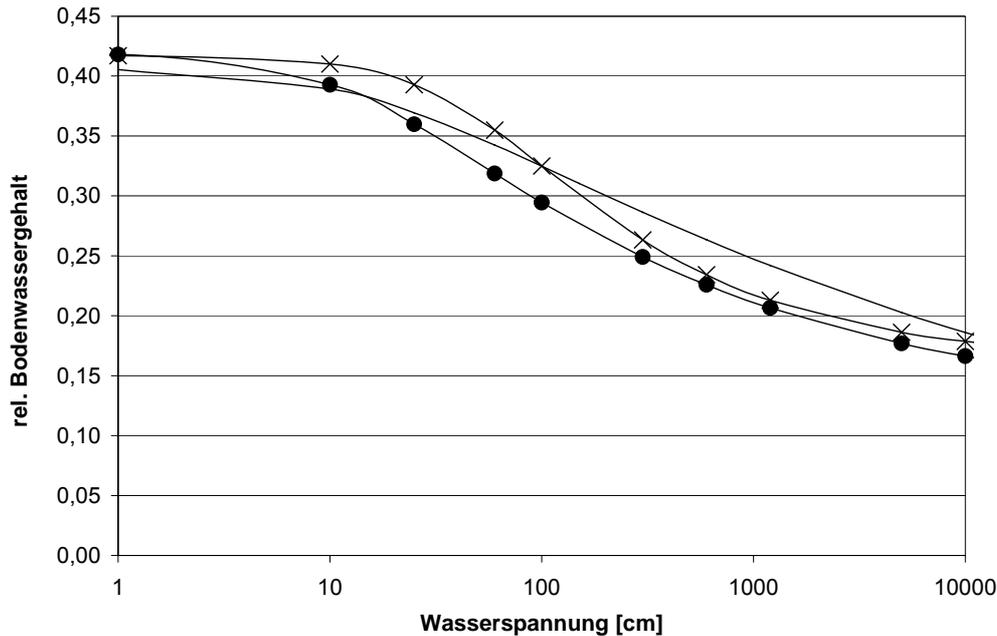
Um konkrete Aussagen zur erosiven Wirkung von Überflutungen machen zu können, bedarf es jedoch noch weitergehender Untersuchungen sowohl auf Acker- als auch Grünlandflächen. Im Falle des Flächenabflusses von Überflutungsflächen sind einige Besonderheiten in die Betrachtung einzubeziehen. So kommt es auf überfluteten Flächen vor dem Abfluss des Hochwassers in Abhängigkeit von Überstaudauer und bodenphysikalischen Eigenschaften zu einer mehr oder weniger tiefreichenden Wassersättigung des oberen Bodenprofils. Die Stabilität gesättigter Bodenaggregate gegenüber fließendem Wasser ist deutlich kleiner als im ungesättigten Zustand. Luftsprengung der Aggregate während der Aufsättigung kann zudem zu einer Minderung der Stabilität führen. Des Weiteren können Sedimentationsprozesse die Oberflächenrauigkeit verändern und damit die Abflussgeschwindigkeiten verändern. Für folgende Aspekte besteht Klärungsbedarf:

- Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeit und Oberflächenabtrag von Überflutungsflächen (Maximalgeschwindigkeit),

- Einfluss von Überstaudauer und –höhe auf erosionsmindernde Bodeneigenschaften z. B. Aggregatstabilität,
- Einfluss von Sedimentationen auf die Oberflächenrauigkeit,
- Relevanz der Abschwemmung von Boden- und Mulchmaterial unter dem Aspekt der Wasserqualität und dadurch bedingte Beeinträchtigung angrenzender Biotope.

### **7.2.2 Verbesserte Abtrocknung**

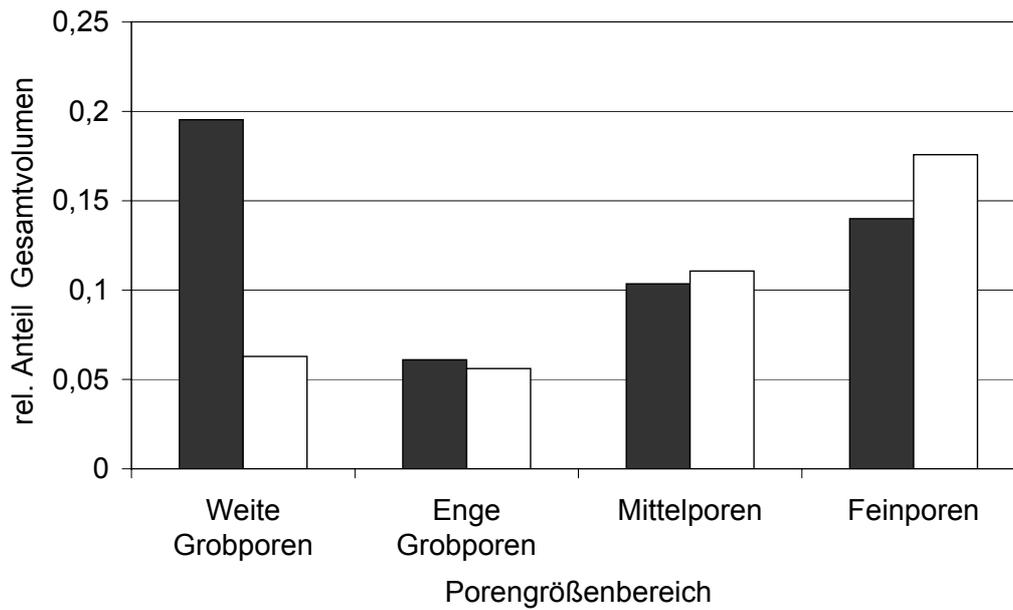
Der Verzicht auf die wendende Bodenbearbeitung führt zu signifikanten Änderungen der Porenstruktur des Oberbodens gegenüber gepflügten Standorten. Um Aussagen über die Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Abtrocknung von Ackerflächen machen zu können, wurde auf vergleichende Untersuchungen auf einer Versuchsfläche im Lößhügelland zurückgegriffen, welche direkte Vergleiche von konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung erlaubt (Zacharias, 2004). Diese Arbeiten sind gegenwärtig noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse konnten für die hier vorliegende Arbeit jedoch bereits verwendet werden. Die bodenhydraulischen Eigenschaften dieser Fläche (bindig-schluffiger Boden, geringe Wasserleitfähigkeit, Bodenart Ut3-Ut4) lassen sich gut mit den Bodenverhältnissen in weiten Teilen des Muldegebietes vergleichen. Dies betrifft insbesondere die geringe Wasserleitfähigkeit als auch z. T. sehr ähnliche Eigenschaften der Wasserretention. Die Abbildung 22 zeigt einen Vergleich zweier Wasserretentionskurven für Oberbodenproben der Untersuchungsflächen 3 und 4 aus dem Untersuchungsgebiet (Bodenart Ut4) mit der Wasserretentionskurve für die konservierend bestellte Fläche aus dem Lößhügelland. Deutlich sichtbar sind der ähnliche Verlauf der Entwässerungskurve bei vergleichbaren Sättigungswassergehalten und Restwassergehalten.



**Abbildung 22 Vergleich zwischen gemessenen Wasserretentionskurven von konventionelle bearbeiteten Oberböden (Untersuchungsfläche 3 und 4, gekennzeichnet durch Symbole) und einer konservierend bestellten Ackerfläche (ohne Markierung) im Lößhügelland**

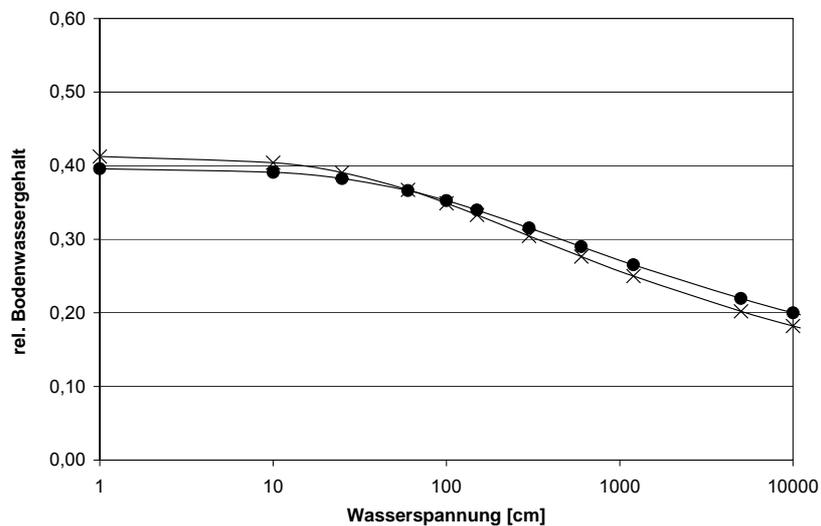
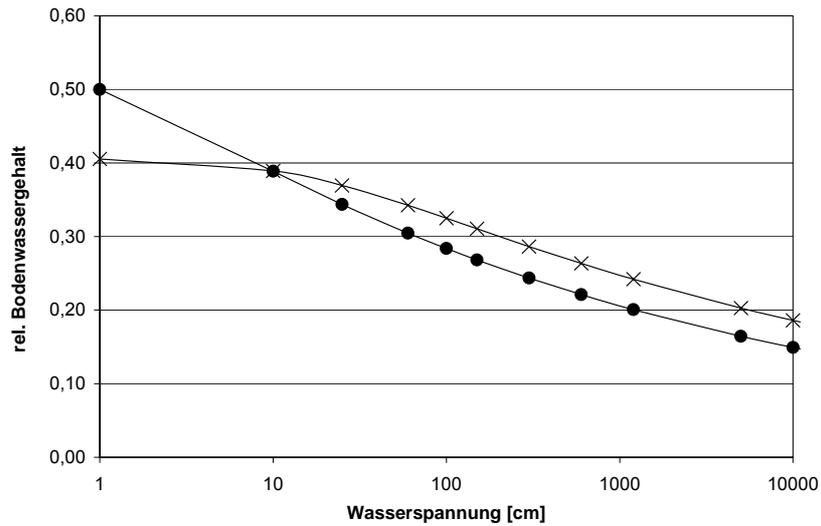
Die Veränderungen der Porosität und in der Porengrößenverteilung führen ihrerseits zu Veränderungen des Wasserretentionsverhaltens und der hydraulischen Leitfähigkeit. Diese Effekte wiederum können das Abtrocknungsverhalten überschwemmter Flächen entscheidend beeinflussen – ein Aspekt, der für landwirtschaftliche Flächen von besonderer Bedeutung ist, da die Geschwindigkeit der Abtrocknung über eine mögliche Wiederbestellung bzw. Bestellung nach einer Überflutung entscheidet.

In verschiedenen Arbeiten wurden die Auswirkungen einer wendenden Bodenbearbeitung auf die Porenstruktur untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die pfluginduzierte Zunahme der Porosität im Oberboden vor allem auf eine Steigerung des Anteils der großen Poren zurückzuführen ist (Lindstrom und Onstad, 1984; Hamblin und Tennant, 1981; Hill et al., 1985; Hill, 1990). Untersuchungen der LfL ergeben ein ähnliches Bild (Zacharias, 2004). Neben der signifikanten Erhöhung des Volumenanteils der weiten Grobporen (> 50 µm) konnte auch eine Reduzierung im Bereich der mittleren Grobporen nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 23). Ähnliche Beobachtungen machten auch Hamblin und Tennant (1981), die für gepflügte Standorte geringere Volumenanteile für den Fein- und Mittel-Porenbereich 15 µm – 0,01 µm feststellten (verglichen mit konservierender Bodenbearbeitung). Veränderungen in der Porosität wirken sich direkt auf das Wasserretentionsverhalten und damit den Entwässerungsvorgang von Böden aus (vgl. Abbildung 24).



**Abbildung 23** Typische Porengrößenverteilung für einen Versuchstandort mit bindigem Boden (errechnet aus mittleren Wasserretentionskurven) bei konventioneller (unmittelbar nach dem Pflügen, schwarzer Balken) und konservierender Bodenbearbeitung in 20 cm Tiefe (Bodenart Ut4)

Eine Erhöhung des Grobporenanteils durch eine wendende Bodenbearbeitung erhöht das Gesamtporenvolumen und damit die Wasserspeicherung im nahe gesättigten Bereich im Pflughorizont. In verschiedenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass Reduzierungen der Lagerungsdichte (bzw. Erhöhungen der Sättigungswassergehalte) oft einhergehen mit geringeren Wasserspannungen für den sog. Lufteintrittspunkt (Gupta und Larson, 1979; O’Kane et al., 1997; Yang et al., 2004; Bejat et al. 2000). Hierbei handelt es sich um ein Maß, welches die größten Porenradien in der jeweiligen Bodenmatrix repräsentiert (größere Poren sind mit geringeren Wasserspannungen entwässerbar). Außerdem zeigen unterschiedlich bearbeitete Böden oft andere Steigungen der Wasserretentionskurve vor allem im nahe gesättigten Bereich.



**Abbildung 24** Idealisierte Wasserretentionskurven für einen Versuchstandort mit bindigem Boden mit konventioneller (schwarzer Kreis) und konservierender (Kreuz) Bodenbearbeitung in 20 cm (oben) und 40 cm Tiefe (Bodenart Ut4)

Im Zuge des Verbundprojektes wurde geprüft, inwiefern sich diese Unterschiede im Wasserretentionsverhalten auf die Abtrocknung von Überflutungsflächen auswirken. Aus den genannten Untersuchungen auf dem Lößstandort lagen Messergebnisse zum Wasserretentionsverhalten gepflügter und konservierend bestellter Flächen vor (Flächen im Untersuchungsgebiet des Projektes, die solch einen direkten Vergleich ermöglichten, waren nicht verfügbar).

Die Beschreibung des Entwässerungsverhaltens kann durch die mathematische Formulierung der Wassergehalts-Wasserspannungs-Beziehung  $\theta(h)$  erfolgen. Im vorliegenden Fall wurde dies mit Hilfe der  $\theta(h)$ - Funktion nach van Genuchten (1980) vorgenommen.

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^{\left(1 - \frac{1}{n}\right)}} \quad h < 0$$

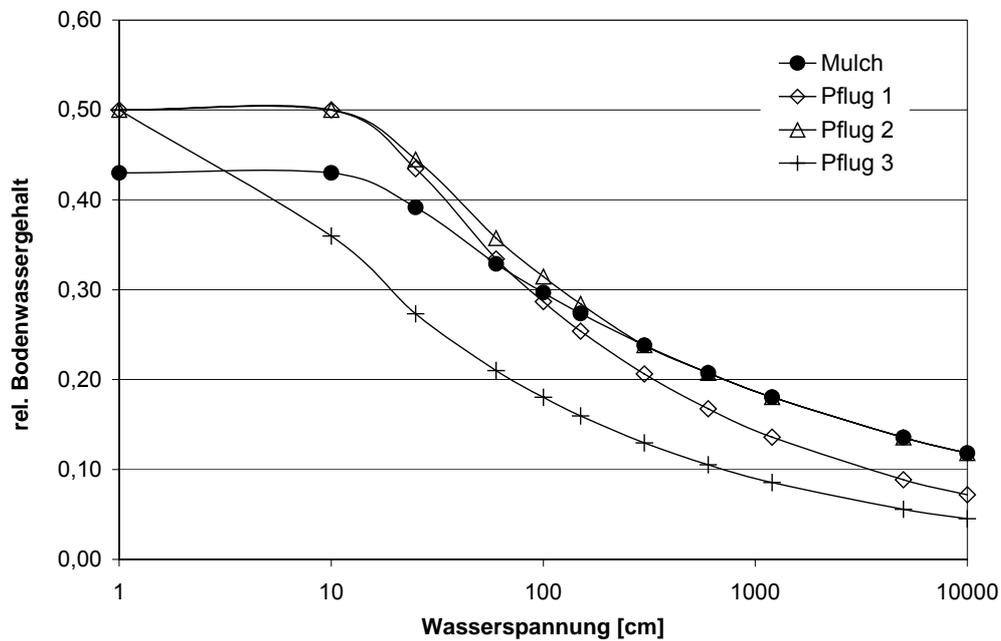
$$\theta(h) = \theta_s \quad h \geq 0 \quad \text{Gleichung 2}$$

- h    Wasserspannung [cm]
- q    Bodenwassergehalt [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ]
- $\theta_s$     Bodenwassergehalt bei Sättigung [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ]
- $\theta_r$     Restwassergehalt [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ]
- $\alpha$     Optimierungsparameter zur Anpassung an die gemessene Wasserretentionsfunktion [ $1/\text{cm}^3$ ]
- n    Optimierungsparameter zur Anpassung an die gemessene Wasserretentionsfunktion [dimensionslos]

Die obige  $\theta(h)$ - Funktion diente der Parametrisierung der typischen Eigenschaften der Wasserretentionsfunktion konventionell und konservierend bearbeiteter Standorte. Die Parametrisierung erfolgt mittels der durch van Genuchten et al. (1991) entwickelten Optimierungssoftware RETC.

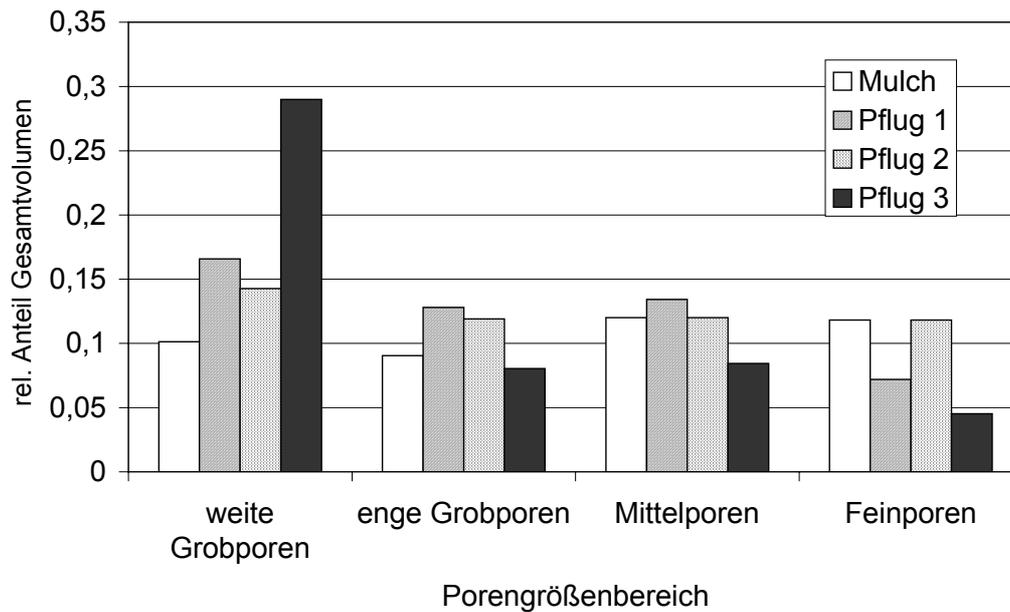
Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die typischen Unterschiede im gravitativen Entwässerungsverhalten beider Bearbeitungsvarianten im Bereich des Bearbeitungshorizontes und möglicher zeitlicher Veränderungen infolge von Rekonsolidierungsprozessen im Pflughorizont. Im Wesentlichen sind dies ein höherer Sättigungswassergehalt auf gepflügten Standorten (repräsentiert durch den Parameter  $\theta_s$ ), Unterschiede im Lufteintrittspunkt (repräsentiert durch das Reziproke des Parameters  $\alpha$ ) und Unterschiede in der Steigung der Entwässerungskurve (repräsentiert durch den Parameter n). Die Annahmen zum Entwässerungsverhalten tragen der beschriebenen Tatsache der hohen Variabilität der Porengrößenverteilung für gepflügte Standorte Rechnung. Konservierend bearbeitete Flächen zeigen auf Grund der reduzierten Bodenbearbeitung deutlich stabilere Verhältnisse in den Porengrößenverteilungen. Die Abbildung 25 zeigt vier idealisierte Wasserretentionskurven. Drei der dargestellten Kurven zeigen ein idealisiertes Wasserretentionsverhalten für einen gepflügten Standort (zu unterschiedlichen Zeiten

im Jahresverlauf), die einer Wasserretentionskurve für eine Mulchfläche gegenübergestellt sind. Die Größenordnung der Kurvenparameter wurde in Anlehnung an Messungen der LfL (Zacharias, 2004) gewählt.



**Abbildung 25** Idealisierte Wasserretentionskurven für eine konservierend bearbeitete Fläche (Mulch) und drei Pflugstandorte (Pflug 1 – Pflug 3) im Bearbeitungshorizont

Die Festlegung der idealisierten Parametersätze erfolgte allein unter qualitativen Gesichtspunkten. Durch die Modellierung sollten die qualitativen Unterschiede im gravitativen Entwässerungsverhalten gepflügter und ungepflügter Standorte beschrieben werden. Die Vorhersage quantitativer Unterschiede im Entwässerungsverhalten (also eine Berechnung konkreter Wassermengenangaben oder zeitliche Prognosen) war nicht Gegenstand der Betrachtungen. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse erlauben jedoch eine Bewertung typischer Effekte der Bodenbearbeitung auf die Porengrößenverteilung im Hinblick auf die Abtrocknung von Überflutungsflächen.



**Abbildung 26 Angenommene Porengrößenverteilung für die idealisierten Wasserretentionskurven**

Die in Abbildung 25 dargestellten Wasserretentionseigenschaften repräsentieren folgende Unterschiede in der Porengrößenverteilung für einen gepflügten Boden in Bezug auf eine konservierende bestellte Fläche (vgl. auch Abbildung 26).

Pflug 1:

- höherer Anteil an Grobporen
- geringerer Anteil an Feinporen
- Porendurchmesser der größten Pore unverändert (gleicher Lufteintrittspunkt)

Pflug 2:

- Höherer Anteil an weiten Grobporen
- Gleicher Anteil an Mittel- und Feinporen
- Porendurchmesser der größten Pore unverändert (gleicher Lufteintrittspunkt)

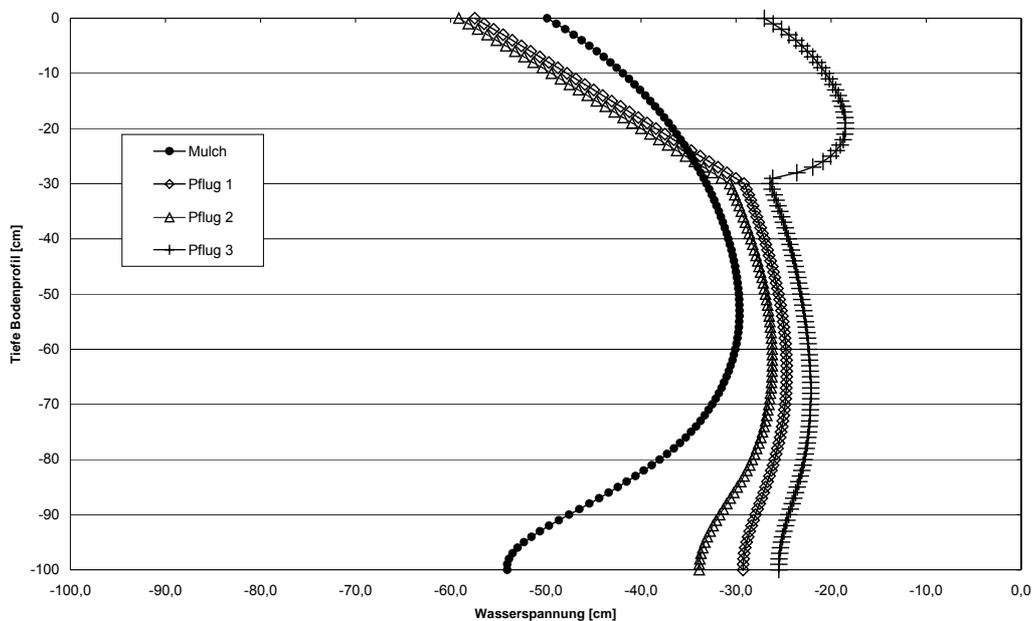
Pflug 3:

- Sehr viel höherer Anteil an weiten Grobporen

- Geringerer Anteil an engen Grobporen, Mittel- und Feinporen
- Größerer Radius der größten Poren (geringerer Lufteintrittspunkt)

Das schematisierte Wasserretentionsverhalten für die Variante Pflug 3 könnte als Verhalten eines frisch gepflügten Standortes interpretiert werden, wohingegen die Varianten Pflug 1 und Pflug 2 und Mulch eher rekonsolidierte Verhältnisse z. B. kurz vor der Ernte widerspiegeln (Eigensetzung und Rückverdichtung).

Die den idealisierten Wasserretentionskurven entsprechenden Parametersätze wurden dann in einem nächsten Schritt zur Modellierung des Wassertransportes verwendet. Zur Anwendung kam hierfür das Programmpaket HYDRUS-1D (Simunek et al., 1998). Dieses modelliert den gesättigten und ungesättigten Wasserfluss auf der Grundlage einer numerischen Lösung der Richards-Gleichung und wurde bereits von anderen Autoren zur Modellierung der Wirkung des Pfluges auf die bodenhydraulischen Standorteigenschaften eingesetzt (Moroizumi und Horino, 2004).

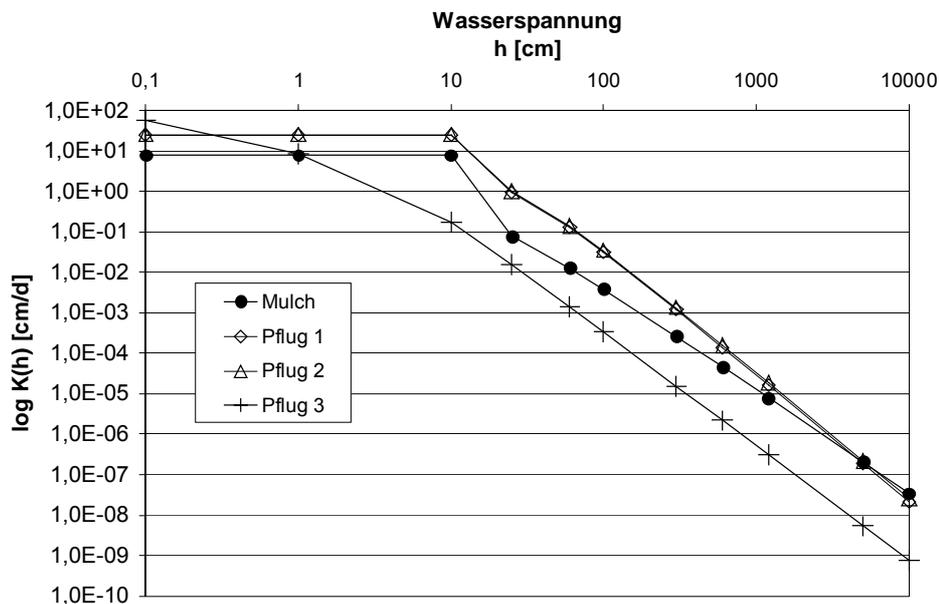


**Abbildung 27 Entwässerungsprofil (Wasserspannung) für die Bodenprofile Pflug 1, 2, 3 und Mulch nach einer Entwässerungszeit von 20 Tagen**

Um den Effekt der Porengrößenverteilung auf die gravitative Abtrocknung zu verdeutlichen wurde folgender Entwässerungsfall konstruiert:

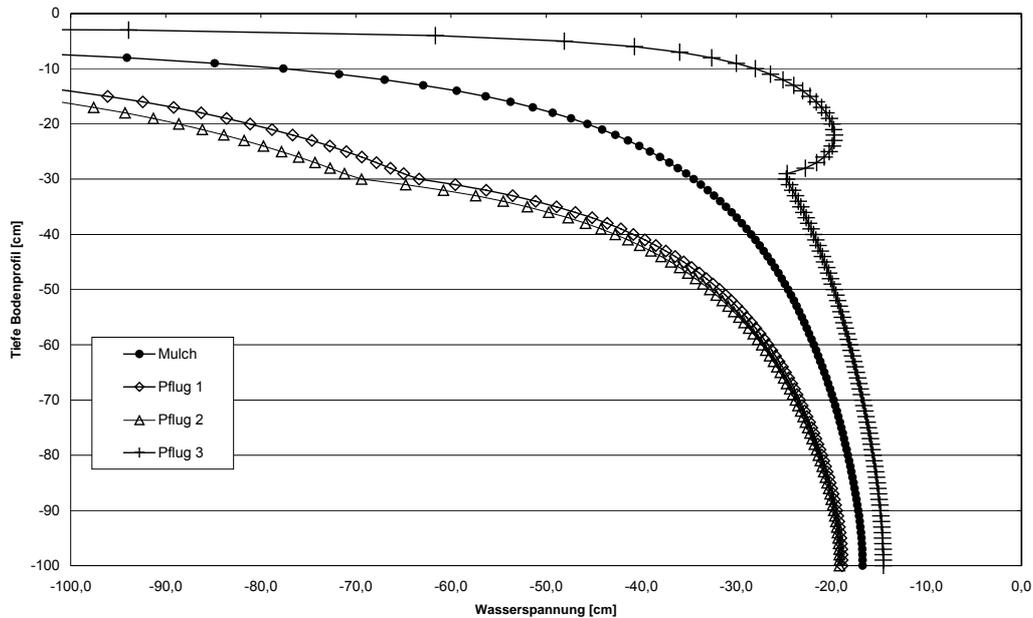
- 2-Schicht-Profil (0-30 cm – Pflug-Horizont; 30 – 100 cm gewachsenener Boden)

- Eine Unterscheidung in den Parametern der Wasserretention erfolgte nur für die Schicht 1 (Schicht 2 wurde in allen Varianten entsprechend der bodenhydraulischen Eigenschaften der konservierenden Bodenbearbeitung parametrisiert).
- Grundwasserferner Standort
- Startbedingungen: Sättigung des Bodens in Folge einer vorhergehenden kurzfristigen Überflutung; Tiefe der Sättigung bis in 10 cm (Wasserspannung 0 cm); darunter lineare Abnahme der Bodenfeuchte bis zum Ende des Bodenprofils in 100 cm Tiefe bis auf (lineare Abnahme der Wasserspannung von 0 cm (Sättigung) bis -100 cm).
- Entwässerungsdauer 20 d
- keine Evapotranspiration
- gesättigte hydraulische Leitfähigkeit im Bearbeitungshorizont 0-30 cm Bodentiefe: Pflug 1/2: 25 cm/d; Pflug 3: 59 cm/d; Mulch: 9 cm/d
- gesättigte hydraulische Leitfähigkeit unterhalb des Bearbeitungshorizontes: einheitlich über alle Varianten 9 cm/d



**Abbildung 28** Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit  $K(h)$  mit zunehmender Entwässerung für die Standorte Pflug 1, 2, 3 und Mulch

Bei der Wahl der Werte für die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit wurde auf Messungen auf einem Untersuchungsstandort im Lößhügelland zurückgegriffen. Die hier gefundene gesättigte hydraulische Leitfähigkeit für die konservierend bestellte Ackerfläche (9 cm/d)<sup>3</sup> waren ähnlich gering, wie die gemessenen Wasserleitfähigkeiten im Untersuchungsgebiet (vgl. Tabelle 5). Dies gilt insbesondere auch für die Versuchsfächen 3 und 4, die ähnliche Bodenartenverhältnisse und Wasserretentionseigenschaften aufweisen (Abbildung 22).



**Abbildung 29 Entwässerungsprofil (Wasserspannung) für die Bodenprofile Pflug 1, 2, 3 und Mulch nach einer Entwässerungszeit von 20 Tagen unter Berücksichtigung von Niederschlag und Evaporation (Wetterdaten August 2003; Mess-Station Zschepplin)**

Die großen Unterschiede in der Bodenfeuchteverteilung machen die starke Abhängigkeit des spezifischen Abtrocknungsverhaltens gepflügter Flächen von der konkreten Porengrößenverteilung und der Bodenlockerung deutlich. Insbesondere der Porengrößenanteil für den feuchten Bereich der Wasserretentionskurven beeinflusst den zeitlichen Verlauf der Abtrocknung.

Nach zwanzig Tagen zeigen die Standorte Pflug 1 und 2 im Oberboden (0-30 cm) die stärkste Abtrocknung (Abbildung 27). Die Ursache hierfür liegt vor allem in der größeren hydraulischen

<sup>3</sup> Die Werte der hydraulischen Leitfähigkeit wurden mittels einer In-Situ-Bohrlochinfiltation (Guelph-Permeameter) bestimmt. Diese Messmethode bestimmt die hydraulische Leitfähigkeit bei einer sog. Feldsättigung. Die dadurch ermittelten Werte sind oft geringer als Werte die an Stechzylinderproben gemessen werden, welche ein deutlich geringeres Volumen erfassen sowie unter Feuchtebedingungen (kontrollierte Laborsättigung) bestimmt werden, die im Feld in der Regel nicht erreicht werden.

Leitfähigkeit im gesättigten und nahe gesättigten Bereich. Für den Standort Pflug 3 zeigt sich dagegen eine deutlich langsamere Abtrocknung und dies trotz der gegenüber Pflug 1 und 2 noch einmal deutlich höheren gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Die Ursachen hierfür sind in der abweichenden Porengrößenverteilung zu sehen, die deutliche Verschiebungen in den ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten hervorruft (Abbildung 28). Der für den Standort Pflug 3 dominierende Porengrößenbereich ist der Bereich der weiten Grobporen (Abbildung 26). Dieser entwässert bereits bei geringsten Saugspannungen (geringerer Lufteintrittspunkt, s.o.). Dies hat zur Folge, dass sich der Fließquerschnitt (gebildet aus wassergefüllten Poren) des Standortes Pflug 3 im Vergleich zu den anderen Standorten sehr schnell verringert, sich damit die Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit beschleunigt und die gravitative Entwässerung verlangsamt.

Werden bei der Modellierung des Abtrocknungsverhaltens zusätzlich noch Niederschläge und Wasserentzug durch Evaporation berücksichtigt, kommt es zu einer weiteren Verstärkung der Effekte der unterschiedlichen Porengrößenverteilung und der damit verbundenen Unterschiede in den ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Die Abbildung 29 zeigt das modellierte Bodenfeuchteprofil für die vier Bearbeitungsvarianten. Die bodenhydraulischen Randbedingungen blieben in dieser Modellierung unverändert. Zusätzlich zur gravitativen Entwässerung wurden hier jedoch Niederschläge und Wasserentzug durch Evaporation berücksichtigt. Als Klimadaten wurden die auf der Untersuchungsfläche 2 im August 2003 gemessenen Niederschlags-, Luftfeuchte- und Temperaturdaten verwendet. Es wird deutlich, dass auch hier die Varianten Pflug1 und Pflug 2 am schnellsten abtrocknen. Die Variante Pflug 3 trocknet lediglich in den oberen Zentimetern stärker aus. Auf Grund der geringen ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten ist auch die kapillare Nachlieferung stark eingeschränkt und der Wasserentzug durch die Verdunstung bleibt auf die obersten Zentimeter des Bodens beschränkt.

Dieses Ergebnisse machen deutlich, dass auf Grund der hohen zeitlichen Variabilität der bodenhydraulischen Eigenschaften gepflügter Standorte generelle Aussagen zum Entwässerungsverhalten solcher Flächen nur schwer zu treffen sind. Erschwerend kommen eventuelle Unterschiede im Evaporationsverhalten durch unterschiedliche Deckungsgrade mit Pflanzenresten oder Oberflächenverschlammung hinzu. Die dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass gepflügte Flächen je nach konkreter Porengrößenstruktur auf Grund teilweise höherer ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeiten des Pflughorizontes hier auch schnellere Abtrocknung ermöglichen können. Letzteres gilt vor allem für Flächen, die einen höheren Anteil an engen Grobporen (als Ergebnis einer Rekonsolidierung im Anschluss an die Bodenbearbeitung) zeigen.

Die ermittelten Modellergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich die Bedeutung der Art der Bodenbearbeitung (konservierend oder konventionell) für die Dauer der gravitativen Entwässerung von untergeordneter Bedeutung ist. Da auch konservierend bearbeitete Flächen im Zuge der Bestellung eine Oberbodenlockerung (z. B. durch Grubber) erfahren, ist davon auszugehen, dass auch hierbei gewisse Variabilitäten in der Porengrößenverteilungen auftreten (ähnlich den

angenommenen Pflugzuständen). So sollten zum Zeitpunkt der Bestellung die Unterschiede in der gravitativen Entwässerung im Vergleich zur Pflug-Variante 3 geringer ausfallen werden, als in der Modellierung ermittelt.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass die obigen Aussagen sich vor allem auf den Prozess einer gravitativen Entwässerung gesättigter Bodenschichten beziehen. Dies stellt jedoch nur einen Teilspekt für die Beurteilung des Verhaltens von Ackerflächen bei Überschwemmungen dar. Besondere Beachtung verdient natürlich auch der Aspekt der Oberflächenverschlammung von Ackerflächen. Die höhere Neigung zur Oberflächenverschlammung konventionell bestellter Ackerflächen wurde in zahlreichen Untersuchungen nachgewiesen (s. Kapitel 7.2.1). Dies kann dazu führen, dass sich nach einem Hochwasserrückgang auf gepflügten Standorten wesentlich länger Oberflächenwasser aufstaut und auf diese Weise eine Wiederbefahrung der Flächen verhindert. Auch führt die Oberflächenverschlammung zu einer Minderung der Evaporation, was wiederum direkt auf die Entwässerung des Bodenprofils einwirkt.

### **7.3 Nutzungsmöglichkeiten überflutungsgefährdeter landwirtschaftlicher Flächen mit nachwachsenden Rohstoffen**

Hochwassergefährdete Flächen unterliegen im Interesse eines wirksamen Schutzes vor Überschwemmungsereignissen Einschränkungen als Wohn- und Gewerbegebiet. In der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wird Grünland der ackerbaulichen Nutzung der Vorrang eingeräumt. Daraus resultiert eine geringere Wertschöpfung pro Hektar. Weitere Restriktionen in der Vermarktung der Aufwüchse überschwemmungsgefährdeter Flächen können durch erhöhte Rückstände an bestimmten Schwermetallen und toxischen organischen Verbindungen nach Überflutungen zustande kommen (s. Kapitel 6.3.2). Durch Verwertung der Biomasse im Bereich nachwachsender Rohstoffe sollen nachhaltige und wirtschaftliche Alternativen aufgezeigt werden.

#### **7.3.1 Energetische und stoffliche Verwertung von Grünlandaufwüchsen**

Im Bereich nachwachsender Rohstoffe sind grundsätzlich zwei Nutzungspfade möglich. Sie betreffen die energetische und die stoffliche Verwertung der Biomasse. Für das Grasland, welches bestimmend für die Flussniederungen ist, werden zunächst die energetischen Verwertungsansätze behandelt (Abbildung 30). Feste und feuchte Biomasse können nach den dargestellten Nutzungspfaden in hochwertige Energieprodukte umgewandelt werden. Die energetische Nutzung wird durch die umweltpolitischen Rahmenbedingungen unterstützt. Dem Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG) kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Im EEG wird die Biomasse gegenüber dem alten Stromeinspeisungsgesetz deutlich gestärkt. Die Vergütung für Strom aus Biomasse regelt § 5. Sie wird für jeweils 20 Jahre gewährt und ist abhängig von der Leistung.

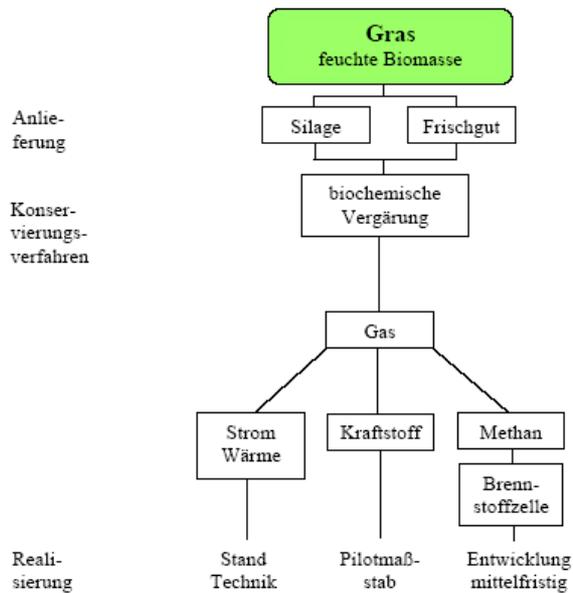
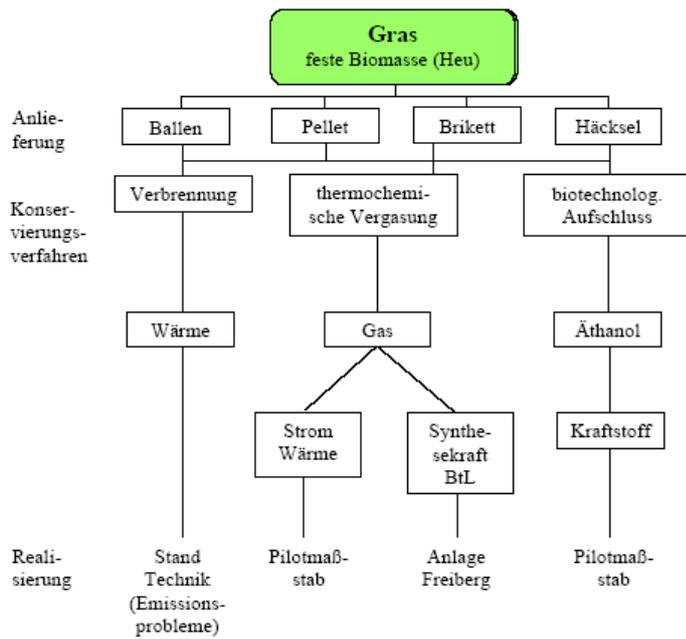
**Tabelle 13 Vergütung für Strom aus Biomasse nach § 5 EEG**

|  |          |
|--|----------|
|  | Cent/kWh |
|--|----------|

|               |      |
|---------------|------|
| bis 500 KW    | 10,2 |
| 500 KW – 5 MW | 9,2  |
| 5 MW – 20 MW  | 8,7  |

Für Neuanlagen ab 2002 sinkt die Vergütung um jeweils ein Prozent. Eine 500 KW-Anlage, die 2002 errichtet wurde, erhält für 20 Jahre 10,1 Cent/kWh.

Das EEG gilt für Biomasse nur in Verbindung mit der Biomasseverordnung. Sie legt fest, dass neben land- und forstwirtschaftlicher Biomasse nur Althölzer der Klassen I und II zulässig sind. Althölzer aus den Kategorien III und IV schließt das EEG aus. Ihr Einsatz ist nur dann im Rahmen der EEG zulässig, wenn die Anlage sehr hohe Schadstoffkriterien und Wirkungsgrade erfüllen.



**Abbildung 30** Verwertungsmöglichkeiten von Graslandaufwüchsen im Bereich nachwachsender Rohstoffe – Übersicht Energie

Über das Marktanreizprogramm fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie ab Januar 2002 Anlagensysteme mit erneuerbaren Energien:

- Handbeschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse bis zu einer installierten Nennwärmeleistung von 50 kW (Zentralheizungsanlage mit flüssigem Wärmeträgermedium und Wärmespeichervolumen von 50 Liter je kW).
- Automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung (Anlagen bis zu einer Nennwärmeleistung von 50 kW als Zentralheizungsanlage oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ab einer Nennwärmeleistung von 3 kW).
- Anlagen zur Gewinnung und Nutzung von Biogas aus Biomasse land-, forst- und fischwirtschaftlichen Ursprungs sowie aus Biomasse aus dem Ernährungsgewerbe zur Stromerzeugung oder kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung.

In der praktischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit bestehen für die einzelnen Pfade Unterschiede. Die Erzeugung von Wärme ist bei Anpassung der meist auf Holz ausgelegten Feuerungsanlagen an die Spezifik des halmgutartigen Brennstoffes (höhere Staubemission, höhere Verschlackung, Korrosion) relativ schnell umsetzbar. Die Verfahren der Umwandlung in Gas und Äthanol weisen einen unterschiedlichen Grad der Praxiseinführung auf. Während die Biogasgewinnung aus Gras und anderer pflanzlicher Biomasse schon die Praxisstufe erreicht hat, bewegt sich die Technologie der Äthanolgewinnung aus lignocellulosehaltiger Biomasse noch in der Pilotphase.

#### **7.3.1.1 Biogas**

Die biochemische Vergärung von Gülle wird sicher beherrscht und ist in der Praxis eingeführt. Pflanzliche Biomasse wird dabei meist als Koferment der Gülle zugesetzt. Dies steigert die Biogasausbeute gegenüber alleiniger Güllevergärung (Tabelle 14). Pflanzliche Biomasse kann der Gülle bis zu 20 Gew.% zugesetzt werden.

In der Entwicklung befindet sich die Trockenvergärung mit pflanzlicher Biomasse (z.B. Maissilage). Sie ist für Betriebe interessant, die keine Gülle als Basissubstrat zur Verfügung haben. Es gibt verschiedene Verfahren (Containerverfahren, Box-Fermenter, Wannen- bzw. Tunnelfermenter, Pfropfenstromfermenter).

Das Containerverfahren arbeitet nach dem Batch-Prinzip. Mobil- und Einschubfermenter werden mit Biomasse befüllt und luftdicht abgeschlossen. Die Biomasse wird mit Impfsupstrat durchmischt. Nach einer Startphase (Mikroorganismen erwärmen das Substrat unter Sauerstoffzufuhr) erfolgt unter Luftabschluss die mikrobielle Vergärung der Substanzen zu Biogas, das in einer Gassammelleitung aufgefangen wird. Dieses Verfahren könnte für Betriebe mit hochwassergefährdeten Ackerflächen von Bedeutung werden. Die Vielfalt der in Entwicklung befindlichen Anlagensysteme erlaubt hier sehr differenzierte Lösungen, die auf den Bedarf der Betriebe zugeschnitten werden können. Meist wird die Biomasse der Feldfrüchte und des Grünlandaufwuchses siliert, um einen kontinuierlichen Betrieb der Biogasanlage zu gewährleisten.

Aus dem Kostenvergleich zur Bereitstellung der Silage von verschiedenen Kulturen geht hervor, dass Grünlandsilage vergleichsweise teuer ist (Tabelle 15).

**Tabelle 14 Stoffeigenschaften und Biogasausbeuten verschiedener Substrate (Quelle: Schattauer, Weiland (2004))**

| Substrat    | TS (%)  | oTS (% TS) | Biogasertrag           |                         | Methangehalt (Vol.%) |
|-------------|---------|------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
|             |         |            | (m <sup>3</sup> /t FM) | (m <sup>3</sup> /to TS) |                      |
| Maissilage  | 20 – 35 | 85 – 95    | 170 – 200              | 450 – 700               | 50 – 55              |
| Roggen-GPS  | 30 – 35 | 92 – 98    | 170 – 220              | 550 – 680               | 55                   |
| Zuckerrübe  | 23      | 90 – 95    | 170 – 180              | 800 – 860               | 53 – 54              |
| Masserübe   | 12      | 75 – 85    | 75 – 100               | 620 – 850               | 53 – 54              |
| Gehaltsrübe | 12      | 75 – 85    | 75 – 100               | 620 – 850               | 53 – 54              |
| Rübenblatt  | 16      | 75 – 80    | 70                     | 550 – 660               | 54 – 55              |
| Grassilage  | 25 – 50 | 70 – 95    | 170 – 200              | 550 – 600               | 54 – 55              |

**Tabelle 15 Biomassekosten von Feldfrüchten (Quelle: TLL Jena)**

|  | ME       | GPS-SG | Mais-silagen | Klee gras | Grünland | Getreide |
|--|----------|--------|--------------|-----------|----------|----------|
| <b>Erzeugungskosten</b>  | €/ha     | 824    | 1288         | 1036      | 219      | 884      |
| Bruttoertrag je ha   | dt TM/ha | 79,2   | 120          | 84,7      | 50       | 55       |
| Flächennutzungsfaktor  |          | 100 %  | 100 %        | 100 %     | 30 %     | 100 %    |
| Nettoertrag frei Biogasanlage  | dt TM/ha | 70,9   | 109,3        | 75,8      | 13,1     | 54,7     |
| TS-Gehalt  | %        | 40     | 32           | 36        | 35       | 86       |
| <b>Zahlungsansprüche 2005</b>  | €/ha     | 350    | 337          | 362       | 74       | 337      |
| Energiepflanzenprämie abzügl. Aufwand                                  | €/ha     | 25     | 25           | 25        | 7        | 25       |
| geplanter durchschnittl. Gewinn  | €/ha     | 150    | 150          | 150       | 44       | 150      |
| <b>Erzeugungskosten</b>  | €/dt TM  | 8,46   | 9,85         | 10,55     | 13,90    | 12,28    |
| <b>Methanertrag (nach Keymer, 2002)</b>                                | 1/kg oTS | 286    | 322          | 308       | 301      | 370      |
| Biomassekosten an den Stromgestehungskosten (33 % elekt. Wirkungsgrad) |          |        |              |           |          |          |
| <b>Kosten 2005</b>   | Cent/kWh | 9,2    | 9,5          | 10,6      | 14,3     | 10,3     |

Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der Biogaserzeugung auf der Basis von Grünlandsilage zeigt, dass die Stromerlöse nicht ausreichen, um die Kosten zu decken und einen Gewinn zu erzielen. Ein rentabler Betrieb ist erst mit einem entsprechenden Wärmeabsatz verbunden (Tabelle 16). Insofern kommt der Förderung von Nahwärmenetzen beim Betrieb von Biogasanlagen künftig ein erhöhter Stellenwert zu.

Der Flächenumfang an Dauergrünland (Dauerwiesen/Mähweiden) im hier betrachteten Untersuchungsgebiet im HQ 100-Bereich beträgt ca. 2.370 ha. Unterstellt man einen durchschnittlichen Hektarertrag von 5 t TM/ha, ist auf der Gesamtfläche mit einem Bruttoertrag von 11.845 t TM zu rechnen. Werden 30 % des Aufwuchses als Biogasrohstoff genutzt, können unter Einrechnung von 13 % Ernteverlusten 3.092 t TM in Biogas umgewandelt werden. Bezogen auf den organischen Trockensubstanzertrag (oTS) von 90 % kann von einem Gasertrag in der

Größenordnung von 1.669.680 m<sup>3</sup>/a ausgegangen werden. Dies entspricht 10.352 MWh/a energetischer Leistung. Damit könnten 863 t Heizöl jährlich substituiert werden.

**Tabelle 16      Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung auf der Grundlage von Grünlandsilage**

|  |       |                        |
|--|-------|------------------------|
| Biomasseertrag:                                | 5     | t TM/ha                |
| Nettoertrag:                                   | 4,3   | t TM/ha                |
| Gasausbeute:                                   | 0,6   | m <sup>3</sup> /kg oTS |
| Gasertrag:                                     | 2322  | m <sup>3</sup> /ha     |
| Energieertrag:<br>(6,2 kWh/m <sup>3</sup> )    | 14396 | kWh/ha                 |
| Wärmeertrag:<br>(50 % des Energieertrages)     | 7198  | kWh/ha                 |
| nutzbare Wärme:<br>(70 % des Wärmeertrages)    | 5039  | kWh/ha                 |
| nutzbarer Strom:<br>(30 % des Energieertrages) | 4319  | kWh/ha                 |
| Stromerlös:<br>(17,5 Cent/kWh)                 | 756   | €/ha                   |
| Wärmeerlös:<br>(5,0 Cent/kWh)                  | 252   | €/ha                   |
| Kosten Biogasanlage:<br>(0,07 €/kWh el)        | 269,0 | €/ha                   |
| Ernte- und Silierkosten:<br>(139 €/t TM)       | 695,0 | €/ha                   |

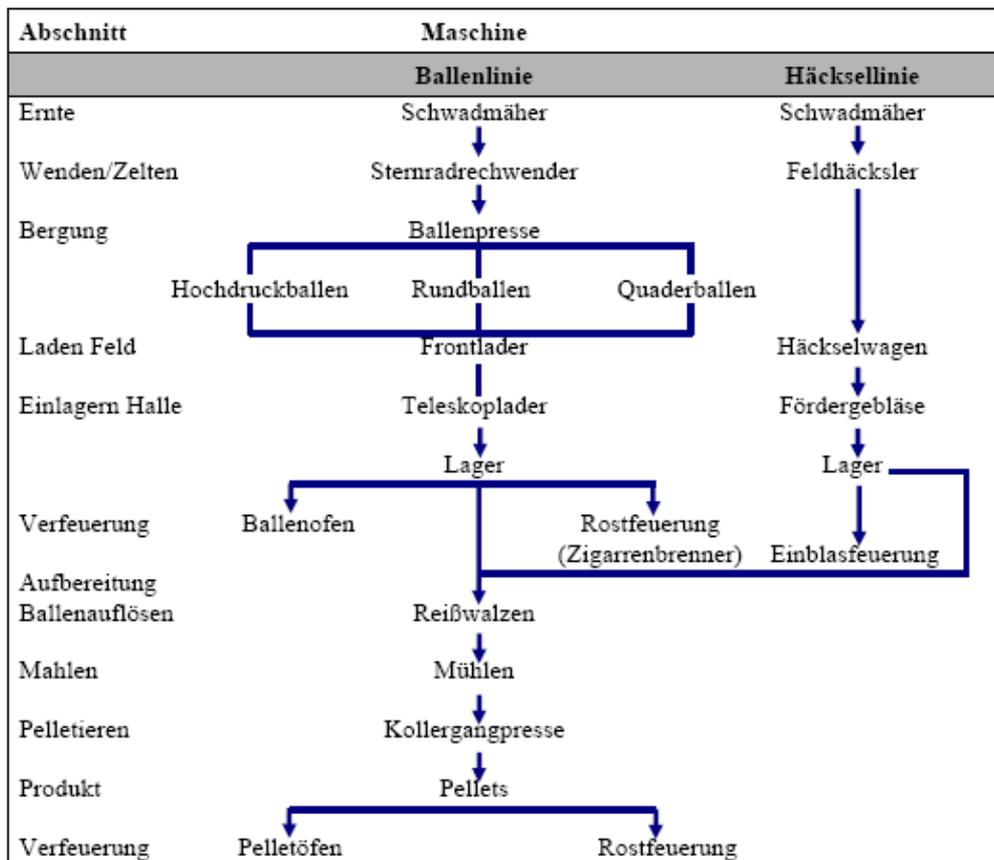
### 7.3.1.2 Festbrennstoff

Heu, das durch Trocknen von Grünlandaufwüchsen oder Ackergräsern gewonnen wird, ist ein wertvolles Futtermittel für Wiederkäuer. Durch frühen Schnitt der Gräser kurz vor Eintritt der Blüte erreicht man einen guten Futterwert, der durch hohe Gehalte an Rohprotein, Rohfett und N-freien Extraktstoffen sowie Mineralstoffen charakterisiert ist. Will man Heu als Festbrennstoff verwenden, muss das Nutzungsregime geändert werden. Ziel ist es, ein rohfasern- und ligninreiches Produkt zu erzeugen, das wenig Mineralstoffe (Stickstoff und Kalium) enthält. Aus diesem Grund ist der Schnittzeitpunkt des Aufwuchses nach der Blüte zu wählen, wenn die Verholzung der Halme beginnt. Die Düngung mit Stickstoff und Kalium ist extensiv vorzunehmen.

Für die energetische Nutzung von Heu kann in der Ernte, Lagerung und Aufbereitung auf bewährte Verfahrensketten der Futterproduktion zurückgegriffen werden (Abbildung 31). In der Transportökonomie ist die Ballentechnologie günstiger als die Häcksellinie zu bewerten. Letztere kommt nur für kurze Transportwege in Frage. Heu kann als Ballen, in Häcksel- und gemahlener Form oder als Brikett bzw. Pellet verfeuert werden.

Aus den feuerungstechnischen Eigenschaften des Heus ergeben sich bestimmte Probleme, die bei einer Einführung des Heus als Brennstoff zu lösen sind (Tabelle 17). Diesbezüglich ist für die Emission an NO<sub>x</sub> der vergleichsweise hohe Gehalt an Stickstoff im Heu kritisch zu bewerten. Da

Heu reich an mineralischen Bestandteilen ist, entsteht beim Abbrand viel Asche. Der hohe Aschegehalt bedingt, dass in erheblichem Maße der Rauchgasstrom mit Aschefeinstpartikeln (Staub) angereichert wird. Das in der Asche gebundene Kalium bewirkt ein Schmelzen der Aschepartikel bereits bei niedrigen Ausbrandtemperaturen. Dadurch kommt es zur Schlackebildung, zum Verkleben der Feuerungsroste und Minderung des energetischen Wirkungsgrades (unvollständiger Ausbrand, hohe CO-Emission). Aus den hohen Chlorgehalten im Heu erwachsen im Abbrand Korrosionsprobleme. Im Vergleich zum naturbelassenen Holz sind Heu und ebenso Getreidestroh somit kritische Brennstoffe hinsichtlich Schlackebildung, Staubbelastung und Korrosion.



**Abbildung 31    Verfahrensketten zur Brennstoffbereitstellung aus Heu**

Die aufgezeigten abbrandtechnischen Probleme verlangen spezielle feuerungstechnische und emissions-technische Lösungen. Sie betreffen vor allem kleine Feuerungsanlagen  $\leq 1$  MW, die für die dezentrale Wärmeversorgung eingesetzt werden. Zur Begrenzung der Staubemission in kleinen Feuerungsanlagen ist die Rauchgasreinigung durch Ionisation und elektrostatische Abscheidung ein aussichtsreicher Ansatz (HEIDENREICH, 2004). Mit diesem Reinigungssystem können vorhandene Kleinfeuerungsanlagen nachgerüstet werden.

Für stationäre Wirbelschichtfeuerungen haben NENDEL, KLAUß, NENDEL (2004) optimale Betriebsbereiche für den Abbrand von Landschaftspflegeheupellets ermittelt, um die gasförmigen Schadstoffe (CO, NOX, SOX) zu minimieren. Auch der Einsatz von Zuschlagstoffen bei der Pelletherstellung ist geeignet, die Abbrand- und Emissionssituation von Heupellets deutlich zu verbessern (RÖHRICHT, KIESEWALTER, 2004). Eine weitere technisch und emissionsseitig durchaus realisierbare Option ist die Mitverbrennung von Heu in zentralen Heizwerken oder Heizkraftwerken, die Altholz einsetzen.

Der Energiegehalt von Heu ist mit anderen Biobrennstoffen durchaus vergleichbar. Durch Pelletieren von Heu würde man die Schüttdichte und volumenbezogene Energiedichte deutlich erhöhen. Zur energieäquivalenten Substitution von 1 Tonne Heizöl sind 3,2 Tonnen Heu erforderlich (Tabelle 18). Die Bereitstellungskosten für Heu (Ballenlinie) betragen bei mittlerem Ertragsniveau und extensivem Betriebsmitteleinsatz (Düngung, Pflanzenschutz) 729 €/ha ohne Ausgleichszahlung (Tabelle 19). Auf Grund des niedrigen Ertrages (5 t TM/ha) entstehen vergleichsweise hohe Stückkosten von 15 €/dt TM oder 3,2 cent/kWh. Gegenüber den ertragsstarken Energiepflanzen (schnellwachsende Baumarten, Miscanthus, Getreideganzpflanzen) sind die Kosten doppelt so hoch. Durch einen angemessenen Mineräldüngereinsatz wird das Aufwand-/Ertragsverhältnis mit dem Effekt niedrigerer Stückkosten verbessert (Tabelle 19).

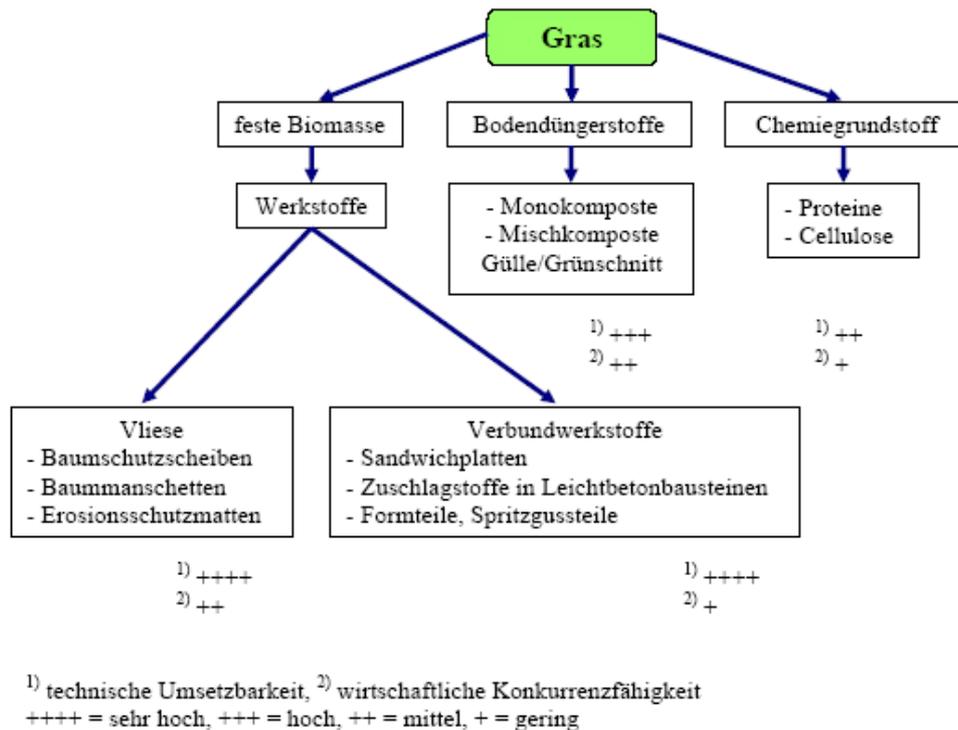
Das Potenzial an Heu ist hauptsächlich für den Wärmemarkt interessant. Im ländlichen Raum können auf diese Weise dezentrale Anlagensysteme mit unterschiedlicher Feuerungsleistung auf kurzem Wege mit Brennstoff versorgt werden. Für Ein- und Mehrfamilienhäuser sind vor allem Pelletkessel in den Leistungsklassen 8 bis 25 kW für die Warmwasser- und Wärmeversorgung geeignet. Hier kann künftig ein starkes Einsatzsegment für Brennstoffpellets aus Heu in den waldarmen Regionen Sachsens liegen. Wie Kostenkalkulationen zeigen, sind durchaus konkurrenzfähige Wärmegestehungskosten gegenüber Holzpellets und Heizöl erreichbar (Tabelle 20).

Auch für größere Heizwerke zur Wärmeversorgung von Kommunen oder mittelständischen Industrieunternehmen mit Prozesswärmebedarf erreicht man mit Heu und mehr noch mit Stroh Wärmegestehungskosten, die bereits im Bereich der Kosten von fossilen Brennstoffen oder Altholz (2,5 Cent/kWh) liegen (Tabelle 21). Durch Förderung und künftige Honorierung der CO<sub>2</sub>-Minderung verbessert sich die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagensysteme. Die technischen Potenziale an Grünlandheu sind in Sachsen sehr beachtlich (RÖHRICHT, 2004). Sie liegen vorrangig in den Gebirgslagen sowie Flussauen.

### **7.3.1.3 Stoffliche Nutzung**

Der Sektor der stofflichen Nutzung von Grasaufwüchsen ist noch weitgehend unerschlossen. Gleichwohl bieten Inhaltsstoffe wie Cellulose, Proteine, Lignine, Zucker vielfältige Verwertungsmöglichkeiten (Abbildung 32). Die Fasern sind technisch für Verbundwerkstoffe sehr

gut geeignet, stehen aber in wirtschaftlicher Konkurrenz zu billigen Naturfaserimporten (Sisal, Hanf, Flachs). Im labor- und halbtechnischen Maßstab werden biotechnologische Verfahren erprobt, um aus Gras hochwertige Chemiegrundstoffe zu gewinnen. Eine Praxisreife dieser Verfahren ist mittelfristig zu erwarten. Umsetzbar ist die Kompostierung der Grünland-aufwüchse zu Bodendüngestoffen.



**Abbildung 32** Verwertungsmöglichkeiten von Graslandaufwüchsen im Bereich nachwachsender Rohstoffe

#### 7.3.1.4 Fazit

Von den dargelegten Nutzungsszenarien sind die Verwertung von Heu als Festbrennstoff und der Einsatz von Grassilage zur Biogasproduktion realistische und wirtschaftliche tragfähige Ansätze. Über die Verbrennung ist auch mit toxischen Stoffen belasteter Grünlandaufwuchs umweltverträglich verwertbar. Stoffliche Verwertungen sind als mittel- und langfristige Optionen in Betracht zu ziehen.

**Tabelle 17** Eigenschaften und Inhaltsstoffe von Biobrennstoffen (Quelle: Hartmann, 2001 in: Leitfaden Bioenergie, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe)

| Brennstoff | Heizwert<br>MJ/kg atro | Asche-<br>gehalt | N      | S | Cl                | K |
|------------|------------------------|------------------|--------|---|-------------------|---|
|            |                        |                  | Gew. % |   | Gew. % wasserfrei |   |

|                         |      |     |      |      |      |      |
|-------------------------|------|-----|------|------|------|------|
| Pappelholz m. Rinde     | 18,5 | 1,9 | 0,42 | 0,03 | 0,04 | 0,35 |
| Fichtenholz m. Rinde    | 18,5 | 0,6 | 0,13 | 0,02 | 0,01 | 0,13 |
| Weizenstroh             | 17,2 | 5,7 | 0,48 | 0,08 | 0,19 | 1,00 |
| Wiesenheu, Futtergräser | 17,1 | 7,1 | 1,26 | 0,17 | 0,76 | 1,50 |
| Landschaftspflegeheu    | 17,4 | 5,7 | 1,14 | 0,16 | 0,31 | 1,50 |

**Tabelle 18 Energiegehalte und Schüttdichten ausgewählter biogener Brennstoff im Vergleich zu Heizöl EL (nach Obernberger, 1998)**

| Brennstoff                            | Wassergehalt<br>Gew. % FS | Unterer<br>Heizwert<br>kWh/kg FS | Schüttdichte<br>kg FS/m <sup>3</sup> | Energiedichte<br>kWh/m <sup>3</sup> |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Holz (Hartholz)</b>                |                           |                                  |                                      |                                     |
| Hackgut vorgetrocknet                 | 30                        | 3,4                              | 320                                  | 1094                                |
| Hackgut erntefrisch                   | 50                        | 2,2                              | 450                                  | 1009                                |
| Holzpellets                           | 10                        | 4,6                              | 600                                  | 2756                                |
| Rinde                                 | 50                        | 2,3                              | 320                                  | 727                                 |
| <b>Halmgut (Heu Grünland)</b>         |                           |                                  |                                      |                                     |
| Hochdruckballen                       | 18                        | 3,8                              | 200                                  | 750                                 |
| <b>Wintertriticale (Ganzpflanzen)</b> |                           |                                  |                                      |                                     |
| Hochdruckquaderballen                 | 15                        | 4,0                              | 175                                  | 703                                 |
| Stroh (Weizen)                        |                           |                                  |                                      |                                     |
| Hochdruckquaderballen                 | 15                        | 4,0                              | 120                                  | 482                                 |
| fossiler Brennstoff                   |                           |                                  |                                      |                                     |
| <b>Heizöl EL</b>                      | 0,0                       | 11,9                             | 860                                  | 10200                               |

**Tabelle 19 Kostenkalkulation Heuproduktion zur Festbrennstoffgewinnung – zwei Intensitätsstufen**

| <b>Leistungen</b>                          |       |            |            |
|--|-------|------------|------------|
| Ertrag Frischmasse                         | dt/ha | 300        | 400        |
| Nettoertrag Trockenmasse                   | dt/ha | 48         | 64         |
| <b>Direktkosten</b>                        |       | €/ha       |            |
| Saatgut                                    |       | 8          | 8          |
| org. Düngung (20 m <sup>3</sup> Gülle/ha)  |       | 68         | 68         |
| min. Düngung (160 kg N; 20 kg P; 160 kg K) |       | -          | 153        |
| <b>Summe Direktkosten</b>                  |       | <b>76</b>  | <b>229</b> |
| <b>Arbeitskosten</b>                       |       |            |            |
| Personal                                   |       | 81         | 81         |
| Maschinenunterhaltung                      |       | 63         | 63         |
| Abschreibung Maschinen                     |       | 74         | 74         |
| Betriebsstoffe Maschinen                   |       | 32         | 32         |
| sonst. Betriebsstoffe                      |       | 70         | 70         |
| Maschinenversicherung                      |       | 2          | 2          |
| Zinsansatz Maschinenkapital                |       | 34         | 34         |
| <b>Summe Arbeitserledigung</b>             |       | <b>358</b> | <b>358</b> |
| <b>Gebäudekosten</b>                       |       |            |            |
| Unterhaltung                               |       | 7          | 7          |
| Abschreibung                               |       | 55         | 55         |
| Versicherung                               |       | 7          | 7          |
| Zinsansatz Gebäudekapital                  |       | 83         | 83         |
| <b>Summe Gebäudekosten</b>                 |       | <b>151</b> | <b>151</b> |
| <b>Flächenkosten</b>                       |       |            |            |
| Pacht                                      |       | 51         | 51         |

|  |  |       |       |
|--|--|-------|-------|
| Grundsteuer  |  | 5     | 5     |
| Berufsgenossenschaft                                     |  | 8     | 8     |
| Kalkung  |  | 28    | 28    |
| Summe Flächenkosten                                      |  | 92    | 92    |
| <b>sonstige Kosten</b>                                   |  | 49    | 49    |
| <b>Gesamtkosten ohne Ausgleich</b>                       |  | 729   | 882   |
| <b>Gesamtkosten mit Ausgleich (111 €/ha Agrarprämie)</b> |  | 618   | 771   |
| <b>Stückkosten</b>                                       |  |       |       |
| <b>ohne Ausgleich €/dt TM</b>                            |  | 15,19 | 13,78 |
| <b>mit Ausgleich €/dt TM</b>                             |  | 12,87 | 12,05 |

**Tabelle 20 Wärmegestehungskosten für eine Heizanlage von 10 kW und 1500 Vollbenutzungsstunden (nach Holz, 2003)**

|                            |          | Öl Kessel<br>Heizöl EL | Pellet Kessel<br>Industrieholz | Pellet Kessel<br>Heupellets |
|----------------------------|----------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Investitionen              | €        | 10500                  | 15400                          | 15400                       |
| Fördermittel               | €        | -                      | 2400                           | 2400                        |
| jährliche Kapitalkosten 1) | €        | 1081                   | 1338                           | 1338                        |
| jährl. Brennstoffkosten    | €        | 783                    | 600                            | 634                         |
| jährl. Betriebskosten      | €        | 45                     | 52                             | 62                          |
| jährl. Wartungskosten      | €        | 250                    | 275                            | 290                         |
| jährl. Gesamtkosten        | €        | 2159                   | 2265                           | 2324                        |
| jährl. Heizenergiebedarf   | kWh      | 15000                  | 15000                          | 15000                       |
| Jahresnutzungsgrad         | %        | 0,920                  | 0,875                          | 0,825                       |
| Brennstoffbedarf           | kWh      | 16304                  | 17143                          | 17625                       |
| Brennstoffpreis            | kWh      | 4,8                    | 3,5                            | 3,6                         |
| Wärmegestehungskosten      | Cent/kWh | 14,4                   | 15,1                           | 15,4                        |

**Tabelle 21 Kalkulation der Wärmegestehungskosten eines Stroh-Heu-)Heizwerkes 5 MW ohne Wärmeverteilung, ohne Förderung**

|   | ME  | Strohballen     | Heuballen        |
|---|-----|-----------------|------------------|
| Nutzungsdauer                                 | a   | 20              | 20               |
| Feuerungsleistung                             |     |                 |                  |
| Biomassekessel                                | MW  | 3,0             | 3,0              |
| Heizölkessel                                  | MW  | 1,8             | 1,8              |
| Brennstoffbedarf                              |     |                 |                  |
| Biomasse                                      | t/a | 3676            | 3676             |
| Heizöl  | t/a | 156             | 156              |
| <b>Investitionen (Anlage + Bau)</b>           | €   | 2.790682        | 2.790682         |
| Annuitätsfaktor                               |     | 0,087           | 0,087            |
| jährlicher Kapitaldienst                      | €   | 242789          | 242789           |
| Brennstoffkosten                              |     |                 |                  |
| Biomasse                                      | €   | 106224 (48 €/t) | 558752 (152 €/t) |
| Heizöl (422 €/t)                              | €   | 52328           | 52328            |
| Wartung/Instandhaltung<br>2 % von Investsumme | €   | 73700           | 73700            |
| Personalkosten                                | €   | 67500           | 67500            |
| Strom   | €   | 4696            | 4696             |
| Versicherung                                  | €   | 21750           | 21750            |
| Flugascheentsorgung                           | €   | 4556            | 4556             |
| Emissionsüberw.                               | €   | 750             | 750              |

|   |          |       |       |
|---|----------|-------|-------|
| jährl. Wärmemenge   | MWh/a    | 16440 | 16440 |
| Wärmegestehungskosten   | Cent/kWh | 3,49  | 6,20  |
| Annahme:<br>5000 Volllaststunden<br>Grundlast<br>800 Volllaststunden<br>Spitzenlast |          |       |       |

### 7.3.2 Alternative Nutzung von hochwassergefährdeten Ackerflächen

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffpflanzen auf Ackerland nimmt in Deutschland ca. 1,0 Mio ha ein. Vorrangig wird diese Fläche mit Industrieraps bestellt. Das vom Raps gewonnene Öl wird hauptsächlich zur Herstellung von Biodiesel eingesetzt. In kleinerem Umfang dient es der Erzeugung von biologisch abbaubaren Schmierstoffen und Grundchemikalien.

Daneben zeichnen sich weitere Rohstoffpflanzen mit vielseitigen und wertschöpfungsintensiven Anwendungsmöglichkeiten ab (Abbildung 33). Anbau und Nutzung dieser Pflanzen haben einen unterschiedlichen Anwendungsgrad als nachwachsender Rohstoff erreicht. Die energetische Nutzung lignocellulosehaltiger ein- und mehrjähriger Pflanzen bewegt sich in der Pilotphase und wird sich auf Grund der angespannten Energiepreise für Erdöl und Erdgas stärker entwickeln. Die Nachfrage an Naturfasern ist seitens der Automobilindustrie für die Armierung von Autoinnenverkleidung, Dämmmatten u.a. stabil allerdings bei sehr niedrigen Preisen. Die Heil- und Gewürzpflanzen stellen eine Marktnische mit hoher Wertschöpfung dar. Ihr Anbau verlangt spezielle Anbau- und Aufbereitungstechnologien.

Zur Erzeugung von Biogas werden zunehmend leicht vergärbare Pflanzen eingesetzt. Hier ist bedingt durch das Erneuerbare Energiengesetz (Gewährung einer Stromeinspeisungsvergütung) mit einem verstärkten Anbau zu rechnen. Die Bioalkoholproduktion erfolgt ab 2004 in 3 Großanlagen in Deutschland an den Standorten Zörbig, Zeitz und Schwedt. Sie verarbeiten stärkereiche, proteinarme und gesunde Getreidepartien (Weizen, Triticale, Roggen) in einer Größenordnung von 300.000 – 700.000 t/a.

Als Alternativen für überschwemmungsgefährdete Ackerflächen sollen im folgenden Winterraps, Energiemais, schnellwachsende Baumarten und Miscanthus und Ganzpflanzengetreide einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

#### 7.3.2.1 Winterraps – Biodiesel

Der Winterraps ist die dominierende Ölf Frucht in Deutschland. In Sachsen werden gegenwärtig 119000 ha (2003) angebaut. Bei maximalem Fruchtfolgeanteil (25 %) liegt der Flächenumfang bei 165000 ha. Der Flächenanteil für Industrieraps beläuft sich auf ca. 50 %. Die Biodieselpkapazität wird für Deutschland (2004) mit 1,1 Mio t/a angegeben. Weitere Anlagen mit einer Gesamtleistung

von 0,5 Mio t/a befinden sich im Aufbau. Es ist somit von einem wachsenden Markt auszugehen, der auch im Anbau wirtschaftliche Alternativen bildet.

In den überschwemmungsgefährdeten Zonen, vor allem auf Flächen mit geringer Überschwemmungshäufigkeit sollte die Winterrapsfläche unter Beachtung der Fruchtfolgerestriktionen weiter ausgebaut werden. Der wirtschaftliche Vergleich zwischen Food- und Non-Food-Raps stützt diese Aussage (Tabelle 22).

Für die Agrarbetriebe sind auch Investitionen in Biodieselanlagen (Containertechnologie) sinnvoll. Mit Produktionskapazitäten von 2000 bis 5000 t Biodiesel/a können sie den eigenen Fuhrpark und Transportunternehmen in der Region nachhaltig mit Kraftstoff versorgen. Dieser Schritt wird mit dem Wegfall der Agrardieselbeihilfe befördert.

### **7.3.2.2 Energiemais – Biogas**

Vor dem Hintergrund des Erneuerbaren Energiegesetzes entwickelt sich seit 2004 der Anbau von Energiemais (2769 ha in Deutschland). Bevorzugt wird dabei die Herstellung von Maissilage. Sie ist ganzjährig verfügbar und sichert eine kontinuierliche Beschickung der Anlage. Der Mais besitzt eine hohe Energiekonzentration. Sein Anbau wird sicher beherrscht. Es sind zahlreiche standortangepasste Sorten mit hohem Ertragspotenzial verfügbar. Eine Zumischung in güllebasierten Anlagen ist technisch problemlos möglich. Gegenüber niedrigen bis mittleren Überschwemmungsereignissen von 5 – 10 Tagen ist er relativ robust.

Im Vergleich zu anderen Feldfrüchten, die als Rohstoff für Biogasanlagen geeignet sind, besitzt er eine wirtschaftliche Vorzüglichkeit, die sich auch im Biogasanlagenbetrieb widerspiegelt (Tabelle 23 und Tabelle 24). In der züchterischen Entwicklung sind 2004/2005 neue Energiemaissorten mit intensiven vegetativem Wachstum auch im Sommer und Spätsommer in Erprobung (KESTEN, 2004; LANDBECK, SCHMIDT, 2005). Die Energiemaissorten sichern in dichten Beständen (10 Pflanzen/m<sup>2</sup>) dem höchsten TM-Ertrag. Die größere Bestandesdichte führt zu einem Anstieg des TS-Gehaltes. Gute Wasserversorgung bildet die Voraussetzung für einen hohen TS-Zuwachs. Die spätreifenden italienischen Sorten schneiden im Sortenvergleich am besten ab (Tabelle 25).

Des Weiteren wird auf so genannte Energiefruchtfolgen zur Biogasproduktion orientiert, die einen möglichst artenreichen Anbau mit hoher Nettoenergieausbeute verbinden. Neben Mais sind beispielsweise Sudangras, Zuckerhirse, Grünroggen, Ganzpflanzensilage Wintertriticale, Luzernekleegrass in solche Systeme je nach Standortbedingungen zu integrieren. Hier ergeben sich auch für die Ackerflächen der Flussauen neue Anbau- und Nutzungsmöglichkeiten.

### **7.3.2.3 Schnellwachsende Baumarten – Festbrennstoffe**

Der Anbau schnellwachsender Baumarten befindet sich derzeit in Deutschland in der Pilotphase (193 ha, Stand 2004). Breitere Anbauerfahrungen liegen in Schweden vor, wo bereits 19.000 ha mit Weiden im Kurzumtriebsverfahren genutzt werden. Der wachsende Bedarf an Energie- und

Industrieholz eröffnet dieser Anbaurichtung mittelfristig eine gute Perspektive. Der feldmäßige Anbau schnellwachsender Baumarten (Pappeln, Weiden, Robinie) unterscheidet sich von der forstlichen Nutzung durch wesentlich höhere Stammzahlen pro Hektar (12.000 Bäume/ha) und kürzere Umtriebs-(Ernte-)Zeiten. Im zwei- bis zehnjährigen Umtrieb werden Schwachholzsortimente erzeugt, die als Brennstoff oder Industrieholz verwendet werden können. Solche Anlagen sind bis zu 20 Jahren nutzbar. Das Ertragsniveau schnellwachsender Baumarten wird durch das Zusammenspiel von Sorte, Boden, Klima und Anbautechnik bestimmt. In Versuchen und im Praxismaßstab werden auf fruchtbaren grundwasserbeeinflussten Ackerflächen sicher Erträge von 10 t TM/ha × a bei mittlerem Umtrieb (4-5jähriger Ernterhythmus) nachgewiesen. Die Ertragsspanne reicht von 6 t TM/ha × a auf nährstoffarmen, grundwasserfernen bis 16 t TM/ha × a auf sehr fruchtbaren Böden.

Für den Anbau der Pappeln und Weiden stehen zahlreiche Sorten, die sehr leistungsstark und gute Resistenzeigenschaften gegen Pilzkrankheiten besitzen, zur Verfügung (Tabelle 26). Die Bestandsgründung erfolgt mit so genannten Steckhölzern. Das sind 20 cm lange einjährige Triebe, die von Mutterpflanzen während der Winterruhe gewonnen werden. Sie werden mit speziellen Pflanzmaschinen aus dem Forstbaumschulbereich bündig mit der Ackeroberfläche in den Boden eingebracht.

Die Bestandesdichte ist abhängig von der Nutzungsrichtung und Umtriebsdauer. Für die Energieholzproduktion (4-5jähriger Umtrieb) haben sich mittlere Bestandesdichten von 8.000 – 12.000 Pflanzen/ha bewährt. Zur Industrieholzgewinnung (Papier, Zellulose) sind geringere Bestandesdichten (2.000 – 3.000 Pflanzen/ha) notwendig. Die Umtriebszeit ist bedeutend länger und beträgt ca. 10 Jahre. Für die Ernte der Energiehölzer stehen vollmechanisierte Verfahren (Fäller-Bündler oder Fäller-Hacker) zur Verfügung. Insgesamt kann der Anbau sehr extensiv gestaltet werden. Pflanzenschutzmaßnahmen beschränken sich auf das erste Standjahr. Die Düngung ist nach Versuchserfahrungen extensiv zu gestalten, da mit dem kernholzreichen weitgehend entlaubten Erntegut wenig Nährstoffe exportiert werden. Die Prozesskette bis zur Hackschnitzelbereitstellung ist in Abbildung 34 dargestellt. Auf der Basis dieser Verfahrenskette ließen sich im landwirtschaftlichen Sektor Anbau- und Verarbeitungszentren für feste Biobrennstoffe aufbauen.

Die Kosten einer Kurzumtriebsplantage werden wesentlich bestimmt von den Anlagekosten (Steckhölzer, Einzäunung als Schutz vor Rehwild). Ein weiterer wesentlicher Kostenfaktor ist die künstliche Trocknung (Kaltbelüftung) der Hackschnitzel. Hier sind durch natürliche Trocknung des Holzes im Lagerstapel erhebliche Einsparungen möglich. Wählt man das Verfahren der natürlichen Trocknung, entstehen deutlich geringere Jahreskosten von 660 €/ha × a. Dies führt zu Stückkosten von 66 €/t TM bei einem Ertrag von 10 t TM/ha × a. Aus einem Großversuch gewonnene langjährige Ertragserhebungen im dreijährigen Kurzumtrieb belegen, dass auf fruchtbaren Ackerstandorten diese Erträge mit Balsampappelhybridsorten und dem Weidenklon 722 (Sorte Zieverich) sicher erreichbar sind. Die Zitterpappelsorten (Astria, Münden) sind langsamwüchsiger und erreichen erst

im 8. – 10. Standjahr ihren vollen Ertragszuwachs (Tabelle 27). Für die Wirtschaftlichkeit sind Erträge von  $\geq 10 \text{ t TM/ha} \times \text{a}$  anzustreben. Sie sichern auch im Vergleich zu Marktfrüchten eine gute Konkurrenzfähigkeit (Tabelle 28 und Tabelle 29).

Auf dem Brennstoff- und Industrieholzmarkt bestehen insgesamt für schnellwachsende Baumarten durchaus gute Marktchancen (Tabelle 30). Zur Verfeuerung der Holzschnitzel steht ein breites Spektrum an Heizkesseln bereit. Sie werden vollautomatisch betrieben und besitzen einen hohen Bedienkomfort, sind technisch ausgereift und sichern in allen Leistungsstufen einen guten, emissionsarmen Ausbrand (Tabelle 31). Im Industrieholzbereich ist ein stärkerer Holzbedarf als Zelluloserohstoff zu erwarten.

Pappeln und Weiden sind Bestandteile der natürlichen Vegetation von Weichholz- und Hartholzauen. Insofern ist davon auszugehen, dass Überschwemmungsereignisse von den Bäumen gut vertragen werden. Die Bäume bieten in diesem Zusammenhang den Vorteil, dass das Wurzelwerk die Erdkrume vor einem stärkeren Abtrag schützt. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Bäume (Weiden und Pappeln) Schadstoffe (Schwermetalle) akkumulieren können. Über den Weg der Verbrennung werden diese Substanzen, die sich in der Gewebefilterasche konzentrieren, als Sondermüll entsorgt.

| Rohstoff        | Öl                         | Lignocellulose  | Fasern            | etherische Öle                           | Biogas  | Stärke Alkohol                                   |
|-----------------|----------------------------|---|-------------------|--|---|--|
| <b>Pflanzen</b> | Winterraps<br>Sonnenblume  | Getreideganzpflanze<br>Miscanthus<br>schnellwachsende<br>Baumarten<br>Rohrglanzgras | Flachs<br>Hanf    | diverse Heil-<br>und Gewürz-<br>pflanzen | Energiemais<br>Sudangras<br>Zuckerhirse<br>Grünroggen<br>Futtergräser | Weizen<br>Triticale<br>Zuckerrüben<br>Kartoffeln |
| <b>Produkte</b> | Biodiesel<br>Schmierstoffe | Festbrennstoffe<br>Industrieholz  | Fasern<br>Schäben | Arzneidrogen<br>Extrakte                 | Brenngas<br>Methan  | Bioalkohol<br>Kraftstoffe                        |

**Abbildung 33 Anbaumöglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe – Übersicht**

Schnellwachsende Bäume erlauben sehr verschiedene Anbauformen. Auf diese Weise können sie an unterschiedliche Schlaggeometrien angepasst und in Biotope integriert werden. Für flutbeeinflusste Ackerflächen und Auengebiete werden mögliche Anbau- und Nutzungsvarianten vorgestellt (Tabelle 32).

**Tabelle 22 Vergleich der Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Winterraps Food und Non-Food auf Flächen mit Energiepflanzenprämie (Schmidt et al., 2005)**

| Kennzahl | ME    | Winterraps |      |
|----------|-------|------------|------|
|          |       | Non-Food   | Food |
| Ertrag   | dt/ha | 35         |      |
| Preis    | €/dt  | 22,00*     |      |

|  |             |              |              |
|--|-------------|--------------|--------------|
| Öffentliche Direktzahlungen                | €/ha        | 350          | 305          |
| <b>Marktleistung**</b>                     | <b>€/ha</b> | <b>1.120</b> | <b>1.075</b> |
| <b>Gesamtkosten</b>                        | <b>€/ha</b> | <b>964</b>   | <b>964</b>   |
| <b>Gewinn (mit Zinsen bzw. Zinsansatz)</b> | <b>€/ha</b> | <b>156</b>   | <b>111</b>   |

\*Prognosewert 2008/09; \*\* mit allen Prämien

**Tabelle 23 Biomassekosten von Feldfrüchten (TTL Jena; Schmidt et al., 2005)**

|  | ME       | GPS-SG | Maissilagen | Kleegras | Grünland | Getreide |
|--|----------|--------|-------------|----------|----------|----------|
| <b>Erzeugungskosten</b>  | €/ha     | 824    | 1288        | 1036     | 219      | 884      |
| Bruttoertrag je ha   | dt TM/ha | 79,2   | 120         | 84,7     | 50       | 55       |
| Flächennutzungsfaktor  |          | 100 %  | 100 %       | 100 %    | 30 %     | 100 %    |
| Nettoertrag frei   | dt TM/ha | 70,9   | 109,3       | 75,8     | 13,1     | 54,7     |
| Biogasanlage   |          |        |             |          |          |          |
| TS-Gehalt  | %        | 40 %   | 32 %        | 35 %     | 35 %     | 86 %     |
| <b>Zahlungsansprüche 2005</b>  | €/ha     | 350    | 337         | 362      | 74       | 337      |
| Energiepflanzenprämie abzüglich Aufwand                                | €/ha     | 25     | 25          | 25       | 7        | 25       |
| geplanter durchschnittl. Gewinn  | €/ha     | 150    | 150         | 150      | 44       | 150      |
| <b>Erzeugungskosten</b>  | €/dt TM  | 8,46   | 9,85        | 10,55    | 13,90    | 12,28    |
| <b>Methanertrag (nach Keymer, 2002)</b>                                | 1/kg oTS | 286    | 322         | 308      | 301      | 370      |
| Biomassekosten an den Stromgestehungskosten (33 % elekt. Wirkungsgrad) |          |        |             |          |          |          |
| <b>Kosten 2005</b>   | Cent/kWh | 9,2    | 9,5         | 10,6     | 14,3     | 10,3     |

GPS = Ganzpflanzensilage; SG = Sommergetreide

**Tabelle 24 Einsatz von Maissilage in Biogasanlagen (Jäkel, 2005)**

|   | ME                     | Altanlagen  | Neuanlagen     |                |
|---|------------------------|-------------|----------------|----------------|
|   |                        | EEG         | EEG bis 150 kW | EEG bis 500 kW |
| Bruttoertrag                                  | dt/ha                  | 450         | 450            |                |
| Nettoertrag                                   | dt/ha                  | 378         | 378            |                |
| Gasausbeute                                   | m <sup>3</sup> /kg oTS | 0,6         | 0,6            |                |
| Gasertrag                                     | m <sup>3</sup> /ha     | 6124        | 6124           |                |
| Energiegehalt                                 | kWh/ha                 | 34292       | 34292          |                |
| nutzbarer Strom                               | kWh/ha                 | 10411       | 10411          |                |
| Erlös Strom                                   | EUR/ha                 | 1666        | 1822           | 1655           |
| Düngewertanteil                               | EUR/ha                 | 151         | 151            | 151            |
| <b>Gesamterlös</b>                            | <b>EUR/ha</b>          | <b>1817</b> | <b>1973</b>    | <b>1806</b>    |
| Ausbringungskosten (2,5 €/m <sup>3</sup> )    | EUR/ha                 | 66          | 66             |                |
| Erweiterung Dünglager (1,5 €/m <sup>3</sup> ) | EUR/ha                 | 40          | 40             |                |
| Kosten Biogasanlage (0,07 €/kWhel)*           | EUR/ha                 | 729         | 729            |                |
| Anbau-/Silierkosten (2,5 €/dt FM)             | EUR/ha                 | 945         | 945            |                |
| <b>Gesamtkosten</b>                           | <b>EUR/ha</b>          | <b>1780</b> | <b>1780</b>    |                |
| <b>Gewinn o. P.</b>                           | <b>EUR/ha</b>          | <b>38</b>   | <b>194</b>     | <b>26</b>      |
| <b>Gesamtkosten</b>                           | <b>EUR/kWh</b>         | <b>0,17</b> | <b>0,17</b>    | <b>0,17</b>    |
| <b>EEG-Vergütung</b>                          | <b>EUR/kWh</b>         | <b>0,16</b> | <b>0,175</b>   | <b>0,16**</b>  |

\*aus Vollkostenrechnung von 15 Anlagen; \*\* Mischpreis muss berechnet werden

**Tabelle 25 Energiemaissorten – Übersicht (nach Eder, LfL Bayern, 2005)**

| Land        | Sorte      | Ertrag dt TM/ha |      |
|-------------|------------|-----------------|------|
|             |            | 2002            | 2003 |
| Deutschland | Gavott     | 240             | 200  |
|             | KX         | 250             |      |
|             | 2181       | 250             |      |
|             | KXA        | -               | 220  |
|             | 3191       | -               | 230  |
| Frankreich  | Vie        | 250             | 200  |
|             | KX         | 220 1)          | 220  |
|             | 1393       | 260             | 250  |
| Italien     | MKarb      | 270             | 255  |
|             | Doge       | 250             | -    |
|             | Kismet     | 250             | -    |
|             | Hybride 59 | -               | 240  |

**Tabelle 26 Übersicht zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb**

|  |   |
|--|---|
| <b>Standortansprüche</b>                         |   |
| Sand- und Lehmböden mit fließendem Grundwasser   |   |
| Mindestbodenqualität: Böden mit Ackerwertzahl 30 |   |
| Niederschläge: mindestens 500 mm pro Jahr        |   |
| <b>Sorten (Auswahl)</b>                          |   |
| <b>Pappelsorten:</b>                             |   |
| Muhle Larsen                                     | - hohe Ertragsleistung (mini-Rotation)  |
| Androscoggin                                     | - mittlere bis hohe Ertragsleistung (midi-Rotation)                                   |
| Baupré   | - sehr hohe Ertragsleistung bei allen Rotationstypen                                  |
| Max1-5   | - hohe Ertragsleistung bei allen Rotationstypen                                       |
| Barn   |   |
| Donk   |   |
| Rap  |   |
| Münden   | - hohe Leistung bei maxi-Rotation   |
| Matrix   | - sehr hohe Leistung in allen Rotationstypen  |
| <b>Weidesorten:</b>                              |   |
| Zieverich  | - hohe Ertragsleistung mini-Rotation  |
| Carmen   | - hohe Ertragsleistung mini-Rotation  |
| Rapp   | - mittlere Resistenz gegen Blattrost  |
| Tora   | - hohe Zuwachsraten, kaum Wildverbiss, weitgehende Blattrostresistenz                 |
| Sven   | - Hohertragssorte, hohe Resistenz gegen Blattrost                                     |
| Gudrun   | - hohe Frosttoleranz, geringer Wassergehalt zur Ernte, Resistenz gegen Blattbockkäfer |

**Tabelle 27 Erträge schnellwachsender Baumarten – Standort Kalkreuth, stark sandiger Lehm, Ackerzahl 49, Bestandesdichte 17.778 Pflanzen/ha**

| Sorte        | Kreuzung                        | Gesamtzuwachs in 8 Jahren<br>t TM/ha | dGZ <sup>1)</sup><br>t TM/ha x a |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Muhle Larsen | P. trichocarpa                  | 80,7                                 | 10,1                             |
| Max 1        | P. nigra x P. maximovizcii      | 95,8                                 | 12,0                             |
| Max 3        | P. nigra x P. maximovizcii      | 94,3                                 | 11,8                             |
| Baupré       | P. trichocarpa x P. tremuloides | 111,9                                | 14,0                             |
| Astria       | P. tremula x P. tremuloides     | 65,8                                 | 8,2                              |
| Münden       | P. tremula x P. tremuloides     | 45,5                                 | 5,8                              |
| Korbweide    | Salix viminalis, Klon 722       | 115,4                                | 14,4                             |

<sup>1)</sup> dGZ – durchschnittlicher Gesamtzuwachs

**Tabelle 28 Vollkostenkalkulation für den Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb; Annahme: 11.000 Bäume/ha, 20 Nutzungsjahre, Umtrieb 4 Jahre**

| Position                       | Anzahl Maßnahmen | Gesamtkosten (20 Jahre) € |
|--------------------------------|------------------|---------------------------|
| Bodenvorbereitung              | 1                | 130                       |
| Pflanzgut (0,08 €/Steckling)   | 1                | 880                       |
| Pflanzen                       | 1                | 437                       |
| Einzäunen                      | 1                | 767                       |
| <b>ANLAGEKOSTEN gesamt</b>     |                  | <b>2214 (111)*</b>        |
| Düngung/Pflege                 | 5                | 1123                      |
| Ernte                          | 5                | 2455                      |
| Trocknung/Lagerung             | 5                | 5711                      |
| Rekultivierung der Fläche      | 1                | 307                       |
| <b>VERFAHRENSKOSTEN gesamt</b> |                  | <b>9596 (480)*</b>        |
| <b>ALLGEMEINKOSTEN</b>         | <b>20</b>        | <b>7160 (358)*</b>        |
| <b>GESAMTKOSTEN</b>            |                  | <b>18970</b>              |
| <b>GESAMTKOSTEN €/ha × a</b>   |                  | <b>948</b>                |

\* Jahreskosten €/ha × a)

**Tabelle 29 Kosten-Leistungsvergleich für die Hackschnitzelbereitstellung aus Kurzumtriebsanbau schnellwachsender Baumarten**

|                                 |                 |              |             |             |
|---------------------------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|
| Ertragsniveau                   | t TM/ha × a     | 8            | 10          | 12          |
| Stückkosten                     | €/t TM          | 118          | 95          | 79          |
| <b>Leistungen</b>               |                 |              |             |             |
| AL/LF-Anspruch (309 €/ha)       | €/t TM          | 39           | 31          | 26          |
| Energiepflanzenprämie (45 €/ha) | €/t TM          | 5,6          | 4,5         | 3,8         |
| Erlöse Hackschnitzel            | €/t TM          | 60,0         | 60,0        | 60,0        |
| <b>Leistungen gesamt</b>        | <b>€/t TM</b>   | <b>104,6</b> | <b>95,5</b> | <b>109</b>  |
| <b>Gewinn/Verlust</b>           | <b>€/t TM</b>   | <b>-13</b>   | <b>±0</b>   | <b>29,8</b> |
| <b>Gewinn/Verlust</b>           | <b>€/ha × a</b> | <b>-104</b>  | <b>±0</b>   | <b>358</b>  |

**Tabelle 30 Chancen schnellwachsender Baumarten auf dem Industrie- und Energiemarkt**

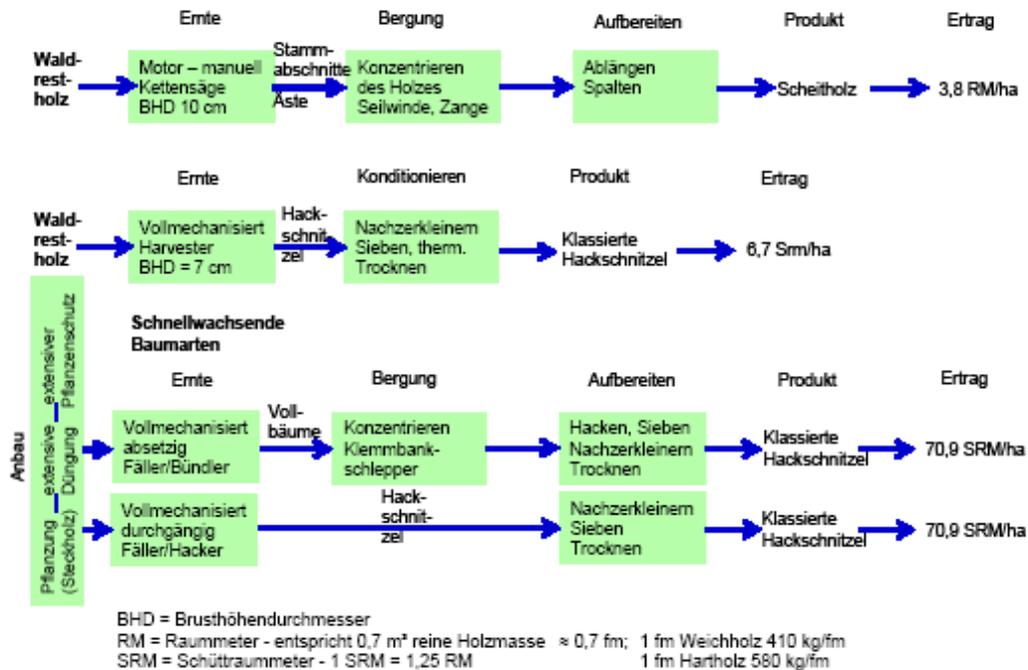
| Verwertung                             | Rohstoff  | Aktuelle Marktsituation   | Markt/ Tendenz  |
|--|---|---|---|
| Papier, Zellulose                      | 1 – 2 m lange Stammabschnitte, Ø ≥ 10 cm Pappel | gering für einheimische Pappel  | Zunahme Papierbedarf steigend   |
| Holzfaserdämmplatten (≤ 400 kg/m³)     | Hackschnitzel (Pappel)                          | kein Markt, nur Altholz / Industriestholzsortimente   | Zumischen (10 – 20 %) möglich   |
| Holzhartfaserplatten (650 – 900 kg/m³) | Hackschnitzel (Pappel)                          | kein Markt, nur Altholz / Industriestholzsortimente   | Zumischen (10 – 20 %) möglich   |
| Extraktgewinnung                       | ein- bis dreijährige Weidentriebe               | Nischenmarkt  | gleich bleibend bis leicht ansteigend   |
| Wärme / Strom                          | Hackschnitzel, Pellets Pappel / Weide           | geringer Einsatz (Pilotanlagen), haupts. Altholz für Hackschnitzel, Industriestholz für Pellets | mittelfr. ansteigend, langfr. stark ansteigend (Verknappung Altholz, Kostenanstieg fossile Energieträger, Einführung CO <sub>2</sub> -Steuer) |
| Methan synth. Kraftstoff               | Hackschnitzel Pappel / Weide                    | kein Markt (Pilotphase)   | mittelfr. ansteigend, langfr. stark ansteigend  |

**Tabelle 31 Wichtige Bauarten automatisch beschickter Feststofffeuerungen**

| Typ                                     | Leistungsbereich                         | Brennstoffe                        | Wassergehalte |
|---|--|------------------------------------|---------------|
| Unterschubfeuerung                      | 10 KW – 2,5 MW                           | Hackschnitzel, Holzpellets         | 5 – 50        |
| Vorschubrostfeuerung                    | 150 KW – 15 MW                           | Alle Holzbrennstoffe               | 5 – 60        |
| Unterschubfeuerung mit rotierendem Rost | 2 MW – 5 MW                              | Hackschnitzel                      | 40 – 65       |
| Vorofenfeuerung mit Rost                | 20 KW – 1,5 MW                           | Trockene Holzhackschnitzel         | 5 – 35        |
| Feuerung mit Fallschacht                | 2,5 KW – 30 KW                           | Holzpellets, Präzisionshackgut     | bis 15        |
| Feuerung mit Rotationsgebläse           | 80 KW – 300 KW                           | Schleifstaub, Späne, Hackschnitzel | bis 40        |
| Einblasfeuerung                         | 2 MW – 10 MW                             | Partikel ≤ 5 mm                    | < 20          |
| Stationäre Wirbelschichtfeuerung        | 5 MW – 15 MW                             | Partikeldurchmesser ≤ 10 mm        | 5 – 60        |
| Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung     | 15 MW – 100 MW                           |                                    |               |
| Staubbrenner in Kohlekraftwerken        | 0,1 GW – 1,0 GW max. 10 % Biomasseanteil |                                    |               |

**Tabelle 32 Anbauvarianten für schnellwachsende Baumarten**

| Anbauform  | Eignung für Hochwasser gefährdete Flächen   | Nutzung  | Bestandesdichte   |
|--|---|--|---|
| Feldmäßiger Anbau  | Ackerflächen mit mittlerer bis hoher Hochwasser-Eintrittswahrscheinlichkeit                               | Kurzumtrieb 4 bis 4-jährige Ernte<br>Energieholzgewinnung    | Bestandesdichte ca. 8.000 bis 10.000 Pflanzen pro Hektar          |
| Streifenanbau mehrreihig mit Anteilen hochwachsender und strauchförmiger Bäume | Strukturierung von Ackerschlägen durch Anlage von Feldstreifen, um die Wasser- und Winderosion zu mindern | Partielle Beerntung zur Aufrechterhaltung der Schutzfunktion | Bestandesdichte im Streifen 10.000 bis 12.000 Pflanzen pro Hektar |
| Gehölzgruppen  | Integrierbar in flutbeeinflusste Flächen der Auengebiete  | Industrieholz 10 bis 15jähriger Umtrieb                      | Lockerer Aufbau   |



**Abbildung 34 Anbau und Bereitstellung von Biomasse – Holzartige Biomasse**

**7.3.2.4 Miscanthus – Festbrennstoff**

Miscanthus wird in Sachsen seit 1994 im Versuchsanbau und auf kleineren Praxisflächen angebaut. Das aus dem subtropischen Klimaraum stammende ausdauernde Gras besitzt eine große ökologische Streubreite. Im gemäßigten Klimaraum ist es seit 1935 zunächst als gärtnerische Kulturpflanze erfolgreich eingeführt worden. Inzwischen bestehen gesicherte Anbauverfahren im feldmäßigen Anbau.

Die Kultivierung erfolgt über Jungpflanzen oder Rhizome. Es werden aus ökonomischer Sicht eine Jungpflanze bzw. ein Rhizomstück/m<sup>2</sup> ausgebracht. Die beste Pflanzzeit ist im Mai bei Bodentemperaturen von 8 – 10 °C. Im ersten und zweiten Standjahr bilden sich aus den Jungpflanzen/Rhizomen zahlreiche Triebe, so dass ein dichter flächendeckender Bestand ab dem zweiten Standjahr entsteht. Pflegemaßnahmen zur Unkrautregulierung beschränken sich auf das erste Standjahr. Die Nährstoffansprüche von Miscanthus sind sehr moderat einzustufen. Eine niedrige bis mittlere N-Gabe (60 – 80 kg N/ha) sollte jährlich nach der Ernte erfolgen. Bei der PK-Versorgung der Bestände empfiehlt sich eine Vorratsdüngung.

Der optimale Erntezeitpunkt ist ausgangs des Winters. Die Stängel sind dann gelb und weitgehend entblättert und besitzen die für eine Lagerung und Aufbereitung günstige Feuchte von ≤ 20 %. Als Ernteverfahren kommen vor allem die Häcksel- und Ballenlinie (Verfahren 1 bis 3, Abbildung 35) in Frage. Die selbstfahrende Pelletiermaschine (Verfahren 4) ist im Erprobungsstadium und noch nicht praxiseingeführt.

Aus langjährigen Versuchen und im Pilotanbau in der Praxis sind belastbare Aussagen zum Ertragsniveau von Miscanthusbeständen ableitbar (Tabelle 33). Danach sind Erträge von durchschnittlich 14 t TM/ha realistisch. Unter Voraussetzung einer ausreichenden Wassernachlieferung des Bodens steigen die Erträge mit zunehmender Wärmesumme an. In Versuchen sind Erträge von 20 t TM/ha mehrjährig nachgewiesen worden. Damit ist ein beachtlicher flächenbezogener Heizöläquivalentertrag verbunden.

Der Anbau von Miscanthus bewegt sich noch in der Pilotphase (159 ha Deutschland, 19 ha Sachsen; Stand 2004). Vor allem wirtschaftliche Gründe und die in den ersten Jahren der Einführung aufgetretenen und inzwischen abgestellten Auswinterungsprobleme haben die breite Markteinführung dieser interessanten Kulturart bisher verhindert.

Anwendungsbezogene Forschungen zur stofflichen Nutzung von Miscanthus zeigen jedoch eine breite Palette von Einsatzmöglichkeiten mit technischen Vorteilen auf (Abbildung 36). Die erfolgreichen Produktentwicklungen harren im wesentlichen noch der Umsetzung. In jüngster Zeit entwickelt sich eine spürbare Nachfrage nach Miscanthushäcksel im Bereich Bauzuschlagstoffe und Tiereinstreu für Hochleistungspferde sowie als Mulchsubstrat. Bei der geringen Anbaufläche ist bereits eine Verknappung in der Rohstofflieferung aufgetreten.

Miscanthusstängel sind ebenso wie Stroh ein halmgutartiger Brennstoff mit einem unteren Heizwert von 17,2 MJ/kg TS/atrol. In der chemischen Zusammensetzung ist es mit Stroh bzw. Ganzpflanzengetreide vergleichbar (Tabelle 34). Im Abbrand sind damit ähnliche Probleme zu erwarten. Pelletierung mit abbrandverbessernden Zuschlagstoffen, die Mitbrennung mit Holzhackschnitzeln und Einsatz von speziellen Strohheizkesseln sind bereits beschrittene Wege, um Miscanthusstroh einem emissionsarmen Abbrand zuzuführen.

In der Schweiz (300 ha) und England (3000 ha) ist die breite Nutzung von Miscanthus als Torfersatzstoff und Brennstoff in 2003 eingeleitet worden.

Die Anbaukosten unterscheiden sich nach dem Etablierungsverfahren (Jungpflanzen/Rhizome). Da die Bestandsgründung wesentlich das Gesamtkostenniveau beeinflusst, bestehen Vorteile in der preiswerteren Rhizompflanzung. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 15 t TM/ha × a ist mit Stückkosten von 67 €/t TM (Jungpflanzen) bzw. 60 €/t TM/ha (Rhizome) zu rechnen (Tabelle 35). Energetisch ergeben sich daraus Kosten in Höhe von 1,4 Cent/kWh. Damit ist Miscanthus zu anderen Bioenergieträgern und Heizöl konkurrenzfähig.

Miscanthus ist ein mehrjähriges Gras, das gut auf verschiedenen Böden gedeiht. Es kann sehr extensiv geführt werden. Man kann ihm auf Grund seiner Verbreitung in den Uferzonen von Fluss- und Seengebieten im Ursprungsgebiet eine gewisse Resistenz gegenüber Überschwemmungen zusprechen. Als horstbildendes Gras mit kräftigem dichten Rhizomansatz und bis zu 2 m tiefgehenden Wurzeln bindet es die Ackerkrume gegenüber der Einwirkung von Starkwind und Starkregenereignissen.

Miscanthus kann variabel angebaut werden. Solche Varianten sind die Gestaltung von Feldstreifen (2 – 8 m breit) auf Ackerschlägen, der feldmäßige Anbau auf Großschlägen, die Anlage von Schutzstreifen im Bereich von Gewässerzonen oder die Integration in Biotopverbunde (RÖHRICHT, RUSCHER, 2003).

Derzeit zeichnet sich eine wachsende Nachfrage an Miscanthus für hochwertiges Einstreumaterial als Häcksel und Pellets für Sportpferde ab. Die Preise liegen durchaus im wirtschaftlichen Bereich. Als weiteres wirtschaftliches Segment könnte sich der Brennstoffpelletmarkt entwickeln. Aus den Qualitätsanforderungen für diese Produkte geht hervor, dass entsprechend hohe Aufbereitungsstufen (Entstaubung, Fraktionierung, Pelletierung) anzustreben sind (Tabelle 36).

Miscanthus besitzt günstige anbautechnische und ökologische Eigenschaften für den Anbau auf hochwassergefährdeten Ackerflächen. Vom ursprünglichen Verbreitungsgebiet ausgehend, können mittlere Überschwemmungsereignisse ohne Schaden überstanden werden. Der Anbau ist sehr extensiv (ohne Pflanzenschutz, geringe Düngung) bei hohem Ertragsniveau möglich. Die Anlage und Ernte von Miscanthusbeständen ist mit den in landwirtschaftlichen Betrieben verfügbaren Techniken realisierbar.

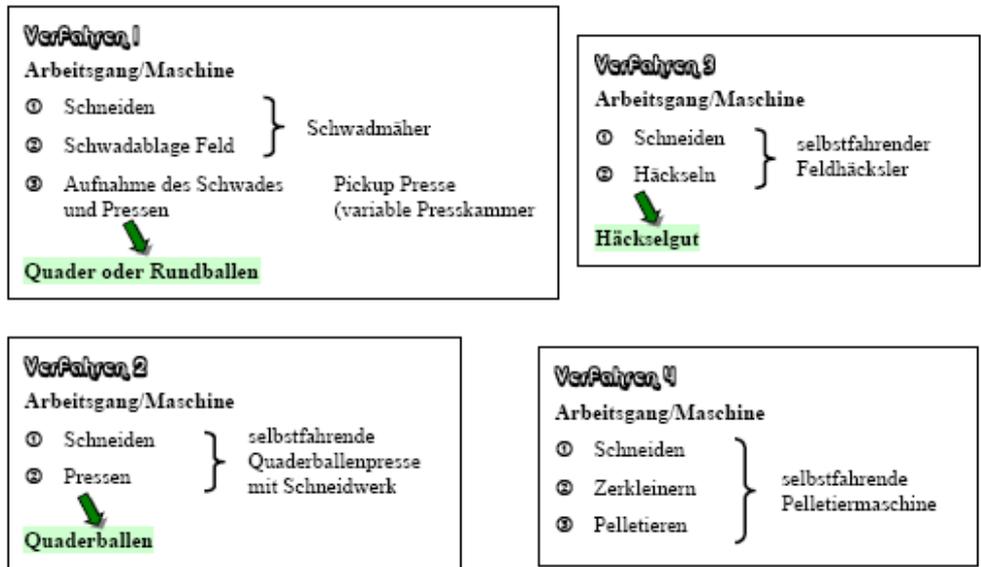


Abbildung 35 Verfahren Miscanthus-Ernte

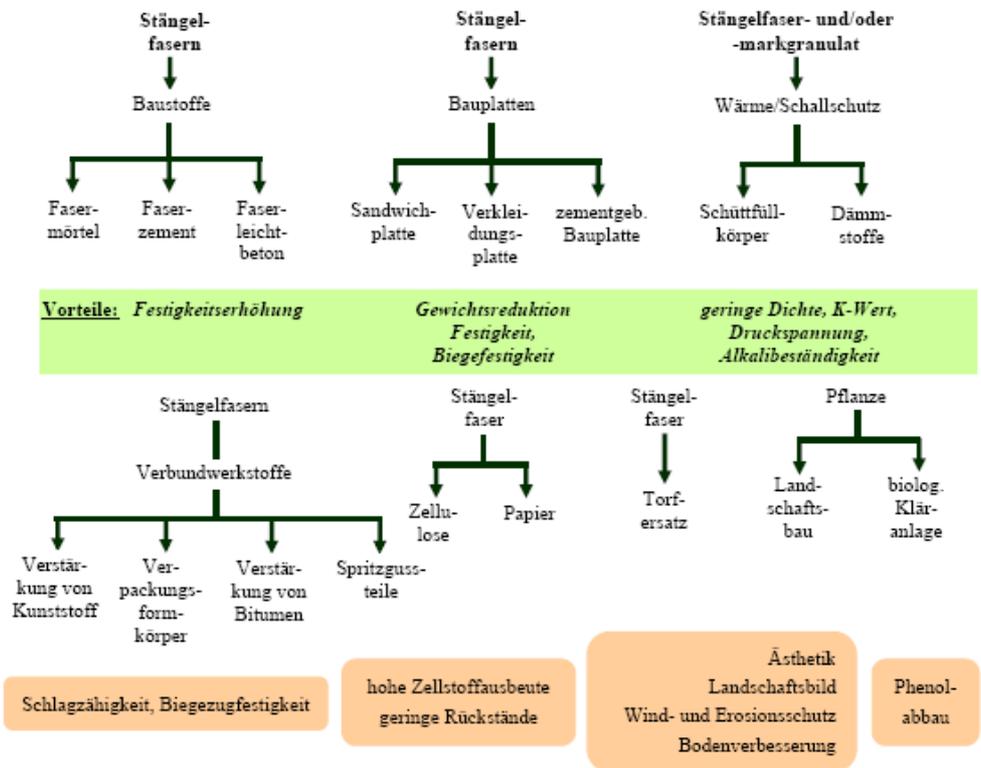


Abbildung 36 Stoffliche Einsatzmöglichkeiten von Miscanthus sinensis

**Tabelle 33 Erträge von Miscanthus sinensis var. Giganteus in Anbauversuchen unter gemäßigten Klimabedingungen <sup>1)</sup> (Schwarz und Schnug, 1994; Röhricht et al., 2002)**

| Bodenklassifikation  | Alter des Pflanzenbestandes | mittlerer Ertrag | Ertragsspanne | Heizöläquivalent bei mittlerem Ertragsniveau 2)<br>kg/ha × a          |
|--|-----------------------------|------------------|---------------|---|
|  | Jahr                        | t TM/ha × a      | t TM/ha × a   |   |
| leichte Böden Sand   | 3 – 10                      | 10               | 8 – 12        | 4028  |
| mittlere Böden SL – sL   | 3 – 10                      | 14               | 12 – 16       | 5639  |
| schwere Böden Löß-Lehm   | 3 – 10                      | 18               | 16 – 22       | 7250  |
| <sup>1)</sup> Bedingungen:<br>Niederschläge in Vegetationszeit (Mai bis Oktober): 300 – 600 mm<br>Temperatursumme in der Vegetationszeit: 2200 – 2700 °C |                             |                  |               | <sup>2)</sup> Miscanthus:<br>17,2 MJ/kg atro<br>Heizöl:<br>42,7 MJ/kg |

**Tabelle 34 Brennstoffeigenschaften ausgewählter Biobrennstoffe**

| Energiepflanze     | Ernteprodukt | N              | K    | Cl   | S               | Asche |
|--------------------|--------------|----------------|------|------|-----------------|-------|
|                    |              | Gehalt in % TS |      |      | in % Brennstoff |       |
| Wintertriticale    | Ganzpflanze  | 1,00           | 1,07 | 0,25 | 0,08            | 4,15  |
| Weidelgras         | Ganzpflanze  | 1,27           | 1,50 | 0,41 | 0,15            | 7,22  |
| Miscanthus         | Stängel      | 0,61           | 0,86 | 0,41 | 0,14            | 3,10  |
| Topinambur         | Stängel      | 0,54           | 0,32 | 0,03 | 0,08            | 4,52  |
| 3-jähriger Umtrieb |              |                |      |      |                 |       |
| Pappelklone        | Schwachholz  | 0,44           | 0,36 | 0,02 | 0,03            | 2,32  |

**Tabelle 35 Kostenkalkulation Miscanthus Anbauverfahren**

|  | Jungpflanzenverfahren | Rhizomverfahren |  |
|--|-----------------------|-----------------|--|
| Bestandsgründung Ertrag                                  | 15 t TM/ha            | 15 t TM/ha      |  |
| Grundbodenbearbeitung Pflügen                            | 62,38                 | 62,38           |  |
| Pflanzbettbereitung Grubbern                             | 33,75                 | 33,75           |  |
| Eggen  | 21,47                 | 21,47           |  |
| Pflanzen 2,0 m, vierreihig, 5 AK; 10000 Pflanzen/ha      | 178,95                | 92,03           | Kartoffellegemaschine 4 Reihen, 1 AK     |
| Pflege 1. Standjahr Striegeln 2x                         | 38,35                 | 38,35           |  |
| Hacken 1x  | 38,35                 | 38,35           |  |
| Materialkosten Pflanzgut 0,35 €/ Jungpfl., 10000 Pfl./ha | 3500                  | 800             | Rhizomstücke 0,20 €/ Stück; 4000 Stck/ha |
| entgangener DB 1. Jahr                                   | 427,44                | 427,44          |  |
| Summe  | 4300,68               | 713,76          |  |
| Abschreibung 15 Jahre, 7 % Zinsen                        | 480,90                | 302,93          |  |
| <b>Gesamtsumme</b>                                       | <b>4781,58</b>        | <b>1016,69</b>  |  |
| Anlagekosten €/ha u.a.                                   | 318,77                | 204,12          |  |

|  |                |                |
|--|----------------|----------------|
| Produktionskosten in €/ha                              |                |                |
| Düngemittel 60 kg N/ha                                 | 30,68          | 30,68          |
| 10 kg P/ha   | 4,09           | 4,09           |
| 50 kg K/ha   | 15,34          | 15,34          |
| Düngertransport 5 km, 3,5 t                            | 1,53           | 1,53           |
| Düngerstreuen  | 10,23          | 10,23          |
| Ernte  |                |                |
| selbstfahrender Mähhäcksler                            | 409,03         | 409,03         |
| Häckseltransport                                       |                |                |
| 6,5 t/Wagen  | 72,60          | 72,60          |
| Fixkosten  | 460,16         | 460,16         |
| <b>Summe</b>   | <b>1003,67</b> | <b>1003,67</b> |
| Bereitstellungskosten ohne AL-Prämie €/ha a            | 1322,44        | 1207,79        |
| Bereitstellungskosten mit AL-Prämie (309 €/ha)         | 1013,44        | 898,79         |
| Bereitstellungskosten ohne AL-Prämie (309 €/ha) €/t TM | 88,16          | 80,52          |
| Bereitstellungskosten mit AL-Prämie (309 €/ha)         | 67,56          | 59,92          |

**Tabelle 36 Qualitätsanforderungen an Ernteprodukte von Miscanthus sinensis**

| Produkt                               | Feuchte<br>% | Kantenlänge<br>mm | Blattanteil<br>% | Fremdbestandteile<br>% | Staub<br>% | Unter- u. Übergrößen<br>% | Einsatzgebiet                          | Marktpreis<br>Häcksel |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|------------------|------------------------|------------|---------------------------|--|-----------------------|
| Hochgereinigte, fraktionierte Häcksel | 15           | 20 – 30           | 2                | 2                      | 1          | 2                         | Einstreu f. Hochleistungspferde        | 20 Cent/kg            |
| Einfach aufbereitete Häcksel          | 15           | 20 – 30           | 2                | 3                      | 2          | 5                         | Bauzuschlagstoffe, Mulch               | 10 Cent/kg            |
| Pellets                               | 15           | 20 – 30           | 3                | 2                      | 3          | 3                         | Brennstoffe, Einstreu Leistungs-pferde | 10 Cent/kg            |

### 7.3.2.5 Ganzpflanzengetreide – Festbrennstoff

Bei Getreideganzpflanzen wird im Gegensatz zur konventionellen Kornernte der Halm und das Korn nicht separiert, sondern als Ganzes geerntet. Als Energieträger sind die verschiedenen Wintergetreidearten gut geeignet. Vorzugsweise sind es proteinarmer Massenweizen, Wintertriticale und Winterroggen.

Der Anbau unterscheidet sich vom Nahrungsgetreide durch eine geringere Düngergabe an Stickstoff und Kalium (Wegfall der 3. N-Gabe; keine direkte Kalidüngung). Auch im Pflanzenschutz kann in der Regel auf eine intensive Behandlung von Ährenkrankheiten verzichtet werden. Die

Ernte sollte im Stadium der Gelbreife erfolgen, um einen festen Kornsitz zu gewährleisten. Zur Ernte wird der Schwadmäher eingesetzt. Durch eine dreitägige Feldliegezeit wird in der Regel gewährleistet, dass das im Vergleich zum Korn feuchtere Stroh gut abtrocknen kann. Die weiteren Verfahrensschritte umfassen die Aufnahme des Ganzpflanzenschwades durch eine Ballenpresse und den Umschlag und Transport der Ballen bis zur Heizanlage oder der Pelletieranlage (Abbildung 37).

Die heizungstechnischen Probleme sind wie beim Getreidestroh, Heu durch die hohen Gehalte der Biomasse an Stickstoff, Kalium und Chlor bestimmt. Sie verlangen entsprechende Anpassungen der Feuerungsanlagen bezüglich Abbrandtemperatur (900 °C), Korrosionsschutz und Staubfilterung sowie NO<sub>x</sub>-Reduktion. Die Erträge an Biomasse schwanken je nach Getreideart, Standort und Anbauintensität zwischen 8 – 14 t TM/ha. Bei diesem Ertragsniveau können mit Ganzpflanzengetreide 2,8 bis 4,9 t Heizöl nachhaltig ersetzt werden.

Die Kosten zur Bereitstellung von Ganzpflanzengetreide (Ballen) sind bei reduziertem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln mit 66 €/t TM (15 % Wassergehalt) zu kalkulieren, wenn die AL-Prämie berücksichtigt wird (Tabelle 37). Wird das Ganzpflanzengetreide zu Pellets aufbereitet, entstehen Kosten in Höhe von 92 €/t TM (Tabelle 38). Daraus resultieren Brennstoffpreise von durchschnittlich 82 €/t TM (Ballen) bis 140 €/t (Pellets).

Der Anbau auf hochwassergefährdetem Ackerland mit Getreideganzpflanzen ist als realistische Alternative für Flächen mit geringem Überschwemmungsrisiko zu bewerten. Auf überschwemmungsbedingte Risiken wie Lagerung des Getreides ist in diesem Zusammenhang hinzuweisen. Kurzfristige Überstauungen (Starkniederschläge, Schmelzwasser) im frühen Entwicklungsstadium des Getreides werden vertragen. Für die Verwertung als Festbrennstoff können erhöhte Belastungen des Getreides mit Schwermetallen oder lebensmittelbelastenden Mikroorganismen toleriert werden.

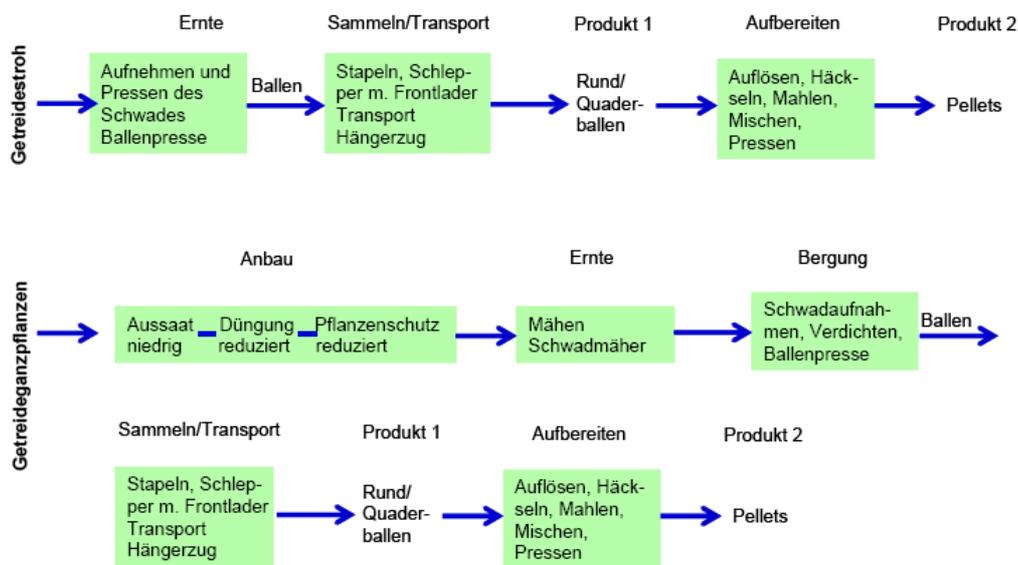


Abbildung 37 Anbau und Bereitstellung von Biomasse – Halmgutartige Biomasse

Tabelle 37 Kostenanalyse für die Prozesskette Energiepflanzengetreide (Wintertriticale) für mittleres Ertragsniveau 12 t/TM (15 % Wassergehalt) – Ballenlinie

| Kostenposition                                    | ME          | Betrag         |
|---|-------------|----------------|
| <b>Anbau</b>                                      | <b>€/ha</b> |                |
| Saatgut   |             | 74,00          |
| Düngemittel                                       |             | 133,00         |
| Pflanzenschutz                                    |             | 84,00          |
| Maschineneinsatz                                  |             | 154,00         |
| Lohnkosten  |             | 52,00          |
| <b>Bergung</b>                                    | <b>€/ha</b> |                |
| Schwadmähen                                       |             | 20,00          |
| Schwadwenden                                      |             | 2,00           |
| Ballenpressen                                     |             | 65,00          |
| Laden im Feld                                     |             | 12,00          |
| Transport Feld – Lager                            |             | 21,00          |
| Lagerbeschickung                                  |             | 11,00          |
| <b>Fixkosten</b>                                  | <b>€/ha</b> | <b>470,00</b>  |
| <b>Gesamtkosten</b>                               | <b>€/ha</b> | <b>1098,00</b> |
| <b>Bereitstellungskosten bei Abzug der Prämie</b> |             |                |
| je Hektar Ackerland                               | €/ha        | 789,00         |
| 309 €/ha  | €/t TM      | 65,75          |
|   | Cent/kWh    | 1,5            |
| <b>Bereitstellungskosten ohne Prämie</b>          |             |                |
|   | €/ha        | 1098,00        |
|   | €/t TM      | 91,50          |
|   | Cent/kWh    | 2,03           |

**Tabelle 38 Kosten Ganzpflanzengetreide-Pellets**

| Kostenposition  | €/t    |
|---|--------|
| GP-Ballen   | 91,50  |
| Transport GP-Ballen Lager-Pelletanlage (10 km) 3,78 €/t | 3,78   |
| Pelletieren   | 46,00  |
| Transport Heizanlage                                    | 6,23   |
| Kosten frei Heizanlage                                  | 147,51 |
| Brennstoffpreis   | 165,00 |

**7.3.2.6 Rohrglanzgras – Festbrennstoff**

Rohrglanzgras ist eine massenwüchsiges, ausdauerndes Gras, das auf feuchten bis nassen Wiesen auftritt. Es verträgt gut Überflutungen durch fließendes Gewässer. Auf stehendes Wasser reagiert es bei längerer Einwirkungszeit allerdings empfindlich.

Auf Grund der guten Anpassung an feuchtere Standorte und der hohen Überflutungstoleranz ist Rohrglanzgras prädestiniert für den Anbau in Überschwemmungszonen. Als weitere Vorteile sind zu nennen; die gute Verträglichkeit einer Spätschnittnutzung (zur Blüte) für die Festbrennstofflinie. Der Ertrag über 4 Nutzungsjahre liegt im Bereich zwischen 8 – 12 t TM/ha (sL) und 8 – 20 t TM/ha auf einem LT-Boden, wobei die höchsten Erträge in den ersten beiden Nutzungsjahren liegen (MEDIAVILLA, LEHMANN et al. 1997). Auf Ernteverluste von 30 – 35 % wird hingewiesen, so dass von Nettoerträgen in der Größenordnung 6 bis 14 t TM/ha auszugehen ist. Bei Nettoerträgen von 6 – 8 t TM/ha entstehen Kosten von 132 bis 121 €/t. Moderate N-Gaben von 50 – 80 kg N/ha pro Schnitt wirken ertragssteigernd. Neben der einschnittigen Nutzungsvariante (Festbrennstoff mit hohem Anteil an Lignocellulose) ist auch eine 2-schnittige Verfahrensvariante zur Grassilageherstellung möglich. Ein weiterer Ansatz ist die Doppelnutzung, in dem der erste Schnitt für die Biogasproduktion (Silage) und der zweite Schnitt für Festbrennstoffe (Heu) genutzt wird. Die anbau- und brennstofftechnischen Daten sind in Tabelle 39 zusammengestellt.

**Tabelle 39 Ausgewählte anbau- und brennstofftechnische Daten von Rohrglanzgras (El Bassam, 1998; Schrader und Kaltofen, 1987)**

| Standort-ansprüche   | Ertrags-niveau  | Düngung                   | Schnitt-häufigkeit       | Schnitt-termin        | Verwertung  |
|--|---|---------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|
| Frische bis nasse Standorte; Flussniederungen mit häufiger Überflutung im Winterhalbjahr (2 – 3 Monate) in Vegetationszeit Grundwasser auf 40 cm unter Gelände | 8 – 10 t TM/ha sandige Lehme<br><br>10 – 20 t TM/ha Lehmton | 50 – 80 kg/ha und Schnitt | 2 – 3                    | Mai, Juni, Juli       | Silage, Heu |
| <b>Brennstofftechnische Daten</b>  |   |                           |                          |                       |             |
| <b>Ertragsniveau</b>   | <b>Heizwert</b>   | <b>Energie-ertrag</b>     | <b>Heizöl-äquivalent</b> | <b>Biogasausbeute</b> |             |

|                                 | Hu MJ/kg TMatro | GJ/ha     | T Öl/ha     | m <sup>3</sup> /kg<br>oTS<br>Brutto | m <sup>3</sup> /ha<br>Brutto |
|---------------------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 8 – 10 t TM/ha<br>sandige Lehme | 17,9            | 143 – 179 | 3,3 – 4,2   | 0,5                                 | 3600 –<br>4500               |
| 10 – 20 t TM/ha<br>Lehmtou      | 17,9            | 179 – 358 | 4,2 – 8,4   | 0,5                                 | 4500 –<br>9000               |
| Mineralstoffzusammensetzung     |                 |           |             |                                     |                              |
| Kennzahl in % TS                | Sommerschnitt   |           | Späte Ernte |                                     |                              |
| Asche                           | 6,40            |           | 5,60        |                                     |                              |
| N                               | 1,33            |           | 0,88        |                                     |                              |
| S                               | 0,17            |           | 0,09        |                                     |                              |
| Cl                              | 0,56            |           | 0,09        |                                     |                              |
| K                               | 1,23            |           | 0,27        |                                     |                              |
| Si                              | 1,20            |           | 1,85        |                                     |                              |
| Ascheschmelzpunkt               | 1074            |           | 1404        |                                     |                              |

Die Daten kennzeichnen auf fruchtbaren grundwasserbeeinflussten Standorten ein hohes Ertragsniveau bei 2 – 3schnittigem Nutzungsregime. Sommerschnitte sichern höhere Erträge als ein später Schnitt. Dieser bietet jedoch abbrandtechnische Vorteile einer geringen Mineralstoffkonzentration. Dadurch erhöht sich die Ascheschmelztemperatur, und eine Ascheverschlackung wird vermieden. Von Interesse ist Rohrglanzgras für die Papierherstellung. Dafür sprechen die kurzen Fasern (durchschnittlich 0,72 mm) und der niedrige Gehalt an Hemicellulose (El Bassam, 1998).

Die gute Verträglichkeit häufiger Überflutungen prädestiniert das Rohrglanzgras für den Anbau in Flussniederungen. Es erreicht hohe Erträge. Im Bereich nachwachsender Rohstoffe bieten sich Einsatzfelder als Biogasrohstoff, Festbrennstoff und Ausgangsstoff für die Herstellung hochwertiger Papiere an.

### 7.3.3 Gesamtbewertung – Nachwachsende Rohstoffe

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Anbau und Verwertung nachwachsender Rohstoffe in Regionen Sachsens mit hochwassergefährdeten landwirtschaftlichen Flächen eine wirtschaftliche und nachhaltige Perspektive darstellen (Tabelle 40, Tabelle 41, Tabelle 42).

Als kurzfristige Option mit guter Marktnachfrage sind der Anbau von Winterraps, Bioethanolgetreide, Maissilage (Biogas) für Ackerflächen mit geringem bis mittlerem Gefährdungsgrad einzuschätzen. Der Anbau von Ganzpflanzengetreide (Ganzpflanzensilage, Festbrennstoff) ist als kurz- und mittelfristiges Szenario einzuordnen. Für halmgutartige Brennstoffe sind zur breiteren Einführung Aufbereitung und Abbrand (Staub, NO<sub>x</sub>, Cl-Korrosion) zu verbessern.

Stärker überschwemmungsgefährdete Flächen sollten dem Anbau von schnellwachsenden Baumarten, Miscanthus und Rohrglanzgras vorbehalten bleiben. Bedeutsam ist auch, dass die Biomasse dieser Kulturen industriell für Paletten, Bauzuschlagstoff und als Zelluloselieferant genutzt werden kann. Mittel- und langfristig bestehen hier durchaus Absatzperspektiven.

Bei wachsender Nachfrage nach Biorohstoffen werden sich auch spezielle Anbausysteme entwickeln. So sind Fruchtfolgen für die Biogaslinie geeignet, ganzjährig Rohstoffe bereitzustellen. Der Vorteil besteht darin, dass so eine vielgliedrige abwechslungsreiche Anbaufolge von verschiedenen Fruchtarten entsteht und Monokultureffekte vermieden werden. Durch eine sinnvolle Kombination von Winter- und Sommerzwischenfrüchten sowie Hauptfrüchten wird eine ständige Bodendeckung und Bereitstellung von Biomasse gesichert. Ein weiterer Fruchtfolgeansatz kann für die Festbrennstofflinie entwickelt werden. Auch diese Ansätze tragen dazu bei, die Biodiversität im Anbau zu erhöhen.

In Tabelle 43 und Tabelle 44 werden Beispiele für unterschiedliche Fruchtfolgen aufgezeigt. Die Biogaslinie liefert ein Beispiel für ein grünes Fließband, indem Haupt- und Zwischenfrüchte einen ständigen Bewuchs der Fläche sichern. Die kalkulierten Methanerträge zeigen, dass so ein hoher Energieoutput pro Flächeneinheit möglich ist. Er liegt im Durchschnitt der Fruchtfolge bei 2460 m<sup>3</sup> Methan pro Hektar. Damit können 22943 kWh/ha produziert werden. Das entspricht einer Energiemenge von 2164 t Heizöl (Tabelle 43). Die für den Anbau auf leichten Böden ausgerichtete Fruchtfolge basiert vorwiegend auf Ganzpflanzengetreide und Heu, die als Festbrennstoffe genutzt werden sollen. Auch hier wird eine Bruttoenergie in der Fruchtfolge von durchschnittlich 2,4 t Heizöläquivalent/ha bereitgestellt.

Das Grünland nimmt den größten Teil der überschwemmungsgefährdeten Areale in den Flussauen ein. Der Biomasseaufwuchs kann grundsätzlich im Non Food-Bereich zu hochwertigen Produkten verarbeitet werden. Aufwüchse, die einen geringen Belastungsgrad an für die menschliche und tierische Ernährung kritischen Schwermetallen (Cd, Pb, Hg, As, Ni) aufweisen, können der Produktlinie Biogas (Nass- oder Trockenfermentation) zugeführt werden.

Für Heu wird mittelfristig eine gute Perspektive als Festbrennstoff gesehen. Wirtschaftlich günstig ist dabei der Einsatz von Heupellets. Dazu ist es notwendig, entsprechende Pelletöfen zu entwickeln.

Aus der Bewertung ist zu erkennen, dass die Schwerpunkte in der energetischen Verwertung der Biomasse liegen. Hier bestehen für die landwirtschaftlichen Betriebe gute Voraussetzungen über dezentrale Anlagen hochwertige Produkte wie Kraftstoffe, Strom und Wärme für regionale und überregionale Märkte nachhaltig und umweltfreundlich bereitzustellen.

**Tabelle 40 Anbaualternativen auf Überschwemmungsflächen – Ackerland**

| Standort              | Kulturart                                    | Aufbereitung                            | Verwertung                                      | Technik  | Endproduktion                                | Wirtschaftlichkeit   | Rahmenbedingungen                                |
|-----------------------|--|---|---|--|--|--|--|
| Hohe Gefährdungsstufe | Schnellwachsende Baumarten:<br>Weide, Pappel | Hackschnitzel                           | Festbrennstoff                                  | Kleinfeuerungsanlagen<br>Heizwerk<br>Heizkraftwerk                                 | Wärme<br>Wärme<br>Wärme,<br>Strom            | Schwellenkonkurrenz zu Restholz, keine Konkurrenz zu Altholz | Stromeinspeisung „KWK-Bonus“                     |
|                       |  | Pellets                                 | Festbrennstoff                                  | Kleinfeuerungsanlagen<br>dto. mit ORC  | Wärme<br>Wärme,<br>Strom                     | wirtschaftlich   | Stromeinspeisung „KWK-Bonus“                     |
|                       |  | Stammabschnitte 2 m > 10 cm Durchmesser | Industrieholz                                   | Großanlagen<br>Industrie   | Papier<br>Zellulose                          | Schwache Konkurrenz gegen Billigimporte                      | -  |
|                       | Miscanthus                                   | Häcksel                                 | Festbrennstoff<br>Bauzuschlagstoff              | Holzfeuerungsanlagen (Mitverbrennung)<br>Baustoffherstellung                       | Wärme<br>Leichtbausteine,<br>Sandwichplatten | Wachsende Markteinführung                                    | Stromeinspeisung „KWK-Bonus“                     |
|                       |  | Pellets                                 | Festbrennstoff, Einstreu für Hochleistungsperle | Pelletöfen,<br>ORC-Anlagen   | Wärme,<br>Strom,<br>normierte Pellets        | Wirtschaftlichkeit hochpreisig                               | Stromeinspeisung „KWK-Bonus“                     |
|                       | Rohrglanzgras                                | Ballen                                  | Festbrennstoff                                  | Anlagentechnik in Entwicklung / Erprobung von Funktionsmustern (Emissionsprobleme) | Wärme  | Schwelle zur Konkurrenzfähigkeit                             | Bundes- und Landesprogramme zur Anlagenförderung |
|                       |  | Ballen                                  | Papier- und Zelluloserohstoff                   | Industrielle Mittel- und Großanlagen   | Feinpapiere,<br>Zellulose                    | Nischenmarkt für Spezialpapiere                              | -  |
|                       |  | Pellets                                 | Festbrennstoff                                  | Anlagentechnik in Entwicklung/ Erprobung von Funktionsmustern (Emissionsprobleme)  | Wärme,<br>Strom                              | Wirtschaftlichkeit   | Stromeinspeisung „KWK-Bonus“                     |

**Tabelle 41 Gesamtbewertung der alternativen Verwertung der Biomasse von Überschwemmungsflächen**

| Standort                      | Aufbereitung | Verwertung            | Umsetzung Technik   | Zwischenprodukt | Endprodukt                   | Wirtschaftlichkeit                          | Rahmenbedingungen  |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|---|-----------------|------------------------------|---|--|
| Grasland der Flussniederungen | Silage       | Kofermentat zur Gülle | Eingeführte Technik der Nassfermentation                                  | Biogas          | Strom<br>Wärme<br>Kraftstoff | Bei niedrigen Rohstoffkosten                | EEG Stromeinspeisevergütung: Grundvergütung plus Biomasse-bonus Mineralsteuerbefreiung |
|                               | Silage       | ohne Gülle            | Trockenfermentation befindet sich in Praxiserprobung                      | Biogas          | Strom<br>Wärme<br>Kraftstoff | Bei niedrigen Rohstoffkosten                | EEG Stromeinspeisevergütung: Grundvergütung plus Biomasse-bonus Mineralsteuerbefreiung |
|                               | Heuballen    | Festbrennstoff        | Funktionsmuster kleiner und mittlerer Feuerungskessel (Emissionsprobleme) | Gas             | Wärme                        | Konkurrenzschwelle<br>Wärmegestehungskosten | Bundes- u. Länderprogramme zur Heizkesselförderung                                     |

|            |                |   |     |       |                                |  |
|------------|----------------|---|-----|-------|--------------------------------|--|
| Heupellets | Festbrennstoff | Funktionsmuster kleiner und mittlerer Feuerungskessel (Emissionsprobleme) | Gas | Wärme | Konkurrenzfähig zu Holzpellets | Bundes- u. Länderprogramme zur Heizkesselförderung |
|------------|----------------|---|-----|-------|--------------------------------|--|

**Tabelle 42 Gesamtbewertung Anbaualternativen auf Überschwemmungsflächen - Ackerland**

| Standort                             | Kulturart            | Produkt       | Verwertung                          | Technik Aufbereitung                          | Endprodukt                           | Anwendungstechnik   | Wirtschaftlichkeit  | Rahmenbedingungen   |
|--------------------------------------|----------------------|---------------|-------------------------------------|---|--------------------------------------|---|---|---|
| Mittlere bis leichte Gefährdungstufe | Winterraps           | Ölsamen       | Kraftstoff<br>Chemiegrundstoff      | Ölpresen mit Biodieselanlage<br>Chemieanlagen | Biodiesel<br>Schmierstoff<br>Tenside | Mobile Kraftmaschinen,<br>BHKW<br>Hydrauliköle u.a.   | Gute Marktposition für Rohstoff und Endprodukt                        | Mineralsteuerbefreiung<br>Stromeinspeisung<br>„KWK-Bonus“ |
|                                      | Wintergetreide       | Korn          | Kraftstoff                          | Äthanolgroßanlagen                            | Bioethanol                           | Mobile Kraftmaschinen   | Preis für Rohstoff eng, fester Absatz des Endproduktes im Benzinmarkt | Mineralsteuerbefreiung<br>Stromeinspeisung<br>„KWK-Bonus“ |
|                                      |                      | Stroh         | Festbrennstoff<br>Ballen<br>Pellets | Ballenpressen<br>Pelletpressen                | Wärme,<br>Strom                      | Heizanlagen<br>Pelletöfen (Entwickl. emissionsarmer Anlg. notwendig)                                | Mittlere Konkurrenz<br>Ballen, gute Preisstellung auf dem Pelletmarkt | Stromeinspeisung<br>„KWK-Bonus“                           |
|                                      | Getreideganzpflanzen | Ähre mit Halm | Festbrennstoff<br>Ballen<br>Pellets | Ballenpressen<br>Pelletpressen                | Wärme,<br>Strom                      | Heizanlagen<br>Pelletöfen<br>Heizanlagen mit ORC-Prozess (Entwickl. Emissionsarmer Anlg. notwendig) | Mittlere Konkurrenz<br>Ballen, gute Preisstellung auf dem Pelletmarkt | Stromeinspeisung<br>„KWK-Bonus“                           |

**Tabelle 43 Energiefruchtfolgen – Biogas**

| Fruchtart       | Fruchtfolgestellung |                      | Ertrag   |           | Ertrag                          |                                 |          |           |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------|-----------|
|                 |                     | Erntezeit            | dt TS/ha | dt oTS/ha | Biogas 1)<br>m <sup>3</sup> /ha | Methan 2)<br>m <sup>3</sup> /ha | kg/ha 3) | kWh/ha 4) |
| Wintertriticale | HF                  | Teigreife            | 112      | 90        | 4500                            | 2250                            | 1510     | 20989     |
| Senf            | ZWF                 | Knospenstadium       | 40       | 32        | 1600                            | 800                             | 537      | 7464      |
| Energiemais     | HF                  | Milch-/ Teigreife    | 250      | 225       | 11250                           | 5625                            | 3774     | 52459     |
| Wickroggen      | ZWF                 | Beginn Ährenschieben | 84       | 67        | 3350                            | 1675                            | 1124     | 15624     |
| Sonnenblume     | ZF                  | Knospenbildung       | 98       | 78        | 3900                            | 1950                            | 1308     | 18181     |

1) durchschnittlich 500 m<sup>3</sup> Biogas/t oTS; 2) durchschnittlich 50 % Methan im Biogas; 3) Methandichte 0,671 kg/m<sup>3</sup>; 4) Energiedichte Methan 13,9 kWh/kg; Erklärung: HF = Hauptfrucht; ZWF = Zwischenfrucht; ZF = Zweitfrucht

**Tabelle 44 Energiefruchtfolge – Festbrennstoff-Kraftstoff leichte Böden**

| Fruchtart       | Fruchtfolgestellung |         | Ertrag   | TS-Gehalt | Verwendung     | Brutto-Energieertrag |       | Heizöläquivalent |
|-----------------|---------------------|---------|----------|-----------|----------------|----------------------|-------|------------------|
|                 |                     | Produkt | dt TM/ha | %         |                | MJ/kg                | GJ/ha | t/ha             |
| Wintertriticale | HF                  | GP      | 120      | 85        | Festbrennstoff | 14,5                 | 174   | 4,1              |

|                        |    |       |     |    |                |      |     |     |
|------------------------|----|-------|-----|----|----------------|------|-----|-----|
| Winter-<br>raps        | HF | Samen | 40  | 87 | Kraftstoff-Öl  | 36,0 | 144 | 3,4 |
| Winter-<br>gerste      | HF | Korn  | 120 | 85 | Festbrennstoff | 14,5 | 174 | 4,1 |
| Welsches<br>Weidelgras | HF | Heu   | 70  | 85 | Festbrennstoff | 14,5 | 102 | 2,4 |
| 1. Jahr                |    |       | 70  | 85 |                |      | 102 | 2,4 |
| 2. Jahr                |    |       |     |    |                |      |     |     |

## 8 Betriebswirtschaftliche Aspekte

### 8.1 Methodik und Datengrundlagen

Mittels Befragung wurde zunächst die grobe Betriebsstruktur und die Flächenbetroffenheit der Unternehmen im Untersuchungsgebiet erfasst (Kapitel 6). Dies ergab eine hohe Variabilität bezüglich Rechtsform, Betriebsgröße, Grünlandanteil, Tierbesatz und Umfang der Flächen im Überschwemmungsgebiet. Aufgrund der Schwierigkeit einen repräsentativen Betrieb zu finden, erschien weder die Ableitung von Modellbetrieben noch die einzelbetriebliche Auswertung sinnvoll. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher entschieden, die Bewertung der wirtschaftlichen Konsequenzen auf Basis der Teilbereichskalkulation über die Fläche vorzunehmen. Dieser methodische Ansatz wird auch als Deckungsbeitragsvergleich oder Differenzrechnung bezeichnet (Köhne 1993) und standardmäßig für die Ermittlung von Prämienzahlungen genutzt, in Sachsen beispielsweise im Rahmen des Programms "Umweltgerechte Landwirtschaft".

Vergleichskennzahl für die verschiedenen Szenarien ist der Deckungsbeitrag II (Deckungsbeitrag abzüglich Personalkosten). Damit wird unterstellt, dass die veränderte Landnutzung keine Auswirkungen auf die Fixkosten hat, da diese einzelbetrieblich in Abhängigkeit von Betriebsstruktur und Betroffenheit stark variieren können. Für eine langfristige Betrachtung bzw. bei der Umstellung großer Anteile der Gesamtbetriebsfläche ist dies jedoch nicht ausreichend. Daher wird bei Bewirtschaftungsumstellungen, welche hohe Anteile der Betriebsfläche betreffen können und langfristige Anpassung in der Maschinenausstattung nach sich ziehen, parallel der Vergleich auf Basis des um die fixen Maschinenkosten bereinigten Deckungsbeitrag II ausgewiesen.

Grundlage für die ökonomische Bewertung bilden die Kalkulationsmodelle für die Erzeugung von Marktfrüchten und die Grundfuttererzeugung der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2004a/b). Damit können alle gängigen Produktionsverfahren der Bereiche Marktfruchtbau und Futterbau bis hin zum Gewinn abgebildet werden, wobei sich aus genannten Gründen die Darstellung bis auf Deckungsbeitragsebene beschränkt.

Anhand der prozentualen Anteile der Kulturen in der Fruchtfolge kann im Anschluss daran der Durchschnittsdeckungsbeitrag ermittelt werden.

In den Kalkulationsmodellen wird für die Berechnung der Maschinenkosten zwischen mehreren Mechanisierungsvarianten differenziert. Damit wird in Anlehnung an KTBL (2001) eine bestimmte Schlaggröße hinterlegt, welche sich auf den Arbeitszeitbedarf sowie die verwendeten Maschinen

und Arbeitsbreiten auswirkt. In den Kalkulationsmodellen ist diese Schlaggröße mit der Gesamtbetriebsfläche verknüpft. Im Untersuchungsgebiet wird mehr als 70 % der Ackerfläche von Unternehmen mit einer Gesamtackerfläche von über 200 ha bewirtschaftet. Daher wurde für die Marktfrüchte die Mechanisierungsvariante mit einer zugehörigen Schlaggröße von 10 ha gewählt.

Die hinterlegten Erträge orientieren sich an den Werten des Ertragsniveaus "hoch" aus der Datenbank Planungsrichtwerte (<http://www.smul.sachsen.de/BPSPlan/>).

Die Kosten durch die Lagerung und Strohbergung wurden nicht berücksichtigt. Die Düngung erfolgt auf Basis des Entzugs, für das Referenzszenario wurde die Grundbodenbearbeitung mit Pflug hinterlegt. Prämien im Rahmen des UL-Programmes fanden keine Berücksichtigung.

Im Kalkulationsmodell für die Erzeugung von Grundfuttermitteln erfolgt keine monetäre Bewertung der Erträge. Als Grundlage für die Bewertung von Silomais dienen daher die Ergebnisse der Betriebszweigauswertung der Milchviehhaltung 1999-2003 (LfL, 2004d). Auf der Basis dieser Kennzahlen wurde das Verfahren mit Hilfe des Kalkulationsmodells für eine rentable Milchproduktion (LfL, 2004c) nachkalkuliert und anschließend über den Energiebedarf auf die hinterlegte Futterfläche umgelegt.

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Landnutzung spielen die agrarpolitischen Rahmenbedingungen eine entscheidende Rolle. Die größten Veränderungen ergeben sich in dieser Hinsicht durch die Agrarreform. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, wurden die Berechnungen jeweils für 2004 (vor der Agrarreform) und 2013 (nach der Agrarreform) durchgeführt. Dazu wurden die im Rahmen einer Abstimmungsrunde der LfL festgelegten Preisprognosen mit in die Betrachtung einbezogen (LfL, 2004e). Die ermittelten Werte für die Situation nach der Reform können jedoch aufgrund der ungewissen tatsächlichen Preisentwicklung lediglich Tendenzen und Größenordnungen widerspiegeln.

Kernelement der 2005 in Kraft tretenden Agrarreform ist die Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion hin zu einer einheitlichen Flächenprämie.

Als Vergleichszeitpunkt dient die Endstufe der Agrarreform im Jahr 2013, da die Anpassung stufenweise erfolgt und die Höhe der Zahlungsansprüche bis zu diesem Zeitpunkt einzelbetrieblich stark variiert. Methodisch wurden bei allen Verfahren die bisher gezahlten Ausgleichszahlungen und Prämien durch den derzeit für Sachsen diskutierten Wert pro Zahlungsanspruch in Höhe von 349 EUR/ha ersetzt. Im Folgenden wird dieser Zahlungsanspruch als Flächenprämie bezeichnet.

Im Rahmen von Cross Compliance ist zukünftig der Erhalt von Zahlungsansprüchen an die Erfüllung bestimmter Mindestvoraussetzungen gekoppelt (DirektZahlVerpflV). Dies betrifft unter anderem die Erhaltung der Flächen in gutem landwirtschaftlichen Zustand.

Als Mindestpflege für Ackerflächen und Dauergrünland, welche aus der Produktion fallen, wird diesbezüglich mindestens einmal jährlich die Zerkleinerung des Aufwuchses und ganzflächige Verteilung auf der jeweiligen Fläche oder alternativ das Mähen mit Abfuhr des Mähguts (für Ackerflächen jährlich, für Dauergrünland alle zwei Jahre) gefordert. Damit kann zukünftig bis 100 % der gesamten Acker- und Grünlandfläche im Rahmen dieser Mindestbewirtschaftung gepflegt werden, im Gegensatz zur bisherigen Regelung, nach welcher der Höchstsatz der förderfähigen Flächenstilllegung auf 33 % der prämienberechtigten Ackerfläche beschränkt war.

Weiterhin wird für die Bewirtschaftung von Ackerflächen eine mindestens dreigliedrige Fruchtfolge verlangt (jede Kultur mindestens 15 %).

Die Auswirkungen der Modulation sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht einbezogen werden, da davon alle Flächen im Betrieb betroffen sind. Die Umverteilung der einbehaltenen Beträge zu Gunsten von Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raumes ist zum jetzigen Zeitpunkt noch unklar und kann daher keine Berücksichtigung finden.

Den EU-Zuckerrübenpreisen steht infolge der Anpassungen am Zuckermarkt eine deutliche Absenkung in Richtung Weltmarktpreisniveau bevor. Endgültige Aussagen sind jedoch noch nicht getroffen. Bei der ökonomischen Bewertung blieb dieser Aspekt daher unberücksichtigt.

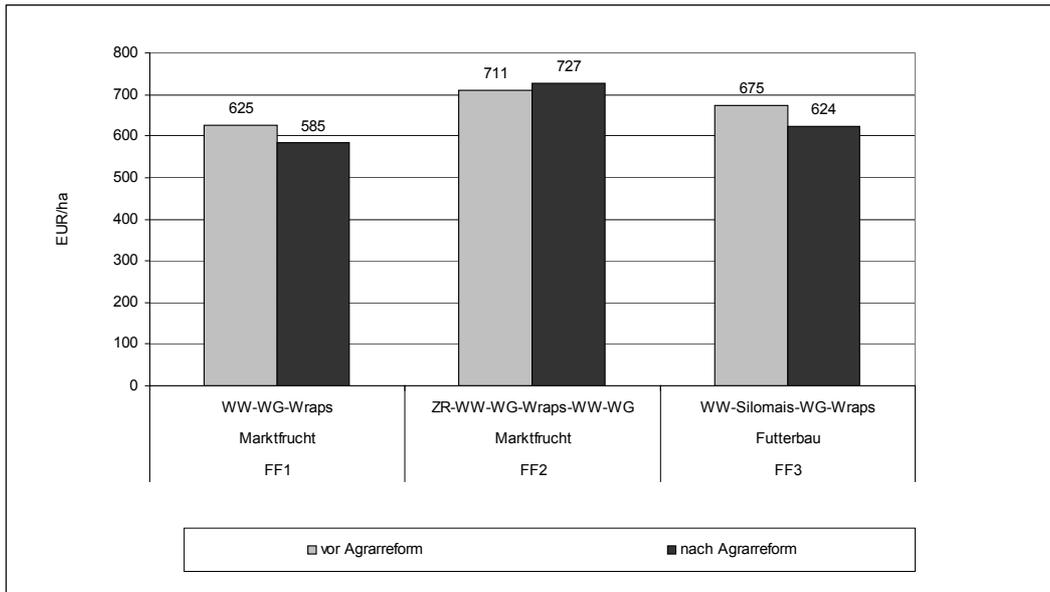
**Tabelle 45 Rahmenbedingungen der Kalkulation**

|   | <b>vor Agrarreform</b>  | <b>nach Agrarreform</b>                 |
|---|---|---|
| <b>Datengrundlagen</b>  | Kalkulationsmodelle LfL   |   |
| <b>Preise</b>   | Prognosepreise LfL (LfL, 2004e)   |   |
| <b>Erträge</b>  | Ertragsstufe "hoch" Datenbank Planungsrichtwerte  |   |
| <b>Bezugsjahr</b>   | 2004  | 2013                                    |
| <b>EU-Zahlungen</b>   | Ausgleichszahlungen und Tierprämien   | Flächenprämie in Höhe von 349 EUR/ha    |
| <b>Obligatorische Flächenstilllegung</b>                            | 5 % der prämienberechtigten Ackerfläche<br>(VO (EG) Nr. 2322/2003 vom 17.12.2003: Senkung von 10 % auf 5 %) | 8,47 % der Ackerfläche                  |
| <b>Freiwillige Stilllegung</b>                                      | bis 33% der prämienberechtigten Ackerfläche   |   |
| <b>Mindestbewirtschaftung aus der Produktion genommener Flächen</b> |   | bis 100 % der Acker- und Grünlandfläche |

## 8.2 Referenzszenario

Bei den im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betrieben dominiert der Anbau von Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps und Silomais (Abbildung 38). Zusammen mit der Stilllegung bedecken diese Kulturen mehr als 75 % der Ackerfläche. Einzelbetrieblich erlangt zudem die Zuckerrübe einen hohen Stellenwert.





**Abbildung 39 Vergleich der Deckungsbeiträge II der Fruchtfolgen in der Referenzsituation**

### 8.3 Vergleichsszenarien

#### 8.3.1 Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung

Wirtschaftliche Konsequenzen, welche sich aus der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung ergeben, wurden bereits im Rahmen des Programms Umweltgerechte Landwirtschaft berechnet. Diese Angaben stützen sich auf die Auswertung im Rahmen einer Evaluierung der am UL-Programm teilnehmenden Betriebe. Hinsichtlich der Prämienkalkulation wurden folgende Unterstellungen getroffen:

- 3 % Ertragsverlust
- ein zusätzlicher Arbeitsgang Pflanzenschutz (Herbizid)
- Grubber statt Pflug

Diese Angaben dienen als Grundlage für den Vergleich der konservierenden Bodenbearbeitung zur konventionellen in den Kalkulationsmodellen.

Die Mehrkosten der pfluglosen Bodenbearbeitung variieren sehr stark in Abhängigkeit von der Kultur. Der unterstellte Ertragsverlust von 3 % beläuft sich bei den Zuckerrüben auf 15 dt/ha bzw. 69 EUR/ha, beim Getreide auf 2,1 dt/ha bzw. 23 EUR/ha.

Die Mittelkosten für einen zusätzlichen Arbeitsgang zur Unkrautbekämpfung sind ebenso stark kulturabhängig und liegen bei der Zuckerrübe mit 64 EUR/ha deutlich über denen von Getreide (32-36 EUR/ha).

Die geringfügigen Differenzen bei den eingesparten variablen Maschinenkosten resultieren aus den durch die Ertragsverluste bedingten Einsparungen der Transportkosten des Erntegutes.

In der Bilanz schneidet - unter den vorgegebenen Bedingungen- die Zuckerrübe mit einer Mehrbelastung in Höhe von 110 EUR/ha bei Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung wesentlich schlechter ab als Getreide mit 34 EUR/ha und Raps mit 44 EUR/ha.

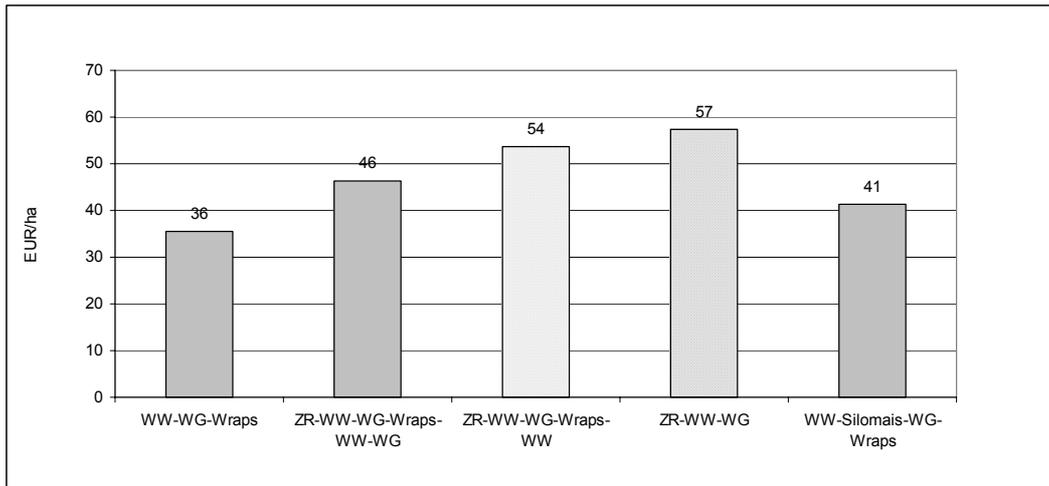
Bei der Prämienkalkulation für das Programm Umweltgerechte Landwirtschaft erfolgte eine Mittlung der Mehrkosten anhand des Anbauflächenverhältnisses.

**Tabelle 46: Kosten-Vergleich zwischen Mulchsaat und konventioneller Bodenbearbeitung in EUR/ha (Quelle: Prämienkalkulation UL)**

| Kultur                        | Winterweizen | Wintergerste | Winterraps   | Zuckerrübe    | Silomais     |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Einbußen Erlös                | 23,27        | 19,32        | 23,63        | 69,24         | 27,81        |
| Mehraufwand<br>Herbizid       | 32,33        | 35,67        | 41,59        | 63,81         | 52,43        |
| Einsparung<br>Maschinenkosten | 21,40        | 21,40        | 20,78        | 22,69         | 21,26        |
| <b>Differenz</b>              | <b>34,20</b> | <b>33,59</b> | <b>44,44</b> | <b>110,36</b> | <b>58,98</b> |

Die ermittelten Werte betreffen vor allem den Zeitraum nach der Umstellung. Erfolgt die Umstellung der Bodenbearbeitung im gesamten Betrieb, führen langfristig die Einsparungen der festen Maschinenkosten des Pfluges zu einer Verringerung der Mehrkosten um 15 EUR/ha. Zudem können bei gutem Betriebsmanagement die Ertragsverluste weitgehend reduziert werden (Brandt-Sassen, 2004).

Bezogen auf die drei Standardfruchtfolgen differieren die Einkommensverluste bei Mulchsaat nur geringfügig zwischen 36 und 46 EUR/ha. Die Erhöhung der Zuckerrübenanteile auf 32 % in der Fruchtfolge führt zu einer Verschlechterung des Ergebnisses um 57 EUR/ha (Abbildung 40).



**Abbildung 40 Wirtschaftlicher Nachteil durch die Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung in verschiedenen Fruchtfolgen**

Insbesondere bei Sommerkulturen sollte der Anbau von Zwischenfrüchten mit berücksichtigt werden. Die Mehrkosten belaufen sich hier auf 60 EUR/ha (LfL; 2002).

### 8.3.2 Verzicht auf den Anbau von Hackfrüchten

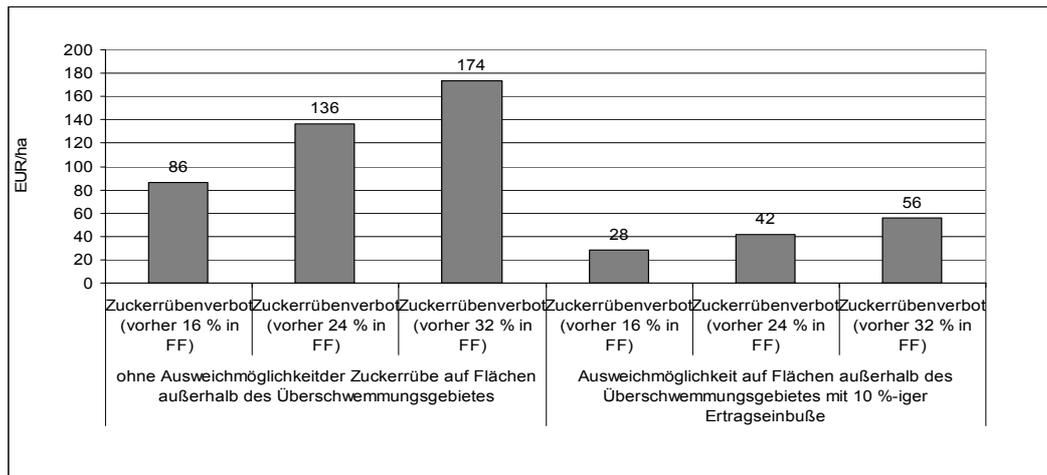
Bei der ökonomischen Bewertung des Hackfruchtverzichts kann grundsätzlich danach unterschieden werden, inwieweit die Möglichkeit der innerbetrieblichen Verlagerung der Hackfruchtproduktion auf Flächen außerhalb des Überschwemmungsgebietes besteht.

Am Beispiel der Zuckerrübe soll dargestellt werden, wie sich diese Maßnahme ökonomisch auswirkt.

Wird unterstellt, dass eine Verlagerung der Zuckerrübe auf Betriebsflächen außerhalb des Überschwemmungsgebietes nicht möglich ist, hat das die Substitution durch eine andere Kultur zur Folge, beziehungsweise eine Umstellung der Fruchtfolge. Im Beispiel erfolgte der Vergleich jeweils zur Referenzfruchtfolge 1 (Anhang 2). Daraus ergibt sich bei Anbauanteilen zwischen 16 % und 32 % Zuckerrübe in der Fruchtfolge ein wirtschaftlicher Nachteil in Höhe von 86 bis 174 EUR/ha (Abbildung 41). Bezogen auf einen Hektar Zuckerrüben beträgt der ökonomische Verlust 538 bis 566 EUR.

Erfolgt die Produktion im Rahmen des Flächentausches ist zu prüfen, in welchem Umfang sich dies auf

- Ertragskennzahlen und
- Aufwandverhältnisse (z.B. Hof-Feld-Entfernung, Schlaggröße...) auswirkt.



**Abbildung 41** Wirtschaftlicher Nachteil durch ein Verbot des Zuckerrübenanbaus im Untersuchungsgebiet im Vergleich zur Standardfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - WinterrapS unter Berücksichtigung verschiedener Zuckerrübenanteile in der Ausgangsfruchtfolge

Bei gleichen Bedingungen kann davon ausgegangen werden, dass keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Andernfalls gilt es, diese Veränderungen zu berücksichtigen.

Konkrete Werte diesbezüglich sind nur auf einzelbetrieblicher Ebene zu ermitteln. Im Rahmen dieser Arbeit können die Unterstellungen nur spekulativ erfolgen.

Möglich wäre die Festlegung der Ertragseinbußen auf die Höhe einer Ertragsstufe nach den Kennzahlen der Datenbank "Planungsrichtwerte". Dies entspricht ca. 10 % des Ertrages, wenn davon ausgegangen wird, dass die Böden außerhalb der Aue niedrigere Bodenpunkte aufweisen. Für die Zuckerrübe hat dies einen um 70 EUR/ha verringerten Deckungsbeitrag zur Folge. Dieser Wert vermindert sich um den Mehrertrag der Ersatzkultur im Überschwemmungsgebiet. Je Hektar Rübenanbaufläche ergibt sich in der Summe eine finanzielle Einbuße in Höhe von 175 EUR/ha. Bei dieser Unterstellung entsteht so ein Nachteil in Höhe von 28 - 56 EUR/ha. Nicht berücksichtigt sind längere Wegezeiten und kleinere Schlaggrößen.

### 8.3.3 Verzicht auf den Anbau von Silomais

Als weiteres Szenario wurde ein möglicher Anbauverzicht von Silomais analysiert. Berechnungen dazu wurden bereits im Rahmen von Empfehlungen für Ausgleichszahlungen in Wasserschutzgebieten von der LWK Hannover (2003) erstellt.

Die Bewertung der ökonomischen Konsequenzen bei Anbauverboten für die Futterkulturen gestaltet sich komplizierter als die der Marktfrüchte, da das Futter als Grundlage für die Tierproduktion benötigt wird und somit eine feste Größe darstellt. Da die Verwertung der

Futterpflanzen innerbetrieblich erfolgt, existieren in der Regel keine Marktleistungen. Konkrete Marktpreise für Grundfuttermittel gibt es in der Regel nicht. Die Bewertung eines Anbauverbotes (z. B. für Silomais) läuft daher auf einen Vergleich zwischen den Futtererzeugungskosten ohne Auflagen und den Alternativen in der Futtermittelversorgung unter der Verbotsauflage hinaus.

Generell gibt es für den Betrieb verschiedene Möglichkeiten einem solchen Anbauverzicht zu begegnen (Tabelle 47). Welche Handlungsoption sich letztendlich als günstigste erweist, kann nur auf einzelbetrieblicher Ebene entschieden werden.

**Tabelle 47 Handlungsoptionen bei Anbauverzicht auf Silomais**

| Maßnahme   | Innerbetrieblicher Anbauflächenaustausch              |   | keine innerbetriebliche Ausweichmöglichkeit                            |                               |                   |                 |
|------------|---|---|--|-------------------------------|-------------------|-----------------|
| Folge      | möglicher Futtermangel durch Ertragseinbußen Silomais |   | Futtermangel   |                               |                   |                 |
| Konsequenz | Ausdehnung Anbaufläche                                | Zukauf von fehlendem Silomais; Fütterungsumstellung | Ersatzkultur; Umstellung der Fütterung; Erhöhung Kraffuttereinsatz     | Abstockung des Viehbestandes  | Grundfutterzukauf | Flächen-zupacht |
| Probleme   | Flächenverfügbarkeit                                  | Verfügbarkeit Silomais                              | Mehrkosten Futtermittel; Leistungseinbrüche durch Fütterungsumstellung | bestehende Fixkostenbelastung | Verfügbarkeit     | Verfügbarkeit   |

Grundsätzlich kann danach differenziert werden, inwieweit innerbetrieblich die Möglichkeit der Verlagerung des Silomaisanbaus auf Flächen außerhalb des Überschwemmungsgebietes besteht. Analog zur Betrachtung beim Anbauverzicht von Zuckerrüben kann bei der Verlagerung des Anbaus zu gleichen Bedingungen davon ausgegangen werden, dass keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Unterscheiden sich dagegen die Bedingungen bezüglich der Standortgüte, muss eine Veränderung des Umfangs der Anbaufläche im Verhältnis zu den Marktfruchtflächen mit berücksichtigt werden. Knackpunkte sind hier Ertragsausfälle und erhöhte Feld-Hof-Entfernungen, welche die Erntekosten wesentlich erhöhen können.

Gibt es innerbetrieblich keine Ausweichmöglichkeiten für den Maisanbau, bestehen folgende Optionen, den so entstandenen Futtermangel auszugleichen.

- Flächenzupacht (Acker, Grünland)
- Grundfutterzukauf
- Umstellung der Fütterung

- Abstockung des Viehbestandes

Kurz- bis mittelfristige Betrachtungen schließen in der Regel eine Aufgabe der Tierproduktion aus, da hier auf einzelbetrieblicher Ebene Verbindlichkeiten und Liquidität sowie die Betriebsstruktur bezüglich der Verwertung der Produktionsfaktoren Arbeit und Boden von Bedeutung sind.

Die Option des Futterzukaufs scheidet langfristig ebenfalls aus. Probleme wie die Gewährleistung der Grundfuttermittelverfügbarkeit, Schwankungen bezüglich der Qualitäten und Preise sowie der Transportaufwand spielen dabei eine Rolle.

### Ersatzkultur

Der Vergleich des Anbaus einer Ersatzkultur erfolgte im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich auf der Basis der Energielieferung, ohne die Futtermittel hinsichtlich anderer Inhaltsstoffe zu bewerten. Auf einzelbetrieblicher Ebene sollte jedoch die Gestaltung der Futtermittelration mit in die Betrachtung einbezogen werden.

In Tabelle 49 und Tabelle 50 wird der Sachverhalt jeweils für die Situation vor und nach der Agrarreform dargestellt. Mit dem Anbau von Silomais werden im Vergleich zur Ganzpflanzensilage bzw. Klee-Gras-Anweilensilage sehr hohe Energieerträge erzielt.

Um einen der Referenzfruchtfolge vergleichbaren Energieertrag zu erhalten, muss die Futterfläche ausgedehnt werden (Tabelle 48).

**Tabelle 48      Notwendige    Anbauausdehnung    bei    Ersatz    Silomais    durch  
Ganzpflanzensilage oder Klee-Gras**

|                  | Ertrag | Ertrag       | Verhältnis<br>Energiegehalt<br>Silomais<br>zu |
|------------------|--------|--------------|---|
|                  | dt/ha  | MJ NEL/ha    |   |
| Maissilage       | 520    | <b>90605</b> |   |
| Wintergerste-GPS | 300    | <b>55440</b> | 1,63  |
| Klee-Gras-AWS    | 500    | <b>51000</b> | 1,78  |

Der Austausch von Silomais in Verbindung mit einer Ausdehnung der Anbaufläche beeinflusst auch die Anbaustruktur der Marktfrüchte auf der restlichen Ackerfläche (Tabelle 48). Die dargestellten Anbauanteile der Marktfrüchte dienen vorrangig der Verdeutlichung der Nutzungskosten. Die konkrete Planung der Zielfruchtfolge muss auf einzelbetrieblicher Ebene erfolgen.

Obwohl die hektarbezogenen variablen Kosten der Ganzpflanzensilage deutlich unter denen von Silomais liegen, führt dies durch den vergrößerten Anbauumfang der Futterfläche und dem

geringeren Anteil Marktfruchtbau in der Summe der Fruchtfolge zu einem sinkenden Deckungsbeitrag. Die Differenz beträgt 65 EUR/ha in der Beispielfruchtfolge mit einem Silomaisanteil von 24 % bzw. 271 EUR/ha umgerechnet auf einen Hektar Silomais. Der Deckungsbeitrag von Klee gras liegt derzeit, bedingt durch die fehlenden Ausgleichszahlungen, deutlich unter dem von Silomais, wodurch der Fehlbetrag im Vergleich zur Referenzfruchtfolge bei 309 EUR/ha liegt bzw. bezogen auf einen Hektar Silomais bei 1287 EUR/ha.

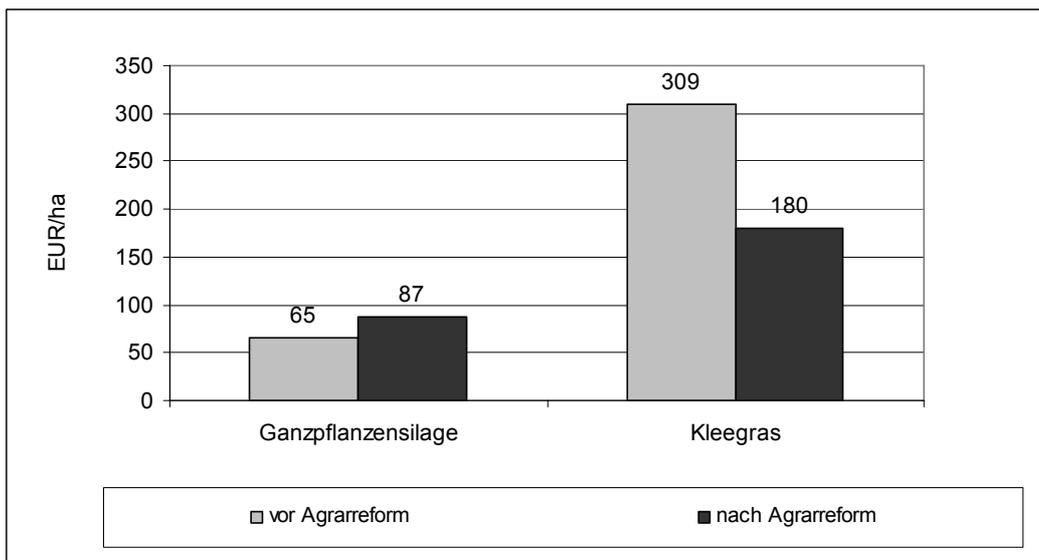
**Tabelle 49 Vergleich der Deckungsbeiträge bei Ersatz Silomais durch Wintergerste-Ganzpflanzensilage und Klee gras vor Agrarreform**

|   | Referenzsituation |              | Ersatz durch WG-GPS |              | Ersatz durch Klee gras-AWS |              |
|---|-------------------|--------------|---------------------|--------------|----------------------------|--------------|
|   | % der FF          | DB II        | % der FF            | DB II        | % der F                    | DB II        |
| Silomais                                | <b>24</b>         | <b>- 330</b> |                     |              |                            |              |
| WG-GPS                                  |                   |              | <b>39</b>           | <b>- 159</b> |                            |              |
| Klee gras                               |                   |              |                     |              | <b>42</b>                  | <b>- 637</b> |
| Winterweizen                            | 24                | 667          | 28                  | 667          | 18                         | 667          |
| Wintergerste                            | 24                | 589          | 0                   | 0            | 18                         | 589          |
| Winterraps                              | 24                | 669          | 5                   | 304          | 5                          | 304          |
| Stilllegung                             | 5                 | 304          | 5                   | 304          | 5                          | 304          |
| Durchschnittsdeckungsbeitrag II         |                   | 379          |                     | 314          |                            | 70           |
| <b>Differenz zur Referenz-Situation</b> |                   |              |                     | <b>- 65</b>  |                            | <b>- 309</b> |

Durch die vereinheitlichte Flächenprämie nach der Agrarreform verbessert sich das Ergebnis von Klee gras. Die Differenz zur Referenzfruchtfolge liegt jedoch noch immer 180 EUR/ha niedriger. Die Erhöhung des Nachteils von Ganzpflanzensilage gegenüber Klee gras nach der Agrarreform resultiert vor allem aus dem höheren Stilllegungssatz, welcher den Anbau der Marktfrüchte einschränkt.

**Tabelle 50 Vergleich der Deckungsbeiträge bei Ersatz Silomais durch Wintergerste-Ganzpflanzensilage und Klee gras nach Agrarreform**

|   | Referenzsituation |              | Ersatz durch WG-GPS |              | Ersatz durch Klee gras-AWS |              |
|---|-------------------|--------------|---------------------|--------------|----------------------------|--------------|
|   | % der FF          | DB II        | % der FF            | DB II        | % der F                    | DB II        |
| Silomais                                | <b>24</b>         | <b>- 373</b> |                     |              |                            |              |
| WG-GPS                                  |                   |              | <b>39</b>           | <b>- 202</b> |                            |              |
| Klee gras                               |                   |              |                     |              | <b>42</b>                  | <b>- 316</b> |
| Winterweizen                            | 24                | 685          | 26                  | 685          | 16                         | 685          |
| Wintergerste                            | 24                | 552          | 0                   | 0            | 16                         | 552          |
| Winterraps                              | 24                | 608          | 26                  | 608          | 16                         | 608          |
| Stilllegung                             | 8                 | 260          | 8                   | 260          | 8                          | 260          |
| Durchschnittsdeckungsbeitrag II         |                   | 350          |                     | 262          |                            | 170          |
| <b>Differenz zur Referenz-Situation</b> |                   |              |                     | <b>- 87</b>  |                            | <b>- 180</b> |



**Abbildung 42** Wirtschaftlicher Nachteil beim Ersatz von Silomais (Fruchtfolgeanteil 24 %) durch Ganzpflanzensilage oder Klee gras ohne Berücksichtigung möglicher Leistungseinbußen in der Milchproduktion

#### 8.3.4 Flächenstilllegung/ Mindestpflege aus der Produktion genommener Flächen

Ergeben sich auflagenbedingt starke Einschränkungen für die Bewirtschaftung der Fläche, wird der Betrieb die Mindestpflege in Betracht ziehen.

Im Rahmen der Gewährung der staatlichen Zuwendungen ist ein gewisser Anteil der Pflichtstilllegung einzuhalten. Für 2004 lag dieser Anteil bei 5 % der prämierten Ackerfläche, für 2013 liegt er voraussichtlich bei 8,47 % der Gesamtackerfläche. Diese Fläche ist zukünftig entweder nach den Grundsätzen der Mindestpflege zu unterhalten, oder kann alternativ auch für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden. Wird unterstellt, dass der Betrieb Gewinnoptimierung betreibt, wird er versuchen, diese Fläche mit Nachwachsenden Rohstoffen zu bestellen. Nur wenn der Deckungsbeitrag der Nachwachsenden Rohstoffe (bei schlechten Anbaubedingungen) unter den der Flächenstilllegung sinkt, wird er die Fläche brachlegen.

Methodisch ist damit der Deckungsbeitrag der neu für die Stilllegung vorgesehen Fläche, dem aus dem Anbau der Nachwachsenden Rohstoffe bzw. dem der Standardfruchtfolge gegenüberzustellen.

In Abhängigkeit der Dauer der Flächenstilllegung und davon, ob eine Begrünung stattfindet, bewegen sich die Kosten zwischen 27 und 89 EUR/ha (Tabelle 51).

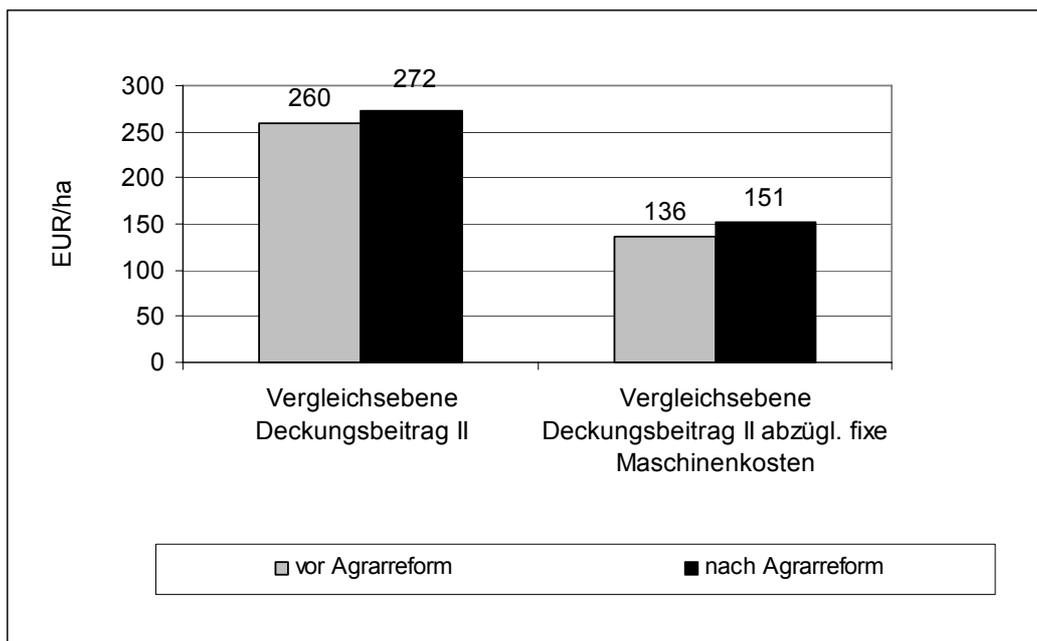
Wird diesen Kosten in 2004 die Ausgleichszahlung in Höhe von 392 EUR/ha gegenübergestellt ergibt sich ein Deckungsbeitrag in Höhe von 303 bis 365 EUR/ha, nach der Agrarreform in Höhe von 260 bis 322 EUR/ha. Die fixen Maschinenkosten belaufen sich auf ca. 14 bis 42 EUR/ha.

**Tabelle 51 Deckungsbeitrag bei Flächenstilllegung bzw. Mindestpflege**

| Arbeitsgang  | Geräte             | Arbeitsbreite | Anzahl Arbeitsgänge | Variable Maschinenkosten zuzüglich Personalkosten |           |
|--|--------------------|---------------|---------------------|---|-----------|
|  |                    | M             | AG/a                | EUR/ha  |           |
| Stoppelbearbeitung   | Scheibenegge       | 4,0           | 1                   | 18  |           |
| Saatbettbereitung u. Saat                                  | Kreiseleggen drill | 3,0           | 1                   | 26  |           |
| Mulchen  | Schlegelmulcher    | 3,0           | 1                   | 27  |           |
| Summe variable Maschinenkosten zuzüglich Personalkosten    |                    |               |                     | 71  |           |
| Saatgutkosten  |                    |               |                     | 18  | 2004 2013 |
|  |                    |               |                     | EUR/ha/a  | 392 349   |
| einjährige Flächenstilllegung mit Begrünung                |                    |               |                     | 89  | 303 260   |
| einjährige Flächenstilllegung mit Selbstbegrünung          |                    |               |                     | 27  | 365 322   |
| dauerhafte Flächenstilllegung mit Nachsaat alle fünf Jahre |                    |               |                     | 39  | 353 310   |
| Mindestpflege für aus der Produktion genommene Flächen     |                    |               |                     | 31  | 361 318   |

Entscheidend für den Betrieb ist, ob mit diesem Betrag die fixen Flächenkosten abgedeckt werden können. In Abhängigkeit von Betriebstyp, -form und -größe bewegen sich die fixen Flächenkosten unter anderem Pacht, Aufwand Betriebsführung, Beiträge und Gebühren (ohne fixe Maschinenkosten) in der Größenordnung von 300 bis 400 EUR/ha (LfL, 2004a/b).

Der wirtschaftliche Nachteil durch eine **Flächenstilllegung/Mindestpflege** beläuft sich im Vergleich zur Standardfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - Winterraps kurz- bis mittelfristig auf 272 EUR/ha vor der Agrarreform (Abbildung 43).



**Abbildung 43 Wirtschaftlicher Nachteil der Mindestpflege im Vergleich zur Referenzfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste – Winterraps**

### 8.3.5 Umwandlung von Ackerland in Grünland

Aus wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Sicht wird insbesondere in den flussnahen Überflutungsbereichen eine durchgängige Grünlandbedeckung angestrebt. Im Untersuchungsgebiet werden im Bereich von HQ 10 derzeit 326 ha als Ackerfläche genutzt. Im Zuge geplanter Deichrückverlegungen werden in der Planungsvariante mit Teilschutz 620 ha und in der Variante ohne Teilschutz 812 ha Ackerfläche zukünftig für Überflutungen vorgesehen.

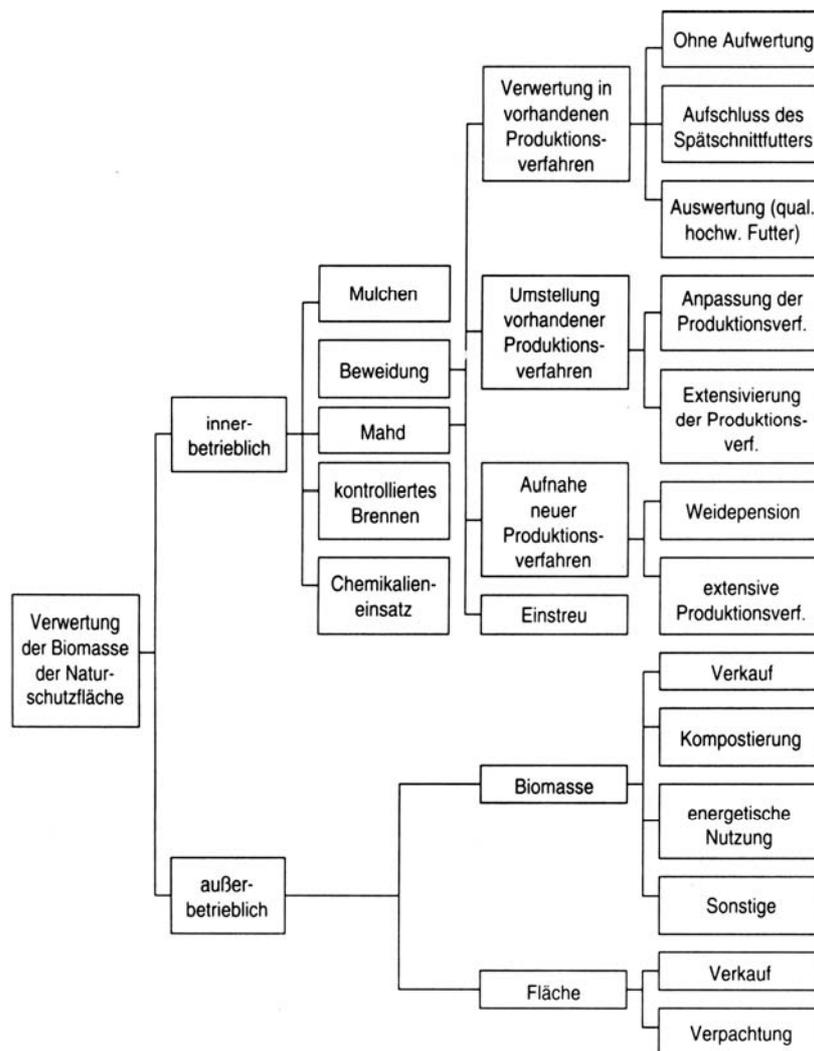
Eine auflagenbedingte Umwandlung von Ackerflächen in Grünland wiegt für die betroffenen Betriebe besonders schwer, da sich über den Marktfruchtanbau auf den Ackerflächen in der Regel deutlich höhere Deckungsbeiträge und Gewinne als über das Grünland erzielen lassen.

Generell ist festzustellen, dass die Verwertungsmöglichkeiten von zusätzlichem Grünland als Futtergrundlage für die Tierproduktion begrenzt sind. Der Futterbedarf in den Betrieben wird in der Referenzsituation bereits über die vorhandenen Grünlandflächen abgedeckt. Ein Mehrbedarf besteht damit in der Regel nicht.

In Milchviehbetrieben kann die Einschränkung der Ackerfläche zu einem Mangel an Ackerfutter führen. Diesen gilt es auszugleichen. Die Erzeugungskosten von Ackerfutter insbesondere von Silomais liegen deutlich unter denen von Anweilsilagen vom Grünland. Dies ändert sich auch vor dem Hintergrund der Agrarreform nicht, bei der die Grünland - den Ackerflächen hinsichtlich der Flächenzahlung gleichgestellt werden. Die Hauptursache dafür liegt im deutlich geringeren

hektarbezogenen Energieertrag auf den Grünlandflächen. Milchviehhalter, welche auf ein kostengünstiges, energiereiches Grundfuttermittel angewiesen sind, werden versuchen, den Ackerfutterbau zu verlagern. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen wurden bereits im Kapitel 8.3.3 dargestellt.

Auflagen bezüglich einer extensiven Grünlandnutzung (ohne Düngung, geringe Schnitzzahl) führen zu veränderten Pflanzenbeständen, verringerten Erträgen und Qualitäten bezüglich des Futterwertes. Welche Möglichkeiten sich für die Nutzung von extensivem Grünlandaufwuchs bieten zeigt Köhne (2003).



**Abbildung 44** Verwertungsmöglichkeiten des Aufwuchses von extensivem Grünland (Köhne, 2003)

Welche Faktoren die jeweiligen Handlungsoptionen beschränken, ist in Tabelle 52 dargestellt.

**Tabelle 52 Anpassungsmöglichkeiten bei der Umwandlung von Ackerland in Grünland (nach Neubert & Thiel; 2004)**

| <b>Anpassung</b>  | <b>Voraussetzung, gegebene Faktorausstattung, Restriktion</b>  | <b>zusätzliche Kostenfaktoren, Bemerkungen</b>   |
|---|--|--|
| innerbetriebliche Futtermittelverwertung  |  |  |
| a) Futterumstellung (Beibehaltung Viehbestand und Reduzierung Ackerfutterbau und /oder Extensivierung des vorhandenen Grünlandes) | viehhaltende Betriebe mit Ackerfutterbau und oder Grünland   | i.d.R. keine Beachtung der Auswirkungen veränderter Rationen/Futterwerte z. B. Grassilage anstelle Silomais, Weideeinschränkungen bei Milchkühen |
| b) neue Produktionsverfahren  | Anwendungsbegrenzung durch Ackerfuturaufkommen und/oder Extensivierungspotenzial Stallplätze, Futterlager, Futtertechnik | i.d.R. keine; für MF-Betriebe nicht zutreffend   |
| Futterproduktion (Verkauf)  | vorhandene Absatz- und Verwertungsmöglichkeiten  |  |
| Landschaftspflege   |  |  |
| Alternative Verwertung - Biomasse   | vorhandene Absatz- und Verwertungsmöglichkeiten  | gg. Investitionskosten   |

### **Grünland als Futteraufwuchs**

Die Möglichkeiten im Bereich der Futtermittelverwertung von extensivem Grünlandaufwuchs beschränken sich auf extensive Verfahren wie die Haltung von Mutterkühen und Schafen. Wirtschaftlichkeitskalkulationen diesbezüglich wurden bereits im Rahmen anderer Projekte erstellt (LfL, 2001). Ein Nachteil der Vordeichflächen ist die hohe potenzielle Überflutungsgefahr. Wichtig sind Ausweichflächen außerhalb dieser Gebiete, für den Fall einer Evakuierung und zum Ausgleich von Ertragsausfällen durch die Überstauung. Zusätzliche Erschwernisse können potenzielle Schadstoffbelastungen mit sich bringen. Für Grünland betrifft dies im Untersuchungsgebiet vorrangig Arsen (vgl. Kapitel 6). Zur Verringerung der Schadstoffgehalte in Grünlandaufwüchsen werden unterschiedlichste Maßnahmen empfohlen. Hauptziel dieser Maßnahmen ist es, die Verschmutzung der Futtermittel mit Boden weitestgehend zu reduzieren.

### **Beispiel Mutterkuh-Freilandhaltung**

Umfangreiche Untersuchungen zur Mutterkuh-Freilandhaltung mit unterschiedlichem Tierbesatz auf der Fläche wurden bereits im Forschungsvorhaben "Entwicklung von dauerhaft Umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe" (LfL, 2001) getätigt. Innerhalb einer dreijährigen Versuchsreihe wurden neben einer ökonomischen Betrachtung auch zahlreiche Untersuchungen zu ökologischen Aspekten angestellt. Unter anderem wurde auch die Problematik der Schwermetallbelastung genauer betrachtet. Bei Bodenuntersuchungen stellte sich heraus, dass die analysierten Elemente (unter anderem auch Arsen und Cadmium) vorrangig in

einer Entfernung bis ca. 100 m zur Elbe erhöhte Werte aufwiesen, jedoch selten die Grenzwerte überschritten. Der Transfer dieser Stoffe vom Boden in die Pflanze war im Mittel des Untersuchungsgebietes gering. Die Vermarktung der ganzjährig in Überschwemmungsgebieten weidenden Tiere wurde nach Analysen im Tierkörper (Leber, Niere) als unbedenklich eingeschätzt. Für den Auenbereich der Mulde ist die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse jedoch bisher nicht näher geprüft. Besondere Bedeutung kommt in dieser Hinsicht der neuen Futtermittelverordnung zu. Das bisher zulässige „Verschneiden“, d.h. Vermischen belasteter Einzelfuttermittel mit überhöhten Gehalten an unerwünschten Stoffen mit unbelasteten Futtermitteln, ist seit dem 01.07.2004 nicht mehr erlaubt (vgl. neuer § 23 (2) FMV).

Die Ergebnisse der wirtschaftlichen Bewertung für die Situation nach der Agrarreform sind in Tabelle 53 gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, dass der Gewinn je Mutterkuh bei zunehmender Besatzdichte sinkt. Hauptursache dafür sind die höheren Kosten (Personal- und Grundfutterkosten durch Zufütterung), wogegen keine Mehrerlöse über den Verkauf erzielt werden können. Die Flächenprämie, welche anteilig auf die Mutterkuh umgelegt wird, verstärkt diese Tendenz zusätzlich. Während bei einer Besatzdichte von 0,9 GV/ha 489 EUR Prämie auf jede Mutterkuh fallen, sind es bei 1,5 GV/ha nur 293 EUR.

Beim Vergleich der Ergebnisse im Rahmen der Betriebszweigauswertung der LfL (2001) mit den Gewinnen der Kalkulation vor der Agrarreform, werden jedoch im Durchschnitt der mutterkuhhaltenden Betriebe deutlich schlechtere Ergebnisse erzielt. Als Ursache dafür werden neben dem Produktionsziel und der Vermarktung, auch der erhöhte Aufwand durch die Stallhaltung angesehen (LfL, 2001).

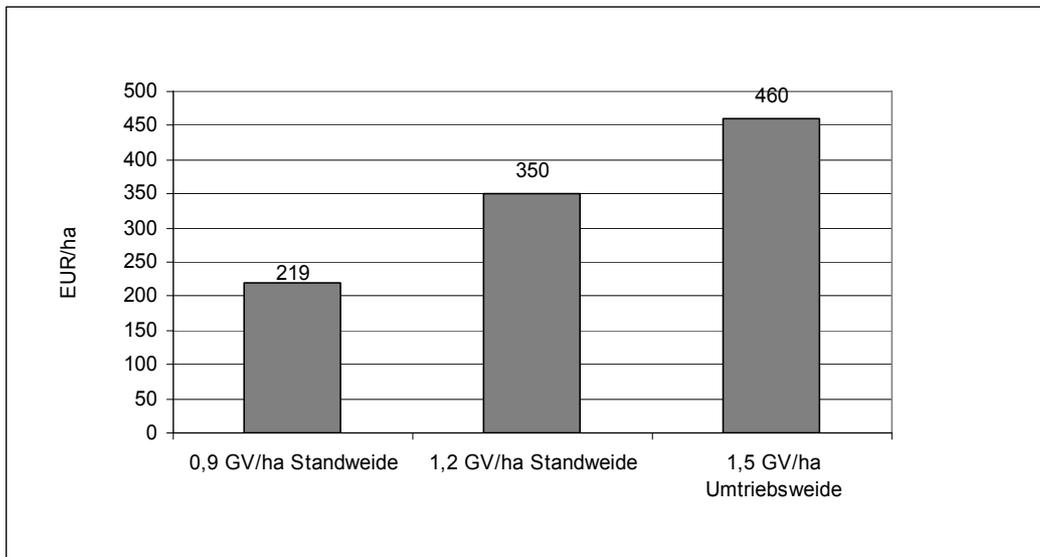
**Tabelle 53      Wirtschaftlichkeit der Mutterkuh-Freilandhaltung (LfL 2001, verändert)**

| <b>Tierbesatz</b>                    | <b>0,9 -GV/ha<br/>Standweide<br/>EUR/Muk</b> | <b>1,2 -GV/ha<br/>Standweide<br/>EUR/Muk</b> | <b>1,5 -GV/ha<br/>Umtriebsweide<br/>EUR/Muk</b> |
|--------------------------------------|--|--|---|
| Erlöse                               | 551  | 521  | 519   |
| anteilige Flächenprämie (349 EUR/ha) | 489  | 366  | 293   |
| <b>Summe Erlöse</b>                  | <b>1040</b>                                  | <b>887</b>                                   | <b>812</b>                                      |
| Kosten                               |  |  |   |
| Personal                             | 198  | 229  | 224   |
| Grundfutter ohne AGZ                 | 306  | 329  | 400   |
| sonstige Kosten                      | 382  | 368  | 357   |
| <b>Summe Kosten</b>                  | <b>886</b>                                   | <b>926</b>                                   | <b>981</b>                                      |
| Gewinn vor Steuer                    | 154  | -39  | -169  |
|                                      | EUR/ha                                       | EUR/ha                                       | EUR/ha  |
| Gewinn nach Agrarreform              | 110  | -35  | -199  |
| Deckungsbeitrag II nach Agrarreform  | 406  | 275  | 165   |

Die Ermittlung des Gewinns wurde ohne Berücksichtigung möglicher Preisveränderungen auf dem Rindfleischmarkt getätigt. Langfristig werden höhere Rinderpreise sowohl von der EU-Kommission

als auch von einigen Marktbeobachtern nicht ausgeschlossen. Entscheidend dafür ist die Entwicklung des Angebotes am europäischen Markt (Zinke, 2004).

Um einen Vergleich zur Standardfruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - Winterraps zu ermöglichen, wurden zunächst die Deckungsbeiträge der Mutterkuh-Verfahren ermittelt. Selbst bei der geringsten Besatzdichte ergibt sich ein wirtschaftlicher Nachteil in Höhe von 219 EUR/ha (Abbildung 45).



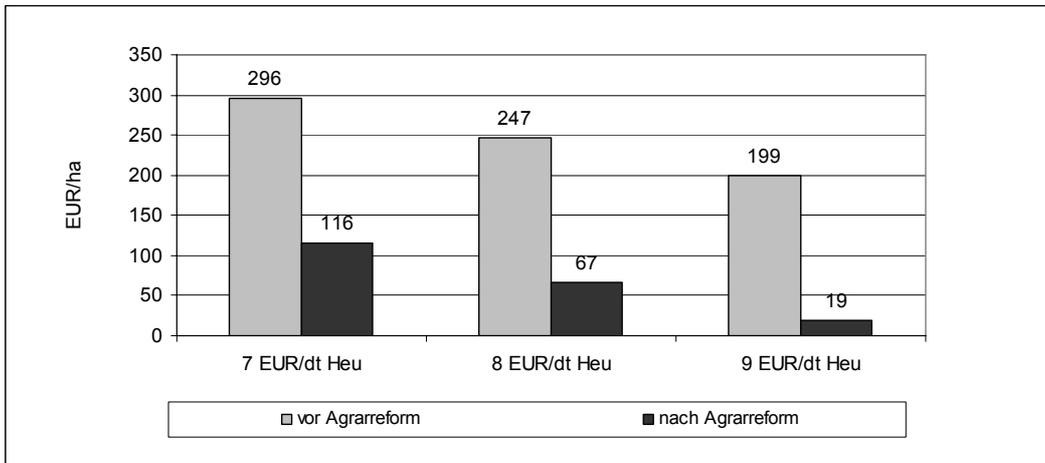
**Abbildung 45** Wirtschaftlicher Nachteil der Mutterkuh-Freilandhaltung zur Standard-Fruchtfolge auf der Ebene Deckungsbeitrag II bei unterschiedlicher Besatzdichte

#### **Konservat - Futtermittelverkauf (Heu)**

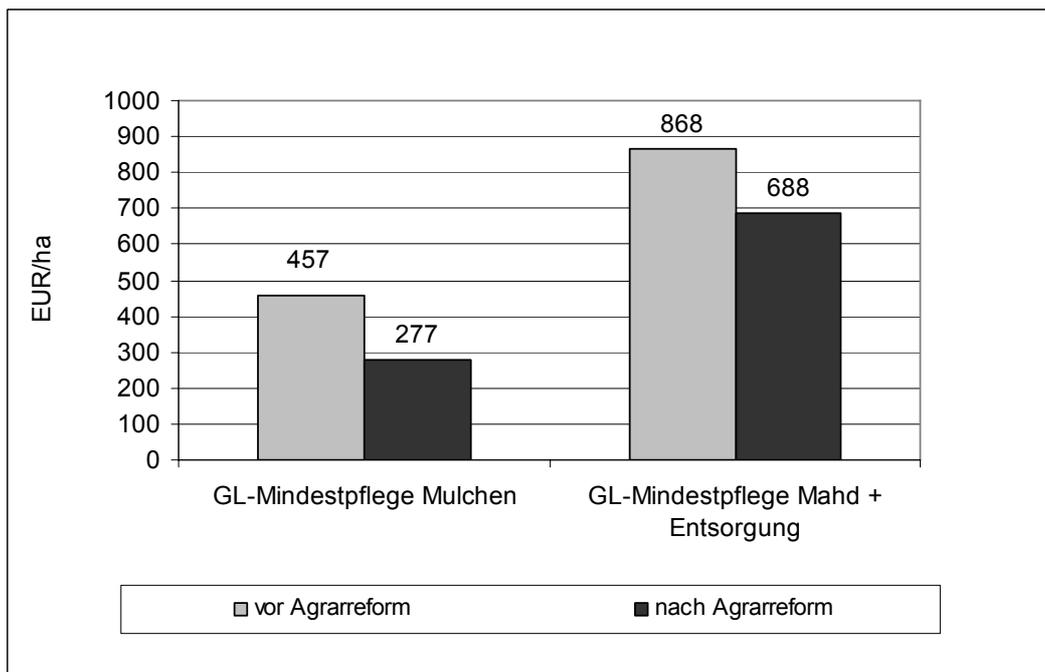
Für die Vermarktung von Grünlandaufwüchsen kommt in erster Linie Heu in Frage. Problematisch hierbei ist der ungewisse Absatz und die Unsicherheiten bezüglich der Absatzpreise. Im Folgenden erfolgt daher der Vergleich mit der Standardfruchtfolge in Abhängigkeit der Vermarktungspreise. Als Nutzungsform wurde dabei eine extensive Zweischnittwiese gewählt. Der Bruttoertrag liegt bei 260 dt/ha (42 dt TM/ha). Die Erzeugungsvollkosten belaufen sich unter den derzeitigen Rahmenbedingungen auf 8,6 EUR/dt, wenn die Förderung über KULAP in Höhe von 204 EUR/ha in Anspruch genommen wird. Nach der Agrarreform sinken sie auf 5,6 EUR/dt (mit Flächenprämie, ohne KULAP-Zahlung). Dieser Betrag entspricht dem Mindestverkaufspreis um Gewinn zu erwirtschaften.

Aufgrund der extensiven Nutzung handelt es sich um Heu mit einer geringen Energiekonzentration, welches nicht für die Verwendung in der Milchviehproduktion geeignet ist.

Ergebnisse der Betriebszweigauswertung der Milchproduktion geben Vollkosten (ohne Lagerkosten) in einer Größenordnung von 12 bis 13 EUR/dt als Orientierungswerte an (LfL, 2004).



**Abbildung 46** Wirtschaftlicher Nachteil bei der Vermarktung von Grünlandaufwuchs als Heu in Abhängigkeit der erzielten Erzeugerpreise



**Abbildung 47** Wirtschaftlicher Nachteil der Mindestbewirtschaftung auf Grünland im Vergleich zur Referenzfruchtfolge auf Ebene Deckungsbeitrag II

## Mindestpflege der Grünlandflächen

Zum Vergleich mit den Einkommenseinbußen der anderen Grünlandverfahren soll im Folgenden die Möglichkeit der Mindestpflege kostenmäßig bewertet werden.

Wie bereits dargelegt, gibt es zwei Möglichkeiten bei der Mindestpflege. Das ist zum einen das jährliche Mulchen der Flächen, zum anderen die Mahd alle zwei Jahre mit Abtransport des Mähgutes. Hinterlegt ist ein Bruttoertrag von 150 dt/ha. Der Mehraufwand für das zweite Verfahren liegt deutlich über dem des jährlichen Mulchens. Zurückzuführen ist dies vorrangig auf die hohen Kosten durch Abfuhr und die Entsorgung, welche hier über die Kompostieranlage unterstellt wurde. Eine Erhebung ergab Kosten in Höhe von 32 EUR/t Grünschnitt. Dazu kommen Transportkosten in Höhe von 0,40 EUR/tkm. Unterstellt ist eine Entfernung von durchschnittlich 20 km zu Kompostieranlage. Damit ist dieses Verfahren wirtschaftlich nicht tragbar.

Bei der Berücksichtigung der fixen Maschinenkosten verringert sich der ökonomische Nachteil um 120-130 EUR/ha.

### Fazit

Die wirtschaftlichen Konsequenzen aller untersuchten Szenarien werden in Abhängigkeit von der angebauten Kultur der Ist-Situation in Tabelle 54 nochmals gegenübergestellt. Anhand der Anbaustruktur kann die durchschnittliche Belastung je ha Ackerfläche ermittelt werden. Tabelle 55 zeigt dies anhand der vereinfachten Anbaustruktur für das Untersuchungsgebiet.

**Tabelle 54      Wirtschaftlicher Nachteil infolge auflagenbedingter Nutzungsänderungen der Ackerfläche in Abhängigkeit der angebauten Kultur (nach der Agrarreform)**

| Kultur   |           | Winterrweizen | Winterrgerste | Winterraps | Zuckerrübe | Silomais |
|--|-----------|---------------|---------------|------------|------------|----------|
| Deckungsbeitrag II                                 | EUR/ha    | 685           | 552           | 608        | 1539       | 789      |
| <b>Szenarien</b>                                   |           |               |               |            |            |          |
| Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung     | EUR/ha AF | 34            | 34            | 44         | 110        | 59       |
| Anbauverbot Zuckerrüben ohne Ausweichflächen       | EUR/ha AF | 0             | 0             | 0          | 888        | 0        |
| Anbauverbot Zuckerrüben mit Ausweichflächen        | EUR/ha AF | 0             | 0             | 0          | 176        | 0        |
| Anbauverbot Silomais - Ersatz durch WG-GPS         | EUR/ha AF | 0             | 0             | 0          | 0          | 367      |
| Anbauverbot Silomais - Ersatz durch Klee gras- AWS | EUR/ha AF | 0             | 0             | 0          | 0          | 756      |
| Mindestpflege-Mulchen                              | EUR/ha AF | 367           | 234           | 290        | 1221       | 471      |
| Weide im Kurzumtrieb                               | EUR/ha AF | 204           | 71            | 127        | 1058       | 308      |
| Miscanthus im Kurzumtrieb                          | EUR/ha AF | 238           | 105           | 161        | 1092       | 342      |
| <i>Auflagenbedingte Umwandlung in Grünland</i>     |           |               |               |            |            |          |
| Mindestpflege                                      | EUR/ha AF | 372           | 239           | 295        | 1226       | 477      |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 0,9 GV/ha                | EUR/ha AF | 279           | 146           | 202        | 1133       | 384      |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 1,2 GV/ha                | EUR/ha AF | 410           | 277           | 333        | 1264       | 515      |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 1,5 GV/ha                | EUR/ha AF | 520           | 387           | 443        | 1374       | 625      |
| Heuverkauf 7 EUR/dt                                | EUR/ha AF | 211           | 78            | 134        | 1065       | 315      |

**Tabelle 55      Wirtschaftlicher Nachteil infolge auflagenbedingter Nutzungsänderungen der Ackerfläche am Beispiel der vereinfachten Anbaustruktur der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe (nach der Agrarreform)**

| Kultur   |           | Winterweizen | Wintergerste | Winterraps | Zuckerrübe | Silomais | Stillelegung | Summe |
|--|-----------|--------------|--------------|------------|------------|----------|--------------|-------|
| Deckungsbeitrag II                                 | EUR/ha    | 685          | 552          | 608        | 1539       | 789      | 318          |       |
| Anteil der Ackerfläche                             | %         | 36           | 25           | 20         | 3          | 8        | 9            | 100   |
| <b>Szenarien</b>                                   |           |              |              |            |            |          |              |       |
| Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung     | EUR/ha AF | 12           | 8            | 9          | 3          | 4        | 0            | 37    |
| Anbauverbot Zuckerrüben ohne Ausweichflächen       | EUR/ha AF | 0            | 0            | 0          | 27         | 0        | 0            | 27    |
| Anbauverbot Zuckerrüben mit Ausweichflächen        | EUR/ha AF | 0            | 0            | 0          | 5          | 0        | 0            | 5     |
| Anbauverbot Silomais - Ersatz durch WG-GPS         | EUR/ha AF | 0            | 0            | 0          | 0          | 28       | 0            | 28    |
| Anbauverbot Silomais - Ersatz durch Klee gras- AWS | EUR/ha AF | 0            | 0            | 0          | 0          | 57       | 0            | 57    |
| Mindestpflege-Mulchen                              | EUR/ha AF | 130          | 58           | 58         | 37         | 36       | 0            | 319   |
| Weide im Kurzumtrieb                               | EUR/ha AF | 73           | 18           | 25         | 32         | 23       | 0            | 171   |
| Miscanthus im Kurzumtrieb                          | EUR/ha AF | 85           | 26           | 32         | 33         | 26       | 0            | 202   |
| <i>Auflagenbedingte Umwandlung in Grünland</i>     |           |              |              |            |            |          |              |       |
| Mindestpflege-Mulchen                              | EUR/ha AF | 132          | 59           | 59         | 37         | 36       | 0            | 324   |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 0,9 GV/ha                | EUR/ha AF | 99           | 36           | 41         | 34         | 29       | 0            | 239   |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 1,2 GV/ha                | EUR/ha AF | 146          | 69           | 67         | 38         | 39       | 0            | 359   |
| Mutterkuh-Freilandhaltung 1,5 GV/ha                | EUR/ha AF | 185          | 96           | 89         | 41         | 47       | 0            | 459   |
| Heuverkauf 7 EUR/dt                                | EUR/ha AF | 75           | 19           | 27         | 32         | 24       | 0            | 177   |

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass alle untersuchten Bewirtschaftungseinschränkungen auf eine Mehrbelastung hinauslaufen.

Ein Auffangen der ermittelten Mehrkosten ist weder unter den derzeitigen noch den zukünftigen Rahmenbedingungen über eine weitere Fruchtfolgeoptimierung möglich, da in den Referenzfruchtfolgen bereits die ökonomisch attraktivsten Kulturen mit den aus pflanzbaulicher Sicht maximalen Fruchtfolgeanteilen berücksichtigt wurden.

Eine auflagenbedingte Umwandlung der Ackerflächen in extensives Grünland bringt die größten finanziellen Einbußen mit sich. Untersucht wurden in diesem Zusammenhang die Verwertung des Grünlandes als Futteraufwuchs, als Nachwachsender Rohstoff sowie die Landschaftspflege im Rahmen von Cross Compliance. Im Durchschnitt der Anbausstruktur der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe bewegen sich die Einkommensverluste bei Umwandlung in extensives Grünland zwischen 239 bis 459 EUR/ha Ackerfläche (Tabelle 55).

Die Verwertungsmöglichkeiten von zusätzlichem Grünland als Futtergrundlage für die Tierproduktion sind begrenzt, da der Futterbedarf in den Betrieben in der Referenzsituation bereits über die vorhandenen Grünlandflächen abgedeckt wird. Ein Mehrbedarf besteht damit in der Regel nicht. Eine Erhöhung der Tierbestände ist unter dem Gesichtspunkt der aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen unwahrscheinlich. Vielmehr gehen Experten langfristig von weiter rückläufigen Bestandszahlen aus.

Mögliche alternative Verwertungsmöglichkeiten im Bereich der Nachwachsenden Rohstoffe sind im Anhang aufgezeigt, und beschränken sich bei extensiver Nutzung vorrangig auf die Pelletierung von Heu als Rohstoff für die Verbrennung. Derzeit ist diese Verwertungsoption noch mit einigen Problemen behaftet. Auch zukünftig ist die Bewertung immer vor dem Hintergrund der Absatzmöglichkeiten zu sehen. Mit zunehmender Nutzungsintensität kommt auch die Vergasung

von Grünlandaufwüchsen in Betracht, wobei sich diese unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten negativ darstellt.

Eine Möglichkeit, um zumindest die Kosten weitestgehend zu reduzieren, ist die Bewirtschaftung der Flächen im Rahmen der Mindestpflege. Aus wirtschaftlicher Sicht besteht beim Mulchen die Möglichkeit, in Abhängigkeit von der Betriebsstruktur eine Deckung der Vollkosten zu erreichen. Werden die Flächen dagegen gemäht, wird dies durch die hohen Kosten für den Abtransport und die Entsorgung des Mähgutes unmöglich.

Auf lange Sicht spielen insbesondere in den Szenarien mit der Auflage der Umwandlung in Grünland sowie die Einsparungen im Bereich anderer Fixkostenpositionen eine Rolle. Eine besondere Bedeutung kommt in dieser Hinsicht dem Pachtpreis zu. Nutzungsaufgaben wirken sich meist negativ auf den Wert der landwirtschaftlichen Flächen aus, was sich in der Folge in geringeren Pachtpreisen für die mit Auflagen belegten Flächen niederschlägt (vgl. LWK, 2002).

Führt mittel- bis langfristig keines der untersuchten Verwertungsalternativen zu einer Deckung der Vollkosten, und wird unterstellt, dass das Unternehmen Gewinnoptimierung betreibt, ist eine Aufgabe der Flächen wahrscheinlich, da 90 % der Flächen der im Untersuchungsgebiet wirtschaftenden Betriebe Pachtflächen sind.

Im Rahmen einer wirtschaftlichen Optimierung ist eine Vergrößerung der Betriebsflächen notwendig, um die fixen Kosten im Betrieb weitestgehend zu minimieren. Die Betriebe werden beim Entzug wertvoller Ackerstandorte daher bemüht sein, andere Standorte mit guten Bodenwerten und ohne Auflagen zu pachten. Dies kann unter Umständen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes zu steigenden Pachtpreisen führen. Die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten der Betriebe können dadurch zusätzlich eingeschränkt werden.

Aufgrund des hohen Deckungsbeitrags der Zuckerrübe ist diese Frucht in allen kalkulierten Szenarien am stärksten betroffen. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass eine mögliche Reform der Zuckermarktordnung und damit verbundene Preisänderungen noch nicht berücksichtigt wurden.

Die sich aus dem Verbot des Anbaus von Silomais und Hackfrüchten ergebenden finanziellen Einbußen liegen für die betroffenen Kulturen deutlich über den Werten der Umstellung auf konservierende Bodenbearbeitung, betreffen jedoch nur einen geringen Anteil der Fläche im Untersuchungsgebiet, für Silomais und Zuckerrüben in der Summe ca. 10 %.

Bei der Bewertung spielen daher besonders die einzelbetrieblichen Verhältnisse eine Rolle. Mit einem steigenden Anteil von Hackfrüchten und Ackerfutter in den Fruchtfolgen steigt die Betroffenheit. Zu diesem Ergebnis kommen auch Schätzl und Hoffmann (2003), welche eine ähnliche Problematik für Bayern untersuchten.

Besonders kritisch ist ein Aufeinandertreffen mehrerer Auflagen. So führt beispielsweise die konservierende Bodenbearbeitung in Kombination mit dem Anbauverzicht von Zuckerrüben zu einem wirtschaftlichen Nachteil zwischen 42 und 64 EUR/ha Ackerfläche im Durchschnitt des Untersuchungsgebietes (Tabelle 55). Auf der Betrachtungsebene des Deckungsbeitrages II entspricht dies Einkommenseinbußen von unter 10 %. Dem stehen kurz- bis mittelfristig weiterhin die Fixkosten gegenüber. Auf der Gewinnebene ist daher ein Fehlbetrag von ca. 30 bis 40 % zu verzeichnen, was eine erhebliche Beeinträchtigung darstellt.

Die Handlungsoptionen der Betriebe sind beschränkt, bei Futterbaubetrieben durch die Kapitalgebundenheit und laufende Kredite noch stärker als bei Betrieben ohne Tierhaltung. Auflagen bezüglich der Futterflächen können daher als besonders schwerwiegend eingeschätzt werden, auch vor dem Hintergrund der agrarpolitischen Rahmenbedingungen, welche tendenziell eher schlechte Bedingungen gerade für die intensive Milchproduktion mit sich bringen.

Für kleine Betriebe können sich Bewirtschaftungsauflagen deutlich stärker auswirken, da diese geringere Handlungsspielräume bezüglich der Flächen und des Kapitals haben.

#### **8.4 Ermittlung des Schadenspotenzials durch Überschwemmungsereignisse**

Die bei einer Überflutung landwirtschaftlicher Flächen entstehenden Schäden sind sehr vielfältig. In  
Tabelle

56

Tabelle 56 werden sie kategorisiert und bewertet. Im Rahmen dieser Arbeit können lediglich die Flächenschäden berücksichtigt werden, da die anderen Schäden starken einzelbetrieblichen Schwankungen unterliegen.

Schwierig gestaltet sich die ökonomische Bewertung der so genannten Offsite-Schäden:

- Bodenabtrag, -eintrag an anderer Stelle,
- Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Boden und Eintrag in andere Ökosysteme,
- Verschmutzung angrenzender Wege, Straßen und Gräben.

Die Ermittlung der Schadenshöhe auf den überfluteten Flächen basiert auf den hinterlegten Ertragsverlusten in Abhängigkeit von Überstaudauer und -zeitpunkt.

Die Bestimmung der Ertragsausfälle erfolgte in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Kulturen. Für einen besseren Vergleich zwischen den verschiedenen Kulturen und um bei der Berechnung eine gewisse Vereinfachung zu erreichen, wurden diese Entwicklungsstadien auf die einzelnen Monate übertragen. Dadurch ist es im Anschluss möglich, eine Überlagerung mit den Pegeldaten zu erzielen.

**Tabelle 56 Kategorisierung und Bewertung landwirtschaftlicher Schäden (Neubert, G. Thiel, R., 2004)**

| Schadenkategorie                           | Untersetzung/Bewertung  | Bemerkungen  |
|--|---|--|
| Flächenschäden<br>(Kulturpflanzen, Böden)  | Ertragsverluste/Erlöseinbußen,<br>Kosten für<br>Ersatzfutterbeschaffung,<br>Gewinndifferenz<br>Ersatzfutteranbau                          | direkte Verluste + Verluste durch<br>Wiederherstellungsmaßnahmen<br>auch in Folgejahren,<br>Gegenrechnung eingesparter<br>Kosten                     |
|  | Wiederherstellung<br>Flächennutzbarkeit,<br>Kulturzustand,<br>Ertragsfähigkeit/Kosten für<br>entsprechende Arbeitsgänge<br>incl. Material | z. B. Beseitigung von<br>Verschlammung, Schwemmgut<br>verschmutzter Aufwüchse,<br>Nachsaat/Neuansaat Grünland,<br>zusätzliche<br>Bodenuntersuchungen |
| Schäden an Vorräten,<br>Betriebsmitteln    | Kosten für Ersatzbeschaffung  | zwischengelagerte Ernteprodukte<br>auf Flächen   |
| Schäden an Gebäuden,<br>Anlagen, Maschinen | Kosten für Instandsetzung, ggf.<br>Ersatz Zeitwert  |  |
| Viehverluste,<br>Leistungsdepressionen     | Kosten Ersatzbeschaffung,<br>Erlöseinbußen  | direkt durch Flutung und indirekt<br>durch Evakuierung,<br>Futterwertminderung   |
| Evakuierungskosten                         | Kosten für Transporte,<br>Unterbringung, Pensionshaltung  | Gegenrechnung<br>Kosteneinsparung bei eigener<br>Haltung, Futterkosten zu<br>Flächenschäden<br>(Ersatzfutterbeschaffung)                             |
| sonstiges                                  | Gutachterkosten<br>Schadenermittlung,<br>Koordinierung HW-Maßnahmen<br>ect./direkte Kosten  |  |

### Ackerfläche

Für die Ackerflächen wird davon ausgegangen, dass bis zu einem erwarteten Ertragsverlust von 50 % die Ernte erfolgt. In diesem Fall wird der Ertragsausfall angerechnet. Bei Marktfrüchten, die als Lebensmittel angebaut wurden, wird eine Vermarktung als Futtermittel unterstellt. Untersuchungen bezüglich des Schadstoffgehalts sind jedoch noch nicht berücksichtigt.

Fällt der zu erwartende Ertragsverlust größer aus als 50 %, wird von einem Totalverlust ausgegangen. Für diesen Fall berechnet sich das Schadenspotenzial aus dem entgangenen Erlös abzüglich der eingesparten variablen Kosten. Zudem wurde ein Mehraufwand für einen Arbeitsgang Einarbeitung der Pflanzen-Rückstände (50 % Scheibenegge, 50 % Mulchen) berücksichtigt.

Eine Nachsaat als Sommerung bei Totalausfall wird nur bei Winterhochwässern berücksichtigt. Die Ausgleichszahlungen werden methodisch der Erstkultur zugerechnet, auch im Hinblick auf die Agrarreform, nach der die Flächenzahlung unabhängig von der Anbaustruktur erfolgt.

Die sich ändernden agrarpolitischen Rahmenbedingungen wirken sich kaum auf die Höhe des Schadenspotenzials aus, daher wird hier lediglich die Situation vor der Agrarreform betrachtet. Die wichtigsten Einflussgrößen sind Ertragsniveau und Erzeugerpreise.

### **Grünland**

Die Hauptursache für die Ertragseinbußen auf Grünlandflächen durch Überstauung findet sich in der Belastung des Futters mit anhaftenden Schadstoffen. Der überwiegende Anteil der Grünlandflächen befindet sich derzeit im flussnahen Bereich und wird damit regelmäßig überflutet. Bei Hochwässern mit geringen Durchflussmengen kann davon ausgegangen werden, dass die Schadstoffbelastung deutlich unter der von solchen mit größeren Durchflussmengen liegt, da die Überflutung im Wesentlichen Grünland umfasst.

Während bei Extremereignissen in Abhängigkeit des Eintrittszeitpunktes des Hochwassers, für den jeweiligen Schnitt von einem Totalverlust ausgegangen werden kann, sollten die Beeinträchtigungen durch Hochwasser mit geringen Durchflussmengen differenziert betrachtet werden.

Für den Grünlandaufwuchs wird unterstellt, dass dieser im Rahmen der Fütterung im Betrieb benötigt wird. Kommt es im Fall der Überstauung zu einer Verwerfung des Aufwuchses muss daher die Beschaffung von Ersatzfutter hinterlegt werden. Grundlage dafür sind die Erzeugungsvollkosten zuzüglich Aufschlag für Transport und Gewinn in Höhe von 10 %. Davon wurden die variablen Kosten der eingesparten Arbeitsgänge abgezogen.

Ist der Aufwuchs bereits höher als 20 cm ist zusätzlich eine Mahd mit Abtransport des Mähgutes zu berücksichtigen. Anderenfalls reicht ein Mulchen der Fläche. Diese zwei Varianten wurden anteilmäßig berücksichtigt. Zudem wurden Mehrkosten für einen Arbeitsgang Striegeln und die Nachsaat unterstellt.

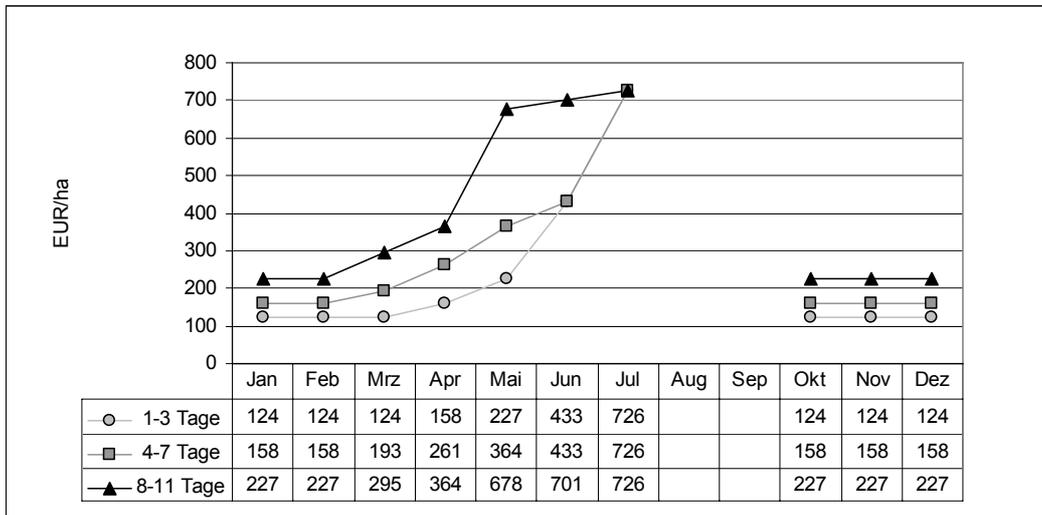
#### **8.4.1 Schadenspotenzial wichtiger Kulturen infolge eines Hochwasserereignisses**

##### **Marktfrüchte**

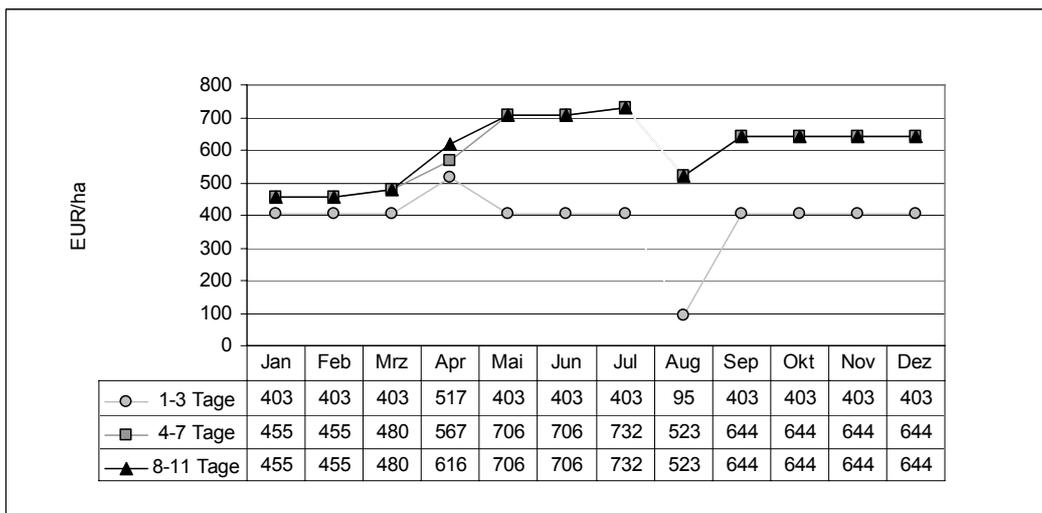
Im Folgenden soll beispielhaft das Schadenspotenzial für Winterweizen, Winterraps, Zuckerrübe und Silomais im Verlauf des Jahres dargestellt werden. Eine Übersicht aller Kulturen findet sich im Anhang 3-9.

In den Diagrammen wird der Zeitraum für die Überstaudauer unterschieden in 1-3 Tage, 4-7 Tage, 8-11 Tage.

Bei Winterweizen erfolgen bereits bei einer kurzfristigen Überstauung im Winter Einbußen bis 124 EUR/ha, welche sich ab Mai stark erhöhen und im Juli (vor der Ernte) sich in der Größenordnung von 730 EUR/ha bewegen. Bei längerer Überstauzeit wird der Totalausfall bereits ab Mai erreicht.



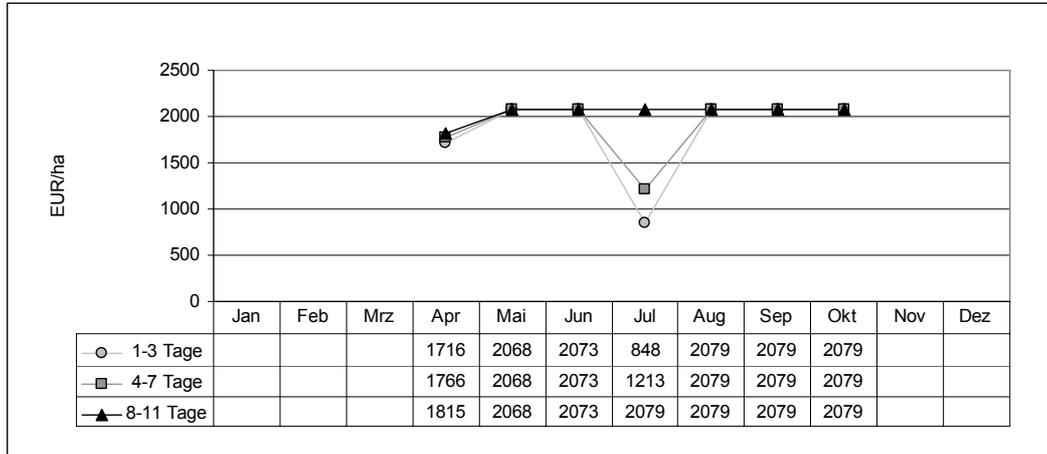
**Abbildung 48 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterweizen**



**Abbildung 49 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – Winterraps**

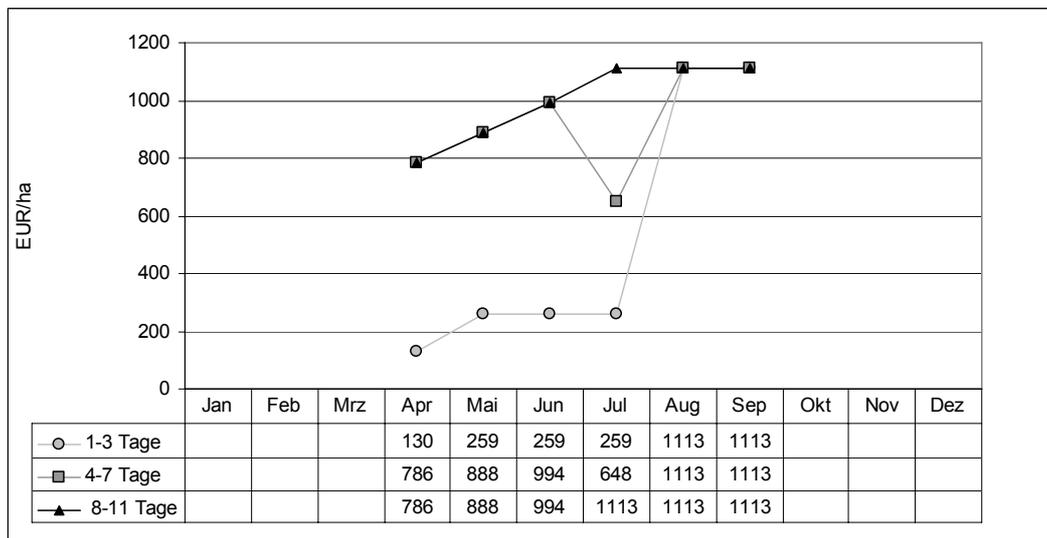
**Winterraps** reagiert relativ empfindlich auf die Überstauung. Bereits ab September wird bei einer Überstaudauer von bis zu drei Tagen ein Schadenspotenzial von 400 EUR/ha erreicht. Dieser Wert bleibt das ganze Jahr über erhalten, mit Ausnahme vom April. In diesem Monat hat die Überstauung einen Totalausfall zur Folge und der Schaden steigt auf 500 EUR/ha an. Ist die betroffene Fläche länger als vier Tage überflutet, wird ganzjährig vom Totalausfall ausgegangen. Die Unterschiede entstehen hier lediglich durch die eingesparten variablen Kosten.

Die **Zuckerrübe** als Vertreter der Hackfrüchte weist ebenfalls eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Überstauungen auf. Aufgrund der hohen Erlöse, die mit der Zuckerrübe erzielt werden, ist das Schadenspotenzial besonders hoch. Eine Überstauzeit von mehr als vier Tagen hat einen Totalausfall über den gesamten Zeitraum in Höhe von ca. 2080 EUR/ha zur Folge.



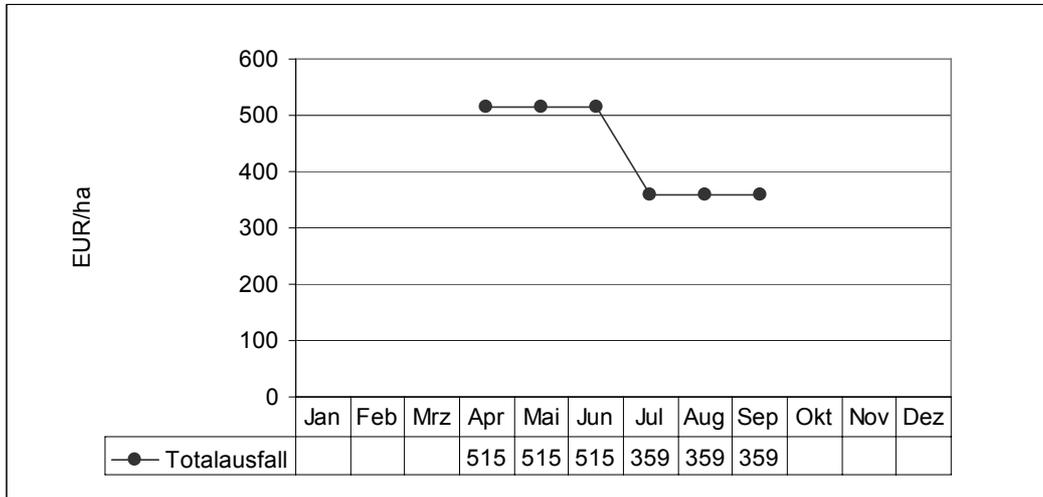
**Abbildung 50 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Zuckerrübe**

Entscheidend für die Bewertung des Schadenspotenzials von **Silomais**, ist vor allem die Überstauhöhe. Sobald der Kolben überstaut wird, ist eine Verwertung vor dem Hintergrund anhaftender Schadstoffe und Keime, welche unter anderem auch Fehlgärungen verursachen können problematisch. Aus diesem Grund führen Überstauungen ab August in der Regel zu Totalausfällen.



**Abbildung 51 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – Silomais**

Das Schadenspotenzial bei der Überstauung von Grünland ist auf den Aufwand für die Ersatzbeschaffung zurückzuführen, da für den jeweiligen Schnitt von einem Totalausfall ausgegangen wird. Dazu wurden jeweils zu 50 % die Kosten für einen Arbeitsgang Mulchen und die Entsorgung über die Kompostieranlage sowie die Nachsaat angerechnet.



**Abbildung 52 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer – extensives Grünland**

#### **Weide und Miscanthus im Kurzumtrieb**

Die Anpflanzung der Gehölze erfolgt im Frühjahr. Tritt das Hochwasser im darauf folgenden Sommer ein, ist der Schaden sehr hoch (1.400 EUR/ha bei Weide, 3.500 EUR/ha bei Miscanthus), da die Pflanzen noch nicht angewachsen sind. Ebenso problematisch ist ein Einfrieren im Winter. Für die Folgejahre sind keine Ertragsausfälle zu erwarten, da die Weide an natürliche Überschwemmungen angepasst ist. Ertragsdepressionen in diesem Zusammenhang sind noch nicht ausreichend untersucht.

#### **8.4.2 Vergleich des Schadenspotenzials der Szenarien**

Ziel der folgenden Betrachtung ist die Ermittlung der durchschnittlichen jährlichen Überschwemmungsschäden.

Anhand der ermittelten Schäden beim Eintritt eines Hochwasserereignisses für die einzelnen Kulturen (Kapitel 8.4.1) lassen sich Durchschnittswerte für die untersuchten Fruchtfolgen über die jeweiligen Anteile der Kulturen in der Fruchtfolge bilden (Tabelle 57).

**Tabelle 57 Durchschnittliches Schadenspotenzial in der Fruchtfolge in Abhängigkeit von der Überstaudauer (EUR/ha)**

| Fruchtfolge | Winterweizen-Wintergerste-Winterraps |          |          | Winterweizen-Wintergerste-Zuckerrübe |          |          |           |
|-------------|--------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|----------|----------|-----------|
|             | Überstaudauer                        | 1-3 Tage | 4-7 Tage | 8-11 Tage                            | 1-3 Tage | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar      |                                      | 181      | 219      | 260                                  | 55       | 76       | 118       |
| Februar     |                                      | 181      | 219      | 260                                  | 55       | 76       | 161       |
| März        |                                      | 181      | 247      | 310                                  | 55       | 97       | 161       |
| April       |                                      | 228      | 317      | 365                                  | 619      | 708      | 757       |
| Mai         |                                      | 224      | 423      | 523                                  | 764      | 869      | 971       |
| Juni        |                                      | 309      | 465      | 550                                  | 853      | 913      | 1000      |
| Juli        |                                      | 556      | 660      | 660                                  | 709      | 1106     | 1106      |
| August      |                                      | 458      | 594      | 594                                  | 1106     | 1106     | 1106      |
| September   |                                      | 127      | 204      | 204                                  | 670      | 670      | 670       |
| Oktober     |                                      | 181      | 278      | 320                                  | 725      | 746      | 788       |
| November    |                                      | 181      | 278      | 320                                  | 55       | 76       | 118       |
| Dezember    |                                      | 181      | 278      | 320                                  | 55       | 76       | 118       |

Auf Basis der Pegel­daten von Bad Düb­en (1983-2003) erfolgte eine Gruppierung der einzelnen Hochwasserereignisse in Abhängigkeit von Eintrittszeitpunkt im Jahresverlauf, Überstaudauer und Durchflussmenge. Im Anschluss daran, konnte die Häufigkeit der Hochwasserereignisse abgeleitet werden. Eine Überflutung innerhalb von 20 Jahren entspricht einer Häufigkeit von 0,05 (Tabelle 58).

Wie bereits in Kapitel 5 dargestellt, liegt die Wahrscheinlichkeit eines Frühjahrshochwassers ungleich höher als die eines Sommerhochwassers, welches dagegen in der Regel mit deutlich größeren Durchflussmengen einhergeht. Die ermittelten Werte wurden mit dem zugehörigen Schadenspotenzial der Fruchtfolgen multipliziert und über das Jahr aufsummiert.

**Tabelle 58 Hochwasser-Eintrittshäufigkeit in Abhängigkeit von der Überstaudauer und der Durchflussmenge (Pegeldaten Bad Düb­en 1983-2000)**

| Einzugsbereich | HQ 2 HQ 5 HQ10 HQ 20 HQ 25 |      |      |      |      | HQ 2 HQ 5 HQ10 HQ 20 |      |      |      | HQ 2 HQ 5 HQ10 HQ 20 |      |      |      |           |      |      |      |
|----------------|----------------------------|------|------|------|------|----------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|-----------|------|------|------|
|                | Überstaudauer              |      |      |      |      | 1-3 Tage             |      |      |      | 4-7 Tage             |      |      |      | 8-11 Tage |      |      |      |
| Januar         | 0,05                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Februar        | 0,05                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| März           | 0,30                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| April          | 0,05                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mai            | 0,00                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Juni           | 0,00                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Juli           | 0,00                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| August         | 0,05                       | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| September      | 0,05                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Oktober        | 0,00                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| November       | 0,00                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Dezember       | 0,05                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00      | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Die Zuordnung des Zeitpunktes der Ernte basiert auf der Grundlage von Ergebnissen der UL-Referenzbetriebe. Diese Ergebnisse sind in Form von Zeitspannen dargestellt. Für die Bewertung der einzelnen Kulturen im Kapitel 8.4.1. wurden in der Regel der mittlere Wert hinterlegt. Damit fällt die Ernte von Getreide in den Juli. Im Gegensatz zur Einzeldarstellung, wurde bei der Betrachtung der Fruchtfolge der Zeitpunkt der Getreideernte zwischen Juli (Tabelle 59) und August (Tabelle 60)

variiert, da dies einen großen Einfluss auf das Ergebnis ausübt. Die deutlich höheren Schäden bei der Ernte im August sind vorrangig auf das Augusthochwasser 2002 zurückzuführen, welches zwar ein Extremereignis darstellt, jedoch wird in Klimasimulationsmodellen (LfUG, 2003) für Sachsen eine Zunahme von Starkregenereignissen prognostiziert. Im Zusammenhang mit einer verstärkten Neigung zu warmen Wetterlagen ergibt sich damit langfristig eine Tendenz zu häufigeren Extremereignissen.

**Tabelle 59 Aufsummiertes jährliches Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit bei Getreideernte im Juli über den Betrachtungszeitraum 1983-2003 in EUR/ha/a**

| Fruchtfolge               | Überflutungshäufigkeit |       |       |       |
|---------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
|                           | HQ 5                   | HQ 10 | HQ 20 | HQ 25 |
| WW-WG-Winterraps          | 1                      | 1     | 1     | 1     |
| ZR-WW-WG-Winterraps-WW-WG | 17                     | 17    | 17    | 17    |
| ZR-WW-WG-Winterraps       | 26                     | 26    | 26    | 26    |
| ZR-WW-WG                  | 34                     | 34    | 34    | 34    |
| WW-WG-Winterraps-Silomais | 15                     | 15    | 15    | 15    |

Der Vergleich der unterschiedlichen Fruchtfolgen zeigt, wie aus der Einzelbetrachtung zu erwarten, ein deutlich höheres Schadenspotenzial der Zuckerrüben – und Silomais -Fruchtfolgen.

Im Vergleich zu den Nachteilen, welche sich aus den Bewirtschaftungsauflagen insbesondere der Umwandlung in Grünland ergeben, bewegen sich die Nachteile aus den Überschwemmungsereignissen auf einem niedrigen Niveau.

**Tabelle 60 Aufsummiertes jährliches Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überflutungshäufigkeit bei Getreiderente im August über den Betrachtungszeitraum 1983-2003 in EUR/ha/a**

| Fruchtfolge               | Überflutungshäufigkeit |       |       |       |
|---------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
|                           | HQ 5                   | HQ 10 | HQ 20 | HQ 25 |
| WW-WG-Winterraps          | 23                     | 23    | 23    | 23    |
| ZR-WW-WG-Winterraps-WW-WG | 39                     | 39    | 39    | 39    |
| ZR-WW-WG-Winterraps       | 42                     | 42    | 42    | 42    |
| ZR-WW-WG                  | 55                     | 55    | 55    | 55    |
| WW-WG-Winterraps-Silomais | 31                     | 31    | 31    | 31    |

Problematisch ist der Schadensausfall beim Hochwasser für das betreffende Jahr. Hier kann die Liquidität der Betriebe in Abhängigkeit des Umfangs überfluteter Flächen extrem gefährdet sein.

Eine Unterscheidung des Schadenspotenzials zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung erfolgte nicht, da im Rahmen dieser Arbeit die Bewertung des Bodenabtrags und die Differenzierung der Abschätzung der Ertragsausfälle unterblieb.

## 8.5 Deichpflege

Im Untersuchungsgebiet ist für zwei Deichabschnitte in einer Planungsvariante trotz Deichneubau im Hinterland, der Erhalt der Altdeiche mit einem geringeren Schutzgrad als in der Ist-Situation vorgesehen.

Untersucht wurde, wie hoch sich die Kosten für die Unterhaltung der Teilschutzdeiche, bezogen auf die dahinter liegenden Ackerflächen belaufen.

Entscheidend dabei ist die Deichlänge im Verhältnis zum Flächenumfang, welcher durch den Deich geschützt wird, aber auch wie hoch der Teilschutz angesetzt wird. In der Kalkulation wird von einem Schutz bis HQ 10 ausgegangen. Das Verhältnis von Deichlänge und der dahinter liegenden Ackerfläche ist in Tabelle 61 dargestellt.

**Tabelle 61** Verhältnis von Deichlänge zur geschützten Ackerfläche im Deichhinterland

| Deichabschnitt           | Deichlänge<br>Teilschutzdeich | dahinter liegende<br>Ackerfläche |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                          | km                            | ha                               |
| Hohenprießnitz - Glaucha | 5,2                           | 100                              |
| Hainichen - Zschepplin   | 3,6                           | 85                               |

Bei der Kalkulation wird eine Pflege des Deiches durch die Beweidung mit Schafen unterstellt. Derzeit erfolgt die Deichpflege über abgeschlossene Pflegeverträge mit der zuständigen Talsperrenbehörde. Für eine mindestens dreimalige Überweidung erhalten die Schäfer 2 Cent/m<sup>2</sup> bzw. 204 € pro Hektar. Diese Summe entspricht der Fördersumme von 204 € /ha für die extensive Weide im Rahmen des KULAP - Programms.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Entwicklung von dauerhaft Umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe" wurde auch die Rentabilität der Deichpflege mit Schafen untersucht. Drei praxishängige Verfahren wurden miteinander verglichen: die Weidemast (Koppelhaltung und Stallendmast) und die Stallmast. In allen Varianten ergibt sich ein negatives Ergebnis. Am besten schneidet die reine Weidemast mit - 34 € Gewinn pro Mutterschaf ab, während die Varianten mit Stallnutzung deutlich negativer bewertet werden. Dies lässt sich auf die hohen Gebäude- und Ausrüstungskosten sowie den erhöhten Arbeits- und Futterbedarf zurückführen. Unter den untersuchten Bedingungen kann keine rentable Schafhaltung zur Deichpflege betrieben werden. Um voll kostendeckend zu arbeiten, wären Deichpflegeentgelte von 358 € /ha bei reiner Weidemast bzw. von ca. 511 € /ha bei Stallmast (bei einem Tierbesatz von 1,0 GV/ha) erforderlich. Bei einem höheren Tierbesatz läge das nötige Pflegeentgelt noch deutlich darüber, da dann pro Tier weniger Entgelt zur Verfügung stünde. In Tabelle 62 ist das Deichpflegeentgelt auf die im Hinterland liegende Fläche umgelegt.

**Tabelle 62 Umlage der Deichpflegekosten (Pflege mit Schafen 511 EUR/ha) auf die geschützten Ackerflächen im Deichhinterland (EUR/ha/a)**

| bis HQ 10 geschützte<br>Ackerfläche in ha | Deichlänge in km |     |     |     |
|---|------------------|-----|-----|-----|
|   | 2,5              | 5   | 10  | 15  |
| 30  | 58               | 116 | 232 | 348 |
| 40  | 43               | 87  | 174 | 261 |
| 50  | 35               | 70  | 139 | 209 |
| 75  | 23               | 46  | 93  | 139 |
| 100                                       | 17               | 35  | 70  | 104 |
| 150                                       | 12               | 23  | 46  | 70  |
| 200                                       | 9                | 17  | 35  | 52  |

Für die Flächen zwischen dem Altdeich und den Deichneubau im Bereich Hohenprießnitz - Glaucha würde sich nach dieser Kalkulation ein Betrag von 35 EUR/ha/a ergeben, welcher notwendig wäre, um den Deichabschnitt mit Hilfe von Schafen voll kostendeckend zu pflegen, für den Bereich Hainichen Zscheplin ein Betrag von 23 EUR/ha/a.

### 8.6 Auswirkung veränderter Landnutzung auf den Fixkostenbereich

Nicht alle ökonomischen Auswirkungen der Bewirtschaftungsumstellung lassen sich über den Vergleich der Deckungsbeiträge abdecken. Auch im Bereich der Fixkosten können sich Veränderungen ergeben, allerdings lassen sich diese nur schwer verallgemeinern. Die Hauptursachen dafür sind:

- Unterschiede der Betriebsstruktur und -größe
- Betroffenheit der Betriebe im Verhältnis zur Gesamtbetriebsfläche
- Form der Bewirtschaftungs-Auflagen

Notwendige Veränderungen im **Maschinenpark** ergeben sich z.B. infolge wegfallender Betriebszweige oder Produktionsverfahren, Umwandlung von Acker- in Grünland, Umstellung der Bodenbearbeitung. Die Auslastung der bisher genutzten Maschinen sinkt, was von den Betrieben genutzt werden sollte, um den Maschinenpark den veränderten Bedingungen anzupassen.

Bewirtschaftungsvorgaben und Deichneubauten können zu **Flächenserschneidungen** führen. Damit sinkt die Parzellengröße, was wiederum längere Bearbeitungszeiten und damit höhere Personalkosten verursacht.

Infolge von Deichrückbauten kann sich die Notwendigkeit zur Verlagerung von Gebäuden außerhalb der gefährdeten Bereiche ergeben.

Werden Flächen mit verschiedenen Auflagen belegt, kann dies zu einer notwendigen Umstrukturierung der gesamten Betriebsstruktur führen. Der Aufwand für die betriebliche Anpassung erfordert zusätzlichen **Personalaufwand**.

Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Auflagen können die sich daraus ergebenden Einkommensverluste noch deutlich verschärfen.

## 9 Literatur

Ahuja, L.R., F. Fiedler, G.H. Dunn, J.G. Benjamin und A. Garrison. 1998. Changes in soil water retention curves due to tillage and natural reconsolidation In: Soil Sci. Soc. Am. J., 62. Jg., 1228-1233.

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. 1979. Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung 1:100.000

Anacker, U., U. Gutteck und M. Welker. 2003. Schadstoffbelastungen in Hochwassersedimenten. Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002“ in Freiberg, 27.-29. 08.2003, 12-17

Arbeitsgemeinschaft zur Reinhaltung der Elbe. 2000. Multielementanalysen von Wasserproben der Elbe und ausgewählter Nebenflüsse – Längsprofilbeprobung vom September 1997

Arbeitsgruppe Bodenkunde der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften. 1992. Bodenkundliche Kartieranleitung

ASFPM – Association of State Floodplain Managers, Inc. 2000. National Flood Programs in Review. [www.floods.org](http://www.floods.org)

ATV-DVWK (Hrsg). 2000. Die Elbe und ihre Nebenflüsse – Belastung, Trends, Bewertung, Perspektiven.

Baborowski, M., F. von der Kammer und K. Friese. 2003. Transport von Schwermetallen bei Hochwasserführung der Elbe: gelöst, partikel- oder kolloidgebunden? Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002“ in Freiberg, 27.-29. 08.2003, S. 17-22

BbodSchG. Bundes-Bodenschutzgesetz i. d. Fassung vom 17.03.1998

BbodSchV. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung i. d. Fassung vom 12.07.1999

Bejat, L., E. Perfect, V.L. Quisenberry, M.S. Coyne und G.R. Hazler. 2000. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks In: Soil Sci. Soc. Am. J., 64. Jg., S. 818-826.

Beuge, P.; A. Greif, T. Hoppe, A. Kluge, W. Klemm und R. Starke. 1994. Schadstoffbelastung der Mulde – Wege zur Gesundung. Vortrag auf der 72. Jahrestagung der DMG in Freiberg, gehalten am 22.09.1994.

Brand-Sassen, H. 2004. Bodenschutz in der deutschen Landwirtschaft – Stand und Verbesserungsmöglichkeiten, Dissertation, Göttingen

Broekaert, J.A.C., V. Siemens, T. Krugmann und A. Schlenker. 2004. Schwermetall- und Arsenverlagerung in der Vereinigten Mulde. Endbericht des Ac-Hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002“, 173-182

Cameira, M.R.; R.M. Fernando und L.S. Pereira. 2003. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for an silty loam alluvial soil in southern Portugal. Soil Tillage Res. 70, 131-140

Cassel, D.K. 1983. Spatial and temporal variability of soil physical properties following tillage or Norfolk loamy sand. Soil Sci. Soc. Am. J. 47, 196-201

Desbos, Elisabeth. 1997. Qualifying land vulnerability to flooding. Post-graduate studies memorandum – CEMAGREF Lyon –INSA Lyon – September 1995, completed in 1997.; zit. In Citeau, Jean-Michel. 2003. A New Flood Control Concept in the Oise Catchment Area: Definition and Assessment of Flood Compatible Agricultural Activities. FIG Working Week 2003, Paris, France

DIN 19661-2. Richtlinien für Wasserbauwerke –Sohlenbauwerke. Teil 2: Abstürze, Absturztrepfen, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützwand, Grundschrwellen, Sohlenschwellen.

DirektZahlVerpflV (Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung) .2004. "Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand" vom 04.11.2004

Dr. Scholz Planungsgesellschaft mbH. 2004. Hochwasserschutzkonzept Mulden im Regierungsbezirk Leipzig, Bericht.

Eder, J. 2005. Anbau, Düngung und Biogaserträge von Nachwachsenden Rohstoffen. In: International Energy Farming Congress. 02. March to 04. March, Papenburg, Germany, Tagungsband

FFH-Richtlinie – Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21.05.1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen

Fleeger, F. 2003. Gas aus Gras und was noch? Bauernzeitung 25.Woche, S. 40-41

Gantzer, C.J. und G.R. Blake. 1978. Physical Characteristics of Le Sueur clay loam soil following no-till and conventional tillage. Agr. J. 70, 853-857

Gilard, O. 1998. Guide pratique de la méthode inondabilité. Ed. Agences de l'Eau, Ministère de l'Environnement; zit. In Pivot, J.-M., E. Josien, M. Testut, P. Martin und N. Gendreau. 2002. Flood hazard change and farmland vulnerability. In: Proceedings of the European Conference on Advances in Flood Research. 218-239.

Gröngröft, A., F. Krüger und G. Miehlisch. 2003. Schwermetallbelastungen der Böden in Elbauen ober- und unterhalb der Muldemündung. Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augsthochwasser 2002“ in Freiberg, 27.-29. 08.2003, S. 37-42

Gupta, S.C. und W. E. Larson. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resour. Res. 15, 1633-1635

Haase, J. 1971. Die räumliche Struktur der Niederschlagsverhältnisse in den sächsischen Bezirken. Diss. Halle-Wittenberg; zit. In Mannsfeld u. Richter, 1995

Hamblin, A.P. und D. Tennant. 1981. The influence of tillage on soil water behavior. Soil Sci. 132, 233-239

Hartge, K.H. und R. Horn. 1991. Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

Hartmann, H. 2003. Produktion und Bereitstellung biogener Festbrennstoffe. In: Leitfaden Bioenergie, Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow

Heidenreich, R. 2004. Rauchgasreinigung durch Ionisation und elektrische Abscheidung bei Kesseln mit Pellet- und Getreidefeuerung. In: Nutzung von Biomasse. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 7, 9. Jg.

Hill, R. L. 1990. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 54, 161-166

Hill, R.L., R. Horton und R. M. Cruse. 1985. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1264-1270

Holz, T. 2003. Holzpellet-Heizungen. Planung – Installation – Betrieb. Ökobuch Faktum

Jäkel, K. .2005. Energetische Verwertung von Biomasse zu Biogas. In: Schmidt, H. et al. 2005. Studie zur Ermittlung alternativer Wertschöpfungspotenziale im Bereich der Landbewirtschaftung außerhalb der Nahrungsmittelproduktion sowie der Diversifizierung im landwirtschaftsnahen

Bereich/ländlichen Raum Sachsens. Abschlussbericht, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 30 ff

Kesten, E. 2004. Energieliefernde Pflanzen – Perspektiven und Potenziale durch Pflanzenzüchtung. DLG-Kolloquium 2004: Energiemarkt der Zukunft. Bonn, 01. Dezember, Kurzfassungen der Vorträge

Klemm, W., U. Knittel, A. Greif, J.A.C. Broekaert und V. Siemens. 2003. Schwermetalle und Arsen in der Mulde. Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Auguthochwasser 2002“ in Freiberg, 27.-29. 08.2003, 83-87

Köhne, M. .2003. Schadenskalkulation bei Grünlandextensivierungen – Fallgestaltungen und Lösungsansätze. In: HLBS-Report (2003) Nr. 3, S. 74-84

Land Compensation Act. 1961

Land Drainage Act. 1994

Landbeck, M. und W. Schmidt. 2005. Energiemais – Ziele, Strategien und erste Züchtungserfolge. In: International Energy Farming Congress, 02.03. - 04.03.2005, Papenburg, Germany, Tagungsband. NaRo.Net dienst landelijkgebied voor ontwikkeling en beheer

Landwirtschaftskammer (LWK) Hannover. 2002. Ökonomische Entwicklung der Landwirtschaft im Überschwemmungsgebiet der oberen Leine.

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft und LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.). 1996. Erosion 2D/3D – Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2001. Untersuchungen zur Durchführbarkeit und den Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf dem Grünland in den Elbauen. In (BMbF) - Projekt Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2002. Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe.

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2003. Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden.

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2003. Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004a. Kalkulationsmodell für die Erzeugung von Marktfrüchten. Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004b. Kalkulationsmodell für die Grundfuttererzeugung. Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004c. Kalkulationsmodell für eine rentable Milchproduktion. Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004d. Wirtschaftlichkeitsbericht Milch 2002/2003.

LfL –Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2004e. Protokoll zur Runde „Prognosepreise“ 21.07.2004. FB Agrarökonomie, Ländlicher Raum

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 1996. Bodenatlas des Freistaates Sachsen – Teil 1 Hintergrundwerte für Schwermetalle und Arsen in landwirtschaftlich genutzten Böden

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2000. Color-Infrarot-(CIR)-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung. CD-ROM

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2001. Klimaprognose für Sachsen – Zusammenfassender Bericht: Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen.

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2002. Gebietsspezifische Erhaltungsziele nach Artikel 6 (3) der Richtlinie 92/43/EWG für den sächsischen Gebietsvorschlag gemeinschaftlicher Bedeutung Nr. 65 E

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2003. <http://lfugwww.smul.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/>

LfUG – Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2004. Durchflusstafeln für die Pegel Bad Düben und Golzern, 1983-2003.

Lindstrom, M.J. und C.A. Onstad. 1984. Influence of tillage systems on soil physical parameters and infiltration after planting. J. Soil Water Cons. 39, 149-152

Mannsfeld, K. und H. Richter (Hrsg.). 1995. Naturräume in Sachsen. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band 238

Mapa, R.B., R.E. Green und L. Santo, L.. 1986. Temporal variability of soil hydraulic properties with wetting and drying subsequent to tillage In: Soil Sci. Soc. Am. J., 50. Jg., 1133-1138.

Martin, M.; P. Beuge, A. Kluge und T. Hoppe. 1994. Grubenwässer des Erzgebirges – Quellen von Schwermetallen für die Elbe. Spektrum der Wissenschaft.

Mediavilla, V., Lehmann, J., Meister, E. und H. Stünzi. 1997. Biomasseproduktion mit Chinaschilf. und einheimischen Gräsern. Agrarforschung 4 (7) : 295 – 298

Moroizumi, T. und H. Horino. 2004. Tillage effects on subsurface drainage. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 1138-1144

Nendel, K., Clauß, B. und A. Nendel. 2004. Untersuchungen der Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus der Landschaftspflege. In: Nutzung von Biomasse. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 7, 9. Jg.

Neubert, G. und R. Thiel. 2004. Schadenspotenziale in der Landwirtschaft. In: Bronstert, A. (Hrsg): Möglichkeiten zur Minderung des Hochwasserrisikos durch Nutzung von Flutpoldern an Havel und Oder.

O’Kane, M.; D.M. Mchaina, J. Stoicescu, S. Januszewski, M.D. Haug und B.E. Bews. 1997. Managing for closure at the myra falls operation – the design of a soil cover system for long term ecological and physical stability. 21. Annual B.C. Mine Reclamation Symposium, Cranbrook, B.C., September 22-25, 1997, 98-107

Obernberger, I. 1998. Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Bd. 1, dbv-Verlag, Universität Graz

Prange A., E. Bössow, B. Erbslöh, R. Jablonski, E. Jantzen, P. Krause, F. Krüger, P. Leonhard, R. Niedergesäß, R. Pepelnik, A. Schäfer, M. Schirmacher und W. v. Tümpling jr. 1997. Geogene Hintergrundwerte und zeitliche Belastungsentwicklung, Abschlussbericht, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Band 3/3, 405 S.

Rank, G., K. Kardel, W. Pälchen und A. Greif. 2003. Schadstoffbelastungen im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach den Auguthochwasser 2002. Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung nach dem Auguthochwasser 2002“, 114-120

Reinhold, G. 2003. Feldfrüchte vergären. Bauernzeitung 35. Woche, S. 14-15

Reynolds, W.D. und Elrick, D.E. 1986. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. *Groundwater Monitoring Review* 6, 84-95

Rinklebe, J. 2003. Schwermetalle in Auenböden der Elbe – ihre Verbreitung, Mobilitäten, Bindungsformen und ihr Transfer in Nutzpflanzen. Tagungsband Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes „Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002“ in Freiberg, 27.-29. 08.2003, 121-126

Röhricht, C. 2002. Acker- und pflanzenbauliche Untersuchung zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 4

Röhricht, C. 2004. Möglichkeiten der Alternativen Nutzung von Grünlandaufwüchsen als nachwachsender Rohstoff. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Beiträge zum Workshop: Zukunft der Grünlandnutzung in Sachsen (18.03. Königswartha), Tagungsmaterial

Röhricht, C. und A. Groß-Ophoff. 2003. Landwirtschaftliche Biomasse – Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft zur stofflich-energetischen Nutzung. Hrsg.: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Röhricht, C. und K. Ruscher. 2003. Schnellwachsende Hölzer – Anbau auf Kurzumtriebsplantagen. In: *Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Bornimer agrartechnische Berichte (35)* : 129 – 136

Röhricht, C. und S. Kiesewalter, S. 2004. Strohpellets als Brennstoff. *dlz-Agrarmagazin (10)* : 70 – 74

Röhricht, C., Kiesewalter, S. und A. Groß-Ophoff. 2002. Acker- und pflanzenbauliche Untersuchungen zum Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 4, 7. Jg.

Rousseva, S.S., L.R. Ahuja und G.C. Heathman. 1988. Use of a surface gamma-neutron gauge for in situ measurements of changes in bulk density of the tilled zone. *Soil Tillage Res.* 12, 235-251

Sächsische Akad. D. Wiss. 1997. Die Naturraumkarte des Freistaates Sachsen

Schattauer, A. und P. Weiland. 2004. Beispielsprojekte. In: *Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung*. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, S. 228 ff

Schätzl, R. und H. Hoffmann. 2003. Wirtschaftliche Folgen für landwirtschaftlich genutzte Hochwasser-Retentionsflächen. In: *Bayrisches Staatministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (2003): Schule und Beratung Heft 7, S. VI-1 bis VI-7*

Schellhorn, G. o. J. Die Muldenaue und ihre größten Überschwemmungen. In: Heimatbuch zur Geschichte der Dörfer Bennewitz mit Schmölen, Deuben, Grubnitz mit Nepperwitz

Schmidt, H., Röhricht, Chr., Grunert, M. et al. 2005. Studie zur Ermittlung alternativer Wertschöpfungspotenziale im Bereich der Landbewirtschaftung außerhalb der Nahrungsmittelproduktion sowie der Diversifizierung im landwirtschaftsnahen Bereich/ländlichen Raum Sachsens. Abschlussbericht, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Schrader, A. und H. Kaltofen 1987. Gräser – Biologie, Bestimmung, wirtschaftliche Bedeutung. Landwirtschaftsverlag Berlin

Schwartz, R. 1999. Beurteilung der Stoffeinträge über frische Schlämme für die Böden in der rezenten Aue und in zukünftigen Außendeichsflächen der unteren Mittelelbe. Hamburger Bodenkundl. Arbeiten 44, 84-92

Schwartz, R., A. Gröngröft und G. Miehlich. 1999. Die Bedeutung der Eindeichung auf den Wasser- und Stoffhaushalt ausgewählter Böden an der Mittelelbe. In UFZ-Bericht 1/1999 „Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse“, 109-102

Schwarz, K.-U. und E. Schnug. 1994. Etablierung und Biomassebildung von *Miscanthus x giganteus* unter unterschiedlichen Umweltbedingungen – Standorttest. In: Symposium *Miscanthus*: Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung. 6./7. Dezember 1994, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, 35 – 50

Simunek, J., M. Sejna und M. Th. Van Genuchten. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media. U.S. Salinity Laboratory Agricultural Research Service U.S. Department of Agriculture Riverside, California

SMUL - Sächsisches Staatministerium für Umwelt und Landwirtschaft. 2004. Informationen zur Umsetzung der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Freistaat Sachsen GAP-Reform 2005 - geplante Vorgehensweise

Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898

Yang, H., H. Rahardjo, E.-C. Leong und D.G. Fredlund. 2004. Factors affecting drying and wetting soil-water characteristic curves of sandy soils. *Can. J. Geotech./Rev. Can. Geotech.* 41(5): 908-920

Zacharias, S. 2004. Konservierende Bodenbearbeitung und Hochwasserschutz - Bodenphysikalische Aspekt. Schriftenreihe der LfL Heft 10, 9. Jahrgang, 53-63

Zinke, O. 2004. Rindfleisch. Künftig kleineres Angebot? In *Bauernzeitung*, 45.Jg.; 34.Woche, S. 44.

## **Anhang**

- Anhang 1: Nutzungs- und Bewirtschafterstruktur in der Mulde-Aue zwischen Wurzen und Landesgrenze Sachsen**
- Anhang 2: Standardfruchtfolge, Zuckerrüben- und Silomaisfruchtfolge in der Referenz-Situation**
- Anhang 3: Ermittlung des wirtschaftlichen Nachteils durch Zuckerrübenverbot**
- Anhang 4: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterweizen**
- Anhang 5: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Wintergerste**
- Anhang 6: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterroggen**
- Anhang 7: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterraps**
- Anhang 8: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Körnererbsen**
- Anhang 9: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Zuckerrübe**
- Anhang 10: Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Kartoffeln**

**Anhang 1      Nutzungs- und Bewirtschaftungsstruktur in der Mulde-Aue zwischen Wurzen  
und Landesgrenze Sachsen**

Download unter <http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfi/Fachinformationen/Ressourcenschutz/1091.htm>

## Anhang 2 Standardfruchtfolge, Zuckerrüben- und Silomaisfruchtfolge in der Referenz-Situation

| Kultur   |               | Wi.Qualitätsweizen<br>(A) | Wi.Futtergerste | Winterraps - food | Zuckerrüben | Stilllegung ohne<br>Nutzung | Maissilage  |                                   |   |
|--|---------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------------|---|
| Brutto-Ertrag                                      | dt/ha         | 70                        | 70              | 35                | 500         | 0                           | 520         |                                   |   |
| Netto-Ertrag                                       | dt TM/ha      |                           |                 |                   |             |                             | 137         |                                   |   |
| Netto-Ertrag                                       | MJ NEL/ha     |                           |                 |                   |             |                             | 90605       |                                   |   |
| Netto-Ertrag                                       | MJ ME/ha      |                           |                 |                   |             |                             | 149223      |                                   |   |
| Erlös  | EUR/ha        | 776                       | 644             | 788               | 2308        | 0                           | <b>1163</b> |                                   |   |
| EU-Flächenbeihilfe                                 | EUR/ha        | 392                       | 392             | 392               | 0           | 392                         | 392         |                                   |   |
| UL-Prämie  | EUR/ha        | 0                         | 0               | 0                 | 0           | 0                           | 0           |                                   |   |
| variable Kosten                                    | EUR/ha        | 501                       | 448             | 511               | 1118        | 89                          | 722         |                                   |   |
| fixe Kosten  | EUR/ha        | 145                       | 140             | 149               | 107         | 47                          | 277         |                                   |   |
| <b>Deckungsbeitrag II</b>                          | <b>EUR/ha</b> | <b>667</b>                | <b>589</b>      | <b>669</b>        | <b>1190</b> | <b>304</b>                  | <b>832</b>  |                                   |   |
| Deckungsbeitrag II abzügl. fixe<br>Maschinenkosten | EUR/ha        | 522                       | 449             | 520               | 1083        | 256                         | 555         |                                   |   |
| Fruchtfolgen                                       |               |                           |                 |                   |             |                             |             | Durchschnitts-<br>deckungsbeitrag | Differenz zur<br>Standard-<br>fruchtfolge |
| Standardfruchtfolge                                | %             | 32                        | 32              | 32                |             | 5                           |             | 625                               |   |
| Zuckerrübenfruchtfolge                             | %             | 32                        | 32              | 16                | 16          | 4                           |             | 711                               | + <b>86</b>                               |
| Silomaisfruchtfolge                                | %             | 24                        | 24              | 24                |             | 4                           | 24          | 675                               | + <b>50</b>                               |

### Anhang 3 Ermittlung des wirtschaftlichen Nachteils durch Zuckerrübenverzicht

| Kultur   |               | Wi.Qualitätsweizen<br>(A) | Wi.Futtergerste | Winterraps - food | Zuckerrüben | Stilllegung ohne<br>Nutzung |                                   |   |
|--|---------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| Brutto-Ertrag                                      | dt/ha         | 70                        | 70              | 35                | 500         | 0                           |                                   |   |
| Erlös  | EUR/ha        | 776                       | 644             | 788               | 2308        | 0                           |                                   |   |
| EU-Flächenbeihilfe                                 | EUR/ha        | 392                       | 392             | 392               | 0           | 392                         |                                   |   |
| UL-Prämie  | EUR/ha        | 0                         | 0               | 0                 | 0           | 0                           |                                   |   |
| variable Kosten                                    | EUR/ha        | 501                       | 448             | 511               | 1118        | 89                          |                                   |   |
| fixe Maschinenkosten                               | EUR/ha        | 145                       | 140             | 149               | 107         | 47                          |                                   |   |
| <b>Deckungsbeitrag II</b>                          | <b>EUR/ha</b> | <b>667</b>                | <b>589</b>      | <b>669</b>        | <b>1190</b> | <b>304</b>                  |                                   |   |
| Deckungsbeitrag II abzügl. fixe<br>Maschinenkosten | EUR/ha        | 522                       | 449             | 520               | 1083        | 256                         |                                   |   |
|  |               |                           |                 |                   |             |                             | Durchschnitts-<br>deckungsbeitrag | Differenz zur<br>Standard-<br>fruchtfolge |
| <b>Fruchtfolgen</b>                                |               |                           |                 |                   |             |                             |                                   |   |
| 16 % Zuckerrübe in der FF                          | %             | 32                        | 32              | 16                | 16          | 4                           | 711                               | + <b>86</b>                               |
| 24 % Zuckerrübe in der FF                          | %             | 24                        | 24              | 24                | 24          | 4                           | 761                               | + <b>136</b>                              |
| 32 % Zuckerrübe in der FF                          | %             | 32                        | 32              |                   | 32          | 3                           | 798                               | + <b>174</b>                              |
|  |               |                           |                 |                   |             |                             |                                   |   |
| Standardfruchtfolge                                | %             | 32                        | 32              | 32                |             | 5                           | 625                               |   |

**Anhang 4 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterweizen (EUR/ha)**

| Überstaudauer | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|---------------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|               | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar        | 5                   | 10       | 20        | 124                            | 158      | 227       |
| Februar       | 5                   | 10       | 20        | 124                            | 158      | 227       |
| März          | 5                   | 15       | 30        | 124                            | 193      | 295       |
| April         | 10                  | 25       | 40        | 158                            | 261      | 364       |
| Mai           | 20                  | 40       | 70        | 227                            | 364      | 678       |
| Juni          | 50                  | 50       | 80        | 433                            | 433      | 701       |
| Juli          | 100                 | 100      | 100       | 726                            | 726      | 726       |
| August        | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| September     | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Oktober       | 5                   | 10       | 20        | 124                            | 158      | 227       |
| November      | 5                   | 10       | 20        | 124                            | 158      | 227       |
| Dezember      | 5                   | 10       | 20        | 124                            | 158      | 227       |

**Anhang 5 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Wintergerste (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 5                   | 10       | 20        | 46                             | 77       | 140       |
| Februar   | 5                   | 10       | 20        | 46                             | 77       | 140       |
| März      | 5                   | 15       | 30        | 46                             | 109      | 203       |
| April     | 5                   | 25       | 25        | 46                             | 172      | 172       |
| Mai       | 10                  | 40       | 40        | 77                             | 266      | 266       |
| Juni      | 20                  | 50       | 50        | 140                            | 329      | 329       |
| Juli      | 100                 | 100      | 100       | 626                            | 626      | 626       |
| August    | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| September | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Oktober   | 5                   | 10       | 20        | 46                             | 77       | 140       |
| November  | 5                   | 10       | 20        | 46                             | 77       | 140       |
| Dezember  | 5                   | 10       | 20        | 46                             | 77       | 140       |

**Anhang 6 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterroggen (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 5                   | 10       | 20        | 114                            | 137      | 182       |
| Februar   | 5                   | 10       | 20        | 114                            | 137      | 182       |
| März      | 10                  | 25       | 40        | 137                            | 204      | 272       |
| April     | 10                  | 40       | 70        | 137                            | 272      | 488       |
| Mai       | 20                  | 40       | 70        | 182                            | 272      | 488       |
| Juni      | 50                  | 50       | 80        | 317                            | 317      | 488       |
| Juli      | 100                 | 100      | 100       | 525                            | 525      | 525       |
| August    | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| September | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Oktober   | 5                   | 10       | 20        | 114                            | 137      | 182       |
| November  | 5                   | 10       | 20        | 114                            | 137      | 182       |
| Dezember  | 5                   | 10       | 20        | 114                            | 137      | 182       |

**Anhang 7 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Winterraps (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 455      | 455       |
| Februar   | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 455      | 455       |
| März      | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 480      | 480       |
| April     | 100                 | 100      | 100       | 517                            | 567      | 616       |
| Mai       | 50                  | 80       | 100       | 403                            | 706      | 706       |
| Juni      | 50                  | 80       | 100       | 403                            | 706      | 706       |
| Juli      | 50                  | 80       | 100       | 403                            | 732      | 732       |
| August    | 10                  | 100      | 100       | 95                             | 523      | 523       |
| September | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 644      | 644       |
| Oktober   | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 644      | 644       |
| November  | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 644      | 644       |
| Dezember  | 50                  | 100      | 100       | 403                            | 644      | 644       |

**Anhang 8 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Körnererbsen (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Februar   | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| März      | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| April     | 100                 | 100      | 100       | 262                            | 311      | 361       |
| Mai       | 100                 | 100      | 100       | 464                            | 464      | 464       |
| Juni      | 100                 | 100      | 100       | 477                            | 477      | 477       |
| Juli      | 100                 | 100      | 100       | 477                            | 477      | 477       |
| August    | 100                 | 100      | 100       | 477                            | 477      | 477       |
| September | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Oktober   | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| November  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Dezember  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |

**Anhang 9 Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Zuckerrübe (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Februar   | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| März      | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| April     | 80                  | 100      | 100       | 1716                           | 1766     | 1815      |
| Mai       | 80                  | 100      | 100       | 2068                           | 2068     | 2068      |
| Juni      | 80                  | 100      | 100       | 2073                           | 2073     | 2073      |
| Juli      | 20                  | 40       | 60        | 848                            | 1213     | 2079      |
| August    | 50                  | 100      | 100       | 1396                           | 2079     | 2079      |
| September | 100                 | 100      | 100       | 2079                           | 2079     | 2079      |
| Oktober   | 100                 | 100      | 100       | 2079                           | 2079     | 2079      |
| November  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Dezember  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |

**Anhang 10      Schadenspotenzial in Abhängigkeit der Überstaudauer - Kartoffeln (EUR/ha)**

|           | Ertragsausfall in % |          |           | ökonomischer Verlust in EUR/ha |          |           |
|-----------|---------------------|----------|-----------|--------------------------------|----------|-----------|
|           | 1-3 Tage            | 4-7 Tage | 8-11 Tage | 1-3 Tage                       | 4-7 Tage | 8-11 Tage |
| Januar    | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Februar   | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| März      | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| April     | 30                  | 80       | 100       | 2741                           | 2781     | 2830      |
| Mai       | 40                  | 90       | 100       | 3016                           | 2927     | 2927      |
| Juni      | 50                  | 90       | 100       | 3102                           | 3102     | 3102      |
| Juli      | 50                  | 90       | 100       | 3102                           | 3102     | 3102      |
| August    | 50                  | 90       | 100       | 3102                           | 3102     | 3102      |
| September | 50                  | 90       | 100       | 3102                           | 3199     | 3199      |
| Oktober   | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| November  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |
| Dezember  | 0                   | 0        | 0         | 0                              | 0        | 0         |

## Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden  
**Internet:** [www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl)
- Autoren:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung  
Henning Stahl  
Dr. Steffen Zacharias  
Dr. Christian Röhrich  
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig  
Telefon: 0341/9174 – 122 Telefax: 0341/9174 – 111  
E-mail: [henning.stahl@leipzig.lfl.smul.sachsen.de](mailto:henning.stahl@leipzig.lfl.smul.sachsen.de)
- Fachbereich Agrarökonomie, Ländlicher Raum  
Dr. Horst Lorenz  
Ulrike Uhlig  
Leipziger Straße 200, 04178 Leipzig-Böhlitz-Ehrenberg  
Telefon: 0341/ 4472 – 167 Telefax: 0341/4472 – 314
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig  
Telefon: 0351/2612 – 345  
Telefax: 0351/2612 – 151  
E-mail: [birgit.seeber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de](mailto:birgit.seeber@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de)
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Juni 2005

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:  
Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente.

### Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.