

Biomasse-Dauerkulturen – Natur- und Bodenschutz



Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besonderer Berück- sichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen

Karl-Heinz Feger, Rainer Petzold, Peter A. Schmidt, Thomas Glaser, Anke Schroiff, Norman Döring,
Norbert Feldwisch, Christian Friedrich, Wolfgang Peters, Heike Schmelter

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Zielsetzung des Projekts	11
2	Berichte der Projektpartner	13
2.1	Standortstypisches Ertragspotenzial	13
2.1.1	Ziele des Teilprojektes	13
2.1.2	Arbeitsschritte und angewandte Methoden	13
2.1.2.1	Herleitung des standortstypischen Ertragspotenzials für Pappel	13
2.1.2.1.1	Stand der regionalisierten Ertragsmodellierung für Pappel-KUP in Sachsen	13
2.1.2.1.2	Beziehung Biomasseertrag und nFK	15
2.1.2.1.3	Reduktionsfunktionen für niedrige Temperaturen und Trockenheit	16
2.1.2.1.4	Grundwassereinfluss	19
2.1.2.2	Herleitung der Ertragspotenziale weiterer Baumarten und von <i>Miscanthus</i>	20
2.1.2.2.1	Weide	20
2.1.2.2.2	Robinie	20
2.1.2.2.3	Schwarzerle	21
2.1.2.2.4	<i>Miscanthus</i>	22
2.1.2.3	Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Ertragspotenziale	24
2.1.2.3.1	Stand des Wissens	24
2.1.2.3.2	Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf KUP	28
2.1.3	Ergebnisse & Diskussion	29
2.1.3.1	Standortstypisches Ertragspotenzial von Pappel	29
	Plausibilitätsprüfung der Ertragsschätzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen mit	30
2.1.3.2	Hilfe hydrologischer Modellierung	30
2.1.3.3	Ertragspotenziale weiterer Baumarten	34
2.1.3.3.1	Robinie	34
2.1.3.3.2	Schwarzerle	34
2.1.3.3.3	<i>Miscanthus</i>	35
2.1.3.3.4	Auswirkungen des Klimawandels auf KUP – Modellergebnisse und -grenzen	36
2.1.4	Fazit und Ausblick	38
2.2	Biomasse aus der Landschaftspflege	39
2.2.1	Ziele und Arbeitsschritte des Teilprojekts	39
2.2.2	Arbeitsschritte und Methodik	39
2.2.2.1.1	Begriffsdefinition „Landschaftspflegematerial“	40
2.2.2.2	Typen der Landschaftspflegeflächen	41
2.2.3	Ermittlung der Flächenpotenziale für Landschaftspflegematerial	47
2.2.3.1	Einführung zum Potenzialbegriff	47
2.2.3.2	GIS-gestützte Abschätzung der Landschaftspflegeflächen	48

2.2.3.2.1	Datengrundlage und Verwendung	48
2.2.3.3	Untersuchungsraum für Landschaftspflegeflächen.....	49
2.2.3.4	Energetisch nutzbare Landschaftspflegeflächen im Untersuchungsraum	50
2.2.4	Ermittlung des energetischen Potenzials für Landschaftspflegeflächen in Sachsen.....	58
2.2.4.1	Literaturrecherche biotoptypenbezogener Biomasseerträge	58
2.2.4.2	Verfügbare Anteile für eine energetische Nutzung	60
2.2.4.2.1	Energetisch nutzbares Biomassepotenzial der Landschaftspflegeflächen	64
2.2.5	Aktuelle Situation der Energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial (Befragung).....	67
2.2.6	Technische Optionen der energetischen Verwertung von Landschaftspflegematerial	70
2.2.6.1	Vergärung von halmgutartiger und krautiger Biomasse.....	71
2.2.6.1.1	Nassfermentation	72
2.2.6.1.2	Trockenfermentation.....	72
2.2.6.1.3	Beschickungstechnologien	76
2.2.6.1.4	Substrataufbereitung	78
2.2.6.1.5	Hydrolyse.....	78
2.2.6.1.6	Mechanische/Physikalische Substrataufbereitung.....	79
2.2.6.1.7	Enzymatische Substrataufbereitung	79
2.2.6.1.8	Substratlagerung	80
2.2.6.1.9	Biogasaufbereitung.....	81
2.2.6.1.10	Technik und Beurteilung der Praktikabilität bei Nutzung schwieriger Substrate	85
2.2.6.2	Verbrennung.....	85
2.2.6.2.1	Spezifika der Verbrennung von Heu aus der Landschaftspflege	86
2.2.6.2.2	Verbrennung von holziger Biomasse aus der Landschaftspflege	91
2.2.6.3	Thermochemische Vergasung.....	92
2.2.7	Organisatorische und logistische Voraussetzungen zur Potenzialerschließung	93
2.2.8	Fazit und Ausblick.....	96
2.3	Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz	99
2.3.1	Ziele	99
2.3.2	Definitionen und Methodik.....	99
2.3.2.1	Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie – Ausschluss)	102
2.3.2.2	Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen).....	103
2.3.2.3	Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark)	107
2.3.3	Mögliche Ergänzungen	109
2.3.4	Ergebnisse	109
2.3.4.1	Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie – Ausschluss)	109
2.3.4.2	Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen).....	110
2.3.4.3	Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark)	111
2.3.4.4	Zusammenfassende Auswertungen - Naturschutz	112
2.3.5	Chancen der Realisierung durch Landwirte	116
2.3.6	Fazit	117

2.4	Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz.....	118
2.4.1	Zielsetzungen des Bodenschutzes	118
2.4.2	Methoden zur Identifizierung von Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Bodenschutzes.....	118
2.4.3	Flächenkulissen der Nutzungsoptionen	120
2.4.3.1	Anbau in vorgeprägten Abflussbahnen.....	120
2.4.3.2	Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen	122
2.4.3.3	Anbau auf steilen, besonders erosionsgefährdeten Ackerflächen	123
2.4.3.4	Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen mit großer standörtlicher Winderosionsgefährdung.....	124
2.4.3.5	Anbau auf schadstoffbelasteten Böden	125
2.4.3.6	Ausschluss von sensiblen bzw. nicht geeigneten Bodenflächen	126
2.4.4	Synergieklassen für die verschiedenen Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien	129
2.4.5	Verteilung der Synergieklassen auf die Landschaftsräume	133
2.5	Natur- und bodenschutzfachliche Standards.....	135
2.5.1	Grundlagen	135
2.5.2	Technikeinsatz auf Problemstandorten (Hangneigung, Vernässung), Extensivierung.....	138
2.6	Modulübergreifende Auswertungen.....	141
2.6.1	Abstimmung der Module	141
2.6.2	Ergebnisse - Kartendarstellungen und Zusammenfassung nach Landschaftsräumen	141
2.7	Zusammenfassung	146
3	Literatur	148

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Biomasseerträge und Wassernutzungseffizienz von <i>Miscanthus</i> im Vergleich zu Pappel-Kurzumtriebsplantagen.....	23
Tabelle 2: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf das Wachstum von Pappelplantagen (ergänzt nach Rock et al. 2009)	27
Tabelle 3: Nach Landschaftsräumen (siehe Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Pappel-KUP geeignete Ackerfläche, mittlerer Biomasseertrag (flächengewichtet) sowie Standardabweichung..	30
Tabelle 4: Standortsinformationen für die Parametrisierung zur hydrologischen Modellierung mit CoupModel (Klimawerte der Periode 1996-2008); T=Jahresmitteltemperatur	31
Tabelle 5: Niederschlag, Modellergebnisse (Transpiration und Gesamtabfluss), Ergebnisse der empirischen Ertragsschätzung für die Modellstandorte, KWB = Klimatische Wasserbilanz	32
Tabelle 6: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Robinien-KUP geeignete Ackerflächen, Biomasseertrag.....	34
Tabelle 7: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Erlen-KUP geeignete Ackerflächen, Biomasseertrag.....	35
Tabelle 8: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte Ackerfläche, Ertragserwartungen für <i>Miscanthus</i> -Anbauten, mittlerer Biomasseertrag (flächengewichtet) sowie Standardabweichung ..	36
Tabelle 9: Modellergebnisse der Ertragssimulationen mit dem Klimaszenario WEREXIV A1b mit CoupModel, durchschnittlicher Biomasseertrag ($t_{atro}/ha \cdot a$) je Umtrieb (5 Jahre), Mittelwerte über die gesamte Nutzungsdauer der Plantage in den Vergleichszeiträumen 1960-1995 bzw. 2066-2100, gleiche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,1$)	37
Tabelle 10: Landschaftspflegeflächen und anfallende Rohstoffarten (Zusammenfassung).....	42
Tabelle 11: Untersuchungsraum für Landschaftspflegeflächen in Sachsen (BTLNK)	49
Tabelle 12: Potenzialflächen für Landschaftspflege auf Grünland.....	51
Tabelle 13: Grünland ohne Förderung nach RL AuW in 2008.....	52
Tabelle 14: Flächen mit und ohne Spätschnittnutzung ab 15. Juli gemäß RL AuW	53
Tabelle 15: Ermittelte Breiten [in m] der linearen Biotoptypen zur für die Erstellung eines Puffers	54
Tabelle 16: Breiten [in m] der städtischen und verkehrsbegleitenden Vegetation	57
Tabelle 17: Beziehung der Eingangsgrößen zur Potenzialbestimmung (Datenbankvorlage)	58
Tabelle 18: Beispiel für die Ermittlung der Grunderträge	60
Tabelle 19: Energetisch nutzbare Anteile der Landschaftspflegeflächen (SchG ja = innerhalb der o. g. Schutzgebietskategorien, nein = außerhalb)	62
Tabelle 20: Energetisches Potenzial von Landschaftspflegeflächen	65
Tabelle 21: Energetisches Potenzial von Landschaftspflegeflächen je Landkreis.....	67
Tabelle 22: Fragebogen zur (energetischen) Verwendung von Landschaftspflegematerial	68
Tabelle 23: Stand der Befragung (Grundgesamtheit & Rücklauf).....	69
Tabelle 24: Verwertungstechnologien für Landschaftspflegematerial.....	71
Tabelle 25: Überblick über Hersteller von CO ₂ -Abtrennverfahren (URBAN et al. 2009).....	83
Tabelle 26: Kostenübersicht der jeweiligen Anlagen zur Methanaufbereitung (URBAN et al. 2009)	84
Tabelle 27: Feuerungsarten und deren Charakteristika (FNR 2000: 116)	85
Tabelle 28: Wassergehalt und Heizwert verschiedener Energieträger	86
Tabelle 29: Qualitätsmerkmale & Auswirkungen	86
Tabelle 30: Emissionsanforderungen der TA-Luft 2002 an Halmgutfeuerungsanlagen.....	89
Tabelle 31: Analysenwerte für Heu (erstmalig geschnitten nach Blüte bis überständig) (in %):.....	89
Tabelle 32: Konzentrationen in den Verbrennungsgasen (Bezugssauerstoff von 11 %, trockenes Rauchgas, in mg/m ³ n; Anlagen 1-50 MW):.....	89
Tabelle 33: Aschegehalt & Erweichungspunkt naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen	90
Tabelle 34: Übersicht über Synergieklassen ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘	100
Tabelle 35: Übersicht über Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie - Ausschluss)	103
Tabelle 36: Übersicht über die Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen)	104

Tabelle 37: Übersicht über Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark).....	108
Tabelle 38: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Keine Synergie – Ausschluss‘	110
Tabelle 39: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘	111
Tabelle 40: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘	112
Tabelle 41: Verteilung der Synergieklassen auf die Ackerfläche des Freistaates Sachsen.....	113
Tabelle 42: Flächenanteile der Synergieklassen an Landschaftsräumen auf der Basis der Ackerflächen – Auswahl nach Naturschutzkriterien	114
Tabelle 43: Nutzungsoptionen zur Lenkung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen im Landschaftsmaßstab	119
Tabelle 44: Potenzielle Erosionsgefährdung in Abhängigkeit von K*R*LS (siehe Fn. 24)	120
Tabelle 45: Rasterbezogene Einzugsgebietsgröße EZG (reliefbedingte Abflusskonzentration) (siehe Fn. 24)	121
Tabelle 46: Potenziell besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen (siehe Fn. 24)	121
Tabelle 47: Häufigkeitsverteilung der Klassen potenziell besonders erosionsgefährdeter Abflussbahnen.....	121
Tabelle 48: Potenzielle Erosionsgefährdung in Abhängigkeit von K*R*LS (siehe Fn. 24)	122
Tabelle 49: Häufigkeitsverteilung der KRLS-Klassen für landwirtschaftlich genutzte Flächen in Sachsen.....	122
Tabelle 50: Häufigkeitsverteilung der steilen, besonders erosionsgefährdeten Flächen in Sachsen.....	123
Tabelle 51: Häufigkeitsverteilung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind in Sachsen.....	124
Tabelle 52: Schwellenwerte zur räumlichen Abgrenzung von Gebieten mit stark erhöhten Schadstoffgehalten in Oberböden.....	125
Tabelle 53: Häufigkeitsverteilung der Vernässungsgrade der Böden in Sachsen (BSA200).....	126
Tabelle 54: Häufigkeitsverteilung schutzwürdiger Böden anhand von Leitbodenformen und ausgewerteten Begleitbodenformen (BSA200)	127
Tabelle 55: Häufigkeitsverteilung schutzwürdiger Pedotope anhand von Begleitbodenformen mit geringer Flächenausdehnung (BSA200).....	128
Tabelle 56: Häufigkeitsverteilung der Nutzungsformen in Sachsen.....	128
Tabelle 57: Synergieklassen.....	129
Tabelle 58: Synergieklassen für die Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien	129
Tabelle 59: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Boden- und Schadstoffkriterien	131
Tabelle 60: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Nutzungskriterien.....	132
Tabelle 61: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien auf Ackerflächen.....	133
Tabelle 62: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen für Ackerflächen nach Boden- und Nutzungskriterien bezogen auf die Landschaftsräume.....	134
Tabelle 63: Hangneigungsklassen und Befahrbarkeit mit Forstmaschinen (SBS 2006).....	138
Tabelle 64: Befahrbarkeitsklassen für den Einsatz von Forstmaschinen (nach SBS 2006)	140
Tabelle 65: Verteilung der Synergieklassen auf die Ackerfläche des Freistaates Sachsen nach Zusammenführung der Module ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘	142
Tabelle 66: Flächenanteile der Synergieklassen an Landschaftsräumen auf der Basis der Ackerflächen – Auswahl nach Boden- und Naturschutzkriterien	143
Tabelle 67: Den Landschaftsräumen zugeordnete Ackerflächen, Gesamterträge und durchschnittliche Biomasseerträge von KUP in den Synergieklassen ‚stark‘ und ‚sehr stark‘	144

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Szenario des durchschnittlichen Gesamtzuwachses an Biomasse von Pappelplantagen auf sächsischen Ackerflächen.....	14
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Biomasseertrag und nutzbarer Feldkapazität im effektiven Wurzelraum von Ackerpflanzen	15
Abbildung 3: Reduktionsfunktion bei abnehmender Jahresmitteltemperatur.....	17
Abbildung 4: Kummulierter anteiliger Zuwachs des Stammumfangs von 9-jährigen Pappeln (Max 1) am Standort Methau.....	18
Abbildung 5: Reduktionsfunktion bei Trockenheit für 50 % des potenziellen Zuwachses.....	19
Abbildung 6: Durchschnittlicher Biomasseertrag von Robinie	21
Abbildung 7: Durchschnittlicher Biomasseertrag von Schwarzerle.....	22
Abbildung 8: Biomasseertrag von <i>Miscanthus</i> in Abhängigkeit von der Ackerzahl.....	24
Abbildung 9: Jahresmitteltemperaturen der Periode 1991 bis 2005 im Vergleich zur Periode 2050 bis 2065 aus dem Klimaszenario WEREXIV A1b normal.....	25
Abbildung 10: Mittelwerte der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr der Periode 1991 bis 2005 im Vergleich zur Periode 2050 – 2065 aus dem Klimaszenario WEREXIV A1b normal	26
Abbildung 11: Beziehung aus geschätztem Biomasseertrag und modellierter Bestandstranspiration.....	33
Abbildung 12: Arbeitsschritte der Potenzialabschätzung für Biomasse aus der Landschaftspflege	40
Abbildung 13: Vergleich der BTLNK mit Luftbild zur Ermittlung der Breiten von linearen Biotopstrukturen.....	54
Abbildung 14: Trennung von Wasserkörpern und gewässerbegleitenden Saumstrukturen	56
Abbildung 15: Trennung von Siedlungsflächen und Vegetation	57
Abbildung 16: Beispiel eines stoffstromspezifischen Steckbriefs nach THRÄN et al. 2009	59
Abbildung 17: Gasproduktion bei parallel betriebenen Batchfermentationen	73
Abbildung 18: Boxenfermenter mit Perkolation.....	73
Abbildung 19: Pfropfenstromfermenter des Herstellers KOMPOGAS	75
Abbildung 20: Kontinuierliche Trockenfermentation im Silo-Fermenter	76
Abbildung 21: Übersicht über die verschiedenen Einbringtechniken.....	77
Abbildung 22: Feststoffwolf der Firma PlanET Biogas.....	78
Abbildung 23: Verfahrenskette zur Bereitstellung von Biomasse aus der Landschaftspflege	93
Abbildung 24: Praxisübliche Ballenpressen für die Halmgutbergung sowie Ballenmaße	95
Abbildung 25: Matrix zur Zusammenführung der Ergebnisse aus den Modulen ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘	101
Abbildung 26: Mögliche Aufteilung der Flächen ‚Synergie prüfen‘ nach Einzelfallprüfung.....	115

Anhänge

- Anhang 1 Landschaftsräume der naturschutzfachlichen Landesplanung im Freistaat Sachsen
- Anhang 2 Standortstypisches Ertragspotenzial für Pappel auf Ackerstandorten
- Anhang 3 Gebietskulisse für Robinie auf trockenen und warmen Ackerstandorten
- Anhang 4 Gebietskulisse für Schwarzerle auf vernässten Ackerstandorten
- Anhang 5 Standortstypisches Ertragspotenzial von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerstandorten
- Anhang 6 Schätzung des Ertragspotenzials von Miscanthus auf Ackerstandorten
- Anhang 7 Ergebnisse der Literaturrecherche zu biototypenbezogenen Biomasseerträgen
- Anhang 8 Räumliche Verteilung der Biomassepotenziale in Sachsen (Maximumpotenzial)
- Anhang 9 Räumliche Verteilung der Biomassepotenziale in Sachsen (Minimumpotenzial)
- Anhang 10 Räumliche Verteilung des Landschaftspflegepotenzials von Gehölzen
- Anhang 11 Potenzialflächen für Landschaftspflege von Vegetation an Gewässern
- Anhang 12/13 Potenzialflächen für Landschaftspflege (Grünland, Magerrasen, Heiden, Moore und Sümpfe)
- Anhang 14 Landschaftspflegeflächen des Vogtlandkreises 2006-2007
- Anhang 15 Gefährdete Ackervildkrautarten als Grundlage für die Ausweisung von Ackerrandstreifen in Sachsen
- Anhang 16 Seltene und gefährdete Arten in Sachsen, deren Vorkommen vor der Anlage von Dauerkulturen geprüft werden sollte
- Anhang 17 Synergieklasse "Keine Synergie - Ausschluss" - Anwendung der Naturschutzkriterien -
- Anhang 18 Synergieklasse "Synergie prüfen" - Anwendung der Naturschutzkriterien -
- Anhang 19 Synergieklasse "Synergie - sehr stark" - Anwendung der Naturschutzkriterien -
- Anhang 20 Flächenzuordnung der Synergieklassen auf die Ackerfläche bezogen - Anwendung der Naturschutzkriterien -
- Anhang 21 Vogelarten mit Risikopotenzial (1)
- Anhang 22 Vogelarten mit Risikopotenzial (2)
- Anhang 23 Vogelarten mit Risikopotenzial (3)
- Anhang 24 Vogelarten mit Risikopotenzial (4)
- Anhang 25 Weitere Tierarten mit Risikopotenzial
- Anhang 26 Potenziell besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen
- Anhang 27 Potenzielle Wassererosionsgefährdung in Abhängigkeit von der Bodenart, Hangneigung, Hanglänge und Regenerosivität
- Anhang 28 Potenziell besonders erosionsgefährdete Steillagen
- Anhang 29 Potenzielle Winderosionsgefährdung
- Anhang 30 Gebiete mit häufig erhöhten Schadstoffgehalten
- Anhang 31 Vernässungsgrad der Böden
- Anhang 32 Schutzwürdige Böden nach Leit- und ausgewerteten Begleitbodenformen
- Anhang 33 Schutzwürdige Pedotope anhand von Begleitbodenformen mit geringer Flächenausdehnung
- Anhang 34 KUP-Eignung nach Boden- und Schadstoffkriterien
- Anhang 35 KUP-Eignung nach Nutzungskriterien
- Anhang 36 KUP-Eignung auf Ackerflächen nach Boden-, Nutzungs- und Schadstoffkriterien
- Anhang 37 Flächenzuordnung der Synergieklassen auf die Ackerfläche bezogen - Zusammenführung Boden- und Naturschutz -
- Anhang 38 Synergie - Biotopverbundplanung
- Anhang 39 Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerstandorten mit starken und sehr starken Synergien für den Boden- und Naturschutz

Abkürzungsverzeichnis

AN-Extrakt	Ammoniumnitrat-Extrakt zur Schwermetallanalytik von Bodenproben (leichtlöslicher Anteil)
BBF	Begleitbodenform der BÜK 200; Merkmale von bis zu zwei je Flächeneinheit ausgeschiedenen BBF bestimmen < 50 % der kartierten Flächeneinheit; (siehe auch LBF)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz 2010
BR	Biosphärenreservat
BSA 200	Bodenschutzatlas Sachsen (1:200 000)
BTLNK	Biotoptypen-Landnutzungskartierung Sachsen
BÜK 200	Bodenübersichtskarte für Sachsen (1:200000)
BVP	Biotopverbundplanung
CC	Cross Compliance
FFH-Gebiete	Gebiete nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FND	Flächennaturdenkmal
ha	Hektar (= 10.000 m ²)
KRLS	Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) (SCHWERTMANN et al. 1990). K = Erodierbarkeit des Bodens; R = Erodibilität des Niederschlags; L = Hanglängenfaktor; S = Hangneigungsfaktor
KS	Faktoren der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) (SCHWERTMANN et al. 1990). K = Erodierbarkeit des Bodens; S = Hangneigungsfaktor
KUP	Kurzumtriebsplantage(n)
KWB _{Som}	Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr (April-September) [mm]
KW-Extrakt	Königswasser-Extrakt zur Schwermetallanalytik von Bodenproben (näherungsweise zur Bestimmung der Gesamtgehalte)
LBF	Leitbodenform der BÜK 200; Merkmale bestimmen ≥50 % der kartierten Flächeneinheit; (siehe auch BBF)
LRT	Lebensraumtyp nach FFH-Richtlinie
LSG	Landschaftsschutzgebiet
MAP	Managementplan
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFK _{We_AL}	nFK im effektiven Wurzelraum von Ackerkulturen [mm]
NLP	Nationalpark
NP	Naturpark
NSG	Naturschutzgebiet
RL D	Rote Liste Deutschlands
RL SN	Rote Liste Sachsens
SBK	Selektive Biotopkartierung
SK	Synergieklasse
SPA-Gebiete	Gebiete nach Vogelschutz-Richtlinie
SPA-RL	Vogelschutz-Richtlinie
WUE	Wassernutzungseffizienz ([g _{BM} /kg _{H2O}])

1 Anlass und Zielsetzung des Projekts

Das Ziel der nachhaltigen Entwicklung von regionalen Bioenergiekonzepten basiert auf einer möglichst flächeneffizienten und naturverträglichen Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung, nachfolgend verkürzt und im Sinne der Biomasseverordnung als Biomasse bezeichnet.

Nicht nur in Sachsen kann hierzu der Erzeugung von Biomasse in mehrjährigen Kulturen möglicherweise eine besondere Bedeutung zukommen. Diese sind sowohl im Hinblick auf die Flächeneffizienz als auch die Naturverträglichkeit den einjährigen Kulturen an vielen Standorten überlegen. Die diesbezüglich vorhandenen Ertragspotenziale gilt es für den gesamten Freistaat Sachsen zu bestimmen, um räumlich konkrete Strategien zu entwickeln und mögliche Synergien zwischen Nutz- und Schutzzielen aufzuzeigen.

Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen¹ auf Ackerflächen birgt folgende Chancen für die sächsische Landwirtschaft, den ländlichen Raum und den Natur- und Bodenschutz (vgl. u. a. BURGER 2004, KAHLE & BOELCKE 2004, RÖHRICHT & RUSCHER 2004, MEYER-MARQUART et al. 2006, SCHMIDT & GLASER 2009, GLASER & SCHMIDT 2010):

- neue Einkommensquelle für die Landwirtschaft und Wertschöpfung in ländlichen Regionen,
- Diversifizierung der Anbaustrukturen,
- Aufwertung der Erholungsfunktion von Agrarlandschaften (Landschaftsbild),
- Ergänzende Lebensraumangebote für wildlebende Tiere, speziell für die Avifauna sowie mögliche Beiträge zur Biotopvernetzung,
- Erhöhung der Artenvielfalt auf Bestandes- und Landschaftsebene (besonders bei Entwicklung von Randstrukturen aus gebietsheimischen Arten),
- Minderung der Bodenerosion und Nährstoffauswaschung,
- Förderung des Bodenlebens und Bodengefüges,
- Sicherung und Stabilisierung des Nährstoffhaushalts der Böden,
- Stärkung des Boden- und Landschaftswasserhaushaltes als Beitrag zur dezentralen Hochwasservorsorge,
- Nutzungsoption für schadstoffbelastete Böden, auf denen keine hochwertigen Nahrungs- oder Futterpflanzen mehr angebaut werden können.

Um diese Chancen nutzen zu können, ist ein Gesamtkonzept erforderlich, in dem die entsprechenden Rahmenbedingungen und Strategien für eine nachhaltige Entwicklung der energetischen Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen definiert werden. Unerlässliche Grundlage hierfür ist die differenzierte Ermittlung der spezifischen Potenziale für einen standortangepassten Anbau der einzelnen Energiepflanzen, wie sie im Rahmen eines fachübergreifenden Gesamtvorhabens des LfULG realisiert werden soll.

Eine geodatenbasierte Abschätzung der real verfügbaren Biomassepotenziale und die flächenscharfe Identifikation von Gebietskulissen (Vorrang- und Ausschlussflächen) haben sich dafür im Rahmen der Diskussion um mögliche Risiken der Biomassegewinnung mehr und mehr als gangbarer Weg zur Vermeidung/Minderung möglicher Konfliktpunkte mit Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege erwiesen. Die nachfolgend dargestellte Vorgehensweise ermöglicht es, die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege raumbezo-

¹ In der vorliegenden Studie werden unter dem Begriff Dauerkulturen sowohl Kurzumtriebsplantagen (Pappel, Weide, Erle, Robinie) mit Rotationslängen von 2 bis < 20 Jahren als auch mehrjährige, nicht verholzende Energiepflanzen (v. a. *Miscanthus spec.*) verstanden, wenn deren Nutzungsdauer mindestens 10 Jahre beträgt.

gen abzubilden und räumlich konkrete Nutzungsstrategien einzubeziehen. Die Projektpartner haben in verschiedenerlei Hinsicht Erfahrungen, wie die einzelnen Methoden zur Entwicklung einer Gesamtstrategie zur nachhaltigen Produktion von Biomasse vereint werden können (nachhaltige Biomassestrategie).

Konkret sind mögliche Synergien zwischen dem Anbau bzw. der Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung und den Zielen des Natur- und Bodenschutzes zu erwarten, wenn möglichst breit differenzierte Anbaustrukturen von Energieholz und ähnlicher Dauerkulturen mit geringem Mittelaufwand und Bearbeitungsintensität realisiert werden. Als vorteilhaft wird ein Nebeneinander unterschiedlich alter Kurzumtriebsplantagen und ähnlicher Dauerkulturen, Arten- und Sortenmischungen der Gehölze sowie die Einbindung der Plantagen bzw. Kulturen in die Landschaft mit Hilfe von Übergangshabitaten wie Saum- und Mantelstrukturen sowie Hecken eingeschätzt (NABU 2008, SCHMIDT & GLASER 2009, SCHMIDT & GLASER 2010). Die Untersuchungen hierzu sind allerdings noch nicht ausreichend, um eine abschließende Beurteilung vornehmen zu können. Zur Gliederung von Landschaften (Biotopvernetzung) können – eine entsprechende Eignungsprüfung vorausgesetzt – sowohl Energieholzplantagen (KUP) als auch Agroforstsysteme dienen. Deren Eignung ist von der Größe, Beständigkeit und Lage der Fläche, aber auch von der Zielstellung der Biotopvernetzung und der Gestaltung der Anbauflächen abhängig (REEG et al. 2009, SCHMIDT & GLASER 2010).

Kurzumtriebsplantagen und ähnliche Dauerkulturen tragen auch zum Boden- und Gewässerschutz bei, weil die Bodenerosion und die Auswaschung im Vergleich zur Ackernutzung deutlich reduziert werden kann. Der Schutz vor Erosion kann sowohl bei Gefährdungen auf den Anbauflächen selbst (On-Site) als auch bei Gefährdungen anderer Schutzgüter unterhalb potenzieller Erosionsflächen (Off-Site) wirksam werden.

Für die naturschutzfachliche Landesplanung wurden im LfULG 30 Landschaftsräume (LR) auf der Grundlage der naturräumlichen Haupteinheiten Sachsens ausgewiesen. Zur Kennzeichnung und Abgrenzung dieser Landschaftsräume wurden aktuelle Karten der Naturraumkomponenten einschließlich der potenziellen natürlichen Vegetation und der luftbildgestützten (CIR-) Biotoptypen- und Landnutzungskartierung herangezogen. Die Landschaftsräume unterscheiden sich von den Naturräumen und Makrogeochoren u. a. dadurch, dass die aktuelle Landnutzung bei der Abgrenzung berücksichtigt wurde. Ballungsräume und Bergbaugebiete/-folgelandschaften wurden separat abgegrenzt, was auch für eine Regionalisierung der Ertrags-, Synergie- und Konfliktpotenziale des Anbaus von Biomasse-Dauerkulturen sinnvoll ist. In der vorliegenden Studie dienen diese Landschaftsräume als Referenzgebiete für die landesweiten Darstellungen bzw. Zusammenfassungen (Anhang 1). Weiterführende Informationen zu den Landschaftsräumen, die auch als planungsrelevante Naturräume bezeichnet werden, können der Homepage des LfULG entnommen werden unter der Adresse <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/22471.htm>.

Ziel des Projektes ist es, die in Sachsen mobilisierbaren Biomassepotenziale aus der Kurzumtriebswirtschaft und der Landschaftspflege unter der Berücksichtigung möglicher Synergieeffekte mit dem Bodenschutz und Naturschutz gebietskonkret herauszuarbeiten.

Dafür werden zunächst die standortstypischen Ertragspotenziale von KUP und ähnlichen Dauerkulturen abgeschätzt (Modul 1), die Menge der mobilisierbaren Biomassepotenziale aus der Landschaftspflege erfasst (Modul 2), Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Naturschutzes (Modul 3) sowie des Bodenschutzes (Modul 4) identifiziert. Parallel dazu werden boden- und naturschutzfachliche Standards für die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen erarbeitet (Modul 5). Schließlich fließen die Ergebnisse der einzelnen Module in einer landesweiten Auswertung und Darstellung für den Freistaat Sachsen zusammen.

2 Berichte der Projektpartner

2.1 Standortstypisches Ertragspotenzial

2.1.1 Ziele des Teilprojektes

Schwerpunkt im Teilprojekt ist die Ermittlung und Darstellung standortstypischer Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen mit Baumarten der Gattungen Pappel, Weide und Robinie bzw. Schwarzerle. Die zu erarbeitenden Ertrags-Informationen zu Kurzumtriebsplantagen dienen als eine Grundlage für die regional differenzierte Angabe von realisierbaren Biomassepotenzialen in Sachsen.

Vorrangig wird hierbei der Anbau von Pappelklonen im Kurzumtrieb betrachtet. Dabei kann auf den Erfahrungen und Ergebnissen des BMBF-Verbundprojekts AGROWOOD (PETZOLD et al. 2006, BEMMANN et al. 2007, RÖHLE et al. 2008) aufgebaut werden. Die Erträge von Anbaualternativen wie Weide, Robinie, Schwarzerle oder *Miscanthus* werden ergänzend abgeschätzt.

Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsbildung werden mit einem prozessorientierten Ansatz untersucht. Die Verwendung von Klimaszenarien in Kombination mit hydrologischer Modellierung erlaubt eine Abschätzung des Biomassewachstums unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen.

2.1.2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

2.1.2.1 Herleitung des standortstypischen Ertragspotenzials für Pappel

Die bisher auf Versuchsflächen in Ostdeutschland gemessenen Gesamtzuwächse (DGZ) an Biomasse streuen standorts- und bewirtschaftungsabhängig in einem weiten Bereich von 4 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ bis mehr als 20 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ (RÖHLE et al. 2009). RÖHRICHT & RUSCHER (2004a) geben für sächsische Ackerflächen ein von der Bodenqualität abhängiges Ertragsspektrum für Pappel und Weide von 6 bis 18 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ an. Das Wachstum von Pappel wird vom Angebot an Strahlung, Nährstoffen und Wasserverfügbarkeit gesteuert. Auch wenn eine zu geringe Nährstoffverfügbarkeit durch gezielte Düngegaben ausgeglichen werden kann, ist nach den bisherigen Erfahrungen davon auszugehen, dass vormals ackerbaulich genutzte Standorte in den ersten Jahren der Bewirtschaftung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen ausreichend mit Nährstoffen versorgt sind und keiner zusätzlichen Düngung bedürfen (vgl. JUG et al. 1999, KAHLE et al. 2008). Die standortsabhängige Ertragsmodellierung basiert deshalb auf der engen Beziehung zwischen Bodenwasserangebot ($n\text{FKWe}$), klimatischen Bedingungen und Biomassewachstum. Mithilfe von regressionsanalytischen Ansätzen sowie der Implementierung von physiologisch begründeten Annahmen wird in der vorliegenden Studie das standortstypische Ertragspotenzial für sächsische Verhältnisse hergeleitet.

2.1.2.1.1 Stand der regionalisierten Ertragsmodellierung für Pappel-KUP in Sachsen

Für die Herleitung des standortstypischen Ertragspotenzials für Pappel wird auf den Ergebnissen des Instituts für Waldwachstum und Forstliche Informatik der TU Dresden aufgebaut (RÖHLE et al. 2007, RÖHLE 2008). Dafür wird zunächst auf die Dissertation von W. ALI (2009) „Modellierung des Biomasse-Ertragspotenzials von Pappel-Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen in Sachsen“ eingegangen. Deren Ergebnisse basieren auf langjährigen ertragskundlichen Untersuchungen auf sächsischen Pappelversuchsflächen (WOLF & BÖHNISCH 2004, RÖHLE et al. 2009). ALI (2009) entwickelte zunächst empirische Funktionen für die Berechnung der Oberhöhe (h_o) von Pappelbeständen:

$$ho = a_1 * \text{Alter} + a_2 * N_{5-6} * AZ + a_3 * T_{4-7} / nFK \quad (1)$$

wobei

N_{5-6} = Summe des Niederschlages Mai-Juni [mm]

AZ = Ackerzahl

T_{4-7} = mittlere Temperatur in den Monaten April bis Juli (°C)

nFK = nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum [mm]

a_1, a_2, a_3 = klonsspezifische Regressionskoeffizienten der Funktion.

Im nächsten Schritt erfolgte die Berechnung der Biomasse (BM in t_{atro}/ha) mithilfe von Biomassefunktionen der Form

$$BM = a_4 * ho^{a_5} \quad (2)$$

wobei

ho = Oberhöhe des Pappelbestandes [m]

a_4, a_5 = klon- und stammzahlabhängige Regressionskoeffizienten.

ALI (2009) berechnete die Koeffizienten a_1 bis a_5 für verschiedene Varianten aus Klon, Stammzahl und Alter.

Die Funktionen wurden anschließend in verschiedenen Szenarien für die GIS-basierte Hochrechnung von mittleren jährlichen Biomasseerträgen für ganz Sachsen verwendet (Abbildung 1:).

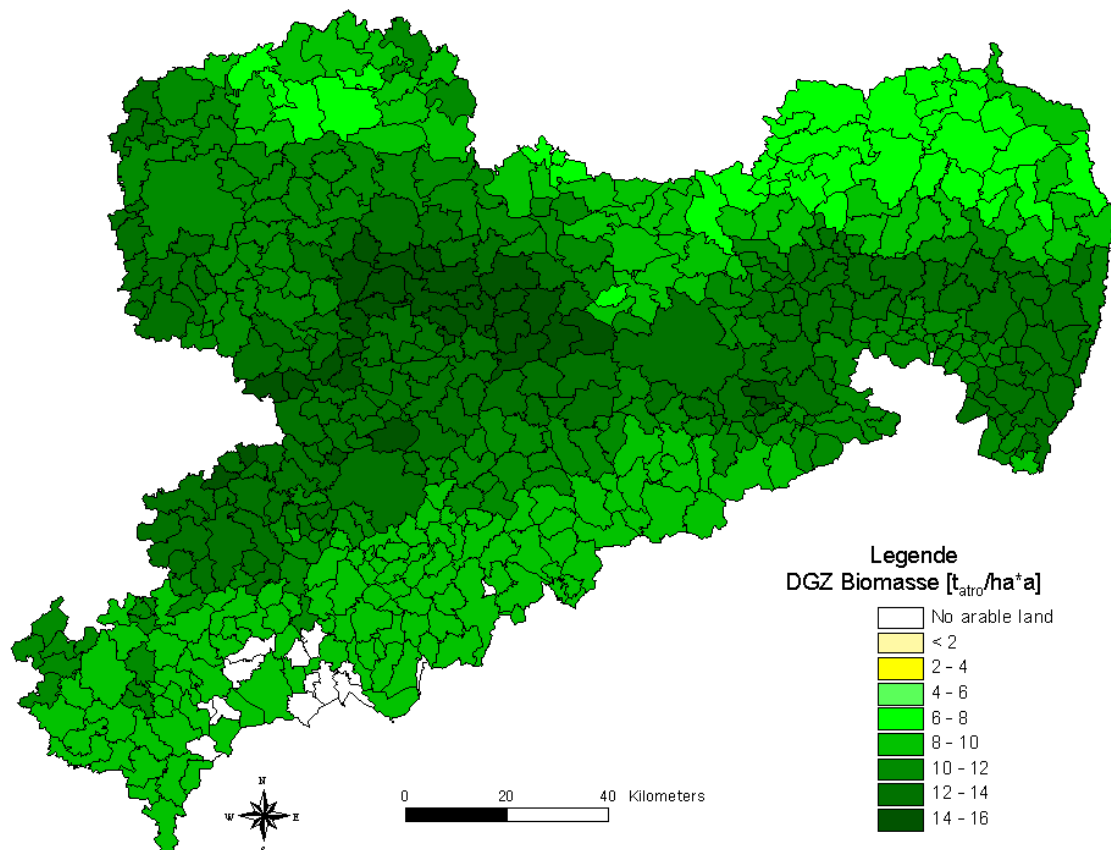


Abbildung 1: Szenario des durchschnittlichen Gesamtzuwachses (DGZ in $t_{atro}/ha \cdot a$) an Biomasse von Pappelplantagen auf sächsischen Ackerflächen mit Pflanzzahl 8333 St/ha im Alter 9 (nach ALI 2009)

Da Ackerzahlen in Sachsen nur auf Gemeindeebene flächendeckend digital zur Verfügung stehen, können jedoch keine differenzierteren Aussagen auf der Grundlage der Geometrie von Bodenkarten vorgenommen werden. Ebenso beziehen sich die Aussagen ausschließlich auf terrestrische Ackerstandorte (d. h. Böden mit freier Entwässerung).

Das ursprüngliche Vorhaben, auf der Grundlage der Datenbasis von ALI (2009) für Sachsen Ertragsfunktionen ohne Verwendung der Ackerzahl zu entwickeln, musste verworfen werden. Die geringe Anzahl von Versuchsfeldern ($n = 5$) sowie die Heterogenität der Versuchsbedingungen (SCHILDBACH et al. 2009b) erlaubten keine für eine Regionalisierung geeignete Ableitung von stärker bodenphysikalisch und klimatisch differenzierenden Funktionen.

Für die vorliegende Studie wurde deshalb auf der Grundlage der Ertragsszenarien auf Gemeindeebene von ALI (2009) ein *downscaling* auf die Geometrie der Bodenübersichtskarte (BÜK 200) vorgenommen. Dabei wurden zunächst folgende Szenarien als Ausgangspunkt geprüft:

Szenario 1 (S8): Klon Max, Pflanzzahl 8333 St/ha, durchschnittlicher Gesamtzuwachs (DGZ)² im Alter 9 ($t_{atro}/ha \cdot a$).

Szenario 2 (S10): Klon Max, Pflanzzahl 10000 St/ha, durchschnittlicher Gesamtzuwachs (DGZ) im Alter 9 ($t_{atro}/ha \cdot a$).

2.1.2.1.2 Beziehung Biomasseertrag und nFK

In einem ersten Schritt wurde ein logarithmischer Zusammenhang zwischen dem Biomasseertrag ($t_{atro}/ha \cdot a$) und der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum für Ackerkulturen (nFK_{WE_AL}) im Datensatz von ALI (2009) festgestellt (Abbildung 2) und für die Belegung der Polygone der BÜK 200 (LFULG 2007) verwendet.

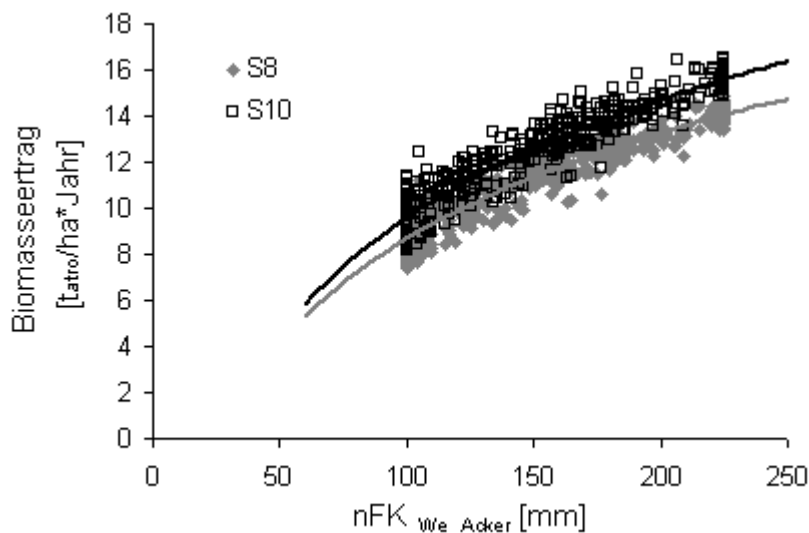


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Biomasseertrag und nutzbarer Feldkapazität im effektiven Wurzelraum von Ackerpflanzen im Datensatz von ALI (2009)

² Der Ausdruck (durchschnittlicher) Biomasseertrag ($t_{atro}/ha \cdot a$) wird im folgenden synonym zum Begriff durchschnittlicher Gesamtzuwachs (DGZ in $t_{atro}/ha \cdot a$) verwendet. Diese Größe wird berechnet, indem die akkumulierte oberirdische Holzbiomasse (t_{atro}/ha) durch den Zeitraum (Jahre) geteilt wird, in der die Biomasseakkumulation stattgefunden hat. Der Biomasseertrag ist die Referenzgröße für die Beurteilung des Ertragspotenzials.

Die Regressionsgleichungen lauten:

$$\text{S8: Biomasse} = 6,618 * \ln(nFK_{We_AL}) - 21,787 \quad (R^2=0,88) \quad (3)$$

$$\text{S10: Biomasse} = 7,384 * \ln(nFK_{We_AL}) - 24,407 \quad (R^2=0,88). \quad (4)$$

Für die weiteren Untersuchungen wurde sich ausschließlich auf das Szenario 10 (Pflanzzahl 10000 St/ha) beschränkt. Der erhaltene Datensatz spiegelt das Ertragspotenzial von terrestrischen Ackerflächen in Sachsen wider. Dieser Skalierungsansatz berücksichtigt jedoch nur unzureichend den in Sachsen deutlich ausgeprägten Klimagradienten zwischen den Kammlagen des Erzgebirges und den nordsächsischen Tieflandsstandorten, sodass mit Verzerrungen des Biomasseertrags in diesen Regionen gerechnet werden muss. Deshalb wurden Anpassungsfunktionen eingeführt, die den Biomasseertrag bei niedrigen Jahresmitteltemperaturen (geringe Wärmesumme) sowie in den nordsächsischen Trockengebieten reduzieren.

2.1.2.1.3 Reduktionsfunktionen für niedrige Temperaturen und Trockenheit

Dieses Vorgehen verknüpft sowohl die Erfahrungen aus der vorwiegend empirisch orientierten, forstlichen Ertragsmodellierung (RÖHLE 2004) als auch die Erkenntnisse aus prozessorientierten Fallstudien und physikalisch-ökophysiologischen Modellierungsansätzen (BUNGART & HÜTTL 2004, KIM et al. 2008, LINDERSON et al. 2007, LINDROTH & BATH, 1999, SOUCH & STEPHENS 1998). Dabei wurden nicht ausschließlich die Standortsansprüche der Klonfamilie Max (*Populus maximowiczii* x *P. nigra*) berücksichtigt, die für höheren Wärmebedarf als beispielsweise bestimmte Weidenklone (z. B. „Gudrun“) oder reine Balsampappelklone (z. B. „Matrix“, „Hybride 275“) bekannt sind. Vielmehr wird für die Schätzung von Ertragspotenzialen unterstellt, dass die Klon- bzw. Sortenwahl nach den bisherigen Anbauerfahrungen (SCHILDBACH et al. 2009a, b) entsprechend den Standortbedingungen optimiert ist. Als Klima-Eingangswerte wurden die Rasterdaten (Rasterweite 500 m x 500 m) von BERNHOFER et al. (2008) aus dem Analysezeitraum 1991 - 2005 entsprechend aufbereitet und über Mittelwertbildung den Polygonen der BÜK 200 zugeordnet.

Für den Temperatureinfluss wurden nach SCHILDBACH et al. (2009a) folgende Annahmen getroffen:

- keine Biomasseerträge bei Jahresmitteltemperaturen unter 5 °C,
- günstige Bedingungen ab 6,5 °C (75 % der potenziellen Ertragsleistung),
- keine Einschränkungen ab 8 °C.

Die Jahresmitteltemperaturen im Freistaat Sachsen (1991 - 2005) reichen von 4 °C in den oberen Kammlagen des Erzgebirges bis zu 10 °C im Sächsischen Tiefland (BERNHOFER et al. 2008). Die oben genannten Werte wurden mit einer polynomischen Funktion ausgeglichen (Abbildung 3):

$$RF_{Temp} = 0,0138 * T^3 - 0,3839 * T^2 + 3,5375 * T - 9,82 ; (R^2=1,0) \quad (5);$$

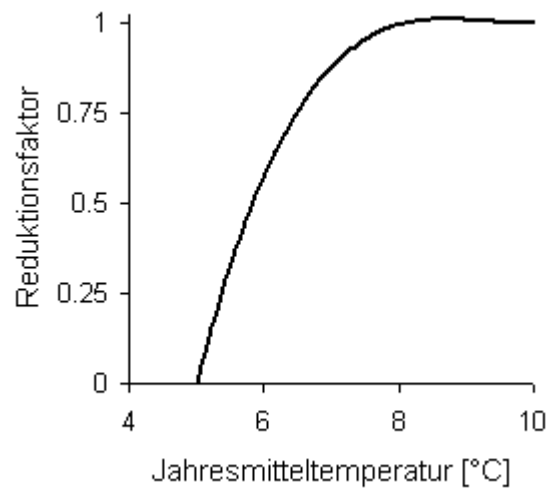


Abbildung 3: Reduktionsfunktion bei abnehmender Jahresmitteltemperatur

Die Abnahme der Ertragsleistung bei Bodentrockenheit ist physiologisch u. a. auf die verringerte Transpirationsleistung und damit den reduzierten Gasaustausch (CO_2) an der Blattoberfläche zurückzuführen. Dieser Effekt wird jedoch erst beim Unterschreiten von Grenzwerten deutlich. Bei vielen Baumarten wird der Gasaustausch deutlich reduziert, wenn das pflanzenverfügbare Wasser im Wurzelraum 40 - 50 % unterschreitet (BERNIER et al. 2002, PETZOLD et al. 2009a). Bei weiterem Rückgang des pflanzenverfügbaren Wassers nimmt auch der Gasaustausch proportional ab. Zudem verschiebt sich mit zunehmender Bodentrockenheit die Kohlenstoffallokation in Richtung Wurzelbiomasse (ERICSSON et al. 1996). Nach modellgestützten Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen (Kapitel 2.1.3.2) treten mit steigender Trockenheit Bodenwasserdefizite auf. Solche Gebiete finden sich in Nordwestsachsen, in denen die Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr deutlich negativ ist. Der genaue Zeitpunkt des Erreichens kritischer Bodenwasservorräte ist von der konkreten Lage sowie Höhe und Füllstand des Bodenwasserspeichers zum Vegetationsbeginn abhängig. Am Standort Methau an der Grenze zum nordsächsischen Trockengebiet wird dieser Zeitpunkt im Durchschnitt Mitte Juli erreicht. Aus zeitlich hoch auflösenden Zuwachsmessungen des Stammumfanges am selben Standort im durchschnittlich feuchten Jahr 2008 konnte abgeleitet werden, dass zu diesem Zeitpunkt rund 60 bis 70 % des Gesamtzuwachses am Stammumfang realisiert wurden (Abbildung 4).

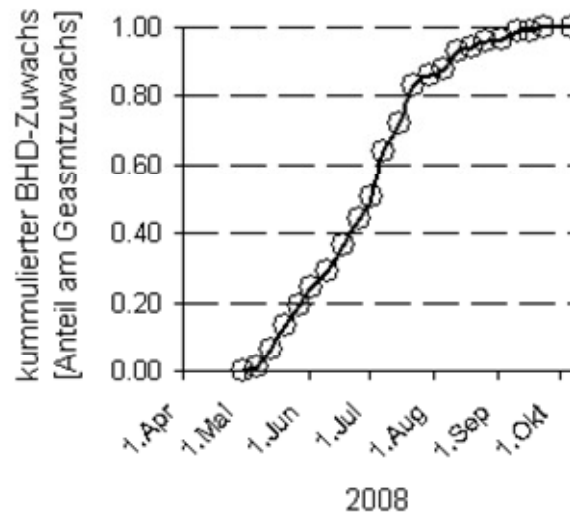


Abbildung 4: Kumulierter anteiliger Zuwachs des Stammumfangs (BHD) von 9-jährigen Pappeln (Max 1) am Standort Methau

Verallgemeinernd wird unterstellt, dass das potenzielle Wachstum in den nordsächsischen Trockengebieten ab der Hälfte der Vegetationsperiode deutlich durch Trockenheit überprägt wird. Ferner wird angenommen, dass bis zu diesem Zeitpunkt 50 % des in der Vegetationsperiode erreichbaren Zuwachses realisiert sind. Trockenheit kann somit höchstens die Hälfte des möglichen Zuwachses der Vegetationsperiode beeinflussen. Wie stark die Trockenheit ausgeprägt sein kann, ist sowohl von der Klimatischen Wasserbilanz als auch der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens abhängig. Als Weiser für reduziertes Wachstum wurde verallgemeinernd für terrestrische Standorte ein Trockenstressindex (TSI) gebildet:

$$\text{TSI} = 0,5 \cdot n\text{FK}_{\text{We_AL}} + \text{KWB}_{\text{Som}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

wobei:

$n\text{FK}_{\text{We_AL}}$ = nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum von Ackerkulturen [mm]

KWB_{Som} = Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr (April-September) [mm].

Bei Werten des $\text{TSI} \geq 0$ mm findet keine Zuwachsreduktion statt. Nur bei negativen Werten des TSI wird eine Zuwachsreduktion angenommen. Das Minimum des TSI liegt in Nordsachsen bei -169 mm und entspricht dem Reduktionsfaktor 0, die Grenze mit einem TSI von ± 0 mm verläuft etwa auf der Linie Altenburg, Colditz, Döbeln, Elbtalniederung von Meißen bis Pirna, Radeberg, Kamenz, Bautzen, Görlitz. Südlich davon wird keine Reduktion des potenziellen Biomasseertrags vorgenommen. Bei Unterschreitung von kritischen Bodenwasservorräten ($\text{TSI} < 0$) wird vereinfacht eine lineare Abnahme des Biomasseertrages angenommen (Abbildung 5). Die Regressionsgleichung lautet.

$$\begin{aligned} \text{RF}_{\text{Trock}} &= 0,0059171598 \cdot \text{TSI} + 1; & \text{für } \text{TSI} \leq 0 \\ \text{RF}_{\text{Trock}} &= 1 & \text{für } \text{TSI} > 0. \end{aligned} \quad (7)$$

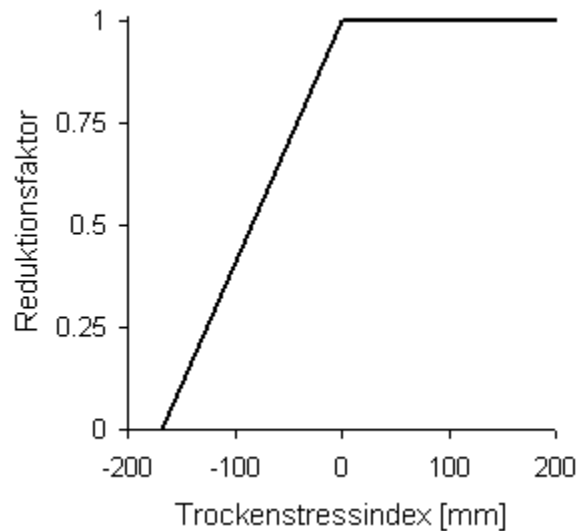


Abbildung 5: Reduktionsfunktion bei Trockenheit für 50 % des potenziellen Zuwachses

Unter den klimatischen Bedingungen in Sachsen findet keine Überlagerung der Reduktion durch geringe Jahresmitteltemperaturen bzw. Trockenheit statt. Beim Auftreten von ungünstigen Wuchsbedingungen wird der reduzierte Biomasseertrag wie folgt berechnet:

$$\text{Biomasseertrag}_{\text{Temp}} = \text{BM}_{\text{pot}} \cdot (\text{RF}_{\text{Temp}}) \quad (8) \quad \text{bzw.}$$

$$\text{Biomasseertrag}_{\text{Trock}} = 0,5 \text{ BM}_{\text{pot}} + 0,5 \text{ BM}_{\text{pot}} \cdot \text{RF}_{\text{Trock}} \quad (9)$$

wobei:

BM_{pot} = potenzielle Biomasse (Gleichungen 3; 4)

2.1.2.1.4 Grundwassereinfluss

Grundwasserbeeinflusste Standorte wurden in den Untersuchungen von ALI (2009) nicht berücksichtigt. Verfügbares Grundwasser hat jedoch einen starken Einfluss auf den Ertrag von Kurzumtriebsplantagen. Zum einen wird die effektive Durchwurzelungstiefe in Grundwasserböden durch die Obergrenze des Gr-Horizonts begrenzt, was zu niedrigeren Werten bei der Berechnung der $\text{nFK}_{\text{We_AL}}$ führt. Im vorliegenden *downscaling* auf Grundlage der $\text{nFK}_{\text{We_AL}}$ – Ertragsbeziehung (Abbildung 2) käme es deshalb auch zu einer Unterschätzung des Biomasseertrags. Auf der anderen Seite können mit steigender potenzieller Evapotranspiration höhere Biomasseerträge erzielt werden, wenn, wie auf Standorten mit ganzjährigem Grundwasseranschluss im Wurzelraum (Kapillarsaum) keine Unterschreitung von kritischen Bodenwasservorräten auftritt (MURACH et al. 2009). Schließlich wurden Standorte mit hoch anstehendem Grundwasser generell für den Pappel- bzw. Weidenanbau als ungeeignet eingeschätzt, wenn die Durchwurzelungstiefe 40 cm unterschreitet (PETZOLD et al. 2006). Vereinfachend wurden folgende Annahmen getroffen:

Ausschluss von Pappelanbau im Kurzumtrieb, wenn mittlerer Grundwasserhöchststand (MHGW) ≤ 4 dm unter Flur (alternativ Anbau von Schwarzerle),

Wenn Jahresmitteltemperatur $>8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ **und** $4\text{ dm} < \text{MHGW} \leq 10\text{ dm} \rightarrow 25\text{ \%}$ Zuschlag auf Biomasseertrag,
Wenn Jahresmitteltemperatur $>8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ **und** $\text{MHGW} > 10\text{ dm} \rightarrow 10\text{ \%}$ Zuschlag auf Biomasseertrag³.

2.1.2.2 Herleitung der Ertragspotenziale weiterer Baumarten und von *Miscanthus*

2.1.2.2.1 Weide

Für **Weide** bzw. deren gezüchtete Hochleistungssorten sind unter sächsischen Wuchsbedingungen bisher geringere Erträge als bei Pappel gemessen worden, während in Nordwestdeutschland und Polen durchaus die Ertragsdimensionen von Pappel erreicht werden (SCHÜTTE 1999, RÖHLE et al. 2005, 2009). Für den Versuchsstandort Methau im Mittelsächsischen Lösshügelland geben RÖHLE et al. (2009) bei Stammzahlen von 20000 St./ha bis 130000 St./ha sowie unterschiedlichen Alter und Rotationslängen eine Spanne von 2,8 bis $9,9\text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ für den Biomasseertrag an. Dagegen sind nach MURACH et al. (2009) die Ertragsunterschiede zwischen Pappel und Weide noch nicht gesichert, da Untersuchungen zu neuen, potenziell ertragsstärkeren Weidensorten noch ausstehen. Zum jetzigen Zeitpunkt wird verallgemeinernd jedoch davon ausgegangen, dass das Ertragsniveau von KUP mit Weide in Sachsen insbesondere auf terrestrischen Standorten im Vergleich zu den leistungsfähigen Pappelklonen geringer ist.

2.1.2.2.2 Robinie

Die **Robinie** (*Robinia pseudoacacia*) stellt in Sachsen eine Alternative auf trockenen und warmen Standorten (z. B. auf Böschungen, Kippen und Halden) dar, wo das Wachstum von Pappel- und Weidensorten deutlich zurück bleibt und aufgrund der Trockenheit mit erheblichen Pflanzausfällen zu rechnen ist. Ertragskundliche Untersuchungen zur Biomasseproduktion von Robinienplantagen liegen für sächsische Standorte nicht vor. PETERS et al. (2007) geben für einen Robinienbestand im Nordosten Brandenburgs (6-jähr. Robinie, Pflanzzahl $\approx 5000\text{ St./ha}$, Niederschlag = 500 mm/Jahr , Jahresmitteltemperatur = $8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ackerzahl = 20 bis 42) einen Biomasseertrag von $5,5\text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ an. BÖHM et al. (2009) ermittelten für einen rekultivierten ehemaligen Bergbaustandort in der Niederlausitz (Welzow-Süd; 4-jähr. Robinie, Pflanzzahl = 9200 St./ha , Niederschlag = 583 mm/Jahr , Jahresmitteltemperatur = $9,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, Kippboden) einen Biomasseertrag von $3\text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$. Die Zuwachskulmination (laufender Zuwachs) für Robinie wird nach der Erteld-Ertragstafel (SLF 2000) im Alter von 25 bis 35 Jahren erreicht. Für Abbildung 6 wurden die Holzvorräte von Robinie (Volumenfestmeter Derbholz mit Rinde/ha) im Alter 20 aus der Robinien-Ertragstafel nach Erteld (SLF 2000) in durchschnittliche Biomasseerträge ($\text{t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$) umgerechnet. Abhängig vom Standort (Bonität) erreicht die Robinie unter forstlicher Bewirtschaftung (Hochwald) einen durchschnittlichen Biomasseertrag von $1,5\text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ auf schlechten bis zu $5\text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ auf besseren Standorten.

Es wird eingeschätzt, dass die oberirdische Biomasseakkumulation nach dem Wiederaustrieb wesentlich schneller geschieht als nach der Erstanlage von Robinien-KUP (LANDGRAF et al. 2007). Es ist daher, analog zu den höheren Biomasseerträgen in der zweiten und dritten Rotation bei Pappel, auch bei Robinie mit höheren Erträgen ab der zweiten Rotation und mit steigendem Pflanzenalter zu rechnen (GRÜNEWALD et al. 2007). Entscheidend für ein ausreichendes Wachstum sind jedoch ein hohes Wärmeangebot sowie eine ausreichende Wasserverfügbarkeit, die im Vergleich zu Pappel allerdings geringer sein kann. Auf extremen Trockenstandorten sind dagegen auch von der Robinie keine befriedigenden Zuwachsleistungen zu erwarten (FÜHRER 2005).

³ Für die Leitbodenprofile der BÜK 200 sind mittlere Grundwasserhöchststände (MHGW) maximal bis 20 dm Bodentiefe aufgeführt, andernfalls handelt es sich um terrestrische Böden.

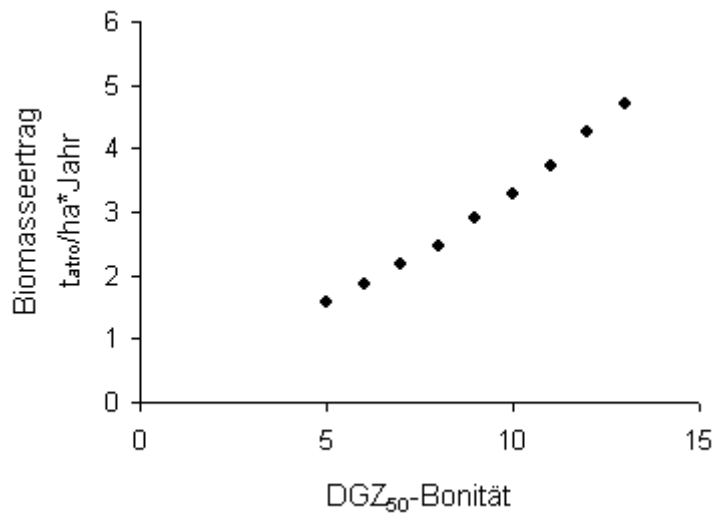


Abbildung 6: Durchschnittlicher Biomasseertrag von Robinie in Abhängigkeit von der Bonität („Standortsgüte“) unter forstlicher Bewirtschaftung im Alter 20 (umgerechnet aus Erteld-Ertragstafel nach SLF 2000)

Für die Abschätzung des Ertragspotenzials von Kurzumtriebsplantagen wurde von der Grundannahme ausgegangen, dass die Verwendung der Robinie nur dort sinnvoll ist, wo das Ertragspotenzial von Pappel aus Gründen der Wasserverfügbarkeit unter $5 t_{atro}/ha \cdot a$ zurückgeht und die Jahresmitteltemperatur über $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht (FÜHRER 2005). Den so ausgeschiedenen Flächen wurde pauschal ein Ertragspotenzial der Robinie von $5 t_{atro}/ha \cdot a$ zugeordnet.

2.1.2.2.3 Schwarzerle

Die **Schwarzerle** (*Alnus glutinosa*) ist nur für den Anbau auf feuchten Standorten geeignet bzw. ist unter diesen Bedingungen anderen Baumarten wachstumsphysiologisch überlegen. Für diese Baumart sind jedoch keine verallgemeinerbaren ertragskundlichen Untersuchungen zur Bewirtschaftung im Kurzumtrieb oder unter niederwaldartiger Bewirtschaftung bekannt. Die Ertragsspanne für Erle auf Nassstandorten wurde auf Grundlage der Ertragstafel nach Lockow (SLF 2000) ermittelt. Die Kulmination des laufenden Zuwachses wird etwa im Alter 20 erreicht. Standorte mit guter Basen- und Phosphorversorgung sowie Humusreichtum sind für die Erle optimal (hohe Bonität). Hier kann die Schwarzerle durchschnittlich Biomasseerträge von bis zu $4 t_{atro}/ha \cdot a$ (Alter 10) bzw. $6 t_{atro}/ha \cdot a$ (Alter 20) erreichen. Mit schlechterer Standortsgüte geht der durchschnittliche Biomasseertrag jedoch rasch auf unter $1 t_{atro}/ha \cdot a$ (Bezugsalter 10 Jahre) bzw. 3 bis $4 t_{atro}/ha \cdot a$ (20 Jahre) zurück (Abbildung 7).

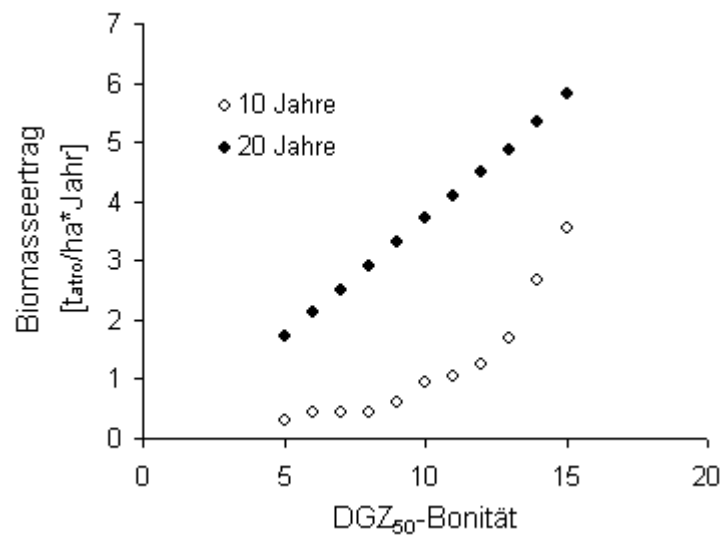


Abbildung 7: Durchschnittlicher Biomasseertrag von Schwarzerle in Abhängigkeit von der Bonität („Standortsgüte“) unter forstlicher Bewirtschaftung im Alter von 10 und 20 Jahren (umgerechnet aus Lockow-Ertragstafel nach SLF 2000)

Die Verwendung der Schwarzerle für den Kurzumtrieb wurde als Anbaualternative für alle Standorte berücksichtigt, auf denen die Pappel aufgrund von zu hohen Grundwasserständen nicht geeignet ist. Das sind alle Standorte mit einem mittleren Grundwasserhöchststand (MHGW) von ≤ 4 dm unter Flur. Diesen Standorten wurde pauschal ein Biomasseertrag von $4 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ zugeordnet. Aus ertragskundlichen Gründen und aus Gründen des Bodenschutzes sollte die Rotationslänge beim Erlenanbau jedoch mehr als 10 Jahre betragen.

2.1.2.2.4 *Miscanthus*

Die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten ist eine Möglichkeit der Biomassegewinnung zur Energieerzeugung mit mehrjährigen Pflanzen. Daneben existieren auch **weitere Dauerkulturen**, die für die Gewinnung von Biomasse geeignet sind. Unter den mitteleuropäischen Standortbedingungen hat bisher im Vergleich verschiedener Grasarten nur die C4-Pflanze *Miscanthus*, insbesondere die Sorte *Giganteus*, Bedeutung erlangt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Biomasseerträge und Wassernutzungseffizienz von *Miscanthus* im Vergleich zu Pappel-Kurzumtriebsplantagen

Sorte	Standort	Ertrag [t/ha*a]	Wassernutzungseffizienz [g _{BM} /kg _{H₂O}]	Quelle
<i>Miscanthus x giganteus</i>	Rheintal, Aueböden	15 - 18 (Frischgewicht)	-	HIMKEN et al. (1997)
<i>M. x giganteus</i>	Essex (UK), sandiger Lehm Boden	24 - 29 (Trocknung bei 80 °C)	7,8 - 9,5	BEALE et al. (1999)
<i>M. sinensis</i> , <i>M. x sacchariflorus</i> , <i>M. x giganteus</i>	Topfversuch		2,2 - 4,1	CLIFTON-BROWN & LEWANDOWSKI (2000)
<i>M. x giganteus</i>	Mecklenburg-Vorpommern	11,7 (Trockengewicht)	-	KAHLE et al. (2001)
<i>M. x giganteus</i>	Sachsen (div.)	11,4 -24,4 (Trockengewicht)	-	RÖHRICHT (2008)
Pappel-KUP	Sachsen (div.)	7,0 - 16,5 (atro, 105 °C)	1,7 - 3,2	Modellergebnisse dieser Studie

Für Sachsen liegen umfangreiche Ergebnisse von *Miscanthus*-Anbauversuchen des LfULG (RÖHRICHT 2008) vor. *Miscanthus* stellt nach RÖHRICHT (2006) ähnliche Ansprüche an den Standort wie Mais und kann auf verschiedenen Böden angebaut werden. Er verträgt jedoch keine Staunässe und Früh- bzw. Spätfröste. RÖHRICHT (2006) gibt für sandige, grundwasserbeeinflusste Lehm Böden ab dem 3. Standjahr stabile Biomasseerträge von 18 bis 20 t_{atro}/ha*a, auf leicht sandigen diluvialen Böden 15 bis 18 t_{atro}/ha*a an. Auch auf Kippenre-kultivierungsböden können danach noch bis zu 10 t_{atro}/ha*a erreicht werden. Aufgrund der Ansprüche von *Miscanthus* an Wärme (Austrieb ab Bodentemperaturen von 10 °C, Wärmesumme in der Vegetationsperiode >2000 °C) und Wasserversorgung (Niederschläge von 300 mm in der Vegetationsperiode) ist es angezeigt, eine nach klimatischen und bodenphysikalischen Standortsfaktoren differenzierende Ertragsschätzung vorzunehmen. Auch die Wachstumsunterschiede einzelner *Miscanthus*-Sorten in Abhängigkeit von Standortsfaktoren wirken sich auf das Ertragsverhalten von *Miscanthus* aus (RUSCHER 2009, mdl. zum Stand der sächsi-schen Anbauversuche mit *Miscanthus*). Im Rahmen dieser Studie war für die Schätzung von Ertragspotenzia-len jedoch nur eine überschlägige Berechnung von Erträgen in Abhängigkeit von der Ackerzahl möglich (Abbildung 8). Dafür wurden die Ergebnisse aus den Anbauversuchen der Versuchsstationen des LfULG Spröda, Methau, Kalkreuth, Zwenkau und Roda verwendet (RÖHRICHT 2008). Für die Regionalisierung wurden die Ackerzahlen auf Gemeindeebene (Verwaltungsstand 1993) der GEMDAT verwendet. In den kühleren Regionen des Erzgebirges muss mit diesem einfachen Ansatz allerdings mit einer Überschätzung der Bio-masse-Erträge gerechnet werden.

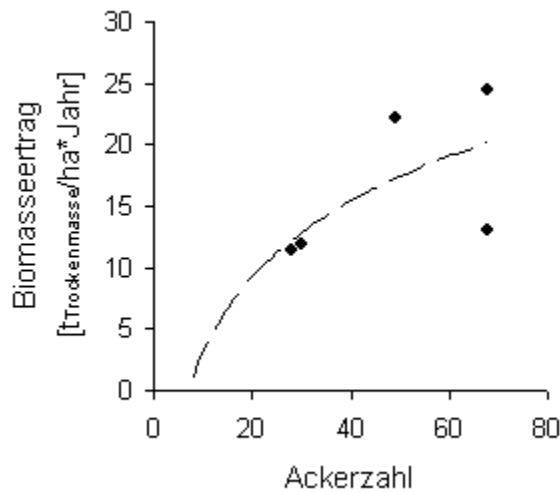


Abbildung 8: Biomasseertrag von *Miscanthus* in Abhängigkeit von der Ackerzahl, abgeleitet aus sächsischen Anbauversuchen (Röhrich 2008); Ausgleichsfunktion: $y = 8,917724 \cdot \ln(x) - 17,441922$ ($R^2 = 0,38$)

2.1.2.3 Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf Ertragspotenziale

2.1.2.3.1 Stand des Wissens

Die aktuellen Untersuchungen zur Entwicklung des Klimas in Sachsen unterstreichen die deutlichen Veränderungen von Klimakennwerten seit der zweiten Hälfte des 20. bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts. Nach BERNHOFER et al (2008) nahm die mittlere Jahrestemperatur im Vergleichszeitraum 1991 - 2005 in ganz Sachsen im Durchschnitt gegenüber der Referenzperiode 1961 - 1990 um 0,7 °C zu. Durch diese Erwärmung kam es z. B. in weiten Teilen des nordwestsächsischen Tieflands zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode um bis zu zwei Wochen. Zudem verschärfte sich die Klimatische Wasserbilanz insbesondere im Sommerhalbjahr. Die Veränderungen fanden jedoch räumlich und zeitlich differenziert statt. Mithilfe von Regionalisierungsverfahren von Simulationen globaler Klimamodelle⁴ wurden für Sachsen regional differenzierte Szenarien der Klimaentwicklung bis 2100 berechnet (WEREX). Danach ist künftig mit einer weiteren Veränderung des Klimas zu rechnen. So wurde unter Verwendung des Szenarios A2 im Vergleich mit der Periode 1981- 2000 ein Rückgang der mittleren Sommerniederschläge in Nord- und Ostsachsen um mehr als 30 % in der Periode 2091- 2100 simuliert. Im gleichen Szenario stieg die Lufttemperatur bis 2100 um 2 bis 3 °C (KÜCHLER 2005).

⁴ KÜCHLER & SOMMER (2003): „Die Simulationen für Sachsen basieren auf Modelldata des globalen Modells des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) im Max Planck-Institut Hamburg ECHAM4/OPYC3 unter einem SRES - Szenario B2 (Verdoppelung der CO₂-Äquivalent-Emissionen bis zum Jahr 2100).“

In den Abbildungen 9 und 10 sind die regionalisierten Jahresmitteltemperaturen bzw. die Klimatische Wasserbilanz in den Sommermonaten (April-September) aus den Perioden 1991 - 2005 den Szenariodaten der Periode 2050 -2065 (WEREX IV A1b normal) gegenübergestellt. Auch in dieser Szenariobetrachtung wird der generelle Trend der Erwärmung und der zunehmenden Sommertrockenheit in Sachsen deutlich⁵. Allen Klimaszenarien gemein ist jedoch die Tatsache, dass sie vereinfachte Beschreibungen der möglichen künftigen Entwicklung darstellen, keinesfalls Prognosen. Entsprechend muss bei der Analyse von erzeugten Klimadaten aus Szenarioanalysen berücksichtigt werden, dass Veränderungen zwar mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auftreten können, jedoch auch andere Entwicklungen möglich sind.

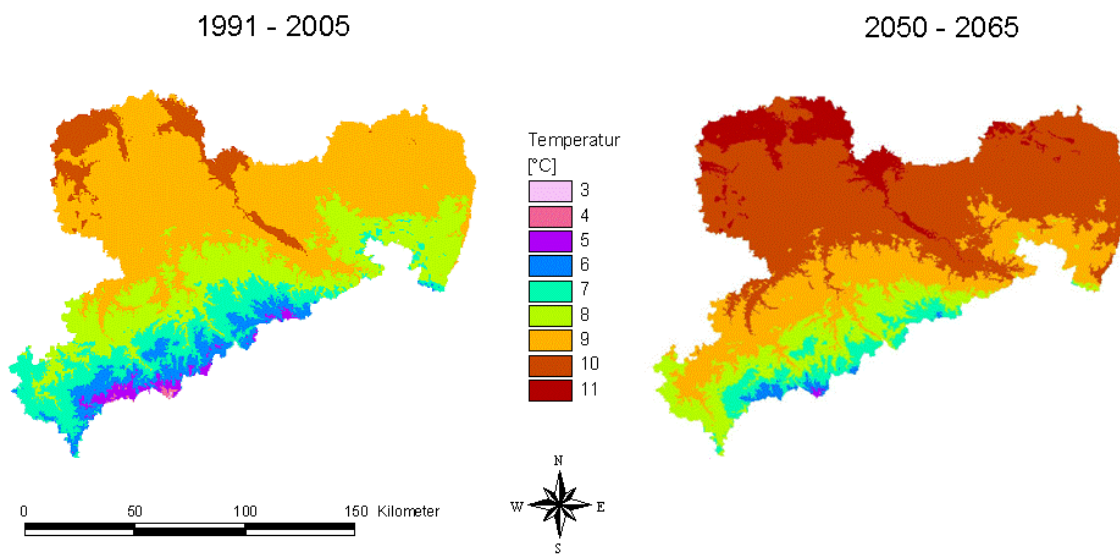


Abbildung 9: Jahresmitteltemperaturen der Periode 1991 bis 2005 (aus BERNHOFER et al. 2008) im Vergleich zur Periode 2050 bis 2065 aus dem Klimaszenario WEREXIV A1b normal (Rasterdaten des FuE-Projektes RaKliDa, LfULG 2009)

⁵ Die Szenariodaten (WEREX IV) liegen für ausgewählte Wetterstationen in Sachsen vor. Die Ergebnisse der Regionalisierung sind sehr stark abhängig vom ausgewählten Klimaelement und dem gewählten Regionalisierungsverfahren. Auch die Anzahl der Wetterstationen, die für die Regionalisierung herangezogen werden können, unterscheidet sich je nach Klimaelement, gewähltem Landesausschnitt und Berechnungsverfahren. Schließlich kann auch die Rastergröße (500 m x 500 m bzw. 1000 m x 1000 m) variieren. Diese Einschränkungen sind bei der Interpretation und Weiterverarbeitung zu beachten. So führen zum Beispiel die Szenariodaten zur Klimatischen Wasserbilanz zu einer geringeren Differenzierung im Vergleich zur Periode 1991 - 2005 in Abbildung 10. Eine weitere Datenverarbeitung unter Einbeziehung der vergleichsweise differenziert vorliegenden Bodendaten (BSA200, 2007) in Verbindung mit dem empirischen Ertragsmodell aus Kapitel 2.1. ist deshalb nicht zu empfehlen. Zudem können die definierten Randbedingungen des Modells nicht auf die Szenariodaten übertragen werden.

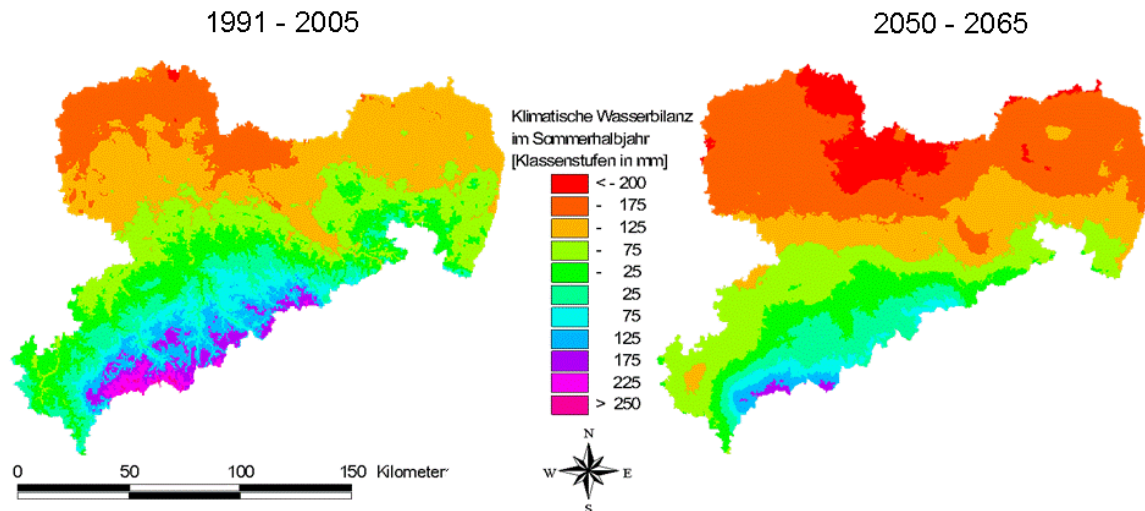


Abbildung 10: Mittelwerte der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr (April-September) der Periode 1991 bis 2005 (aus BERNHOFER et al. 2008) im Vergleich zur Periode 2050 – 2065 aus dem Klimaszenario WEREXIV A1b normal (Rasterdaten des FuE Projektes RaKliDa, LfULG 2009)

Neben der Schwierigkeit, die künftige Klimaentwicklung selbst abzuschätzen stellt auch die Beurteilung eine Herausforderung dar, wie Pflanzen auf die Kombination von veränderten klimatischen Rahmenbedingungen reagieren. Die Veränderungen der Klimavariablen Temperatur, Niederschlag und Kohlendioxid-Konzentration der Luft sowie Ozonkonzentration der Luft und Klimaextreme, die sich unmittelbar auf das Pflanzenwachstum auswirken können, sind in Tabelle 2 dargestellt. Viele der hier genannten Auswirkungen wurden unter verschiedensten Versuchsbedingungen, in Topfexperimenten, im Gewächshaus oder unter manipulierten Freilandbedingungen erzielt. Oft wurden nur die Auswirkungen der Veränderung einzelner Klimafaktoren (z. B. CO₂-Anstieg) untersucht oder es konnten nur kurzzeitige Experimente durchgeführt werden, welche die Übertragbarkeit auf längere Zeiträume für langlebige und anpassungsfähige Organismen wie Bäume einschränken (AINSWORTH et al. 2008, GIELEN & CEULEMANS 2001, MURTHY et al. 2005).

Tabelle 2: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf das Wachstum von Pappelplantagen (ergänzt nach Rock et al. 2009)

Veränderung	mögliche Auswirkungen
Temperaturerhöhung	• allgemeine Beschleunigung von Lebensprozessen (Assimilation und Respiration), Zunahme der Biomasseproduktion • bei häufigerem Überschreiten des Optimumbereiches für die Nettophotosynthese, nach LARCHER (2001) bei Laubbäumen ca. 20 - 25 °C), Abnahme der Biomasseproduktion • steigender Wasserbedarf, früheres Auftreten von Wassermangel • veränderte Phänologie (früherer Austrieb, Hemmung der Winterruhe)
Niederschlagabnahme	• regional differenzierte Verstärkung von Wassermangel (Zuwachsrückgang bzw. „Trockenstress“) • veränderte Allokation von Photosyntheseprodukten, Rückgang der oberirdisch akkumulierten Biomasse
CO ₂ -Konzentrationsanstieg	• verbesserte Stickstoff- und Wassernutzungseffizienz („Düngeeffekt“), Zunahme der Biomasseproduktion • höhere Blattfläche • späterer Blattfall
O ₃ -Konzentrationsanstieg	• verringerte Photosyntheseleistung • veränderte Allokation von Photosyntheseprodukten
Zunahme von Klimaextremen	• Kronenbrüche und Sturmwürfe bei verstärkten Sturmereignissen, insbesondere bei KUP mit längeren Umtriebszeiten • höhere Ausfallraten bei Auftreten von Dürren während und nach Anlage von KUP-Flächen

ROCK et al. (2009) und LASCH et al. (2009) folgern aus Simulationsrechnungen mit dem am Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) entwickelten Waldwachstumsmodell 4C, dass die Auswirkungen eines veränderten Klimas auf die Ertragsleistung von Aspen (*Populus tremuloides* bzw. *Populus tremula*) auf tendenziell ertragsschwachen Standorten Ostdeutschlands gering sind. Nach dieser Studie hätten vielmehr Standortunterschiede einen größeren Einfluss auf die Ertragsleistung als die zum jetzigen Zeitpunkt absehbaren Klimaveränderungen. Für die unteren und mittleren Lagen des Erzgebirges werden jedoch Ertragszuwächse von bis zu 100 % prognostiziert. Die aktuelle Ertragsleistung auf diesen Standorten ist nach den Untersuchungen von Rock et al. (2009) allerdings gering (0-2 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$). Die auf Messungen beruhenden Wuchsleistungen von leistungsfähigen Hybridklonen (Max, Matrix) in vergleichsweise weiten Pflanzverbänden (max. 1600 St/ha) in der ersten Rotation auf einem Erzgebirgsstandort (Arnsfeld, 625 m ü. NN, Jahresmitteltemperatur <7 °C) erreichen nach RÖHLE et al. (2009) Werte von bis zu 4,2 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ nach der ersten Rotation (Alter 4 bzw. 7

Jahre). Für die trockenen Gebiete in Nordwestsachsen⁶ werden nach der Studie von Rock et al. (2009) Ertragszuwächse für KUP mit Aspe von 40 % bis 60 % modelliert. Die Simulationen mit den aktuellen Klimarahmenbedingungen (1982-2003) ergeben Biomasseerträge für Aspen-KUP von 4 bis 6 t_{atro}/ha*a. Diese Werte stellen nach der Modell-Studie das Maximum für sächsische Verhältnisse dar. In den Untersuchungen des PIK wurden schwerpunktmäßig Standorte mit Grundwassereinfluss sowie Auenstandorte untersucht (LASCH et al. 2009). Durch diese Einschränkung kann folglich davon ausgegangen werden, dass in den Simulationen mögliche Wasserdefizite für die Pflanze sowohl unter den aktuellen Bedingungen als auch unter den Bedingungen eines Klimaszenarios nicht dargestellt werden. Demzufolge wirken im Klimaszenario nur die ertragssteigernden Effekte von erhöhten CO₂-Konzentrationen sowie erhöhten Temperaturen.

Klimaveränderungen können sich jedoch auch auf technologische und logistische Verfahrensabläufe auswirken. So ist durch einen Rückgang der Anzahl Frosttage bei nur geringen Veränderungen der Höhe der Niederschläge in den Wintermonaten mit der Verschlechterung der Befahrungsbedingungen zum Zeitpunkt der Ernte von Kurzumtriebsgehölzen zu rechnen. Dagegen würde sich die verzögerte Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers im Herbst positiv auf die Befahrung auswirken und das Zeitfenster für die Befahrung und die Beerntung bei trockenen Bodenbedingungen nach Ende der Vegetationsperiode (Ende des Blattfalls) vergrößern.

2.1.2.3.2 Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf KUP

Trotz der beschriebenen Unsicherheiten von Klimaszenarien und der unzureichenden experimentellen Datenbasis zur Reaktion von Pappelplantagen auf Klimaveränderungen wurde versucht, die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragspotenziale von KUP darzustellen. Dafür wurden Simulationsstudien mit dem prozessorientierten Modellpaket CoupModel (JANSSON & KARLBERG 2004) durchgeführt. CoupModel wurde in einer Studie über die Auswirkungen des Klimawandels auf Kohlenstoffflüsse von Fichtenbeständen in Schweden erfolgreich eingesetzt (JANSSON et al. 2007). Die Grundparametrisierung der abiotischen Prozesse wurde aus vorangegangenen Untersuchungen übernommen (vgl. 2.1.2.1). Neu hinzu kam jedoch die prozessorientierte Darstellung des Pflanzenwachstums (biotische Prozesse) und der Interaktion von biotischen und abiotischen Prozessen. Dafür wurde die Modellstruktur von CoupModel entsprechend angepasst:

- ⇒ Zuschaltung des Wachstums-Moduls (Option: „Nitrogen and Carbon“, „Dynamic interaction with abiotics“)
- ⇒ Verwendung des Ansatzes „Radiation use efficiency“
- ⇒ Verwendung eines Temperatursummenansatzes für die Darstellung der Pflanzenentwicklung („Growth Stage Index“) einschließlich Winterruhe; Parametrisierung anhand von Messdaten am Standort Methau (Entwicklung des Blattflächenindex 2006-2008)
- ⇒ Separate Darstellung der Winterruhe
- ⇒ Dynamische Darstellung des spezifischen Blattflächenindex als Funktion von Temperatursummen („Growth stage index“).

Ein künftiger Anstieg der CO₂-Konzentration der Luft kann in der gewählten Modellstruktur nicht berücksichtigt werden (JANSSON et al. 2007). Es wurde angenommen, dass die Plantage zum Modellstart neu angelegt wur-

⁶ Die Aussagen beziehen sich nach Rock et al. (2009) und LASCH et al. (2009) auf die ehemaligen Landkreise Delitzsch, Torgau-Oschatz, Riesa-Großenhain sowie Bautzen.

de und die oberirdische Biomasse danach alle 5 Jahre geerntet wird. Die Nutzungsdauer der Plantage wurde mit 35 Jahren angenommen. Die Auswahl der Modellstandorte und Zeitreihen der Klimavariablen des WE-REX-Modells erfolgte in Anlehnung an die untersuchten Standorte im FuE-Projekt „Bodenatlas Sachsen – Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt“ (KLÖCKING et al. 2008). Es wurden nur die Standorte Marienberg, Chemnitz und Torgau betrachtet.

2.1.3 Ergebnisse & Diskussion

2.1.3.1 Standortstypisches Ertragspotenzial von Pappel

Die Ergebnisse der Schätzung des standortstypischen Ertragspotenzials für Pappel-Kurzumtriebsplantagen sind landesweit für ganz Sachsen in der Karte des Anhangs 2 dargestellt. Unter Berücksichtigung der Resultate des Moduls Bodenschutz (Kapitel 2.4) wurden nur die Ertragspotenziale der Biototypen Acker und Ackerbrache nach BTLNK bewertet. Bei der Interpretation der Zahlen ist Folgendes zu beachten:

- die in den Methoden beschriebenen Annahmen und Modellgrenzen;
- aufgrund der räumlichen Auflösung der Eingangsdaten die Beschränkung der Aussagekraft auf die Polygone und Leitbodenprofile der BÜK 200;
- keine Berücksichtigung von technischen Einschränkungen der Flächenbewirtschaftung z. B. durch Steillagen.

Danach werden die höchsten Erträge mit über 18 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ vor allem auf einzelnen Flächen in den Auebereichen der Elbtalniederung zwischen Riesa und Torgau (Landschaftsraum 6) sowie in Auegebieten des Oberlausitzer Heide- und Teichgebiets und der Königsbrück-Ruhlander Heiden (Landschaftsraum 28) erreicht. Bezogen auf das gesamte Standortsspektrum der einzelnen Landschaftsräume werden die höchsten Erträge mit durchschnittlich rund 16 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ auf den Ackerflächen im Riesa-Torgauer Elbtal mit Annaburger Heide und Gohrischheide (Landschaftsraum 6) sowie im Mittelsächsischen Lösshügelland (Landschaftsraum 10) erzielt. Im Oberen Westerzgebirge, Oberen Osterzgebirge, den Bergbaufolgelandschaften der Oberlausitz sowie der Muskauer Heide (Landschaftsräume 17, 19, 29 und 30) bleiben die Biomasseerträge im Durchschnitt unter 8 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$. Die Ergebnisse der Kartendarstellung sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Nach Landschaftsräumen (siehe Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Pappel-KUP geeignete Ackerfläche, mittlerer Biomasseertrag (flächengewichtet) sowie Standardabweichung

Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche ⁷ [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha*a]	Standard- abweichung t _{atro} /ha*a	Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha*a]	Standard- abweichung t _{atro} /ha*a
1	62560	13	2,6	17	909	7	2,2
2	3340	13	1,6	18	44063	10	2,3
3	8854	12	3,5	19	3786	7	1,8
4	2605	18	2,6	20	6513	12	2,9
5	27419	9	4,0	21	8583	14	3,2
6	12495	16	4,8	22	6996	11	4,0
7	5578	15	3,3	23	26097	11	3,3
8	1217	15	4,0	24	21995	13	2,4
9	53556	13	2,9	25	26655	15	2,9
10	48186	16	2,9	26	9007	14	2,7
11	83899	14	2,7	27	33877	14	3,3
12	35565	10	2,2	28	14656	10	3,5
13	26033	12	3,3	29	2472	3	4,2
14	942	13	4,4	30	841	7	2,1
15	1349	12	2,1				
16	30772	10	2,5		Σ=617393	Ø=12	Ø=3,0

2.1.3.2 Plausibilitätsprüfung der Ertragsschätzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen mit Hilfe hydrologischer Modellierung

Der dargestellte empirische Ansatz zur Ertragsschätzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen verallgemeinert und vereinfacht sehr stark die bisherigen Ergebnisse und Erkenntnisse aus Anbauversuchen. Die tatsächlich erreichbaren Biomasseerträge können von dieser Schätzung deshalb erheblich abweichen. Die Ursachen liegen im großen Einfluss von

- ⇒ Exposition und Hangneigung der Flächen (Einstrahlung),
- ⇒ verwendeten Sorten, Klonen und Klonmischungen und deren Qualität zum Zeitpunkt der Anlage,
- ⇒ Anlageverfahren (Flächenvorbereitung, Pflanzverfahren, Qualität der Ausführung, Nachbesserungen),
- ⇒ Schutzmaßnahmen gegen Wild, Beikrautregulierung,
- ⇒ Pflanzzahl, Rotationszyklus und Plantagenalter,
- ⇒ Witterungsbedingungen in den ersten beiden Jahren der Anlage.

Streng genommen gelten die zugrunde gelegten Beziehungen von Standort - Biomasse (ALI 2009) nur für die Bedingungen, die im Untersuchungszeitraum auf den sächsischen Versuchsflächen in Sachsen geherrscht haben. Für die Plausibilitätsprüfung wurde deshalb ein zweiter, eher prozessorientierter Ansatz verwendet. Hier wurde davon ausgegangen, dass der oberirdische Biomasseertrag umso höher ausfällt, je höher die

⁷ Hier potenziell für Pappel geeignete Ackerflächen (= Gesamtackerfläche minus vernässte Flächen minus Flächen ohne Ertragspotenzial).

aktuelle Bestandestranspiration einer Kurzumtriebsplantage ist. Die Transpiration von Pappelplantagen hängt jedoch sehr stark von der Wasserverfügbarkeit (Niederschlagsdargebot, Bodenwasserhaushalt) und den Transpirationsbedingungen (Verdunstungsanspruch der Atmosphäre) ab. Mit einem physikalisch basierten Standortmodell für den Wasserhaushalt können diese unterschiedlichen Bedingungen modelliert werden. Dafür wurde das Programmpaket CoupModel (JANSSON & KARLBERG 2004), das die Simulation des Wasser- und Stoffhaushaltes im System Boden-Pflanze-Atmosphäre unterstützt, verwendet. Die Kalibrierung und Validierung des aufgestellten Modells erfolgte anhand von Messdaten am Standort Methau im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes AGROWOOD (PETZOLD et al. 2009a, 2009b). Die Übertragung auf andere sächsische Standorte erfolgte mit Hilfe von Leitprofilen der Bodenkonzeptkarte in Verbindung mit Pedotransferfunktionen (ZACHARIAS & WESSOLEK 2007, AD HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN 2005) sowie Klimadaten des agrar-meteorologischen Messnetzes Sachsen (Simulationszeitraum 1996 - 2008). Im Gegensatz zu vorherigen Modellstudien mit CoupModel wurde für die vorliegende Untersuchung zusätzlich die Temperatur-Response-Funktion von MELLANDER et al. (2006) parametrisiert. Diese Funktion reduziert die Wasseraufnahme durch die Wurzel (verringerte Transpiration) bei niedrigen Bodentemperaturen. Als unterer Grenzwert für die Wurzelwasseraufnahme wurde eine Bodentemperatur von 9 °C eingesetzt. Dadurch ließ sich der Wasserhaushalt für die Pappelklone mit hohem Wärmeanspruch (LYR et al. 1996, ZALESNY et al. 2005) besser dem Klimagradierten in Sachsen anpassen.

Die Modellstandorte sind in Tabelle 4 charakterisiert. Die ausgewählten Klimastationen und Bodenformen decken das typische Standortsspektrum in Sachsen vom flachgründigen Erzgebirgsstandort (Christgrün, Tharandt) über das Lösshügelland (Roda, Methau, Salbitz, Pommritz) bis zu den trockenen Tieflandsstandorten (Leipzig, Köllitsch) ab.

Tabelle 4: Standortsinformationen für die Parametrisierung zur hydrologischen Modellierung mit CoupModel (Klimawerte der Periode 1996-2008); T=Jahresmitteltemperatur

Standort	Höhenlage Klimastation [m ü. NN]	T [°C]	korrigierter Niederschlag ⁸ [mm/Jahr]	Herkunft der Leitbodenprofile ⁹	Bodenart	Durchwurzelungstiefe [m]	nFK _{Wurzeltiefe} [mm]
Tharandt	385	9,0	963	gemessen	toniger Schluff	1,0	240
Roda	218	9,7	700	wie Methau	toniger Schluff	1,2	310
Christgrün	428	8,6	700	0842m	sandiger Lehm	0,8	150
Methau	250	9,2	771	gemessen	toniger Schluff	1,2	310
Pommritz	230	9,8	686	0399m	toniger Schluff	1,2	250

⁸ nach RICHTER (1995)

⁹ Der Zahlencode ist die Aggregationsnummer (Aggnr.) des Leitbodenprofile der Bodenkonzeptkarte und erlaubt die eindeutige Zuordnung der verwendeten Bodendaten aus dieser Datenbank

Standort	Höhenlage Klimastation [m ü. NN]	T [°C]	korrigierter Niederschlag ⁸ [mm/Jahr]	Herkunft der Leitbodenprofile ⁹	Bodenart	Durchwurzelungstiefe [m]	nFK _{Wurzeltiefe} [mm]
Leipzig	102	10,1	643	0357m	lehmgiger Sand	1,2	230
Salbitz	136	9,8	680	0202m	toniger Schluff	1,2	250
Köllitsch	85	9,9	532	1532m	sandiger Lehm	1,2	240

In Tabelle 5 sind die Modellergebnisse, klimatische Informationen sowie den Standorten zugeordnete, durchschnittliche Biomasseerträge aus der empirischen Ertragsschätzung zusammengestellt. Die niedrigste Transpirationsrate wird mit 270 mm/Jahr für den Tieflandsstandort Köllitsch simuliert. Vergleichsweise hohe Transpirationsraten werden mit bis zu 400 mm/Jahr im mittelsächsischen Hügelland (Methau), aber auch im Übergangsbereich zum Erzgebirge (Tharandt) erreicht.

Tabelle 5: Niederschlag, Modellergebnisse (Transpiration und Gesamtabfluss), Ergebnisse der empirischen Ertragsschätzung für die Modellstandorte, KWB = Klimatische Wasserbilanz

Standort	korrigierter Niederschlag [mm/Jahr]	Transpiration Pappelbest. ¹⁰ [mm/Jahr]	Gesamt- abfluss [mm/Jahr]	Grasreferenz- verdunstung [mm/Jahr]	KWB [mm/Jahr]	emp. Schätzung Biomasseertrag [t _{atro} /ha*a]
Tharandt	963	397	254	815	148	14,9
Roda	700	358	78	577	123	16,5
Christgrün	700	350	77	581	119	12,5
Methau	771	400	125	654	116	16,5
Pommritz	686	351	55	580	107	16,6
Leipzig	643	320	66	538	105	13,4
Salbitz	680	382	16	617	63	18,5
Köllitsch	532	271	7	628	-96	7,0

Die direkte Gegenüberstellung von durchschnittlichen jährlichen Transpirationsraten und den aus der Biomasse-schätzung zugeordneten Biomasseerträgen zeigt einen Anstieg der Biomasseproduktion mit zunehmender

¹⁰ Die für die Modellparametrisierung verwendeten Messreihen beziehen sich auf einen untersuchten Pappelbestand bei Methau (Petzold et al. 2009): *Populus maximowiczii* x *P. nigra*, cv. Max 1, Alter 9 Jahre/1. Rotation, Pflanzzahl 1570 St./ha, mittlere Höhe 11 m, mittlerer Brusthöhendurchmesser 13, 2 cm. Es wurde angenommen, dass die für die Simulationsergebnisse bedeutsamsten physikalischen Pflanzenparameter wie Verlauf des Blattflächenindex (maximal 5,5) und die hydraulische Leitfähigkeit auch für einen voll produzierenden Pappelbestand in der 2. und 3. Rotation bei vierjährigen Umtrieb übertragen werden können.

Bestandstranspiration (Abbildung 11). Mit zunehmenden Transpirationsraten flacht die Kurve jedoch leicht ab.

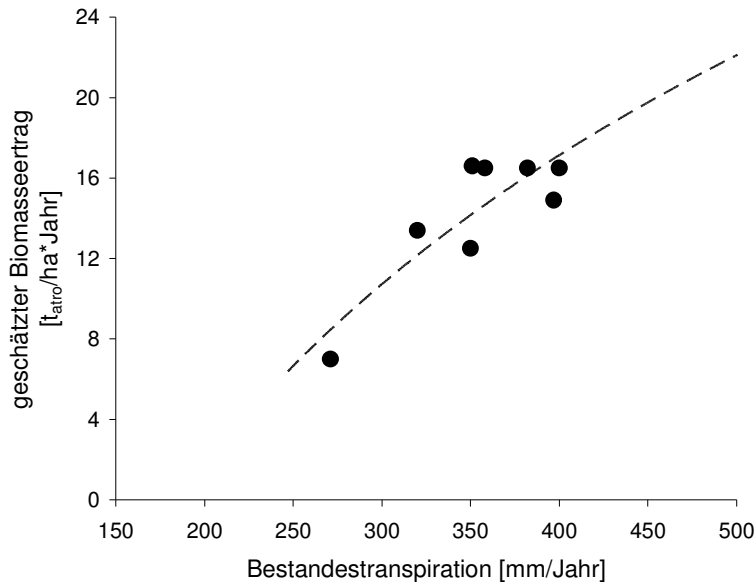


Abbildung 11: Beziehung aus geschätztem Biomasseertrag und modellierter Bestandstranspiration (Mittelwert 1996-2008)

Der Quotient aus produzierter oberirdischer holziger Biomasse (g_{atro}) und transpiriertem Wasser (kg), wird als Wassernutzungseffizienz (WUE) bezeichnet. Die WUE für Pappel erreicht danach Werte von 2,6 bis 4,6 $g_{BMatro}/kg_{H_2O}^{11}$. Diese Werte liegen im Bereich von Literaturangaben. Die Werte der WUE unterliegen durch die Abhängigkeit von Standort, Bezugszeitraum, Pflanzzahlen, Alter und Pappelklon starken Schwankungen. BUNGART & HÜTTL (2004) kalkulierten die WUE für eine Pappel-Kurzumtriebsplantage auf einem rekultivierten Bergbaustandort in Südbrandenburg. Die Autoren geben eine Spanne der WUE für den Pappelklon Beaupré in verschiedenen Untersuchungsjahren von 0,8 bis 3,5 g_{BM}/kg_{H_2O} an. SOUCH & STEPHENS (1998) fanden in Topfexperimenten für verschiedene Pappelklone Wassernutzungseffizienzen von 3,5 (Ghoy) bis 4,4 g_{BM}/kg_{H_2O} (Trichobel und Beaupré). LINDROTH & BATH (1999) verwendeten für die Schätzung des Biomasseertrags von Weiden-Kurzumtriebsplantagen auf der Basis der Wasserverfügbarkeit eine Wassernutzungseffizienz von 3,5 g_{BM}/kg_{H_2O} . Die Beispiele zeigen, dass die mit dem empirischen Modellierungsansatz ermittelten Werte für die Biomasseproduktion von Pappelkurzumtriebsplantagen auch unter dem Gesichtspunkt der Wassernutzungseffizienz plausibel sind. Beim Vergleich der Wassernutzungseffizienz mit landwirtschaftlichen Kulturen ist zu beachten, dass hier die Gesamtverdunstung (Interzeption+Evaporation+Transpiration) als Bezugsgröße für die Wassernutzung verwendet wird.

¹¹ Die Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Kulturen bezieht sich in der Regel auf die Gesamtverdunstung (Evaporation+Interzeption+Transpiration). Schließt man für Vergleichszwecke die Interzeption von Pappel aus den Modellrechnungen in die Betrachtung des Wasserverbrauchs mit ein, dann verringert sich die Wassernutzungseffizienz im oben genannten Beispiel auf 1,7 bis 3,2 g_{BMatro}/kg_{H_2O} . Die Evaporation unter KUP kann in der Berechnung vernachlässigt werden.

2.1.3.3 Ertragspotenziale weiterer Baumarten

2.1.3.3.1 Robinie

Die potenziellen Standorte für Robinien-KUP sind in der Karte in Anhang 3 dargestellt. Bewertet wurden wiederum nur die Biotoptypen Acker und Ackerbrache nach BTLNK. Erwartungsgemäß sind in den mittleren und oberen Mittelgebirgslagen keine potenziellen Standorte für den Robinienanbau zu finden. Auch in den nordostsächsischen Trockengebieten befinden sich keine geeigneten Standorte. Dieser Befund lässt sich dadurch erklären, dass hier das Ertragspotenzial von Pappel-KUP noch über $5 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ und damit über dem der Robinie liegt. Die Ergebnisse der Kartendarstellung sind nach Landschaftsräumen in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Robinien-KUP geeignete Ackerflächen, Biomasseertrag

Landschaftsraum [Nr.]	Ackerfläche ¹² [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]	Landschaftsraum [Nr.]	Ackerfläche [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]
1	19	5	17	0	-
2	0	-	18	127,0	5
3	77,6	5	19	0	-
4	0	-	20	302,6	5
5	0,7	5	21	4,1	5
6	0	-	22	0	-
7	0	-	23	137,9	5
8	17,4	5	24	0	-
9	16,1	5	25	35,5	5
10	94,6	5	26	0	-
11	145,6	5	27	98,0	5
12	0	-	28	17,8	5
13	164,0	5	29	1915,9	5
14	45,7	5	30	183,2	5
15	0	-			
16	0	-		$\Sigma=3407,7$	$\bar{\varnothing}=5$

Größere zusammenhängende Flächenpotenziale finden sich mit rund 1900 ha vor allem in den Bergbaufolgelandschaften der Oberlausitz (Landschaftsraum 29). Hierbei handelt es sich überwiegend um rekultivierte Bergbauflächen aus Kippsubstraten. Insgesamt wurde für Sachsen ein standortstypisches Flächenpotenzial für den Robinienanbau von 3400 ha errechnet.

2.1.3.3.2 Schwarzerle

Die Ergebniskarte mit potenziellen Erlenstandorten ist in Anhang 4 dargestellt. Potenziell für den Erlenanbau zu berücksichtigende Ackerflächen finden sich erwartungsgemäß im Überflutungsbereich entlang von Bachläufen oder in den Auebereichen mit sehr hoch anstehendem Grundwasser. Die flächenmäßig umfangreichsten Flächen befinden sich im Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet und den Königsbrück-Ruhlander Heiden (Landschaftsraum 28). In Tabelle 7 sind die Ergebnisse nach Landschaftsräumen ausgewertet. Insgesamt wurde ein Flächenpotenzial von Erlen-KUP auf Acker von rund 80000 ha in Sachsen errechnet.

¹² Hier potenziell für Robinie geeignete Ackerflächen (= Gesamtackerfläche minus potenzielle Pappelflächen minus vernässte Flächen minus Flächen ohne Ertragspotenzial).

Tabelle 7: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte, potenziell für Erlen-KUP geeignete Ackerflächen, Biomasseertrag

Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche ¹³ [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]	Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]
1	7908	4	17	5	4
2	210	4	18	804	4
3	695	4	19	28	4
4	1707	4	20	129	4
5	7959	4	21	28	4
6	8072	4	22	129	4
7	393	4	23	6688	4
8	110	4	24	2214	4
9	5241	4	25	4177	4
10	2572	4	26	677	4
11	3487	4	27	1818	4
12	1097	4	28	20079	4
13	1651	4	29	1775	4
14	6	4	30	2013	4
15	72	4			
16	504	4		Σ=82855	Ø=4

Im Anhang 5 sind die Ertragspotenziale aus Kurzumtriebsplantagen von Pappel, Robinie und Schwarzerle zusammengefasst dargestellt. Als Basisfläche diente jeweils die Fläche, die sich aus der Zusammenfassung der Biotoptypen Acker und Ackerbrache aus der BTLNK ergab.

Grundsätzlich wurden die Ertragspotenziale schnellwachsender Baumarten unabhängig von der Landnutzung abgeleitet. Aus den Ergebnissen (GIS-Daten) können somit auch die Ertragspotenziale für andere Flächen der BTLNK, z.B. für Grünland dargestellt werden

2.1.3.3.3 *Miscanthus*

Die Ergebnisse der Regionalisierung der Biomasseerträge für *Miscanthus* mit einem sehr verallgemeinernden Schätzansatz sind in der Karte Anhang 6 dargestellt. Die Flächen mit den höchsten Ertragserwartungen befinden sich danach im Mittelsächsischen Lösshügelland. Die geringsten Anbaupotenziale sind in den Mittelgebirgen sowie im nordostsächsischen Tiefland zu erwarten. In Tabelle 8 sind die Flächenpotenziale und Ertragserwartungen nach Landschaftsräumen zusammengefasst.

¹³ Hier potenziell für Erle geeignete Ackerflächen (= vernässte Flächen mit mittlerem Grundwasserhöchststand ≤ 4 dm).

Tabelle 8: Nach Landschaftsräumen (Anhang 1) zusammengestellte Ackerfläche, Ertragserwartungen für *Miscanthus*-Anbauten, mittlerer Biomasseertrag (flächengewichtet) sowie Standardabweichung

Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche ¹⁴ [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]	Standard- abweichung t _{atro} /ha	Landschafts- raum [Nr.]	Acker- fläche [ha]	Mittlerer Ertrag [t _{atro} /ha]	Standard- abweichung t _{atro} /ha
1	71006	18,6	1,7	17	919	10,6	1,4
2	3833	18,6	0,5	18	45473	14,5	1,5
3	10084	19,4	1,9	19	3825	11,4	1,6
4	4358	16,1	1,7	20	6716	17,2	1,9
5	35639	14,7	1,9	21	9034	17,0	1,6
6	20688	17,3	2,3	22	7616	15,9	1,6
7	6107	19,1	1,9	23	33051	15,3	1,7
8	1513	17,9	1,8	24	24510	16,4	1,6
9	59452	18,0	1,6	25	31314	17,8	1,2
10	51191	20,1	1,2	26	10182	15,6	0,9
11	88301	18,2	1,2	27	36460	17,1	1,3
12	37160	13,7	1,7	28	35371	13,2	2,1
13	27932	16,2	1,2	29	4304	10,8	1,0
14	986	16,0	1,1	30	2936	12,2	1,4
15	1559	17,2	0,7				
16	31830	13,1	1,4		Σ=705895	Ø=16,7	Ø=1,6

Die Durchschnittswerte der Ertragsschätzung zeigen insgesamt eine geringe Variabilität. Dies ist auf die geringe Differenzierung der Eingangsdaten (Ackerzahl auf Gemeindeebene) zurückzuführen. In den kühleren Regionen der Mittelgebirge (Landschaftsräume 12 sowie 16 bis 20) muss mit einer Überschätzung der Erträge gerechnet werden. Deshalb besteht für die Ertragsschätzung von *Miscanthus*-Sorten auf der Basis von klimatologischen und bodenphysikalischen Faktoren sowie für die Entwicklung von stärker differenzierenden Ertragsmodellen noch weiterer Forschungsbedarf.

2.1.3.3.4 Auswirkungen des Klimawandels auf KUP – Modellergebnisse und -grenzen

Die Ergebnisse des Simulationszeitraums 1961 - 1995 wurden dem Zeitraum 2066 - 2100 gegenübergestellt (Tabelle 9). Insgesamt fallen die modellierten Biomasseerträge mit dem prozessorientierten Modellansatz im Vergleich mit den sächsischen Anbauerfahrungen und den Ergebnissen der empirischen Ertragsschätzung vor allem für den Standort Chemnitz zu gering aus. Auch die Standortbedingungen der drei Modellstandorte zeigen nur einen geringen Einfluss auf den Biomasseertrag. Die Unterschiede sind nur teilweise und mit geringer Signifikanz abzusichern. Die bisherigen praktischen Anbauerfahrungen auf unterschiedlichen Standorten in Sachsen und die Modellergebnisse der empirischen Ertragsmodellierung zeigen jedoch einen stärkeren Standortseinfluss auf die Biomasseerträge an. Die Biomasseerträge unter den künftigen Klimabedingungen des Szenarios WEREX A1b zeigen auf den Standorten Chemnitz und Torgau eine leicht zurückgehende Tendenz, am Standort Marienberg eine leichte Zunahme. Die Unterschiede sind jedoch sehr gering und lassen sich nicht statistisch absichern. Auch die Biomasseerträge unter den Varianten feucht, normal bzw. trocken des Szenarios WEREX A1b am Beispiel des Standortes Chemnitz unterscheiden sich nicht signifikant.

¹⁴ Da keine weiteren Ausschlusskriterien festgelegt wurden, handelt es sich hier um alle Flächen der Kategorie 81 nach BTLNK (Acker und Ackerbrache) in den jeweiligen Landschaftsräumen.

Tabelle 9: Modellergebnisse der Ertragssimulationen mit dem Klimaszenario WEREXIV A1b mit Coup-Model, durchschnittlicher Biomasseertrag ($t_{atro}/ha \cdot a$) je Umtrieb (5 Jahre), Mittelwerte über die gesamte Nutzungsdauer der Plantage in den Vergleichszeiträumen 1960-1995 bzw. 2066-2100, gleiche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ($p < 0,1^{15}$)

Umtrieb, Jahr der Ernte	Chemnitz A1b_feucht [$t_{atro}/ha \cdot a$]	Chemnitz A1b_normal [$t_{atro}/ha \cdot a$]	Chemnitz A1b_trocken [$t_{atro}/ha \cdot a$]	Torgau A1b_normal [$t_{atro}/ha \cdot a$]	Marienberg A1b_normal [$t_{atro}/ha \cdot a$]
1. 1965	6.4	6.5	5.8	6.2	5.1
2. 1970	8.7	8.0	8.1	6.6	7.9
3. 1975	8.4	7.3	7.6	6.5	7.6
4. 1980	8.7	8.6	7.6	8.0	8.5
5. 1985	7.5	8.9	8.3	7.9	8.2
6. 1990	7.5	7.8	8.1	7.1	7.5
7. 1995	8.5	8.7	8.1	7.9	7.2
Mittelwert	8.0	8.0^a	7.6	7.2^a	7.4
1. 2070	5.6	6.0	7.2	5.9	6.6
2. 2075	7.7	8.0	7.7	6.9	8.0
3. 2080	7.7	7.4	6.7	7.2	7.6
4. 2085	7.6	7.3	7.5	7.0	7.1
5. 2090	7.4	7.4	8.2	6.3	7.4
6. 2095	7.5	7.7	8.4	6.9	7.6
7. 2100	7.5	6.8	7.8	6.5	9.2
Mittelwert	7.3	7.2^b	7.6	6.7^{b/c}	7.6^c

Die relativ geringe Sensitivität der modellierten Biomasseerträge sowohl auf Standortsunterschiede als auch auf das Klimasignal des Szenarios WEREX A1b lässt sich im Rahmen dieser Studie nicht abschließend klären. Es wird jedoch deutlich, dass mit den in Sachsen vorliegenden Felduntersuchungen noch keine hinreichend genaue Parametrisierung von komplexen Modellen des Kohlenstoffhaushalts von KUP möglich ist. Vor allem fehlen kombinierte Messungen von Kohlenstoff- und Wasserflüssen auf Kurzumtriebsplantagen. Solche Untersuchungen sind für eine Abschätzung der Kohlenstoffakkumulation und –allokation in Forstökosystemen (SVENSSON et al. 2007) und insbesondere unter den bisher selten untersuchten Bedingungen des Kurzumtriebs von schnellwachsenden Baumarten notwendig. Darüber hinaus sollten Untersuchungen durchgeführt werden, welche die Erforschung von klonspezifischen, physiologischen Reaktionen (Kohlenstoffallokation, Wasserhaushalt, Phänologie) von Kurzumtriebsbaumarten unter Grenzbedingungen (Standortsamplitude, Witterungsextreme) zum Ziel haben. Auf der anderen Seite müssen auch die derzeit verfügbaren Modellansätze überprüft und weiterentwickelt werden. Das betrifft insbesondere die differenziertere Darstellung der Phänologie und des Wachstums (C-Allokation) von früh kulminierenden KUP-Baumarten (vgl. STRAUCH 2008, SCHABER & BADECK 2003, WHITE et al. 1997).

¹⁵ Mann-Whitney-U-Test, zweiseitig

Aus den Befunden vorliegender Modellstudie und den Ergebnissen von LASCH et al. (2009) lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, dass sich der Klimawandel nach den bisherigen Annahmen (Szenario WEREX A1b) tendenziell nur geringfügig auf die Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen auswirken wird. Unterschiede im Ertragspotenzial werden danach stärker durch Standortunterschiede hervorgerufen als durch Klimaveränderungen. Länger andauernde Trockenperioden in den ersten beiden Jahren der Plantagenanlage dürften allerdings das Ausfallrisiko von KUP erhöhen. Auch ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschätzbar, wie sich biotische und abiotische Schadfaktoren (z. B. Insekten, Pilze, Stürme) künftig entwickeln und auf die Ertragshöhe und -sicherheit von KUP auswirken. Es besteht weiterer Forschungsbedarf zur Verbesserung der experimentellen Datenbasis und der modellhaften Darstellung von schnellwachsenden Plantagenbaumarten.

2.1.4 Fazit und Ausblick

Die Ableitung von standortstypischen Ertragspotenzialen von Kurzumtriebsplantagen in Sachsen wurde mit einem empirischen Ansatz schwerpunktmäßig für eine häufig verwendete ertragreiche Pappelsorte (*Populus maximowiczii* x *P. nigra*; Max) durchgeführt. Dabei wurde auf den Ergebnissen von sächsischen Versuchsflächen und den Arbeiten von ALI (2009) aufbaut. Die stärkere standörtliche Differenzierung wurde durch die Verwendung von physiologisch begründeten Responsefunktionen erreicht. Für die Baumarten Robinie (Trockenstandorte) und Erle (vernässte Standorte) sowie für *Miscanthus* wurde jeweils ein stark vereinfachter Ansatz für die Ermittlung der Ertragspotenziale verwendet. Dadurch konnte das gesamte sächsische Standortsspektrum hinsichtlich der Ertragspotenziale für KUP bewertet werden. In besten landwirtschaftlichen Lagen wurden durchschnittliche Erträge von bis zu 16 $t_{atro}/ha \cdot a$ für Pappel-KUP geschätzt, während für *Miscanthus*-Anbauten bis zu 20 $t_{atro}/ha \cdot a$ errechnet wurden.

Forschungsbedarf besteht insbesondere für die Weiterentwicklung der Ertragsschätzung von *Miscanthus*. Dabei sollten klimatologische und bodenphysikalische Faktoren stärker einbezogen werden. Für die Schätzung der Ertragspotenziale von KUP sollten darüber hinaus auch künftige Neuzüchtungen einbezogen werden.

Die Abschätzung von Folgewirkungen des Klimawandels auf die Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Nach jetzigem Kenntnisstand und den Annahmen des Klimaszenarios WEREXIV A1b ist von nur geringen Auswirkungen auszugehen. Es besteht weiterer Forschungsbedarf zur Reaktion von schnellwachsenden Baumarten auf Klimaextreme, der Messung von Kohlenstoffflüssen in KUP sowie der Verbesserung von Modellansätzen zur Darstellung der Phänologie und der Kohlenstoffallokation von schnellwachsenden Baumarten.

2.2 Biomasse aus der Landschaftspflege

2.2.1 Ziele und Arbeitsschritte des Teilprojekts

Vor dem Hintergrund weiter steigender Energiepreise und der sich verschärfenden CO₂-Problematik sind Überlegungen über bisher ungenutzte Potenziale alternativer Energieträger notwendig.

Durch die energetische Nutzung von Biomasse aus der Biotop- und Landschaftspflege lassen sich in idealer Weise Synergien zwischen den Zielen des Naturschutzes und der Bioenergienutzung realisieren. Als Beitrag zu einer nachhaltigen Strategie der Biomassenutzung in Sachsen soll daher das landesweite Biomassepotenzial aus der Biotop- und Grünflächenpflege in Sachsen nach Art und Menge raumbezogen abgeschätzt werden. Gleichzeitig werden für die verschiedenen hierbei anfallenden Biomasseformen die Verwertungswege aufgezeigt und bewertet sowie die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Verfügbarmachung dieser Potenziale bestimmt.

2.2.2 Arbeitsschritte und Methodik

Ausgehend von einer auf eine Literaturanalyse gestützten Abgrenzung des Begriffs Landschaftspflegematerial und der daraus abgeleiteten Definition der im Rahmen des Projektes zu betrachtenden Flächen und Biomassepotenziale, wurde im Zentrum des Teilprojektes eine landesweite GIS-gestützte Abschätzung der energetisch nutzbaren Biomassepotenziale durchgeführt (vgl. Abbildung 12). Dabei wurde zunächst die Lage und Ausdehnung der mit Landschaftspflegemaßnahmen belegten Flächen ermittelt, um dann darauf aufbauend die anfallenden Biomassen hinsichtlich der Verfügbarkeit in Abhängigkeit der Nutzung und hinsichtlich der biotoptypbezogenen Erträge abzuschätzen. Ergänzend wurde eine Befragung von ausgewählten Akteuren durchgeführt, um die aktuelle Situation der Verwendung von Landschaftspflegematerial in Sachsen zu erfragen.

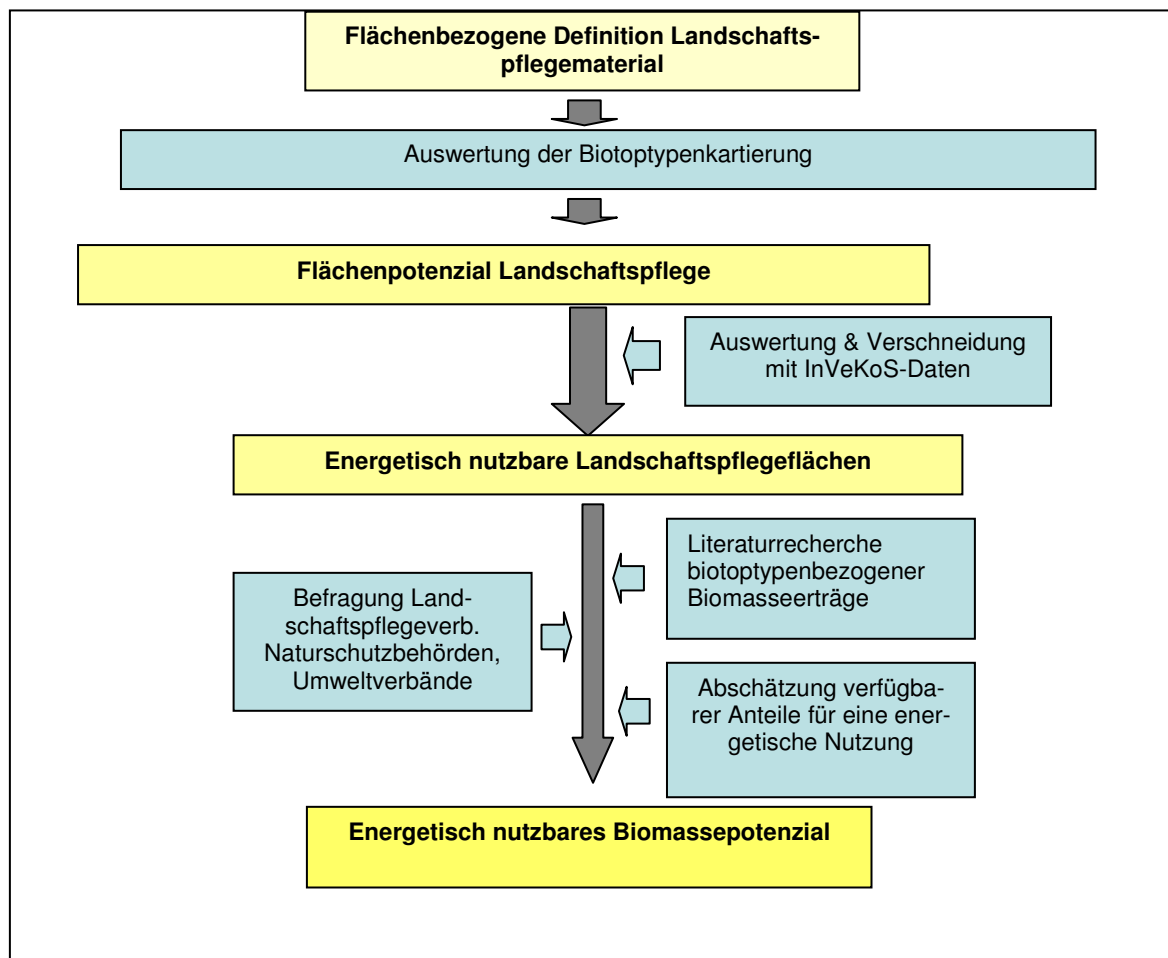


Abbildung 12: Arbeitsschritte der Potenzialabschätzung für Biomasse aus der Landschaftspflege

2.2.2.1.1 Begriffsdefinition „Landschaftspflegematerial“

Da der Begriff Landschaftspflegematerial bisher nicht eindeutig abgegrenzt ist, ist es in einem ersten Arbeitsschritt erforderlich, die unter dem Begriff gefassten Biomassefraktionen zu beschreiben. Dazu wird ein flächenbezogener Ansatz verfolgt, indem nicht die Substrateigenschaften als kennzeichnendes Kriterium herangezogen werden, sondern die Herkunft der Materialien. Grundlage der Abgrenzung ist eine systematische Auswertung der einschlägigen Veröffentlichungen: Im Rahmen des Empfehlungsverfahrens „Landschaftspflegebonus“ der Clearingstelle EEG wurde vom Deutschen BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) in Zusammenarbeit mit Peters Umweltplanung ein Gutachten zur Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009 erstellt (THRÄN et al. 2009). Da das Empfehlungsverfahren erst zum Ende der Projektbearbeitung abgeschlossen wurde, konnte die Empfehlung der CLEARINGSTELLE EEG (2009) im vorliegenden Projekt zwar nicht in die GIS-gestützte Analyse einbezogen werden, die im Rahmen des Projektes betrachteten Teilpotenziale wurden jedoch vorab bereits so weit gefasst, dass keine der in der Empfehlung genannten Landschaftspflegesubstrate außer Acht gelassen wurde.

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) besteht die Möglichkeit, den NawaRo-Bonus für Strom aus Biogasanlagen um 2,0 Cent pro Kilowattstunde zu erhöhen, „wenn zur Stromerzeugung überwiegend Pflanzen oder Pflanzenbestandteile, die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen, eingesetzt werden“ (Anlage 2 Nr. 2 c) EEG 2009).

Der in dem DBFZ-Gutachten (THRÄN et al. 2009) erarbeiteten Definition des Begriffes „Landschaftspflegematerial“ werden Flächentypen zugrunde gelegt. Diesem Ansatz wird im vorliegenden Projekt gefolgt. Da es weder eine wissenschaftliche noch eine rechtliche Definition für den Begriff „Landschaftspflege“ gibt, wird im Gutachten auf das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) verwiesen, in dem die Begriffe „Landschaftspflege“ und „Naturschutz“ immer gemeinsam verwendet werden. „Als Landschaftspflegematerialien können demnach alle Materialien angesehen werden, die bei Maßnahmen anfallen, die vorrangig und überwiegend den Zielen des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Sinne des BNatSchG dienen (THRÄN et al. 2009: 10).“ Darüber hinaus wird auch die Bioabfallverordnung (BioAbfV) zur Begriffsklärung herangezogen. Im Zwischenfazit heißt es:

„Die Tatsache, dass Biomassen, die im Rahmen der Landschaftspflege anfallen, Bioabfälle nach BioAbfV sind, hat aufgrund der Rückausnahme keine weiteren Auswirkungen für den NawaRo-Bonus. Allerdings bleiben für den Einsatz von Straßenbegleitgrün abfallrechtliche Behandlungs- und Untersuchungspflichten bestehen. Aus dem aufzählenden Charakter in der BioAbfV könnte angenommen werden, dass es sich bei Garten- und Parkabfällen, Gehölzrodungsrückständen und pflanzlichen Bestandteilen des Treibseils nicht um Landschaftspflegematerial handeln soll“ (THRÄN et al. 2009: 12, 13).

Da bezüglich der rechtlichen Definition demnach noch unklar ist, für welche Materialien der Landschaftspflegebonus gewährt werden muss, und darüber hinaus auch eine energetische Nutzung unabhängig von einer gesonderten EEG-Förderung möglich ist, wird für die vorliegende Potenzialanalyse zum verfügbaren Landschaftspflegematerial in Sachsen ein breites Spektrum von Flächentypen einbezogen. Dies ist auch damit zu begründen, dass es im Sinne des Ausbaus der Nutzung Erneuerbarer Energien Ziel ist, das Biomasseangebot zu erweitern und eine nachträgliche Aufnahme bestimmter Landschaftspflegematerialien in die Potenzialanalyse mit großem Aufwand verbunden wäre.

2.2.2.2 Typen der Landschaftspflegeflächen

Aus den Erläuterungen zur Begriffsdefinition ergeben sich verschiedenen Flächentypen, von denen Landschaftspflegematerial gewonnen werden kann. Neben den gesetzlich geschützten Biotopen haben auch die sonstigen Freiflächen außerhalb von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Nutzflächen eine besondere Bedeutung für den Naturschutz und die Landschaftspflege. Dies betrifft insbesondere Hecken, Gebüsch und Gewässer sowie vor allem die Randstreifen von Gewässern, Straßen, Wegen und Bahndämmen und schließlich brach gefallene ehemalige landwirtschaftliche Nutzflächen (Sozialbrachen).

Für die Ertragsermittlung besonders wichtig sind die Materialien, die von den benannten Flächen gewonnen werden können. Hierzu wurden im Rahmen des DBFZ-Gutachtens Steckbriefe, für die als Landschaftspflegematerial definierten Stoffe mit ihren Herkunftsquellen sowie auch für Stoffe, die nicht unter die erarbeiteten Begriffsdefinitionen fallen, aber in der allgemeinen Diskussion immer wieder im Zusammenhang mit dem Begriff Landschaftspflegematerial genannt werden, erstellt. Die Steckbriefe enthalten Informationen zu den Rohstoffmengen und -eigenschaften sowie zu konventionellen und potenziellen Nutzungsformen.

In Anlehnung an die im DBFZ-Gutachten beschriebenen Flächentypen wurden im Rahmen der vorliegenden Potenzialermittlung die Biotop- und Landnutzungstypen betrachtet, von denen potenziell energetisch nutzbares Landschaftspflegematerial gewonnen werden kann. Das bedeutet, dass Acker-, intensiv genutzte Grünland- und Waldflächen nicht betrachtet wurden. Das von diesen Flächen stammende Material ist nach Einschätzung der Autoren per Definition kein Landschaftspflegematerial sondern Anbaubiomasse bzw. Waldrest-

holz. Somit wird hier eine Bewirtschaftung nicht vorrangig aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes durchgeführt.

In der technischen Umsetzung im GIS wurden neben den oben genannten Flächen zusätzlich noch versiegelte Flächen und Wasserkörper ohne Vegetation aus der Biotop- und Landnutzungstypenkarte (BTLNK) herausgenommen. Dies verringerte die Datenmenge und erleichterte die Auswertung. Die im Ergebnis erstellten Flächen ergeben im Gesamten den Untersuchungsraum, der durch die Verschneidung mit den nach „Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung“ (RL AuW/2007) geförderten Flächen und mit den Schutzgebieten für die Potenzialermittlung weiter differenziert wurde (siehe Kapitel 2.2.3.4). In Tabelle 10 sind die Flächentypen sowie die Rohstoffe für eine energetische Verwendung zusammenfassend dargestellt. Eine genaue Auflistung der verschiedenen betrachteten Biotop- und Landnutzungstypen mit ihren Unterkategorien (nach der BTLNK) kann der Tabelle in Anhang 7 entnommen werden.

Tabelle 10: Landschaftspflegeflächen und anfallende Rohstoffarten (Zusammenfassung)

Biotoptypen nach BTLNK	Rohstoff
Grünland	Mahdgut
Ruderalfluren	Mahdgut
Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden	Mahdgut, Baum- und Strauchschnitt
Moore, Sümpfe	Mahdgut, Baum- und Strauchschnitt
Baumgruppen, Hecken, Gebüsche	Baumschnitt
	Baum- und Strauchschnitt
	Mahdgut
Gewässerränder (mit Vegetation)	Mahdgut
	Baum- und Strauchschnitt
Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen (mit Vegetation)	Mahdgut, Laub
	Baum- und Strauchschnitt
Quelle: THRÄN et al. 2009, angepasst	

Landwirtschaftliches Grünland

In Sachsen sind ca. 40-50 Prozent des landwirtschaftlich genutzten Grünlandes mit Nutzungsaufgaben versehen, die über eine Finanzierung aus Agrarumweltprogrammen oder Vertragsnaturschutz eine naturverträglichere Gestaltung der Nutzung bewirken sollen (RIEHL 2008). Für die vorliegende Betrachtung sind allerdings nur solche Flächen relevant, die nicht als Weide genutzt werden und somit einen energetisch nutzbaren Biomasseertrag erbringen. Somit sind für die Landschaftspflegepotenzialermittlung nicht die gesamten mit Nutzungsaufgaben versehenen landwirtschaftlichen Grünlandflächen relevant. Die Auflagen sind teilweise so streng, dass die Ziele des landwirtschaftlichen Ertrags der Flächen in den Hintergrund treten und mit der Bewirtschaftung vorrangig Naturschutzziele verfolgt werden. Unter solchen Umständen kann die anfallende Biomasse eindeutig als Landschaftspflegematerial eingestuft werden (vgl. THRÄN et al. 2009). Nach der Empfehlung der EEG-Clearingstelle kann Strom aus Biomasse aller Grünlandflächen mit dem Landschaftspflegebonus vergütet werden, die mit Auflagen aus Agrarumweltprogrammen versehen sind (CLEARINGSTELLE EEG 2009).

Neben den in dieser Weise extensiv genutzten Wiesen in verschiedener Ausprägung (z. B. Frisch- und Feuchtwiesen) werden zu den Grünlandflächen, die Landschaftspflegematerial hervorbringen, auch krautige Offenlandbiotope gezählt. Von Grünlandflächen sind die größten Potenziale an ausschließlich halmgutartiger

Biomasse der hier beschriebenen Flächentypen zu erwarten. Mit der Mahd fallen Gräser (z. B. Glatthafer, Goldhafer), Klee und Hochstauden (z. B. Kohldistel) an (THRÄN et al. 2009: 40).

Der Mahdzeitpunkt hängt v. a. von Auflagen ab, die u. a. durch Agrarumweltprogramme vorgegeben werden. Eine späte Mahd führt dazu, dass der Grünschnitt sich aufgrund des erhöhten „holzigen“ Anteils nicht mehr als Futtermittel eignet. Auch aufgrund der sich wandelnden Landwirtschaft und sinkenden Tierbeständen wird eine erhebliche Menge des Grünschnitts nicht mehr genutzt. Schätzungen für Sachsen gehen davon aus, dass bereits heute ca. 20 Prozent der Grünlandflächen nicht mehr für die Futtermittelproduktion benötigt werden (vgl. KIESEWALTER et al. 2007). Diese Faktoren führen dazu, dass von Grünlandflächen bedeutende Mengen an Biomasse für die energetische Verwendung gewonnen werden können. Da insbesondere die Dauergrünlandstandorte sowohl aus Klimaschutzgründen als auch aus Gründen des Naturschutzes und der Kulturlandschaftspflege erhalten bleiben sollen, bietet die Möglichkeit der energetischen Nutzung des Aufwuchses eine sehr interessante Nutzungs- und damit auch Einkommensalternative für die Landwirte und schützt die Flächen damit vor Aufforstung oder Umbruch. Um den Anforderungen des Natur- und Artenschutzes sowie des Boden- und Gewässerschutzes gerecht zu werden, ist bei einer energetischen Nutzung von Grünland von einer intensiven Bewirtschaftung abzusehen. Bei einer intensiven Nutzung würden keine Synergien mit den Zielen des Naturschutzes entstehen und eventuell sogar Umweltbeeinträchtigungen erzeugt werden.

Ruderalfluren

Ruderalvegetation ist vorwiegend krautig und tritt auf anthropogen stark veränderten und/oder gestörten Wuchsplätzen auf, die weder land- noch forstwirtschaftlich genutzt werden (BRANDES 1985, BRANDES & GRIESE 1991). Die Ruderalvegetation besiedelt in der Regel offene und häufig gestörte Flächen der Siedlungen, Industrie- und Entsorgungsanlagen sowie Verkehrswege, aber auch aufgegebene landwirtschaftliche Nutzflächen. Da bereits geringe Änderungen einzelner Standortfaktoren zu quantitativen oder qualitativen Veränderungen in der Artenzusammensetzung führen, ist die Vegetationsform auf kleinstem Raum sehr vielfältig (BRANDES 2002).

Diese Eigenschaften der Ruderalvegetation geben Aufschluss über die für die energetische Nutzung wichtige Charakteristika. So handelt es sich bei der Ruderalflur meist um krautige Vegetation, die in einem älteren Stadium auch Gehölzbestände aufweisen kann. Es ist somit davon auszugehen, dass die gewinnbare Biomasse sehr heterogen ist und die energetische Verwendung als eher schwierig einzustufen ist. Es bestehen jedoch kaum Nutzungskonkurrenzen und die Pflege der Flächen z. B. entlang von Bahnanlagen wird z. T. bereits durchgeführt. Da auf manchen Ruderalflächen aus Naturschutzsicht eine Sukzession wünschenswert sein mag, die keine Entnahme von Biomasse zulässt, können bei der Nutzung der Ruderalfluren zum Teil Konflikte mit dem Naturschutz auftreten, die das theoretisch nutzbare Biomassepotenzial einschränken würden.

Dennoch werden die Ruderalfluren in die Potenzialermittlung aufgenommen, da das Material aufgrund der Pflegenotwendigkeiten häufig ohnehin bereits anfällt und damit besonders kostengünstig zur Verfügung steht. Zudem ist zu vermuten, dass ein geringer logistischer Aufwand besteht, da Ruderalfluren häufig in der Nähe von Siedlungen oder Verkehrsinfrastrukturen oder in Zusammenhang mit anderen Landschaftspflegeflächen wie z. B. Magerrasen vorkommen.

Magerrasen und Zwergstrauchheiden

Nach § 26 des Sächsischen Naturschutzgesetzes stehen Trocken- und Halbtrockenrasen, Borstgrasrasen, Schwermetallrasen, Wacholder-, Ginster- und Zwergstrauchheiden auch ohne Rechtsverordnung oder Einzelanordnung und ohne Eintragung in Verzeichnisse unter besonderem Schutz. Die Veränderung der Bewirtschaftung oder Zerstörung dieser Biotope ist per Gesetz verboten. Bezüglich des Schutzes u. a. von Farn- und Samenpflanzen in Sachsen haben Heiden, Mager- und Trockenrasen eine sehr große Bedeutung, da 58,6 Prozent der hier vorkommenden gefährdeten Arten nur in diesem Biotopkomplex vorkommen (SMUL 2007). Zur Erhaltung dieser Biotope werden häufig Pflegemaßnahmen durchgeführt.

Bei Magerrasen handelt es sich um krautige Offenlandbiotope, die zur Eindämmung der Sukzession gepflegt werden müssen. Kleinteilige Flächen werden i. d. R. ein bis zweimal pro Jahr gemäht. Andere Pflegemaßnahmen sind: Entbuschen, Entkusselung, Beweidung (Hüteschafe, 2-3 Weidegänge pro Jahr) oder kontrollierter Brand. Das anfallende Material ist zum Großteil Grünschnitt und Mahdgut, bestehend aus Gräsern (z. B. Schillergras, Borstgras) und Kräutern. In der konventionellen Nutzung wird das anfallende Material kompostiert oder als Weidefutter genutzt. Die Qualität des Substrats ist stark vom Standort und den Wetterverhältnissen abhängig. Magerrasen sind häufig kleinräumige Flächen, deren Pflege aufwändig ist. Die Pflege und die Bergung des Materials wird häufig durch Bodenunebenheiten, Steinhäufen und Felsen sowie Hanglagen erschwert (THRÄN et al. 2009: 45).

Zwergstrauchheiden sind ein Vegetationstyp der Heidelandschaften (Sand-, Wacholder-, Ginsterheiden) mit unterschiedlich starkem Strauchbewuchs bzw. aufkommender Sukzession (ebd.: 54). Drei von vier der in dieser Gruppe beinhalteten Biotoptypen sind von der Vernichtung bedroht bis gefährdet und auf eine regelmäßige Nutzung angewiesen (RIECKEN et al. 2006). Zusätzlich zum Schutzstatus nach Landesnaturschutzrecht und der Gefährdung nach der Roten Liste sind beispielsweise die Calluna-Heiden gleichzeitig Lebensraumtyp der FFH-Richtlinie. Als Bestandteile von NATURA 2000-Gebieten kommt dem Erhalt und der Pflege somit eine besondere Bedeutung zu (Öko-Institut 2007: 17). Zum Erhalt der Kulturlandschaft werden Entbuschungsmaßnahmen (Entkusselung) periodisch durchgeführt.

Auf Flächen dieses Biotoptyps fällt vor allem Stamm- und Astmaterial aus dem Rückschnitt von Pionierbaumarten (z. B. Birke und Kiefer) an. Der Baum- und Strauchschnitt und das Ausgraben der aufkommenden Gehölzvegetation werden meist manuell durchgeführt. Derzeit wird das Material überwiegend im Freiland verbrannt oder zerkleinert und als Mulchmaterial genutzt (THRÄN et al. 2009: 54). „Naturschutzfachlich sinnvoller wäre ein Abtransport der Materialien, um den Flächen Nährstoffe zu entziehen und so die Standorteigenschaften für die besonders seltenen und schützenswerten Lebensräume wie beispielsweise Heiden oder nährstoffarme Feuchtwiesen und deren Arteninventar zu verbessern. Aus Kostengründen unterbleibt der Abtransport in der Praxis nicht selten (ebd.: 14).“

Der überwiegend gewonnene Strauchschnitt kann durch das Herausreißen im Rahmen der Entkusselung Erdanhaftungen aufweisen, die im Falle einer energetischen Nutzung zur Qualitätssteigerung abgesiebt werden müssten. Zudem können erhöhte Rindenanteile und eine ungünstige Korngrößenverteilung nach der Zerkleinerung die Qualität der Biomasse schmälern (ebd.: 54).

Zur Erschließung der teilweise kleinteiligen und weit voneinander entfernt liegenden Flächen und zur Nutzung des energetisch nutzbaren Potenzials ist der Aufbau einer geeigneten Infrastruktur, die Erstellung von Wirtschaftlichkeitskonzepten und die Vernetzung der einzelnen Akteure, die die Pflegemaßnahmen durchführen, von großer Bedeutung. In großen (Schutz-)Gebieten, in denen Magerrasen und Heiden vermehrt vorkommen

und sich das Potenzial akkumuliert (wie z. B. im Biosphärenreservat Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft) könnten derartige Ansätze erprobt werden.

Moore und Sümpfe

Auch Moore und Sümpfe sind nach § 26 Sächsisches Naturschutzgesetz geschützt, und somit die Änderung der bisherigen Nutzung oder Bewirtschaftung und das Einbringen von Stoffen verboten. Zu den Mooren zählen Hoch-, Übergangs- und Niedermoores (Torflagerstätten) sowie Sümpfe, welche die Übergänge zum Niedermoor bilden. Moore werden teilweise aus Gründen des Arten- und Biotopschutzes gepflegt und sind somit Potenzialflächen für Landschaftspflegematerial (vgl. THRÄN et al. 2009: 13 f.).

Der Schnitt erfolgt ca. 1-2 mal im Jahr bei einem Pflegerhythmus von 5 bis 8 Jahren. Auch eine „gelegentliche Mahd“, die Beweidung durch Schafe, Brand, Entbuschung und Entkusselung von Moorheiden werden durchgeführt. Bei der Pflege fallen Grünschnitt und Mahdgut an, die u. a. aus Torfmoosen, Rasenbinsen, karnivoren Pflanzen, Wollgras, Seggen, Rohrglanzgras, Wald-Simsen und vielen anderen Hochstauden bestehen. Um die Naturschutzfunktion der Moore zu erhalten, wird derzeit die Biomasse z. T. entnommen und abtransportiert. Das Schnittgut wird als Futterheu und Einstreu verwertet, teilweise aber auch kompostiert (ebd.: 44). Andere aktuelle Bewirtschaftungsweisen sind die intensive Nutzung durch Kultivierung, Entwässerung und Abtorfung.

Die Bergung kann durch eingeschränkt tragfähige Böden erschwert werden und die Transportkosten erhöhen. Für die Verwertung in Biogasanlagen ist zu beachten, dass zusätzlich anfallender Baum- und Strauchschnitt (Zwergsträucher, schwachwüchsige Moorwälder) sowie hohe Trockensubstanz-Gehalte speziell für die Mononassvergärung ungeeignet sind (ebd.).

Somit sind auch bei der Erschließung des energetisch nutzbaren Potenzials von Moorflächen geeignete Logistik- und Verwertungskonzepte aufzustellen, um die Besonderheiten, die sich aus den Standorten und der Qualität des Materials ergeben, frühzeitig einzubeziehen. Die Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Niedermoorbiomasse in einem Biomasseheizkraftwerk wurden in dem Projekt ENIM (Energiebiomasse aus Niedermoores) an der Universität Greifswald untersucht (Projektinformationen unter: <http://www.botanik.uni-greifswald.de/143.html?&L=0>).

Baumgruppen, Hecken, Gebüsche

Hecken und Gebüsche prägen in vielen Regionen in besonderem Maße das Bild der Kulturlandschaft und erfüllen wichtige Lebensraumfunktionen für Pflanzen und Tiere. Zum langfristigen Erhalt dieser Strukturen sind in regelmäßigen Abständen Pflegemaßnahmen erforderlich. Bisher werden diese Pflegemaßnahmen aus Kostengründen vielfach vernachlässigt und insbesondere die Hecken verlieren ihre typische Struktur. In den Fällen, wo die erforderlichen Pflegemaßnahmen durchgeführt werden, werden die anfallenden Materialien entweder an Ort und Stelle verbrannt oder als Hackschnitzel auf den Boden verteilt. In vereinzelten Fällen findet bereits eine thermische Nutzung statt. Die anfallende, vorwiegend holzige Biomasse erfüllt damit eindeutig die Bedingungen für Landschaftspflegematerial (THRÄN et al. 2009: 14). Kopfweiden werden alle 5-10 Jahre (bei Extensivpflege alle 12-15 Jahre) in den Monaten Oktober bis Februar geschnitten. Der verwertbare Rohstoff (Stamm- und Astmaterial) wird derzeit unzerkleinert oder zerkleinert zu zentralen Sammelplätzen abtransportiert oder auch vor Ort zu Hackschnitzeln verarbeitet, als Mulchmaterial verwendet oder kompostiert. Eine thermische Nutzung z. B. in Holzfeuerungsanlagen wäre möglich, ist aber aufgrund des exponierten und vereinzelten Vorkommens nur in Bündelung mit anderen Flächen wirtschaftlich (THRÄN et al. 2009: 52).

Bäume und Baumgruppen der offenen Landschaft werden aufgrund der häufig exponierten Lage nicht oder nur unregelmäßig gepflegt (ebd.). Im vorliegenden Projekt werden die Waldsäume (= Waldränder) nicht betrachtet, da diese meist in die forstwirtschaftliche Pflege eingebunden sind. Das hier anfallende Material wird somit nicht im Rahmen der Landschafts- sondern der Waldpflege gewonnen.

Gewässerränder mit Vegetation

Sowohl Flüsse und Bäche, als auch Gräben, müssen in den meisten Fällen regelmäßig ausgeschnitten werden, damit der aus wasserbaulichen Gründen gewünschte Abfluss gewährleistet wird. Um die ökologischen Funktionen von Gewässern zu verbessern, ist es aus Naturschutzgründen in der Regel sinnvoll oder kann es sogar erforderlich sein, Biomasse und damit Nährstoffe zu entziehen, um eine Eutrophierung des Gewässers zu verhindern und Stillgewässer vor dem „Umkippen“¹⁶ und Verlanden zu bewahren. Die entnommene Biomasse wird bisher in der Regel am Rande der Gewässer abgelagert oder kompostiert. Eine energetische Nutzung ist allenfalls aus Forschungsprojekten oder Pilotvorhaben bekannt.

Die Entnahme von Unterwasservegetation oder Röhrichten wird daher in der Regel als Maßnahme der Landschaftspflege gelten und die anfallende krautige und halmgutartige Biomasse als Landschaftspflegematerial einzustufen sein. Diese Einschätzung entspricht auch der Empfehlung der Clearingstelle, nach der an Gewässerrandstreifen vegetationstechnische Pflegemaßnahmen durchgeführt werden und somit Schnitt- und Mahdgut im Rahmen der Landschaftspflege anfällt (CLEARINGSTELLE EEG 2009).

Bei der Pflege von Gewässerrändern und -böschungen fällt vor allem krautige und halmgutartige Biomasse an. Zum Teil muss aber auch Gehölzaufwuchs beseitigt werden, so dass auch holzige Biomasse anfallen kann (THRÄN et al. 2009).

Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen (mit Vegetation)

Ähnlich wie Gewässer und Gewässerränder müssen auch Straßen- und Wegränder regelmäßig vom Aufwuchs befreit werden. Hierbei fallen regelmäßig vor allem krautige und halmgutartige Biomassen an. Zum Teil werden aber auch Straßenbäume oder anderer Gehölzaufwuchs entlang der Verkehrswege beschnitten, so dass in längeren Zeitabständen auch holzige Biomasse anfallen kann. Die krautige und halmgutartige Biomasse wird bisher entweder als Mulch auf den Flächen belassen oder aufgenommen und kompostiert. Das gleiche gilt auch für die holzige Biomassefraktion.

Obwohl die hierbei anfallenden Materialien sicher nur im Ausnahmefall im engeren Sinne als Biomasse aus der Landschaftspflege eingestuft werden können, sollen diese Biomasseanteile aus der Straßenunterhaltung dennoch in die Potenzialanalyse einbezogen werden, da es hier ein hohes Verwertungsinteresse gibt und häufig eine Ergänzung der Biomassestoffströme aus der Landschaftspflege im engeren Sinne sinnvoll ist, um praktikable Nutzungskonzepte entwickeln zu können. In einigen Fällen wird der Gehölzschnitt von Straßen und Wegrändern bereits thermisch genutzt.

„Biomasse aus der Pflege und Unterhaltung von Schienenwegen und Bahndämmen ist qualitativ ähnlich einzustufen wie das Material von Straßen- und Wegrändern.“ (THRÄN et al. 2009: 15 f.).

¹⁶ „Wenn ein Fluss oder ein See durch die Einleitung von bestimmten Schadstoffen überdüngt wird (Eutrophierung), vermehren sich die Wasserpflanzen schlagartig. Wenn sie absterben, verbrauchen sie mehr Sauerstoff, als im Wasser vorhanden ist. Folge dieses Sauerstoffmangels ist, dass jedes Leben in diesem Gewässer erlischt. Wissenschaftlich wird dieses Phänomen "Rasante Eutrophierung" genannt. Die Biozönose, insbesondere Artenzusammensetzung und Abundanz sind starken Veränderungen unterworfen.“ Universität Bremen Institut für Umweltverfahrenstechnik [Hrsg.]: Umkippen eines Gewässers. In: Wasser wissen. Das Internetprotal für Wasser und Abwasser. Im Internet unter: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/u/umkippeneinesgewaessers.htm> Gelesen am: 11. Januar 2009.

Von innerhalb von Ortschaften gelegenen Freiflächen (baurechtlicher Innenbereich) fällt im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Unterhaltungsmaßnahmen in nicht unbeachtlichem Umfang Biomasse an. Das umfasst sowohl krautige und halmgutartige Biomasse aus der Pflege von Beeten und Rasen- bzw. Wiesenflächen als auch holzige Materialien aus der Gehölzpflege. Bisher werden diese Biomasseströme in der Regel kompostiert. Die betreffenden Flächen umfassen öffentliche Freiflächen genauso wie private Grünanlagen und schließen beispielsweise Parks, Friedhöfe, Sportplätze, Privatgärten, Kleingartenanlagen, Campingplätze, Golfplätze, Kinderspielplätze oder sonstige Vegetationsflächen im öffentlichen oder halböffentlichen Raum ein (THRÄN et al. 2009: 21 f.) (vgl. Untergruppen des Biotop-/Landnutzungstyps in Anhang 7).

2.2.3 Ermittlung der Flächenpotenziale für Landschaftspflegematerial

2.2.3.1 Einführung zum Potenzialbegriff

Im Hinblick auf die Analyse sowohl der Flächen- als auch der Biomasseertragspotenziale müssen grundsätzlich verschiedene Dimensionen unterschieden werden. Das **theoretische Potenzial**, das sich aus dem physikalischen Angebot der erneuerbaren Energiequellen (eingestrahlte Sonnenenergie oder nachwachsende Biomasse) der physikalisch nutzbaren Fläche ergibt hat kaum eine praktische Relevanz, da bereits technische Schranken eine vollständige Nutzung unmöglich machen (HOLM-MÜLLER & BREUER 2006: 15). Das **technische Potenzial** bezieht die derzeit bekannten Techniken ein, wobei auch solche Techniken einbezogen werden, deren Einsatzfähigkeit noch nicht erwiesen ist. Darüber hinaus werden auch weitere Annahmen über die verfügbaren Ressourcen wie z. B. die nutzbare Fläche für Energiepflanzen berücksichtigt. „Streng genommen kann das technische Potenzial selbst nur unter der Annahme einer gegebenen Fläche nur für die Biomasse insgesamt angegeben werden, da es zwischen den meisten Bio-Energieträgern Flächenkonkurrenz gibt“ (ebd.). Mit dem **ökonomischen Potenzial** wird das Biomasseaufkommen bestimmt, das für einen spezifischen Zeitpunkt in der Zukunft betriebswirtschaftlich vorteilhaft genutzt werden kann. Im Gegensatz zu den beschriebenen Potenzialkonzepten hat nach HOLM-MÜLLER & BREUER (2006: 17) nur das volkswirtschaftlich **effiziente Potenzial** eine normative Funktion. Aus der Gegenüberstellung von zusätzlichen Kosten bei einem Umstieg auf erneuerbare Energieträger und dem daraus entstehenden Nutzen kann der so genannte **Nettonutzen** errechnet werden. „Als volkswirtschaftlich effizient kann der Einsatz von Biomasse dann bezeichnet werden, wenn der Nettonutzen für die Volkswirtschaft größer als bei allen anderen Umfängen und Verwendungen der Biomassennutzung wäre.“ RODE & KANNING (2006: 103 f.) weisen darauf hin, dass durch die Neuausrichtung der Landnutzung Konflikte zwischen den Interessengruppen und naturschutz- und umweltpolitischen Zielen entstehen können, die das **real erschließbare Potenzial** gegenüber dem technischen und dem ökonomischen Potenzial einschränken.

In Anlehnung an GEIGER (2009) wird in der vorliegenden Potenzialanalyse von den tatsächlich vorhandenen Flächen mit Landschaftspflegemaßnahmen im weiten Sinne (vgl. Kap. Begriffsbestimmung) ausgegangen. Betrachtet wird die derzeitige Raumnutzung, das verfügbare Landschaftspflegematerial in Sachsen abhängig von Pflegeerfordernissen, die generalisiert aus den Flächentypen sowie den Naturschutzauflagen abgeleitet werden, und deren Eignung für die Energiegewinnung (technisches Potenzial). Dabei berücksichtigt werden darüber hinaus die derzeitige Nutzung des Landschaftspflegematerials und die praktische Verfügbarkeit.

Die vorliegende Analyse des energetisch nutzbaren Biomassepotenzials aus der Landschaftspflege entspricht somit der Kombination von technischem Potenzial und dessen Reduzierung durch eine Abschätzung der tatsächlichen Verfügbarkeit aufgrund bestehender Nutzungskonkurrenzen.

Um technisch realisierbare und wirtschaftlich tragfähige Konzepte für eine energetische Verwertung von Biomasse aus der Landschaftspflege entwickeln zu können, ist es zunächst erforderlich, die Menge, Qualität und räumliche Verteilung der verfügbaren Biomasse abzuschätzen. Im Rahmen der Potenzialanalyse müssen zunächst die „Landschaftspflegeflächen“ ermittelt werden und diesen dann nach Biomassefraktionen differenzierte Erträge zugeordnet werden. Gleichzeitig muss dabei der für eine energetische Nutzung verfügbare Anteil ermittelt werden.

Unter dem Gesichtspunkt der technologischen Verwertung sind zu unterscheiden:

- halmgutartige und krautige Biomasse, die je nach Eigenschaften für die Vergärung oder Verbrennung geeignet ist sowie
- holzige Biomasse, die vorrangig für die Verbrennung als Hackschnitzel oder Scheidholz geeignet ist.

2.2.3.2 GIS-gestützte Abschätzung der Landschaftspflegeflächen

Aufbauend auf der Beschreibung und Abgrenzung der zu betrachtenden Biomassefraktionen bzw. Flächen erfolgte im zweiten Arbeitsschritt die Abschätzung der landesweit verfügbaren Potenziale. Dazu wurden zwei Wege beschritten:

- Ableitung aus vorliegenden GIS-Daten (insb. Biotopkartierung (BTLNK) und soweit verfügbar landwirtschaftliche Förderdaten),
- Befragung der UNBs, der Naturschutzverbände und der Landschaftspflegeverbände.

Die GIS-gestützte Potenzialanalyse zum Landschaftspflegematerial wird mit dem Programm ArcGIS 9.2 durchgeführt. Die Bearbeitung erfolgt mit Vektor-Dateien (shape-Format und File Geodatabase). Der Vergleich und die Verschneidung der verschiedenen Daten wurde mit den klassischen ArcGIS-Werkzeugen (*Append*, *Dissolve*, *Intersect*, *Union*, *Buffer* etc.) durchgeführt. Die Potenzialberechnungen wurden mit dem Programm Microsoft Excel durchgeführt.

2.2.3.2.1 Datengrundlage und Verwendung

Als Grundlageninformationsquelle wurde die Color-Infrarot-(CIR-)Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK) des Freistaates Sachsen herangezogen. Die BTLNK-Daten geben Auskunft über den Ist-Zustand der Landschaftsausstattung des Jahres 2005 im Freistaat Sachsen. Die Lage der Geometrien ist an die aktuellen CIR-Orthobilder aus der Befliegung von 2005 angepasst. Die Außengrenze von Sachsen wurde aus dem ATKIS DLM mit Stand Mai 2006 übernommen. Im vorliegenden Projekt wurden die Kartiereinheiten der BTLNK mit Stand von März 2009 verwendet.

Anhand dieser Kartiereinheiten wurde als erster Bearbeitungsschritt eine Aggregation nach dem Gesamtschlüssel (Attribute „GESSCHL“) mit dem GIS-Werkzeug *Dissolve* durchgeführt. Die in der Originaldatei als Einzelflächen vorliegenden 861.976 Polygone wurden mit diesem Schritt bei Übereinstimmung von Hauptgruppe, Untergruppe, Bestand/Biototyp, Ausprägung, Nutzung, Sekundärnutzung, Sondernutzung und Besonderheit zu 5.601 Polygonen zusammengefasst. Im Ergebnis sind beispielsweise alle Flächen, die den Gesamtschlüssel 214003100 haben, also Flüsse (21400) mit ruderalem Saum (3), die naturnah (100) genutzt werden, ein Polygon. Durch die Aggregation verringerte sich die Datengröße, so dass eine einfachere Handhabbarkeit ermöglicht wurde. Die aggregierte Version der BTLNK wurde von allen Projektpartnern als Grundlegenden-datei genutzt.

Die biotopbezogenen Besonderheiten werden in den folgenden Kapiteln je Flächentyp beschrieben.

2.2.3.3 Untersuchungsraum für Landschaftspflegeflächen

Als erster Schritt der GIS-gestützten Potenzialanalyse wurden die Flächentypen, auf denen grundsätzlich Biomasse aus der Landschaftspflege anfallen könnte aus dem Polygonshape der BTLNK selektiert. Hierzu wurden beispielsweise nur extensive Grünlandflächen in die Betrachtungen einbezogen. Zusätzlich wurden die linearen Biotoptypen der Vegetation an Gewässern und Gehölzstrukturen aus dem Linienshape der BTLNK in die Abschätzungen einbezogen. Die linearen Gehölzstrukturen wurden als zusätzliches Potenzial aufgenommen, da diese auch in der Realität angrenzende Flächen überlagern.

Tabelle 11 zeigt zusammenfassend, dass in Sachsen auf rund 270.000 Hektar Landschaftspflegematerialien gewonnen werden können. Eine detaillierte Auflistung, welche Biotoptypen in die Betrachtungen eingeflossen sind, kann der Tabelle im Anhang 7 entnommen werden.

Tabelle 11: Untersuchungsraum für Landschaftspflegeflächen in Sachsen (BTLNK)

Flächentyp (BTLNK)	Fläche in ha	Anteil
Grünland (extensiv)	129.816	47 %
Siedlungsflächen mit Vegetation und Vegetationssaum (z. T. Vegetation von versiegelter Fläche nicht trennbar)	46.002	17 %
Baumgruppen, Hecken, Gebüsche	33.200	12 %
Ruderalfluren	31.970	12 %
Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden	22.594	9 %
Gewässerränder mit Vegetation (flächenhaft)	4.937	2 %
Moore, Sümpfe	3.089	1 %
Untersuchungsraum mit linearen Gehölzstrukturen	271.608	100 %
Überlagerung mit übrigen Biotoptypen		
Gewässerränder mit Vegetation (linear)	7.441	

Den größten Anteil mit 47 Prozent nehmen die extensiven Grünlandflächen ein. Auch die Siedlungsflächen mit Vegetation besitzen mit 17 Prozent einen großen Anteil am Untersuchungsraum. Hier ist zu beachten, dass Siedlungsflächen „mit waldartigem Baumbestand“ (entspricht einer Deckung von über 30 %) als Gesamtfläche in den Untersuchungsraum aufgenommen worden sind, da es nicht möglich ist, versiegelte und unversiegelte Flächen auf der Grundlage der BTLNK zu trennen. Die partielle Deckung wurde in die Bestimmung der verfügbaren Anteile für eine energetische Nutzung einbezogen (Kapitel 2.2.4.2).

In der weiteren Bearbeitung wurden die als Linienshape in der BTLNK vorliegenden Gewässerränder mit Vegetation mit den übrigen Biotoptypen verschnitten. Bei Überlagerung kann einer Fläche somit der „neue“ Biotoptyp hinzugefügt werden. Im Falle der auch als Linienshape vorliegenden Gehölzstrukturen wird keine Verschneidung vorgenommen, sondern diese Flächen als zusätzliches Potenzial in die Betrachtungen einbezogen. Diese Vorgehensweise stützt sich aus der Annahme, dass auch in der Realität Überschneidungen vorliegen (z. B. Kronendach & angrenzende Flächen). Hier können demnach Landschaftspflegematerialien von Gehölzstrukturen und darunter liegenden Flächen gewonnen werden.

Diese Flächenkulisse muss als potenzieller Untersuchungsraum für energetisch nutzbare Landschaftspflegeflächen verstanden werden. Beispielsweise können Flächen innerhalb dieses Untersuchungsraumes aufgrund ihrer aktuellen Nutzung oder Lage derzeit für die energetische Nutzung nicht in Frage kommen. Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie der Untersuchungsraum weiter eingegrenzt wurde.

2.2.3.4 Energetisch nutzbare Landschaftspflegeflächen im Untersuchungsraum

Grünland (Halmgutartige und krautige Biomasse)

Nach den Daten der BTLNK gibt es in Sachsen insgesamt ca. 278.881 Hektar Grünland, das zum Teil als intensiv und zum Teil als extensiv genutzt ausgewiesen ist. Die Agrarstatistik des Landes weist für 2008 dagegen nur 187700 ha landwirtschaftlich genutztes Grünland aus. Die auch in anderen Bundesländern regelmäßig festzustellende Flächenabweichung zwischen BTLNK und Agrarstatistik erklärt sich neben den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten zum einen daraus, dass in der BTLNK z.B. auch Klee grasbestände als Grünland kartiert sind, die in der Agrarstatistik als Ackerfläche geführt werden. Darüber hinaus sind auch Flächen als Grünlandbiotope, die nicht landwirtschaftliche Flächen erfasst sind, weil sie z.B. keine Förderung erhalten oder keiner landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, wie z.B. Deichflächen.

Neben der BTLNK wurden für die Differenzierung der Nutzung von Grünlandflächen und Gewässerrändern mit Vegetation zusätzlich die Daten des „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (InVeKoS) für die Potenzialanalyse herangezogen. Die Datenbank gibt darüber Auskunft, für welche landwirtschaftlichen Flächen und für welche Gewässer Zahlungen gemäß der sächsischen „Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung“ (RL AuW/2007) im Jahr 2008 gezahlt und welche Maßnahmen durchgeführt wurden.

Es muss beachtet werden, dass die Verschneidung von BTLNK und InVeKoS-Daten nicht ohne Probleme vollzogen werden kann, da unterschiedliche Aufnahmejahre und Kartiermethoden zu Grunde liegen. Dieses hat u. a. zur Folge, dass sich die Außengrenzen der Flächeneinheiten nicht immer entsprechen.

Auch die Aussage zu den Biotoptypen ist nicht deckungsgleich. Im Falle der Spätschnittflächen ergibt die Verschneidung mit den InVeKoS-Daten beispielsweise zusätzlich ca. 800 ha, die nicht dem Untersuchungsraum für Landschaftspflegeflächen nach der BTLNK entsprechen. Aufgrund des geringen Ausmaßes werden ausschließlich die Flächen betrachtet, die innerhalb des Untersuchungsraums liegen.

Für die Ermittlung des Landschaftspflegepotenzials wurden von dem Biotoptyp „Grünland“ der BTLNK für den Untersuchungsraum ausschließlich die rund 129.816 ha „mesophiles Grünland, Fettwiesen und -weiden, Bergwiesen (extensiv)“ sowie „Feuchtgrünland, Nassgrünland incl. Streuwiese“ in die weitere Potenzialermittlung einbezogen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Flächen zum Großteil extensiv bewirtschaftet werden und somit grundsätzlich als Landschaftspflegepotenzialflächen in Frage kommen. Den größeren Anteil an der gesamten Grünlandfläche der BTLNK Sachsens nehmen die Biotoptypen „Wirtschaftsgrünland“ und „Intensivgrünland, artenarm“ ein. Diese wurden aufgrund der intensiven Nutzungskategorie nicht in die Potenzialermittlung aufgenommen, weil diese Art der intensiven Bewirtschaftung grundsätzlich nicht als Landschaftspflege einzustufen ist.

Da davon auszugehen ist, dass bei weitem nicht das Material aller Grünlandflächen, die grundsätzlich für Landschaftspflegemaßnahmen infrage kommen, auch für eine energetische Nutzung zur Verfügung steht, werden diejenigen Flächen weiter in den Fokus genommen, die besonders extensiv genutzt werden und deren Schnittgut daher eine schlechtere Futterqualität aufweist, so dass die Nutzungskonkurrenz besonders gering ist. Um die Nutzungsintensität abzubilden, werden folgende Parameter zugeordnet:

- Aus der Biotoptypenkartierung: Extensiv genutzte Flächen (ohne Förderung),
- Aus InVeKoS: Fläche mit Schnitt ab 15. Juli (Förderung nach RL AuW/2007),

Tabelle 12 zeigt, dass sich durch die Verschneidung mit den InVeKoS-Daten zu den Schnittzeitpunkten die Grünlandfläche des Untersuchungsraums von 129.816 Hektar auf 17.693 Hektar reduziert hat. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass nur Flächen mit Spätschnittauflagen in die genauere Betrachtung eingezogen

wurden. Für Grünlandflächen kommen darüber hinaus noch andere Fördermaßnahmen wie die Nutzung als Weide im Rahmen der RL AuW in Frage, die aber für eine energetische Nutzung in der Regel nicht infrage kommen.

Da eine derartige Zuordnung zu bestimmten Nutzungsformen für solche Flächen, die keine Förderung für bestimmte Nutzungsaufgaben erfahren allein anhand der BTLNK nicht möglich war, übersteigt deren Anteil die geförderten Flächen um ein Vielfaches. So sind die einzelnen Biotoptypen der Kategorie „Mesophiles Grünland, Fettwiesen und -weiden, Bergwiesen (extensiv)“ nicht weiter differenzierbar. Zur exakteren Bestimmung der energetisch nutzbaren Grünlandflächen müssten die aktuellen Nutzungsformen aller Flächen in einer regionalen Betrachtung geklärt werden, um eine tatsächliche Verfügbarkeit flächenbezogen darstellen zu können.

Zudem ist zu bedenken, dass die in der BTLNK ausgewiesene Grünlandfläche von rund 270.000 Hektar vorab in der GIS-gestützten Analyse bereits auf diejenigen Flächen reduziert wurde, die grundsätzlich als Landschaftspflegeflächen infrage kommen, um so das klassische landwirtschaftliche Grünland aus der Betrachtung herauszunehmen.

Zieht man in Betracht, dass nach KIESEWALTER et al. (2007) 20 Prozent des Dauergrünlands als Überschussgrünland zur Verfügung steht (was bezogen auf die in der Agrarstatistik ausgewiesene Gesamtfläche einer Fläche von ca. 37.000 Hektar entspricht), dürften neben den als Landschaftspflegeflächen eingestuftem Grünlandbeständen noch etwa die doppelte Fläche an klassischem landwirtschaftlichen Grünland für eine energetische Nutzung infrage kommen. Das Potenzial des Überschussgrünlands kann in der vorliegenden Studie nicht raumbezogen dargestellt werden. Es ist also im Folgenden zu beachten, dass das gesamte energetisch nutzbare Biomassepotenzial von Grünlandflächen höher ist, als das in der vorliegenden Studie ermittelte Biomassepotenzial von denjenigen Grünlandflächen, die als Landschaftspflegeflächen eingestuft wurden. Die zusätzlichen Potenziale des Überschussgrünlands werden in die abschließende Ermittlung des Landschaftspflegepotenzials numerisch aufgenommen (siehe Kapitel 2.2.4.2.1).

Tabelle 12: Potenzialflächen für Landschaftspflege auf Grünland

Beschreibung	Flächengrößen [ha]
Extensivgrünland (BTLNK) ohne Förderung (InVeKoS 2008)	16.199
Grünland mit Förderung für Spätschnittauflagen (InVeKoS 2008)	1.494
Landschaftspflegepotenzial Grünland	17.693

Die räumliche Verteilung der Potenzialflächen für Grünland kann der Karte in Anhang 12 entnommen werden. Die Ermittlung der Grünlandflächen, die außerhalb der Flächen der InVeKoS-Datenbank liegen, war aufgrund der Datengröße und der unterschiedlichen Datengrundlage nicht unproblematisch. Die Bestimmung von Flächen außerhalb der Förderkulisse nach RL AuW über die Kombination (*union*) oder Verschneidung (*clip / intersect*) von BTLNK und InVeKoS-Daten war erfolglos, da eine Unterscheidung zwischen tatsächlichen Potenzialflächen und durch die Verschneidung entstandenen Kleinstflächen nicht möglich war. So ist der Ausschluss dieser Kleinstflächen nicht anhand der Größe möglich. Gerade kleine Flächen, die sich für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung nicht lohnen, kommen für die Landschaftspflege in Frage. Dies bestätigt das Beispiel des Vogtlandkreises. Die Untere Naturschutzbehörde führte in den Jahren 2006 und 2007 auf insgesamt ca. 296 Hektar Landschaftspflegemaßnahmen durch (bezogen auf die Landkreisgrenze vor der Kreisgebietsreform 2008). Im Mittel waren diese Flächen 0,4 Hektar, die kleinste Fläche 0,1 Hektar groß (sie-

he Anhang 14). Dies entspricht auch der Empfehlung der CLEARINGSTELLE EEG (2009), nach der der Begriff Landschaft und somit die Gewährung des Landschaftspflegebonus nicht an die Flächengröße gebunden werden können. Aus diesem Grund erfolgte die Ermittlung der Grünlandflächen außerhalb der Förderkulisse nach RL AuW anhand der Lage zum Gesamtschape der InVeKoS-Datenbank (*Select by location*). So wurden beispielsweise Flächen, welche die Flächen der InVeKoS-Datenbank überschneiden, nicht in die Betrachtungen einbezogen. Hier kann es sich um Flächen handeln, die aufgrund der Überlagerungsprobleme sowohl außerhalb, als auch innerhalb liegen. Eine eindeutige Zugehörigkeit kann nicht bestimmt werden. Somit sind die diesbezüglichen Ergebnisse mit Vorbehalt zu verwenden und bedürfen unbedingt einer genaueren Analyse auf regionaler oder lokaler Ebene.

Nach der oben beschriebenen Flächenermittlung gibt es in Sachsen innerhalb der in die Analyse einbezogenen Flächen (Landschaftspflegepotenzial Grünland) ca. 16.000 Hektar Grünland, das im Jahre 2008 nicht im Rahmen der sächsischen Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung gefördert wurde (Tabelle 13). Den größten Anteil mit über 15.000 Hektar nehmen hier die Biotoptypen Mesophiles Grünland, Fettwiesen und -weiden sowie extensive Bergwiesen ein.

Tabelle 13: Grünland ohne Förderung nach RL AuW in 2008

Flächentyp nach BTLNK	Fläche in ha
Mesophiles Grünland, Fettwiesen und -weiden, Bergwiesen (extensiv)	15.267
Feuchtgrünland, Nassgrünland incl. Streuwiese	933
Extensivgrünland ohne Förderung (2008)	16.199

Zusätzlich wurden zur Ermittlung der Potenzialflächen Flächen in die Berechnungen aufgenommen, auf denen Förderungen für einen Spätschnitt (ab 15. Juli) gezahlt wurden und das Gras somit z. B. aufgrund der schlechten Futtereigenschaften nicht in Konkurrenz zur landwirtschaftlichen Produktion steht. Gemäß der Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung (RL AuW/2007) sind dies folgende förderfähige Maßnahmen:

- G3B Naturschutzgerechte Wiesennutzung mit Düngungsverzicht erste Nutzung ab 15. Juli
- G9 Anlage von Bracheflächen und Brachestreifen im Grünland, Pflegeschnitt (Mahd mit Beräumung) zwischen dem 15. August und dem 15. November mindestens alle zwei Jahre im Verpflichtungszeitraum, beginnend im ersten oder im zweiten Verpflichtungsjahr gemäß Festlegung der zuständigen Naturschutzbehörde
- Ö2_G3B Ökologische Grünlandwirtschaft in Kombination mit naturschutzgerechter Wiesennutzung (s. o.)
- Ö2_G9 Ökologische Grünlandwirtschaft in Kombination mit Anlage von Bracheflächen und Brachestreifen (s. o.).

Die Selektion der aufgeführten Flächen hat ergeben, dass im Jahr 2008 insgesamt für ca. 1.500 Hektar Grünland Fördermittel für eine Spätschnittnutzung gezahlt wurden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Flächen mit und ohne Spätschnittnutzung ab 15. Juli gemäß RL AuW

Beschreibung	Bezeichnung [RL AuW 2007]	Flächengrößen [ha]
Naturschutzgerechte Wiesenutzung	G3B	1.194
Anlage von Bracheflächen und -streifen	G9	223
Ökologische Grünlandwirtschaft & Naturschutzgerechte Wiesenutzung	Ö2_G3B	74
Ökologische Grünlandwirtschaft & Anlage von Bracheflächen und -streifen	Ö2_G9	2
Gesamtfläche mit Spätschnitt		1.494

Beachtet man die Abzüge, die sich aus der Verschneidung mit der BTLNK ergeben, deckt sich der ermittelte Wert mit den im Agrarbericht Sachsen angegebenen 1.994 Hektar, für die Förderungen für einen Spätschnitt ab dem 15. Juli gezahlt wurden (SMUL 2008: 40).

Die Ergänzung der Informationen der BTLNK zum Grünland mit denen der selektiven Biotoptypenkartierung Sachsen (SBK) konnte im Rahmen des vorliegenden Projektes aufgrund der umfangreichen Datenmengen (BTLNK, InVeKoS, Schutzgebietsflächen & SBK) und der damit zusammenhängenden langen Rechenprozesse nicht durchgeführt werden. Somit ist nicht auszuschließen, dass nicht das gesamte naturschutzfachlich wertvolle Grünland, welches durch Landschaftspflege zu erhalten ist, in die Potenzialerhebung einbezogen wurde. Dieses wäre nur in einer teilräumigen Betrachtung zu leisten.

Nach Schätzung des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Grünland, Feldfutterbau (e-mail von Herrn Dr. Riehl) kann auf der Grundlage der Flächenverteilung Ende 2009 ganz grob geschätzt davon ausgegangen werden, dass ca. 24.400 ha Grünland mit Spätschnitt- und sonstigen Extensivierungsaufgaben nach der Richtlinie »Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung« (AuW/2007) versehen sind und ca. 2.200 ha Grünland die unter die Auflagen der Richtlinie »Natürliches Erbe« (NE/2007) fallen sowie 16.000 ha sonstiger Flächenpotenziale aus Extensivgrünland ohne Förderung.

Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden und Moorflächen (halmgutartige und holzige Biomasse)

Die Flächen des Biotoptyps „Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden“ wurden für die Potenzialermittlung um Flächen mit den Ausprägungen „ohne Vegetation“ reduziert. Die Moorflächen und Sümpfe wurden vollständig aufgenommen. Demnach gehen 22.594 Hektar Magerrasen und 3.089 Hektar Moorflächen in die Betrachtungen ein.

Die zugehörige Karte im Anhang 12 zeigt, dass große Flächen in regionalen Schwerpunktgebieten vorkommen. Hier handelt es sich z. B. um die im Norden und Nordosten gelegenen Naturschutzgebiete „Presseler Heidewald- und Moorgebiet“, „Königsbrücker Heide“ und „Dubringer Moor“.

Gehölzstrukturen (holzige Biomasse)

In der BTLNK sind lineare Strukturen wie Hecken und Gewässerränder als Linien-Shapefile vorhanden. Um Erträge in Tonnen pro Hektar zuordnen zu können, war es nötig, das Linien-Shape zu einem Polygon-Shape umzuwandeln und damit Flächen zu generieren.

Die Bestimmung der Breiten der einzelnen Biotoptypen erfolgte im Rahmen einer Luftbildauswertung. Die Luftbilder (auf Basis von Google Earth 5.0.1) wurden mit der BTLNK verglichen und die jeweiligen Linienstrukturen vermessen (Tabelle 13).

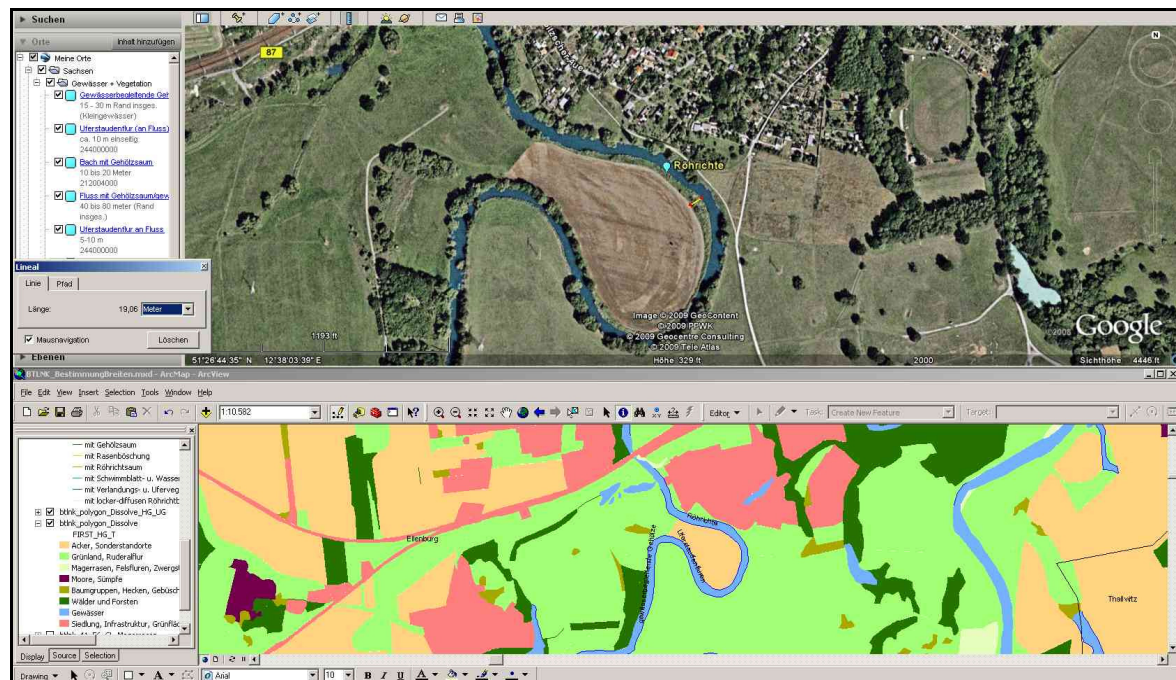


Abbildung 13: Vergleich der BTLNK mit Luftbild zur Ermittlung der Breiten von linearen Biotopstrukturen (Bsp. Röhrichtstreifen bei Eilenburg)

Folgende Tabelle 15 zeigt in der Zusammenfassung die ermittelten Breiten, die bei der Verwendung des Tools „buffer“ als Distanz eingesetzt wurden.

Tabelle 15: Ermittelte Breiten [in m] der linearen Biotoptypen zur für die Erstellung eines Puffers

HG / UG BTLNK	Biotoptyp	Distanz
2	Gewässer mit Rasenböschung	1,5
2	Gewässer mit ruderalem Saum	1,5
2	Gewässer mit locker-diffusen Röhrichtbeständen	1,5
2	Gewässer mit Röhrichtsaum	3,0
2	Röhrichte	3,0
2	Gewässer, gewässerbegleitende Vegetation	3,0
2	Gewässer mit Gehölzsaum	3,5
2	Gewässer mit Verlandungs- u. Ufervegetation	3,8
2	Gewässer, gewässerbegleitende Vegetation, Ufergras	3,8
2	Gewässer, gewässerbegleitende Vegetation, Uferstaudenfluren	3,8
2	gewässerbegleitende Gehölze	5,0
62	Baumreihe (linear)	2,5
62	Baumreihe (linear) doppelte/mehrreihige lückige Baumreihe	5,0
62	Baumreihe (linear) doppelte/mehrreihige Baumreihe	7,5
63	Allee	3,0

HG / UG BTLNK	Biotoptyp	Distanz
63	doppelte, lückige Allee	5,0
63	mehrreihige lückige Allee	5,0
63	doppelte Allee	15,0
63	mehrreihige Allee	15,0
65	Hecke	3,5
65	lückige Hecke	3,5
65	doppelte/mehrreihige lückige Hecke	7,0
65	Hecke, doppelte/mehrreihige Hecke	9,0
66	Gebüsch	3,5

Die nach diesem Verfahren erstellten Flächen überlagern zum Teil die übrigen Flächen der BTLNK, die im Original als Polygon-Shape vorliegen. Da im Falle der Gehölzstrukturen auch in der Realität eine Überlagerung besteht, wenn z. B. ein Kronendach begrenzender Bäume die anschließende Grünlandfläche überschneidet, werden diese Flächen zusätzlich in die Potenzialermittlung einbezogen. In der technischen Umsetzung ist im Falle des zusätzlichen Potenzials eine Kombination der digitalen Daten nicht möglich, da sonst die flächenhaften Biotoptypen überschrieben und die Ergebnisse somit verfälscht werden würden. Im Ergebnis liegen die flächenhaften Gehölzstrukturen somit als getrennte Dateien vor.

Die räumliche Verteilung der Gehölzstrukturen kann den Karten in Anhang 10 entnommen werden.

Gewässerränder mit Vegetation (halmgutartige und holzige Biomasse)

Die gewässerbegleitende Vegetation, die im Original als lineare Biotope vorliegt, wird mit den übrigen Flächen der Biotoptypenkarte verschnitten. Somit wird das Flächenpotenzial in diesem Falle nicht erweitert oder erhöht, sondern über die Zuordnung zu anderen Biotoptypen der Flächentyp und damit auch das Ertragspotenzial angepasst.

Zusätzlich zu dem Linien-Shape kommen Gewässer mit Vegetation auch in dem Polygon-Shape der BTLNK vor. Hier ist allerdings zu beachten, dass die Saumstrukturen nicht als eigene Flächen, sondern als Ausprägung enthalten sind und keine Abgrenzung zum Wasserkörper vorliegt. Um eine Verfälschung des Ergebnisses zu vermeiden, mussten die Saumstrukturen von den Wasserflächen getrennt werden. Die für die linearen Biotoptypen ermittelten Breiten konnten übernommen werden (Tabelle 15). Darüber hinaus kommt die Kombination aus den Biotoptypen „Gewässer mit Röhrichtsaum / ruderalem Saum“ in dem Polygonshape vor. Diesem wurde der Mittelwert von 2,25 Metern Breite der beinhaltenden Biotoptypen zugeordnet.

Im GIS wurden die gewässerbegleitenden Saumstrukturen wie die linearen Gehölzstrukturen mit dem Werkzeug *buffer* ermittelt (siehe Tabelle 15). Da die Saumstrukturen aber Teil der Ursprungsfläche sind, wurden die Breiten als negative Werte angegeben. Die Ergebnisdatei enthält ausschließlich die Wasserkörper, denen ein einheitliches Attribut zugeordnet wurde. Nach der Kombination (*union*) mit der Ausgangsdatei konnten die Flächen, die über kein Attribut verfügen exportiert werden. Abbildung 14 zeigt die Wasserkörper und die Saumstrukturen. Nach der Trennung der Flächen können die Saumstrukturen in die Potenzialermittlung einbezogen werden.

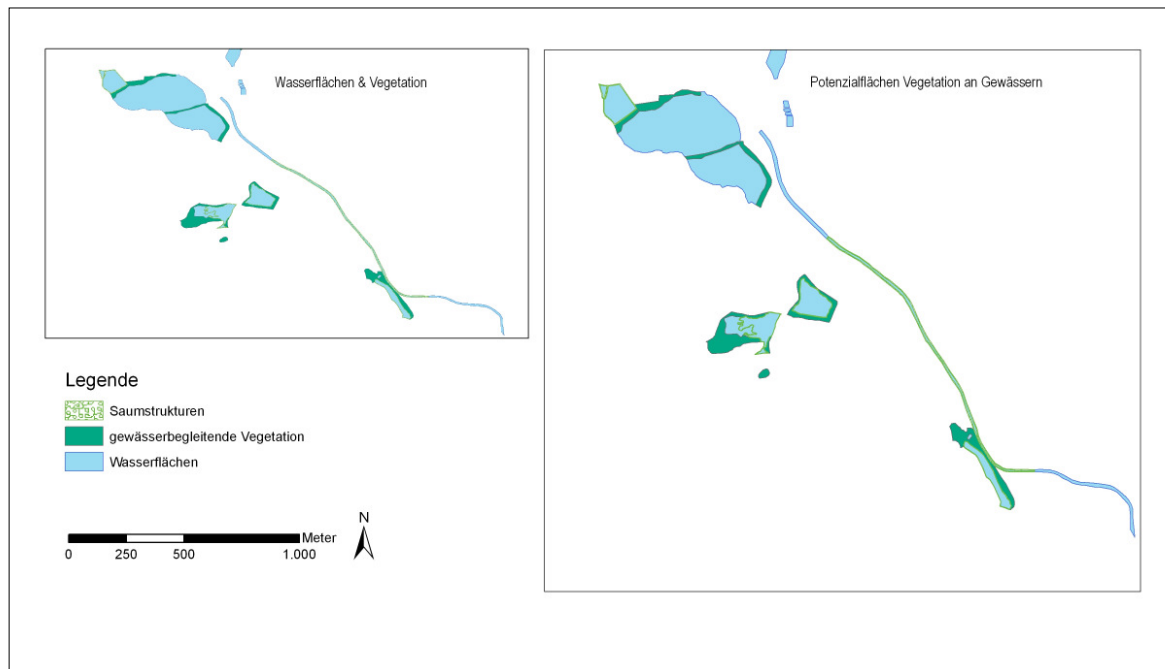


Abbildung 14: Trennung von Wasserkörpern und gewässerbegleitenden Saumstrukturen

Im Untersuchungsraum für potenzielle Landschaftspflegeflächen liegen insgesamt ca. 12.000 Hektar Saumstrukturen wie Uferrasen und andere gewässerbegleitende Vegetation. Durch die Verschneidung der BTLNK mit den InVeKoS-Daten konnten zusätzliche Informationen ermittelt werden (technische Besonderheiten siehe Ausführungen zum Grünland). So wurde gemäß der RL AuW in 2008 für 1.941 Hektar Gewässerränder mit Vegetation Förderungen für die Maßnahme „Teichpflege und Naturschutzgerechte Teichbewirtschaftung“ gewährt. Die „notwenigen Pflege- und Sicherungsarbeiten“ beinhalten folgende Maßnahmen (gem. Anlage A-2 RL AuW/2007):

- Teichdamm- und Böschungspflege,
- Grabenpflege- und Instandhaltung,
- Schilfschnitt.

Die räumliche Verteilung der Gewässerränder mit Vegetation und geförderten Flächen kann der Karte in Anhang 11 entnommen werden.

Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen (halmgutartige & holzige Biomasse)

Ebenfalls als Teil der zugehörigen Verkehrsflächen sind ruderale Säume und Begleitgrün in der BTLNK enthalten. Die Trennung von Verkehrsflächen und deren Saumstrukturen wurde nach dem gleichen Verfahren wie für die Gewässer und deren Vegetation durchgeführt (siehe oben). Bezüglich des Verkehrsbegleitgrüns wurden ausschließlich Straßen, Wege und Schienenwege betrachtet, da von Hafenanlagen und Luftverkehrsflächen nur ein sehr geringes Potenzial zu erwarten ist.

Wie im Falle der Gewässer mit Saumstrukturen gibt es auch innerhalb des Landnutzungstyps „Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen“ Saumstrukturen. Die Breiten der verkehrsbegleitenden Säume wurden nach eigenen Einschätzungen festgelegt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Breiten [in m] der städtischen und verkehrsbegleitenden Vegetation

Kartiereinheit BTLNK	Biotop- /Landnutzungstyp	Ausprägung	Breite des Saums [m]
95110	Autobahn	mit Verkehrsbegleitgrün	4
95300	Bahnanlage (Gleisanlagen und Bahnbetriebsgelände)	mit Verkehrsbegleitgrün	4
95	Verkehrsflächen	mit Verkehrsbegleitgrün	3 ¹⁷
95120	Landstraße, Bundesstraße	mit Verkehrsbegleitgrün	3
95100	Straßen	mit Verkehrsbegleitgrün	2
95130	sonstige Straße	mit Verkehrsbegleitgrün	2
95	Verkehrsflächen	mit ruderalem Saum	2 ¹⁷
95110	Autobahn	mit ruderalem Saum	3
95300	Bahnanlage (Gleisanlagen und Bahnbetriebsgelände)	mit ruderalem Saum	3
95120	Landstraße, Bundesstraße	mit ruderalem Saum	2
95130	sonstige Straße	mit ruderalem Saum	1

Abbildung 15 zeigt anhand eines Beispiels die Auswahl des innerörtlichen Flächenpotenzials, das aus innerstädtischen Gebieten mit waldartigem Baumbestand mit einer Deckung von mehr als 30 Prozent sowie den Saumstrukturen besteht.

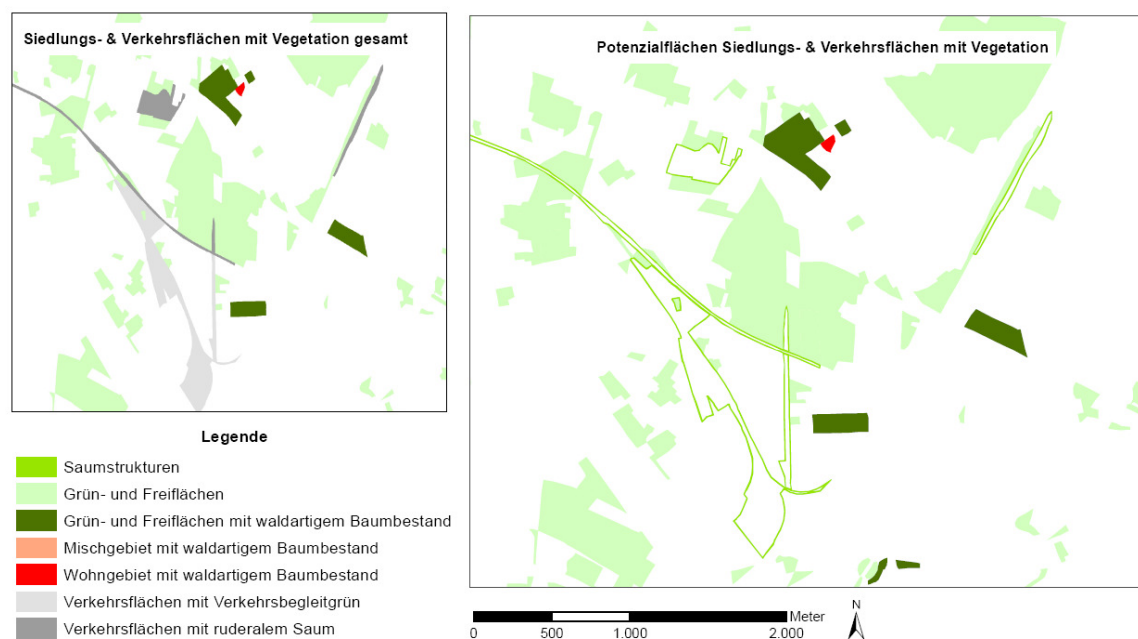


Abbildung 15: Trennung von Siedlungsflächen und Vegetation

Im Ergebnis bemisst die Potenzialfläche rund 46.000 Hektar. Wie bereits erwähnt sind hier Siedlungsflächen mit Baumbestand vollständig enthalten. In der BTLNK wird der Baumbestand nur angegeben, wenn dieser eine Deckung von mehr als 30 % aufweist. Da es keine genaueren Angaben über die Deckung gibt, ist nicht

¹⁷ Durchschnitt aller Breiten der jeweiligen Ausprägung

bekannt, ob es auch Flächen mit einer 100%igen Deckung gibt. Es wird davon ausgegangen, dass dies im urbanen Gebiet eher der Ausnahmefall ist. Um das Potenzial nicht zu verfälschen, wurden die jeweiligen Flächen bei der Ermittlung des energetisch verfügbaren Materials in Anlehnung an den minimalen Baumbestand durch Multiplikation mit dem Faktor 0,3 korrigiert.

2.2.4 Ermittlung des energetischen Potenzials für Landschaftspflegeflächen in Sachsen

Anhand der aus der Literatur zu entnehmenden durchschnittlichen Biomasseerträge für die betrachteten Flächentypen wurde durch die Multiplikation mit den Flächengrößen (im GIS enthalten) die Flächenenerträge in Tonnen pro Jahr ermittelt. Zur abschließenden Errechnung des energetisch nutzbaren Potenzials wurde der ohne Nutzungskonkurrenzen energetisch nutzbare Anteil festgelegt (Tabelle 19). Tabelle 17 zeigt die Struktur der einzelnen Berechnungsschritte der Potenzialermittlung, die im GIS zugeordnet zu den jeweiligen Biotoptypen als flächenbezogene Datenbank erstellt wurde.

Tabelle 17: Beziehung der Eingangsgrößen zur Potenzialbestimmung (Datenbankvorlage)

Biotop- & Landnutzungstypen	Flächengröße	Grundertrag	Flächenenertrag	Energetisch nutzbarer Anteil	Energetisch nutzbares Potenzial
<i>BTLNK Sachsen</i>	<i>GIS</i>	<i>Literatur</i>	<i>Eigene Berechnung</i>	<i>Eigene Einschätzung abhängig von der Nutzung</i>	<i>Eigene Berechnung</i>
Bezeichnung	[ha]	[t/ha*a]	Flächengröße x Grundertrag = [t/a]	[%]	Energetisch nutzbarer Anteil vom Flächenenertrag = [t/a]
Grünland	[ha]	[t/ha*a]	[t/a]	[%]	[t/a]
Hecken	[ha]	[t/ha*a]	[t/a]	[%]	[t/a]
etc.	[ha]	[t/ha*a]	[t/a]	[%]	[t/a]

Im Folgenden werden aus der Literatur ermittelten Biomasseerträge sowie die Annahmen zur Festlegung des energetisch verfügbaren Anteils erläutert und dann die daraus abgeleiteten Ergebnisse der Potenzialermittlung je Biotoptyp vorgestellt.

2.2.4.1 Literaturrecherche biotoptypenbezogener Biomasseerträge

Zur Ermittlung der möglichen Biomasseerträge der unterschiedenen Flächentypen mit Landschaftspflegemaßnahmen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt.

Grundlage der Bestimmung der Ertragspotenziale der betrachteten Flächentypen und verschiedenen Landschaftspflegematerialien bildeten die stoffstromspezifischen Steckbriefen¹⁸ des DBFZ-Gutachtens „Gutachterliche Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009“ (THRÄN et al. 2009) (Abbildung 16).

¹⁸ Beschreibung der Rohstoffmenge und –qualität sowie den in typischen Anfallsregionen üblichen spezifischen Flächenenerträgen

Streuobstwiesen - Baumschnitt -			
Beschreibung	Wiesen mit Obstbaumbestand, überwiegend kleinparzellierte		
Flächenmanagement	• Erziehungsschnitt jedes Jahr (die ersten 5-8 Jahre) • Erhaltungsschnitt alle 3-5 Jahre • Herbst-, Winterschnitt (Oktober bis Februar / März) bei Kernobst • Sommerschnitt bei Walnuss und Steinobst		
Rohstoffdaten			
Rohstoff	Baumschnitt		
	Stamm- und Astmaterial aus Pflege, Rückschnitt bzw. Umbruch und Austausch der Kulturpflanzen		
Potenzial	100.000-1.000.000 t _{TM} a ⁻¹	Gesamtpotenzial Deutschland	
	< 2 t _{TM} ha ⁻¹ a ⁻¹	Flächenspezifisches Potenzial	
Derzeitige konventionelle Nutzung			
Bereitstellung / Verwertung	• Manueller Schnitt • Ggf. Sammlung an zentralem Lagerplatz • Überwiegend Verbrennung im Freiland (Osterfeuer o. ä.)		
Potenzielle Konzepte einer energetischen Nutzung			
Bereitstellung / Verwertung	• Nach Schnitt und Materialbündelung anschließende Zerkleinerung vor Ort und Abtransport • Thermische Nutzung in Holzfeuerungsanlagen		
Anforderungen / Beschränkungen	• Je nach Ausgangsmaterial und Zerkleinerungsaggregat ist Absiebung zur Qualitätssteigerung sinnvoll • Durch überwiegend kleiner Flächen eher geringen Mengen an Schnittmaterial • Überwiegend Schnittgut geringer Dimension, führt zu erhöhten Rindenanteilen und u. U. ungünstiger Korngrößenverteilung		
Typische Brennstoffeigenschaften			
Wassergehalt [Mas.-%]	40-60 % (ernte frisch), 35 % (sommertrocken), 20 % (lufttrocken)		
Heizwert [GJ/t]	16,5-19		
Aschegehalt [Mas.-%]	< 2 %		
Korngrößenverteilung	je mehr Strauchschnitt, desto mehr Feinanteile und Überlängen möglich		

Abbildung 16: Beispiel eines stoffstromspezifischen Steckbriefs nach THRÄN et al. 2009

Zusätzlich zum DBFZ-Gutachten (THRÄN et al. 2009) konnten aus Ergebnissen vergleichbarer Studien in Sachsen (LFL 2006), Schleswig-Holstein (AUGUSTIN 2005), Nordrhein-Westfalen (BRÖCKLING et al. 2008, 2009) oder dem Saarland (BAUR & HAAS 2001) Angaben zu Erträgen entnommen werden. Die recherchierten 'Grunderträge' wurden den jeweiligen aus der BTLNK abgeleiteten Flächentypen zugeordnet und aus diesen ein Mittelwert gebildet. Da in einigen Quellen Spannweiten der Erträge angegeben wurden, wurden im Ergebnis in der Regel Minimum- und Maximumwerte angegeben. Bei Nennung eines einzigen Wertes wurde dieser für die Errechnung des Mittelwertes sowohl als Minimum- als auch als Maximumwert eingesetzt.

Tabelle 18 zeigt beispielhaft die Ermittlung der Grunderträge am Beispiel des Feucht- und Nassgrünlands sowie der Fettwiesen, -weiden und extensiven Bergwiesen. Es ist zu beachten, dass die angegebenen Werte

aus unterschiedlichen Veröffentlichungen entnommen wurden, die sich wiederum auf verschiedene Regionen beziehen. Je nach Standorteigenschaften und Bewirtschaftung können die Erträge sehr stark variieren. Für die Ermittlung von durchschnittlichen Erträgen für das ganze Land Sachsen wurde der Mittelwert aus den recherchierten Ertragszahlen gebildet. Die gesamten Ergebnisse können der Tabelle im Anhang 7 entnommen werden.

Tabelle 18: Beispiel für die Ermittlung der Grunderträge

Quelle \ Biotyp (BTLNK)	Feuchtgrünland / Nassgrünland [t/ha*a]		Fettwiesen und –weiden Bergwiesen (extensiv) [t/ha*a]	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
THRÄN et al. (2009)	1,5	13,0	2,0	13,0
LFL (2006)	3,2	3,2	0,4	0,4
BRIEMLE et al. (1991)	1,0	2,0		
FNR (2000)	8,0	11,0		
WGBU (2003)			0,2	0,3
KIESWALTER (2007)	3,4	4,2		
SCHUBERT (2007)	3,5	4,0		
BAUR & HAAS (2001)			2,4	7,2
Mittelwerte	3,4	6,2	1,2	5,2

Eine flächenbezogene Ermittlung der tatsächlichen Biomasseerträge durch Stichprobenerhebungen war für die gesamte Landesfläche im vorliegenden Projekt nicht möglich. Im Zuge der Entwicklung konkreter Nutzungskonzepte ist es ratsam die hier verwendeten Ertragszahlen auf regionaler Ebene anzupassen. Für die Abschätzung innerörtlicher Potenzialflächen ist auf SCHUBERT (2007) „Das Biomassepotenzial zur Energieerzeugung der Stadt Dresden“ hinzuweisen. Zur Nutzung von Hecken kann das Wallheckeninformationssystem WallIS herangezogen werden. Informationen hierzu sind BRÖCKLING et al. (2009) „Gutachten zur Umsetzung des Heckenpflegekonzeptes im Kreis Steinfurt“ (NRW) zu entnehmen.

In der weiteren Bearbeitung werden die ermittelten Grunderträge dem energetisch verfügbaren Flächenpotenzial zugeordnet. Abschließend können die Potenziale im GIS flächenbezogen dargestellt werden.

2.2.4.2 Verfügbare Anteile für eine energetische Nutzung

Die verfügbaren Anteile für eine energetische Nutzung wurden nach eigenen Einschätzungen festgesetzt. Welche Anteile der Materialien für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen, hängt im Wesentlichen davon ab, ob und in welchen Umfang Nutzungskonkurrenzen bestehen.

Bezogen auf die im weitesten Sinne landwirtschaftlich genutzten Anteile an den betrachteten Flächen (vor allem Grünland), können die Auflagen im Rahmen der landwirtschaftlichen Förderung sowie bestehende Schutzgebietsverordnungen als Indikator genutzt werden. Auswirkungen der landwirtschaftlichen Förderungen im Rahmen der RL AuW (2007) auf die landwirtschaftliche Verwertbarkeit der Biomasse als Futter wurden bereits in Zusammenhang mit den Ausführungen zu den Biotypen Grünland und Gewässerränder mit Vegetation beschrieben. Im Folgenden wird deshalb nur auf die aus dem Schutzstatus gemäß Sächsischem Naturschutzgesetz abzuleitenden Implikationen im Hinblick auf mögliche Nutzungskonkurrenzen eingegangen.

Aufwuchs von Schutzgebieten

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Biotop- und Nutzungstypen können auch innerhalb von Schutzgebieten liegen. Welchen Einfluss der Schutzstatus von Flächen auf die Nutzungskonkurrenzen und damit die energetisch nutzbaren Biomasseanteile hat, hängt letztlich weniger von der Schutzgebietskategorie, sondern mehr von den jeweiligen Pflege- und Entwicklungskonzepten bzw. den Inhalten der Schutzgebietsverordnungen ab. Die tatsächlichen inhaltlichen Zielaussagen konnten im vorliegenden Projekt für ganz Sachsen jedoch nicht flächendeckend erfasst werden.

Aus diesem Grund wird für die Potenzialermittlung der Untersuchungsraum vereinfacht nach den Biotoptypen unterschieden und die typischerweise anzunehmenden spezifischen Schutzziele unterstellt und zusätzlich nach Schutzgebietskategorien differenziert.

Bedeutsam für die Ermittlung der energetisch nutzbaren Biomasseanteile müssen zwei Situationen unterschieden werden:

- innerhalb von Schutzgebieten kann Prozessschutz angestrebt sein, weshalb hier keine Pflegemaßnahmen durchgeführt werden (v. a. Wälder),
- zur Erhaltung der Lebensräume bestimmter Pflanzen- und Tierarten können gerade in Schutzgebieten Pflegemaßnahmen zur Eindämmung der Sukzession erforderlich sein (v. a. Offenlandbiotope).

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass vorab die Analysen bereits auf die Biotoptypen eingeschränkt wurden, die grundsätzlich für Landschaftspflege infrage kommen. So wurden die Waldflächen, nicht betrachtet, da die Durchforstung des Waldes in der Regel in erster Linie der Ertragssteigerung dient. Bei den betrachteten Flächen handelt es sich v. a. um Offenlandbiotope. Hier werden häufig Pflegemaßnahmen in Schutzgebieten zur Eindämmung der Sukzession durchgeführt.

In die Betrachtungen eingegangen sind folgende Schutzgebietskategorien.

- Naturschutzgebiet,
- Biosphärenreservat Zone 1 & 2,
- Nationalpark,
- Flächennaturdenkmal,
- Biotope, die im Rahmen der selektiven Biotopkartierung im Offenland erfasst wurden.

Um den Einfluss der Unterschutzstellung auf die Biomassebereitstellung aus den Landschaftspflegeflächen einzubeziehen, wurden ebenfalls digitale Daten verwendet. Die Shape-Files der Schutzgebietsflächen wurden vom Modul 3 „Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz“ aufbereitet und im GIS mit den potenziellen Landschaftspflegeflächen verschnitten.

Andere Schutzgebietskategorien wie SPA-Gebiete, Biosphärenreservats-Zonen 3 bis 4 (Entwicklungszone, Regenerationszone), Landschaftsschutzgebiete und Naturparke werden in die Betrachtungen nicht einbezogen. Hier ist nach THRÄN et al. (2009) davon auszugehen, dass eine landwirtschaftliche Nutzung der Flächen erfolgt und lediglich Flächen mit Auflagen im Sinne des Natur- und Landschaftsschutzes für die Potenzialermittlung von Belang sind. Diese Flächen wurden durch die Auswertung der InVeKoS-Daten in die Analyse einbezogen.

Aus den oben ausgeführten Annahmen zur Verfügbarkeit von Landschaftspflegematerialien in Schutzgebieten wurden die potenziell verfügbaren Anteile zur abschließenden Potenzialermittlung festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass in Schutzgebieten grundsätzlich ein Potenzial für Landschaftspflegematerial besteht. Die

Nutzung erfolgt im Sinne des Naturschutzes und das gewonnene Material entspricht somit der Definition für Landschaftspflegematerial. Eine intensive Nutzung in Schutzgebieten kann ausgeschlossen werden.

Das Potenzial wird lediglich aufgrund von Nutzungskonkurrenzen verringert. Eine landwirtschaftliche Nutzung des Mahdgutes kann auch in Schutzgebieten erfolgen, die Beweidung ist ein Beispiel für eine derartige Konkurrenz. Aber auch Kompostierung oder das Zulassen von Sukzession haben je nach Nutzungsstruktur und Schutzgebietsauflagen Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Landschaftspflegematerial in Schutzgebieten. Die folgende Tabelle fasst die typisierten Potenzialflächen sowie deren energetisch nutzbaren Anteil zusammen (Tabelle 19).

Tabelle 19: Energetisch nutzbare Anteile der Landschaftspflegeflächen (SchG ja = innerhalb der o. g. Schutzgebietskategorien, nein = außerhalb)

Flächentyp (BTLNK)	RL AuW ¹⁹	SchG	Energetisch verfügbarer Anteil	Anmerkung
Grünland (extensiv)	ja	ja/nein	100 %	keine Konkurrenz (schlechte Qualität)
Grünland (extensiv)	nein	ja	80 %	Offenlandpflege
Grünland (extensiv)	nein	nein	50 %	Überschussgrünland
Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden	nein	ja/nein	80 %	Offenlandpflege, Konkurrenz: Beweidung oder andere Nutzung
Moore, Sümpfe	nein	ja/nein	80 %	Offenlandpflege, Konkurrenz: Beweidung oder andere Nutzung
Gehölzstrukturen	nein	ja	80 %	Eindämmung der Sukzession
Gehölzstrukturen	nein	nein	50 %	Konkurrenz: Kompostierung und Verbleib auf der Fläche aufgrund von Transportkosten
Ruderalflur	nein	ja/nein	60 %	Konkurrenz: Naturschutz / Pflege teilw. sehr schwierig und kostenintensiv
Gewässerränder mit Vegetationssaum	ja	nein	60 %	Pflege von Teilflächen
Gräben und Kanäle	nein	nein	100 %	Freihaltung notwendig
Siedlungsflächen mit Vegetationssaum, Grün- & Freiflächen	nein	nein	50 %	Konkurrenz: Kompostierung
Siedlungsflächen mit waldartigem Baumbestand (Deckung > 30 %)	nein	nein	15%	30 % Deckung * 50 % Anteil Konkurrenz: Kompostierung
Vegetation an Verkehrsinfrastruktur	nein	nein	100 %	keine Konkurrenz

Nach der jüngsten Empfehlung der Clearingstelle fallen alle aufgeführten Biomassefraktionen unter den Begriff des Landschaftspflegematerials nach dem EEG (vgl. Clearingstelle EEG 2009).

Im Folgenden werden die Annahmen für die einzelnen Biotop- und Nutzungstypen weiter erläutert.

¹⁹ Förderungen für Spätschnitt ab 15. Juli in 2008

Grünland

Wie bereits erläutert, kann das Material von Grünflächen, auf denen eine aus Agrarumweltprogrammen geförderte Spätschnittnutzung nach dem 15. Juli erfolgte aufgrund der qualitativen Eigenschaften nur sehr bedingt als Futtermittel verwendet werden. Deshalb fließen diese zu 100 % in die Potenzialermittlung des Landschaftspflegematerials ein.

Für Grünland ohne landwirtschaftliche Förderungen aus Extensivierungsprogrammen wird eine größere Nutzungskonkurrenz angenommen. Das auf diesen Flächen erwirtschaftete Mahdgut wird je nach Nachfragesituation als Futtermittel genutzt oder steht als Überschussgrünland für eine energetische Verwendung zur Verfügung. Es wurde daher ein energetisch nutzbarer Anteil von 50 Prozent festgelegt.

Die Nutzungskonkurrenz von Flächen innerhalb von Schutzgebieten wird als bedeutend geringer eingeschätzt, da es sich hier häufig um Flächen handelt, die auch unabhängig von Agrarumweltprogrammen nach Naturschutzzielen gepflegt werden. Der energetisch nutzbare Anteil wird daher mit 80 Prozent als vergleichsweise hoch eingeschätzt.

Magerrasen, Zwergstrauchheiden

Magerrasen und Zwergstrauchheiden sind Biotoptypen des Offenlandes. Diese stehen gemäß § 26 Sächsisches Naturschutzgesetz auch ohne Einzelanordnung und ohne Eintragung in Verzeichnisse unter besonderem Schutz. Alle Handlungen, die zu einer Zerstörung oder Beeinträchtigung führen sind verboten.

Zur Erhaltung von Magerrasen und Zwergstrauchheiden sind Pflegemaßnahmen erforderlich, da sie sonst verbuschen würden. Aufgrund von anderen Verwendungen des Materials z. B. im Rahmen der Beweidung wird der energetisch verfügbare Anteil mit 80 % festgelegt.

Gehölzstrukturen (holzige Biomasse)

Welche Flächenanteile mit Gehölzstrukturen für eine energetische Verwendung in Frage kommen, ist zu gewissen Teilen abhängig vom Schutzstatus der Flächen. Aufgrund der in die Gesamtbetrachtung einbezogenen Flächentypen handelt es sich vor allem um Offenlandflächen. Deshalb wird davon ausgegangen, dass Gehölzstrukturen innerhalb von Schutzgebieten zur Erhaltung des Offenlandcharakters besonders gepflegt werden. Aus diesem Grund wird der Aufwuchs von Gehölzstrukturen mit 80 % in die Potenzialermittlung einbezogen.

Außerhalb von Schutzgebieten ist es wahrscheinlich, dass u. a. aufgrund der Kosten weniger Pflegemaßnahmen durchgeführt werden. Diese Flächen werden somit mit einem geringeren Anteil von 50 % in die Betrachtungen einbezogen.

Gewässerränder mit Vegetation

Auf Grundlage der InVeKoS-Daten konnten die Teichpflegeflächen ermittelt werden. Für die Förderung der Pflege gibt es verschiedene Auflagen gemäß Anhang A-2 der RL AuW/2007. So sind landschaftsprägende Gehölze zu erhalten, Nistplätze sowie Vermehrungsstätten gesetzlich geschützter Tierarten sowie Standorte geschützter Pflanzen von der Pflege auszusparen. Darüber hinaus sind Hecken als wichtige Lebensräume zu erhalten und Gehölzstreifen an Gewässern oder Straßen und Wegen aus Gründen der Landschaftsästhetik mindestens einseitig zu erhalten. Die Teichdamm- und Böschungspflege kann auf Bereichen, die zur Bewirtschaftung notwendig sind, je nach Bedarf durchgeführt werden. Auf den übrigen Flächen ist eine Pflege auf

etwa einem Drittel der übrigen Dammbereiche alle 3 Jahre möglich. Auch für Altröhrichtbestände gibt es eine Auflage, dass nur maximal ein Drittel der Röhrichtfläche pro Jahr beschnitten werden darf.

Da sich die Pflegeauflagen auf Anforderungen des Natur- und Artenschutzes beziehen, werden diese Annahmen auch auf Gewässer übertragen, für die keine Förderungen gezahlt wurden. Der energetisch verwendbare Anteil der Gewässerränder mit Vegetation wird auf 60 % festgelegt.

Wie bereits erläutert, wird davon ausgegangen, dass Gräben und Kanäle zur Sicherung des Abflusses vollständig freigehalten werden. Derzeit verbleibt das anfallende Material entweder als Mulch auf den Flächen oder es wird zu kleinen Anteilen kompostiert. In der Kompostierung wird jedoch keine langfristige Nutzungskonkurrenz gesehen, so dass das Materialaufkommen von Vegetationsflächen an Gräben und Kanälen zu 100 % für eine energetische Nutzung infrage kommt.

Siedlungsflächen mit Vegetation

Der energetisch nutzbare Anteil innerstädtischer bzw. siedlungsnaher Vegetation wird auf 50 Prozent eingeschätzt, da davon auszugehen ist, dass momentan ein Großteil des anfallenden Materials kompostiert wird und Verwertung noch für einige Zeit vertraglich gebunden sein wird. Nach Etablierung der energetischen Nutzung und Auslaufen der bestehenden Verwertungsverträge kann davon ausgegangen werden, dass sich das Flächenpotenzial mittel- bis langfristig auf 80 Prozent erhöht.

Da in der BTLNK der Baumbestand z. B. in Wohnsiedlungen mit einer Deckung von mehr als 30 % angegeben wird, müssen diese Flächen in der Potenzialanalyse angepasst werden. Der Anteil von 50 Prozent verfügbarem Material wird mit der Deckung des Baumbestandes von (mindestens) 30 Prozent verrechnet. Damit ergibt sich eine Verfügbarkeit von 15 Prozent für die betreffenden Flächen.

2.2.4.2.1 Energetisch nutzbares Biomassepotenzial der Landschaftspflegeflächen

Zur Ermittlung der auf den betrachteten Flächentypen zu gewinnenden Mengen an energetisch nutzbarer Biomasse, wurden die für eine energetische Nutzung infrage kommenden Flächenanteile mit den aus der Literatur abgeleiteten Biomasseerträgen verschnitten.

Die Ermittlung der Mengenpotenziale für Landschaftspflegematerial hat ergeben, dass vor allem Grünland, Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie die Gehölzstrukturen große energetisch nutzbare Biomasse-mengen hervorbringen. **Tabelle 20** zeigt Flächengröße, Biomasseerträge sowie die Anteile der einzelnen Biotoptypen am gesamten energetisch nutzbaren Biomassepotenzial. Die räumliche Verteilung der Potenziale kann den Karten im Anhang 8 und Anhang 9 entnommen werden.

Tabelle 20: Energetisches Potenzial von Landschaftspflegeflächen

Biotoptypen nach BTLNK	Fläche [ha]	Potenzielle Biomasseerträge [t/a]		Mittelwert [t/a]
		MIN	MAX	
Grünland (extensiv BTLNK & InVeKos)	17.693	14.093	54.201	34.147
<i>Überschussgrünland²⁰ zusätzliches nicht räumlich zuordbares Potenzial</i>	<i>20.000</i>	<i>80.000</i>	<i>140.000</i>	<i>110.000</i>
Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen (mit Vegetation)	46.002	87.864	188.131	137.998
Ruderalflur	31.970	38.364	118.927	78.645
Baumgruppen, Hecken, Gebüsche	33.057	75.566	135.623	105.595
Gewässerränder mit Vegetation	10.534	25.303	62.679	43.991
Magerrasen, Zwergstrauchheiden	22.594	23.080	52.277	37.678
Moore, Sümpfe	3.064	14.536	15.462	14.999
Graben, Kanal	1.625	4.387	14.287	9.337
Gesamt	186.539	363.193	781.587	572.390

Das ermittelte Potenzial des mit Landschaftspflegemaßnahmen versehenen Grünlandes erscheint mit 14.000 bis fast 55.000 Tonnen pro Jahr zunächst sehr gering. Es ist jedoch zu beachten, dass darüber hinaus ein zusätzliches Potenzial an energetisch nutzbarem Material aus der Grünlandnutzung zu erwarten ist. Nach Erhebungen des LfULG werden schätzungsweise 20 Prozent des gesamten Grünlandes Sachsens aufgrund gesunkener Tierbestände nicht mehr als Produktionsstandort für Futtermittel benötigt. Aus diesem Grünlandüberschuss kann grundsätzlich auch ein Biomassepotenzial für die energetische Nutzung abgeleitet werden (vgl. KIESEWALTER et al. 2007). Da eine räumliche Zuordnung der Flächen, deren Mahdgut nicht mehr als Futter benötigt wird, nur schwer möglich ist, kann dieses Potenzial nur ohne Raumbezug eingeschätzt werden.

Die gesamte landwirtschaftlich genutzte Grünlandfläche Sachsens beträgt nach der Agrarstatistik des Landes ca. 190.000 ha Hektar, die teils intensiv und teils extensiv genutzt wird. Bei einem Überschuss von 20 Prozent würde dies einer Fläche von 38.000 Hektar entsprechen. Abzüglich der mit Hilfe der GIS-Analysen ermittelten Flächenpotenziale mit Landschaftspflegemaßnahmen von 17.693 Hektar, ergibt sich also ein zusätzliches Flächenpotenzial von ca. 20.000 Hektar Grünland. Der Mittelwert der in der Literaturrecherche ermittelten Grunderträge für Grünland beträgt minimal 4 t/ha*a und maximal 7 t/ha*a. Damit ergibt sich ein zusätzliches Potenzial von minimal 80.000 und maximal 140.000 Tonnen pro Jahr.

Diese „Überschussflächen“ umfassen besonders solche Flächen, die sich entweder für eine konventionelle Bewirtschaftung nicht eignen, z. B. Niedrigertragsstandorte sowie stark vernässte Flächen mit erschwelter Bewirtschaftung oder die in solchen Regionen liegen, in denen der Viehbestand stark rückläufig ist. Eine raumbezogene Analyse für die gesamte Landesfläche war in der vorliegenden Studie nicht möglich. Da hier sehr detaillierte Daten wie Bodentypen und Agrarstatistiken ausgewertet werden müssten, kann eine derartige Analyse besser auf regionaler Ebene umgesetzt werden.

²⁰ Das auf diesen Flächen erwirtschaftete Mahdgut steht aufgrund von sinkender Nachfrage nach Futtermitteln für eine energetische Verwendung zur Verfügung. Da für diese Flächen keine landwirtschaftlichen Förderungen aus Extensivierungsprogrammen beantragt wurden, gibt es keine Angaben in der InVeKoS-Datenbank. Eine vollständige räumliche Zuordnung der überschüssigen Grünlandflächen war im vorliegenden Projekt deshalb nicht möglich.

Tabelle 21 zeigt die Verteilung der ermittelten potenziellen Biomasseerträge in den Landkreise Sachsens. Im vorliegenden Projekt wurden die administrativen Grenzen einbezogen, die vor der Kreisgebietsreform 2008 bestanden. Im Rahmen der Kreisgebietsreform wurden 22 Landkreise auf 10 und 7 kreisfreie Städte auf 3 reduziert. Eine Zusammenfassung der Werte der Potenzialermittlung ist in Anlehnung an die Zusammenfassung der Landkreise im Rahmen der Kreisgebietsreform jederzeit möglich. Für die weitere Entwicklung von konkreten Energienutzungskonzepten ist es jedoch sinnvoll, auf eine möglichst differenzierte Verteilung der verfügbaren Biomassepotenziale zurückgreifen zu können.

Die Unterschiede beruhen zum einen auf der unterschiedlichen Flächengröße der Landkreise und zum anderen auf dem Vorkommen der Biotoptypen. Die eingegangenen Parameter (Erträge und prozentuale Verfügbarkeit) wurden standortunabhängig auf alle Flächen übertragen. In einer detaillierteren regionalen Analyse müssten Standortbedingungen, die die Erträge beeinflussen wie z. B. die Bodenart, beachtet werden.

In grün markiert sind die potenziellen Erträge halmgutartiger Biomasse sowie orange die potenziellen Biomasseerträge holziger Biomasse, die über dem Durchschnitt liegen.

Tabelle 21: Energetisches Potenzial von Landschaftspflegeflächen je Landkreis²¹

Landkreise	Flächen- anteil	Mittlere potenzielle Biomasseerträge		Mittlere potenzielle Bio- masseerträge (Halmgut)		Mittlere potenzielle Bio- masseerträge (Holz)	
		t/a	Anteil	t/a	Anteil	t/a	Anteil
Niederschlesischer Oberlausitzkreis	7,29%	38.211	9,29%	20.379	8,78%	17.832	9,94%
Kamenz	7,25%	36.180	8,79%	18.380	7,92%	17.800	9,93%
Vogtlandkreis	7,14%	25.529	6,21%	13.986	6,03%	11.544	6,44%
Torgau-Oschatz	6,35%	13.262	3,22%	7.877	3,39%	5.385	3,00%
Bautzen	5,21%	21.800	5,30%	10.846	4,67%	10.954	6,11%
Freiberg	4,95%	15.245	3,71%	8.700	3,75%	6.545	3,65%
Muldentalkreis	4,86%	15.245	3,71%	7.924	3,41%	7.321	4,08%
Sächsische Schweiz	4,80%	15.686	3,81%	7.777	3,35%	7.909	4,41%
Delitzsch	4,63%	7.845	1,91%	3.883	1,67%	3.963	2,21%
Riesa-Großenhain	4,46%	15.419	3,75%	8.964	3,86%	6.455	3,60%
Mittweida	4,21%	13.994	3,40%	7.186	3,10%	6.807	3,80%
Weißeritzkreis	4,15%	14.481	3,52%	9.136	3,94%	5.345	2,98%
Leipziger Land	4,06%	13.470	3,27%	6.845	2,95%	6.624	3,69%
Löbau-Zittau	3,80%	21.452	5,21%	12.811	5,52%	8.642	4,82%
Meißen	3,44%	17.119	4,16%	9.974	4,30%	7.145	3,98%
Mittlerer Erzgebirgskreis	3,23%	10.316	2,51%	6.130	2,64%	4.186	2,33%
Aue-Schwarzenberg	2,89%	10.098	2,45%	6.013	2,59%	4.085	2,28%
Zwickauer Land	2,79%	10.765	2,62%	6.254	2,69%	4.511	2,52%
Annaberg	2,37%	7.264	1,77%	3.991	1,72%	3.273	1,83%
Döbeln	2,30%	17.667	4,29%	10.015	4,32%	7.652	4,27%
Chemnitzer Land	1,82%	7.183	1,75%	4.134	1,78%	3.049	1,70%
kreisfreie Stadt Dresden	1,77%	12.583	3,06%	8.281	3,57%	4.302	2,40%
kreisfreie Stadt Leipzig	1,63%	17.188	4,18%	10.459	4,51%	6.729	3,75%
Stollberg	1,45%	5.794	1,41%	3.949	1,70%	1.845	1,03%
kreisfreie Stadt Chemnitz	1,19%	10.191	2,48%	7.325	3,16%	2.866	1,60%
kreisfreie Stadt Plauen	0,54%	4.398	1,07%	2.594	1,12%	1.803	1,01%
kreisfreie Stadt Zwickau	0,54%	5.096	1,24%	3.264	1,41%	1.832	1,02%
kreisfreie Stadt Hoyerswerda	0,52%	3.599	0,87%	2.537	1,09%	1.062	0,59%
kreisfreie Stadt Görlitz	0,37%	4.326	1,05%	2.476	1,07%	1.850	1,03%
Freistaat Sachsen	100,00%	411.405	100,00%	232.089	100,00%	179.316	100,00%
Mittelwerte		14.186		8.003		6.183	

2.2.5 Aktuelle Situation der Energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial (Befragung)

Mit der Befragung der für die Durchführung von Landschaftspflege verantwortlichen Institutionen wurden das derzeitige Aufkommen und die derzeitige Verwendung von Landschaftspflegematerial abgefragt. Ziel ist es, einen allgemeinen Überblick über die aktuelle Situation der energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial in Sachsen zu bekommen.

Der Fragebogen (Tabelle 22) wurde an die Unteren Naturschutzbehörden, Naturschutzverbände, Landschaftspflegeverbände, Straßenmeistereien sowie an die Flussmeistereien bzw. Landestalsperrenverwaltung versandt.

²¹ Gegenstand sind die administrativen Grenzen vor der Kreisgebietsreform 2008

Tabelle 22: Fragebogen zur (energetischen) Verwendung von Landschaftspflegematerial

Art und Umfang der Pflegemaßnahmen		
1.	Werden in Ihrem Landkreis Landschaftspflegemaßnahmen durchgeführt bei denen Schnittgut entsteht?	Ja / Nein
Antw.		
Wenn ja,		
2.	Wer führt die Pflegearbeiten durch?	ggf. Kontaktdaten
Antw.		
3.	Welcher Art ist das Schnittgut?	Gehölzschnitt u/o Grünschnitt o.Ä.
Antw.		
4.	In welcher Form fällt es an?	Häcksel, Heu o.Ä.
Antw.		
5.	Wie viel Schnittgut fällt pro Jahr an?	Menge (ggf. pro ha)
Antw.		
Energetische Verwendung des Pflegematerials		
6.	Gibt es bereits eine energetische Verwendung des Schnittgutes?	Ja / Nein
Antw.		
Wenn ja,		
7.	Welcher Form ist diese Verwendung?	Verbrennung, Vergärung, etc.
Antw.		
8.	An welche Anlage oder Abnehmer wird das Material geliefert?	Kraftwerk/Abnehmer Kontaktdaten
Antw.		
Wenn nein,		
9.	Wie wird das Schnittgut bisher entsorgt / weiterverwendet?	Kompostierung, Verbrennung o. Ä.
Antw.		
10.	Wer übernimmt die Entsorgung/Verwertung	Kontaktdaten
Antw.		
11.	Sind mit der Entsorgung/Verwertung Kosten bzw. Erlöse verbunden?	Nein / €
Antw.		
12.	Halten Sie eine energetische Verwertung des Landschaftspflegematerials für möglich und sinnvoll?	Ja /Nein ⇒ Warum?
Antw.		

Im März 2009 wurde mit der Befragung begonnen. Eine zweite Versendung der Fragebögen erfolgte Ende Mai 2009, bei der zusätzlich die Flussmeistereien bzw. Landestalsperrenverwaltungen zur energetischen Verwendung von gewässerbegleitendem Landschaftspflegematerial befragt wurden.

Die Befragten ergeben eine Grundgesamtheit von 88. Bis Ende August 2009 wurden 12 der per Email versendeten Fragebögen beantwortet zurückgeschickt. Dies entspricht einem Rücklauf von 14 % (Tabelle 23).

Tabelle 23: Stand der Befragung (Grundgesamtheit & Rücklauf)

Befragte	Grundgesamtheit	Antworten
Umweltämter, Naturschutzreferate der Landratsämter und der Stadtverwaltungen ²²	24	6
Straßenmeistereien	27	5
Naturschutzverbände	6	1
Landschaftspflegeverbände	15	0
Flussmeistereien	16	0
Gesamt	88	12
Durchführung von Landschaftspflege		9
Rücklauf		14%

3 Befragte gaben an, dass sie keinerlei Pflegemaßnahmen durchführen. In den übrigen 9 Fällen fällt das Material in folgenden Ausprägungen an:

- Grünschnitt (nasses, angewelktes oder getrocknetes Langschnittgut),
- Grünfutter,
- selten Heu,
- Rollenholz,
- Stückholz,
- Holzhäcksel,
- Gras,
- Reisig.

In 3 Fällen wurde angegeben, dass es bereits folgende energetische Nutzung des Materials gibt:

- Vergärung von Grünschnitt (Landkreise Mittelsachsen, Görlitz),
- Verbrennung von Hackschnitzeln (Görlitz),
- Verbrennung von Hackschnitzeln (Mittelsachsen),
- Verbrennung von Pellets (Görlitz).

Die Verwendung des nicht energetisch genutzten Materials ist vielfältig:

- Kompostierung,
- Verrottung am Flächenrand,
- Verwendung als Mulchabdeckung,
- Holzverkauf,
- Untermischung in Mist,
- selten Verfütterung.

Auf die Frage, wer die Pflegemaßnahmen durchführt, wenn die befragten Einrichtungen dies nicht selbst tun, wurden folgende Angaben gemacht:

- Landkreis,
- Landschaftspflegevereine / -verbände,
- Landwirte,

²² Referate der kreisfreien Städte

- Agrargenossenschaften,
- Zivildienstleistende,
- Naturschutzzentren,
- ehrenamtliche Naturschützer,
- Privatpersonen.

Die Angaben zu den Ertragsmengen, Kosten bzw. Einnahmen sind bezüglich der Einheiten sehr unterschiedlich und können deshalb nicht miteinander verglichen werden. Die Ertragsmengen wurden häufig auf die insgesamt betreute Fläche bezogen und deren Größe nicht angegeben. Aufgrund dieser unterschiedlichen Aussagen war ein Vergleich der Antworten untereinander und mit den Ergebnissen der GIS-gestützten Potenzialanalyse nicht möglich. Eine detaillierte Befragung war im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht durchführbar, ist aber für weitere Studien zu empfehlen.

7 der Befragten halten eine energetische Verwertung für sinnvoll. Die Mehrheit dieser verweist allerdings auf verschiedene Probleme:

„Bisherige Kontaktaufnahmen zu Biogasanlagenbetreibern scheiterten jedoch an mangelndem Interesse dieser oder der hohen Entfernung zum Entstehungsort. [...] Lage der Förderflächen im Landkreis [...] sehr zerstreut, oft nur Kleinst- und Splitterflächen, es lohnt kein langer Transportweg (ökologisch nicht sinnvoll).“

„Für Grasschnitt ja [sinnvoll], Reisig fällt zu wenig an, Holzhackschnitzel würden bei einer fachgerechten Pflege der Steinrücken in verwertbarer Menge entstehen.“

„Sinnvoll ja, muss aber gesamtökologisch orientiert sein. Es darf zu keiner weiteren Intensivierung der Grünlandwirtschaft und damit zum Verlust wertvoller Lebensräume führen.“

„Durch die Umstellung des Förderverfahrens, welches allgemein gesehen zu einer komplizierteren Antragstellung geführt hat, kann es sein, dass gerade Privatpersonen von Maßnahmen der Landschaftspflege Abstand nehmen.“

Einer der Befragten ist der Meinung, dass eine energetische Verwendung nicht sinnvoll sei, da die anfallenden Mengen nicht vorhersehbar und deshalb nicht planbar seien.

Abschließend ist festzustellen, dass eine energetische Verwendung von Landschaftspflegematerial im Freistaat Sachsen zum Zeitpunkt der Befragung eher den Ausnahmefall bildet. Diese Ausnahmen zeigen aber, dass Möglichkeiten bestehen, Landschaftspflegematerialien energetisch zu nutzen. Zur Förderung einer energetischen Nutzung wären die Vernetzung der verschiedenen Akteure, die Ermittlung der regionalen bzw. lokalen Potenziale, eine finanzielle Förderung und darauf aufbauend die Etablierung der nötigen Infrastruktur geeignete Maßnahmen.

2.2.6 Technische Optionen der energetischen Verwertung von Landschaftspflegematerial

Für eine energetische Nutzung von halmgutartiger Biomasse und holziger Biomasse kommen grundsätzlich verschiedene technische Verwertungsoptionen in Frage (vgl. Tabelle 24). Diese werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Tabelle 24: Verwertungstechnologien für Landschaftspflegematerial

Halmgutartige und Krautige Biomasse	
Biogas	Nassfermentation Trockenfermentation (Batch-Verfahren)
Verbrennung	Ganzballenverbrennung Verbrennung mit vorheriger Pelletierung
	Heiz(kraft)werke Kleinfeuerungsanlagen
Thermochemische Vergasung	BTL-Produktion Synthesegas-Produktion
Holzige Biomasse	
Verbrennung	Verbrennung von Hackschnitzeln Verbrennung mit vorheriger Pelletierung
	Heiz(kraft)werke Kleinfeuerungsanlagen
Thermochemische Vergasung	BTL-Produktion Synthesegas-Produktion

2.2.6.1 Vergärung von halmgutartiger und krautiger Biomasse

Die anaerobe Fermentation von Biomasse oder Wirtschaftsdünger zu Biogas hat aufgrund der Förderung durch das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien in Deutschland, kurz EEG genannt, erheblich an Bedeutung gewonnen. In diesem Gesetz wird die Vergütung von aus erneuerbaren Quellen erzeugter Energie geregelt. Eine Quelle zur Erzeugung von regenerativer Energie ist dabei die mikrobielle Umwandlung von Biomasse oder Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zu Wärme und Strom. Dabei werden verschiedene, hauptsächlich an die Substrateigenschaften angepasste Verfahren und Technologien verwendet, welche in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert werden.

Beim derzeitigen Stand der Anlagentechnologie im Biogasbereich ist halmgutartige Biomasse grundsätzlich für die Biogaserzeugung geeignet. Vergleichsweise geringe Gaserträge, eine schlechtere Anlagenauslastung sowie eine geringere Wirtschaftlichkeit lassen eine Nutzung der Reststoffe aus der Landschaftspflege gegenüber Anbaubiomasse allerdings häufig wenig attraktiv erscheinen. Dennoch können sowohl die Mitvergärung als auch die alleinige Nutzung von Landschaftspflegematerial in Trocken- oder Nassfermentationsanlagen aufgrund der geringeren Substratkosten wirtschaftlich tragfähige Verwertungsoptionen darstellen, wie Praxisbeispiele zeigen (vgl. THOSS & PETERS 2008).

Derzeit sind in Deutschland etwa 4.300 Biogasanlagen in Betrieb (Fachverband Biogas 2009), die fast ausschließlich im landwirtschaftlichen Sektor als Nassvergärung (einstufig im mesophilen Bereich) betrieben werden. Die Verfahren zur Nassfermentation können als technisch ausgereift bezeichnet werden und sind in der Fachliteratur hinreichend beschrieben (z. B. FNR 2005). Daneben erfolgt nach wie vor eine Weiterentwicklung von Trockenfermentationsverfahren, welche speziell für die Verwertung von Grünschnitt aus der Landschaftspflege als Pilotanlagen bereits betrieben werden und am Markt verfügbar sind. Allerdings kann noch auf keine breite wissenschaftliche Erfahrung zurückgegriffen werden (ÖKO-INSTITUT 2007: 46).

Eine erste Möglichkeit zur Unterscheidung der eingesetzten Verfahren besteht aufgrund des Trockensubstanzgehaltes (TS) des Fermenterinhalt. Bei pumpfähigen Substratmischungen bis zu einem TS-Gehalt von

etwa 20 bis 25% spricht man von Nassvergärung, darüber von Trockenvergärung. Die Grenzen hierbei sind jedoch fließend.

Weiterhin lassen sich die Verfahren hinsichtlich der Betriebsweise, ob kontinuierlich oder diskontinuierlich, unterscheiden.

Nachfolgend werden die verschiedenen Technologien zunächst in der Übersicht dargestellt und anschließend im Hinblick auf ihre Eignung für die Verwertung „schwieriger“ Substrate aus der Landschaftspflege beurteilt.

2.2.6.1.1 Nassfermentation

Die Nassfermentation von Substraten zur Erzeugung von Biogas ist die mit Abstand am weitesten verbreitete Technologie, welche bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen anzutreffen ist. In diesem Bereich hat sich die kontinuierliche Fermentation im Durchfluss oder Speicher-Durchfluss-Verfahren durchgesetzt. Sie kann bis zu einem maximalen Trockensubstanzgehalt der Gärflüssigkeit von etwa 20-25% durchgeführt werden. Bei höheren TS-Gehalten wird die Pump- und Rührtechnik überdurchschnittlich beansprucht.

Die diskontinuierliche Batch-Nassfermentation konnte sich aufgrund längeren Stillstands der Gasproduktion wegen Ein- bzw. Austragszeiten des Substrates und des Gärrestes bei nur einem Gärbehälter nicht durchsetzen. Der Bau eines zweiten Behälters zum abwechselnden Vergären, um eine gleichmäßige Gasproduktion zu gewährleisten, erfordert höhere Investitionen als beim kontinuierlichen Verfahren. Als einziger Anbieter in diesem Segment fungiert die Firma WISA (EDER & SCHULZ 2007).

Eine weitere Variation bei der Nassvergärung von Substraten ist das Speicher-Verfahren. Bei diesem System sind Fermenter und Lagerbehälter zu einem Behälter zusammengefasst. Der Behälter wird langsam, je nach Substrataufkommen, befüllt. Ist der Behälter vollständig gefüllt, wird der Gärrest bis auf eine kleine Menge zum Animpfen einer neuen Substratcharge entleert. Dieser Anlagentyp zeichnet sich durch geringe Investitionskosten aus, hat sich aber in der Praxis nicht durchgesetzt (EDER & SCHULZ 2007).

Beim Durchflussverfahren steht dem kontinuierlichen Einbringen von Substraten ein kontinuierlicher Austrag von Gärrest aus dem Reaktionsraum gegenüber. Der Reaktionsraum besteht im Durchflussverfahren in der Regel aus einem stehenden beheizten und durchmischten Rundfermenter.

Das in Deutschland am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Flüssigvergärung von Biogassubstraten ist das kombinierte Speicher-Durchfluss-Verfahren. Dieses Verfahren ist wie das Durchfluss-Verfahren aufgebaut. Einem Durchfluss-Fermenter werden ein Nachgärer und/oder ein überdachtes Gärrestlager nachgeschaltet, so dass die im Gärrest weiterhin ablaufende Methanproduktion zum gesamten Gasertrag beiträgt. Die Methanemissionen des Gärrestes lassen sich so deutlich im Vergleich zum reinen Durchflussverfahren reduzieren. Anbieter dieser Standard-Technologie sind häufig anzutreffen, zu nennen sind hier beispielsweise Firmen wie WELTEC, Schmack, Envitec oder Biogas-Nord.

2.2.6.1.2 Trockenfermentation

Die diskontinuierlichen (Batch-) Verfahren bestechen durch eine einfache verfahrenstechnische Gestaltung des Fermenters. So kann auf eine gesonderte Eintrags- und Austragstechnik sowie Rührtechnik verzichtet werden, da die Substrate z. B. mit Radladern in den Fermenter ein- als auch ausgebracht werden können. Eine Durchmischung des Fermenterinhaltes findet bei den diskontinuierlichen Verfahren nicht statt. Um eine gleichmäßige Gasproduktion zu gewährleisten, müssen bei Batchverfahren mehrere Fermenter (mindestens 3-4) zeitversetzt betrieben werden (vgl. Abbildung 17). Ist eine kontinuierliche Gasproduktion erwünscht, steigt der Investitionsaufwand erheblich, da mehrere Fermenter angeschafft und betrieben werden müssen.

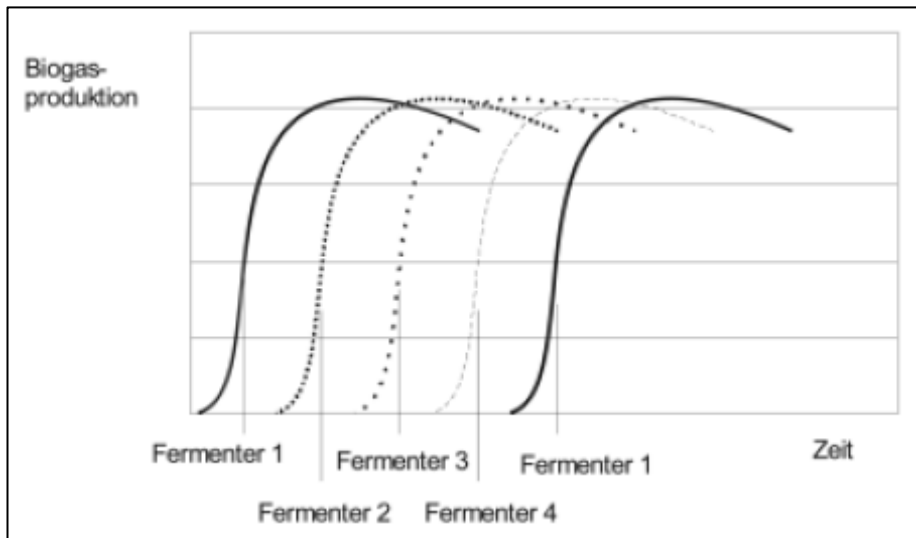


Abbildung 17: Gasproduktion bei parallel betriebenen Batchfermentationen (FNR, BMELV 2006)

Beim diskontinuierlichen Perkulationsverfahren wird ein Container- oder Boxenfermenter eingesetzt (Abbildung 18). Die Substratbeschickung kann entweder durch Gitterboxen, welche in den Fermenter eingeschoben werden oder direkt mit dem Radlader in den Fermenter erfolgen. Dem Substrat wird in der Regel Gärrest aus vorhergehenden Fermentationen beigelegt, um die Methanbildung zu beschleunigen. Nach Beschickung mit dem Substratgemisch wird der Fermenter gasdicht verschlossen. Die Wände und der Boden des Fermenters sind beheizt.

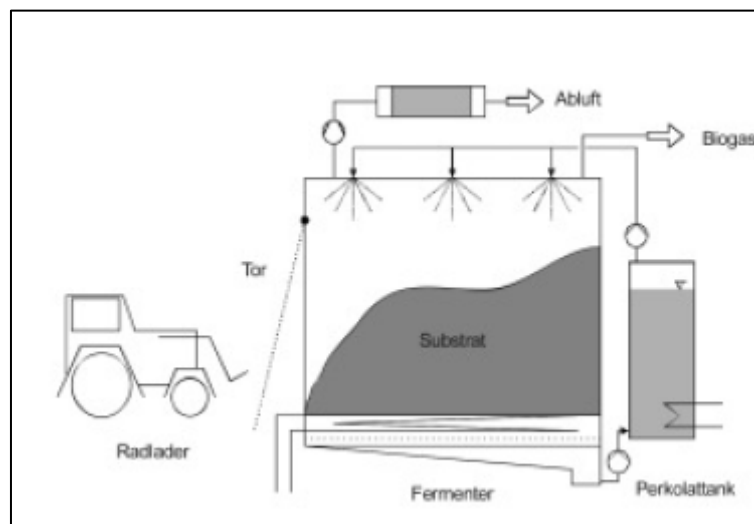


Abbildung 18: Boxenfermenter mit Perkolation (FNR, BMELV 2006)

Bei Nutzung von Gitterboxen kann das Fermentervolumen besser ausgenutzt werden als bei Beschickung mit einem Radlader, da bei letzterer nur etwa 50 % des Fermentervolumens mit Substrat befüllt werden können.

Nach einer kurzen aeroben Phase zur Erwärmung des Fermenterinhalt durch die im Fermenter befindliche Luft wird die kontinuierliche oder diskontinuierliche Berieselung mit der Perkulationsflüssigkeit (Prozesswasser mit Bakterien) als Kreislaufprozess gestartet und bis kurz vor Fermentationsende durchgeführt. Voraussetzung für diese Fermentationsart ist das Vorhandensein strukturreicher Substrate, damit die Perkulationsflüssigkeit das Substrat während der Vergärung durchrieseln kann. Das Perkolat durchfließt ein Lagerbehältnis, in welchem ebenfalls eine Biogasproduktion (Vergärung der ausgewaschenen löslichen Substratbestandteile) stattfindet. Dieses Perkulationsbehältnis ist bei einigen Herstellern als Festbett-Reaktor aufgebaut, so dass aufgrund der Biomasseanreicherung in diesen Systemen die Biogasproduktion nochmals geringfügig gesteigert bzw. dadurch die Verweilzeit der Substrate im Reaktionsraum verkürzt werden kann (LOOCK Biogassysteme; KBGA). Durch Verkürzung der Verweildauer können im Vergleich zu herkömmlichen Perkulationsanlagen mit einer längeren Verweildauer im selben Zeitraum mehr Substratchargen vergoren werden. Die Verweilzeit der Substrate und damit die Fermentationsdauer je Box betragen etwa 21 bis 24 Tage. Als Substrat können fast alle stapelbaren organischen Substanzen wie Pflanzensilagen, feste Wirtschaftsdünger oder Bioabfälle verwendet werden.

Die Technik ist erprobt und bewährt und wird von verschiedenen Firmen angeboten. Hervorzuheben sind hier die Anlagenbauer BIOFERM, LOOCK Biogassysteme und BEKON Energy Technologies, welche einige Jahre Erfahrung in diesem Segment der Biogaserzeugung und entsprechende Referenzanlagen vorweisen können. Der Anbieter KBGA bietet in diesem Segment relativ kleine Anlagen ab einer installierten elektrischen Leistung von 40 kW an (KBGA 2009).

Die Anlagen des Herstellers BIOFERM haben ein Volumen von je 480 m³ bzw. 560 m³. Die kleinste von BIOFERM als Referenz angegebene Anlage hat einen Durchsatz von 3.500 t/Jahr eines Substratgemisches bestehend aus Rindermist, Gras- und Maissilage (BIOFERM 2009).

LOOCK Biogassysteme bietet Boxenfermenter mit einem Nutzvolumen von 240 m³ an. Die kleinste als Referenz angegebene Anlage hat einen Durchsatz von jährlich 7.000 t Bioabfall (LOOCK 2009).

BEKON Energy Technologies verweist auf eine NaWaRo-Anlage mit einem Jahresdurchsatz von 7.500 t (BEKON 2009).

Problematisch bei den Perkulationsverfahren scheint eine Anfälligkeit für Verstopfung der Prozesswasserleitungen durch mit dem Substrat eingebrachte Störstoffe wie Sand zu sein. Auch ist das Entweichen des klimaschädlichen Biogases bei Öffnen des Boxen-Fermenters nach Abschluss des Gärprozesses kritisch zu hinterfragen.

Bei den kontinuierlichen Verfahren zur Trockenfermentation findet in der Regel eine Durchmischung des Fermenterinhalt mit dem Substrat durch Rührapparaturen statt. Der Ein- und Austrag des Substrates wird durch gesonderte Anlagentechnik gewährleistet. Die Anlagentechnik ist dadurch etwas komplexer und somit auch teurer als bei diskontinuierlichen Verfahren, allerdings wird nur ein Fermentationsbehältnis im Vergleich zu mindestens 3 bis 4 beim diskontinuierlichen Verfahren benötigt. Die Gasproduktion bei kontinuierlicher Betriebsweise ist gleichmäßig.

Beim kontinuierlichen Perkulationsverfahren wird das Substrat mittels herkömmlicher Eintragstechnik in einen liegenden Fermenter gegeben. Eine vertikale Durchmischung wird durch axial angeordnete Rührer gewährleistet. Der Fermenterinhalt wird kontinuierlich mit der im Kreislauf geführten Perkulationsflüssigkeit berieselt. Die Perkulationsflüssigkeit durchläuft während des Kreisprozesses einen separaten (Festbett-)Reaktor, in dem auf Trägermaterialien immobilisierte methanogene Mikroorganismen Biogas erzeugen, so dass in beiden

Reaktionsbehältern Biogas erzeugt wird. Dieser Anlagentyp eignet sich zur Vergärung von Abfallstoffen und Nachwachsenden Rohstoffen mit ausreichenden Anteilen an Struktur bildenden Substraten. Diese Technik scheint nicht über den Pilotmaßstab hinausgekommen zu sein, eine größere Anzahl an Referenzanlagen sowie ein Vertreter/Hersteller dieser Technik konnte nicht recherchiert werden.

Das ebenfalls kontinuierliche Pfropfenstromverfahren findet in liegenden Fermentern statt (Abbildung 19). Das Substrat wird mittels geeigneter Eintragstechnik in den Fermenter gegeben und durch axiale Rührer als Propfenstrom durch den Gärraum befördert. Die Beimpfung des Substrates findet durch rückgeführten pumpfähigen Gärrest statt, welcher zuvor durch einen Separator in eine feste und in eine pumpfähige Phase getrennt worden ist. Als Substrate kommen Bioabfälle und Nachwachsende Rohstoffe sowie feste Wirtschaftsdünger in Betracht. Langfaserige Bestandteile müssen einer Vorbehandlung unterzogen werden, um Probleme mit dem Rührwerk zu vermeiden.

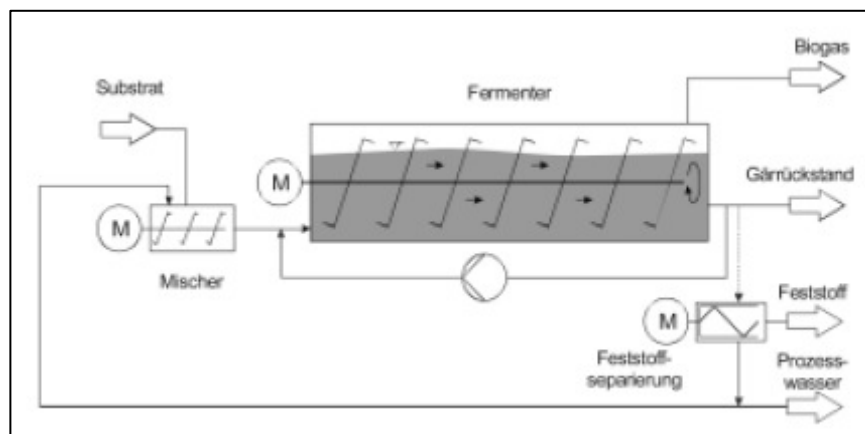


Abbildung 19: Pfropfenstromfermenter des Herstellers KOMPOGAS (FNR, BMELV 2006)

Hergestellt und vertrieben wird diese Art der Trockenfermentation beispielsweise von den Herstellern, KOMPOGAS und STRABAG, welche sich in der Art und Anordnung des Rührwerkes geringfügig voneinander unterscheiden.

KOMPOGAS (2009) hat Referenzanlagen ab einem jährlichen Durchsatz von 10.000 Tonnen vorzuweisen, STRABAG (2009) verweist auf Anlagen mit Durchsätzen ab 8.500 t/a.

Nachteilig bei den beiden vorangehenden kontinuierlichen Verfahren (Perkolation/ Pfpfenstrom) ist der sehr hohe Energiebedarf, welcher vor allem zum Antrieb der Rührwerke und der Erwärmung des Substrates (die Anlagen arbeiten meistens im thermophilen Bereich 50 °C - 60 °C) benötigt wird.

Ein weiteres kontinuierliches Verfahren zur Trockenfermentation ist das von den Firmen OWS (Belgien) und Haase Energietechnik AG angebotene Vergärungsverfahren im Silo-Fermenter. Das gesiebte Substrat (< 40 mm) wird in einen Mischer gegeben, mit dem Prozesswasser vermischt und dann in einen Silofermenter geführt (vgl. Abbildung 20).

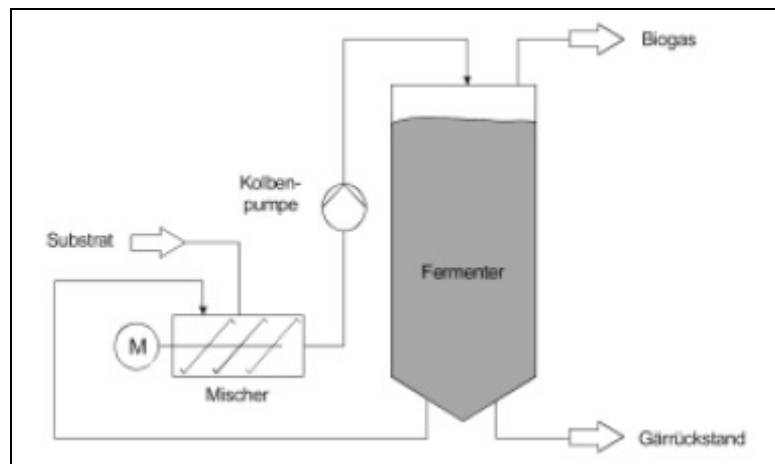


Abbildung 20: Kontinuierliche Trockenfermentation im Silo-Fermenter (FNR, BMELV 2006)

Das Prozesswasser rezirkuliert im Fermentationssystem, so dass auf eine aufwendige und Energie verbrauchende Rührwerkstechnik bei diesem Fermentationsverfahren verzichtet werden kann. Diese Anlagen sind relativ kostengünstig, da nur ein Reaktionsbehälter zur Vergärung benötigt wird. Nachteilig wirkt sich aus, dass nur gut zerkleinerte Substrate in den Reaktionsraum eingebracht werden können. OWS (2009) kann eine Referenzanlage mit einem Reaktionsraum von 1.200 m³ nachweisen. In dieser Anlage werden pro Jahr 12.000 t NaWaRo und Mist vergoren. Referenzanlagen des Herstellers HAASE ENERGIETECHNIK (2009) waren nur im Pilotmaßstab zu recherchieren.

2.2.6.1.3 Beschickungstechnologien

Zur Einbringung des Substrates stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Welche Einbringtechnik für eine Anlage am geeignet ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, vor allem von der Beschaffenheit des Substrates und der verfügbaren Arbeitszeit des Betreibers einer Biogasanlage (vgl. Abbildung 21).

Eine Möglichkeit zur Einbringung des Substrates in den Gärraum ist das Einbringen zusammen mit Rezirkulat oder Gülle in eine Vorgrube, aus der der Fermenter beschickt wird. Diese Methode eignet sich bei Vorliegen eines Substratspektrums mit sehr niedrigen Trockensubstanzgehalten (< 8 %), da der Inhalt der Vorgrube pumpfähig sein muss. Besteht das Substrat aus Fraktionen mit langen Pflanzenfasern, muss dies bei Auslegung der Pumptechnik beachtet werden. Kreiselpumpen sind für solche Substrate ungeeignet, Exzenterpumpen bis zu einem TS-Gehalt von 8 % bzw. Drehkolben-pumpen bei TS-Gehalten >8%, eventuell mit vorgeschalteten Mazeratoren, sind hier erste Wahl, benötigen allerdings etwas mehr Strom als herkömmliche Kreiselpumpen und dürfen auch nicht trocken laufen. Die Dichtungen von Drehkolbenpumpen verschleifen relativ stark und sind auf die Substrate auszulegen. Zu Erwähnen ist in diesem Zusammenhang die Drehkolbenpumpe der Firma Börger, bei der sich spezielle Nuten auf den Kolben immer wieder neu mit Pflanzenfasern zu-setzen und so eine verschleißfreie Dichtung bilden, welche sich immer wieder von selbst erneuert.

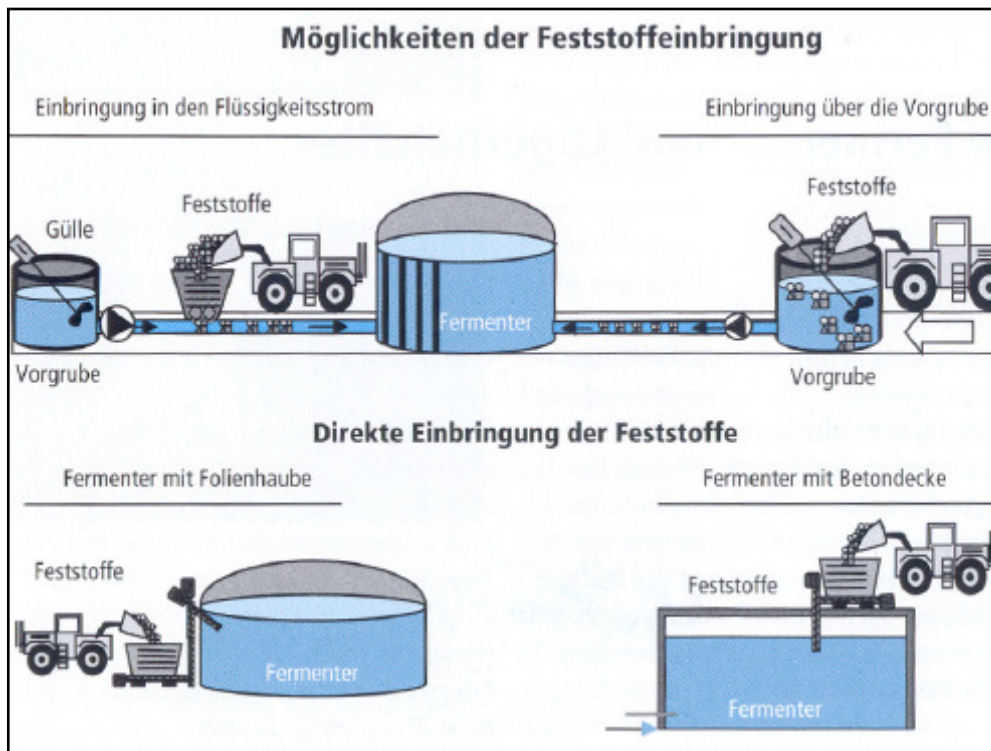


Abbildung 21: Übersicht über die verschiedenen Einbringtechniken (EDER & SCHULZ 2007)

Das Substrat kann auch durch Zugabe zu einem Flüssigkeitsstrom, z. B. aus einer Vorgrube oder Rezirkulat indirekt in den Fermenter eingebracht werden. Auch hier darf ein gewisser Trockensubstanzgehalt (12%) nicht überschritten werden, um das Substrat pumpen zu können. Anbieter dieser Technik sind u.a. die Firmen Vogelsang und Börger.

Bei der direkten Zugabe des Substrates in den Fermenter können auch Substrate mit höheren Trockensubstanzgehalten und faserigen Bestandteilen in den Gärraum eingebracht werden. Diese Methode ist eine Weiterentwicklung von aus der Rinderzucht bewährten Futtermischern. Hierbei wird das Substrat in einen Vorlagenbehälter gegeben und mit einer Förderschnecke in den Gärraum eingebracht. Das Substrat wird durch Förderschnecken zugleich zerkleinert und durchmischt und ist somit für die Mikroorganismen leichter zugänglich. Hersteller dieser Technik sind z. B. die Firma Agrikomp („Vielfrass“) oder Stelzenberger. Mit dieser Technik können faserige Substrate mit Faserlängen bis zu 10 cm in den Fermenter eingebracht werden (PlanET 2009). Nachteilig sind hier die etwas erhöhten Betriebskosten, vor allem beim Stromverbrauch, zu nennen.

Eine weitere Möglichkeit der direkten Zugabe ist das Einpressen des Substrates mit hydraulischen Kolben. Das Substrat wird hierbei in einen Vorlagenbehälter gegeben, durch Schnecken durchmischt und zerkleinert und anschließend mittels einem hydraulisch betätigten Kolben in den Fermenter eingepresst. Mit dieser Technologie können auch Substrate mit hohen Trockensubstanzgehalten und langen Fasern in den Gärraum eingebracht werden. Hersteller dieser Technologie sind beispielsweise die Firmen Schauer und Planet. Die Firma Planet Biogas gibt für ihren „Feststoffwolf“ an (vgl. Abbildung 22), dass Substrate mit bis zu 30 cm langen Fasern in den Fermenter eingebracht werden können (PlanET 2009).

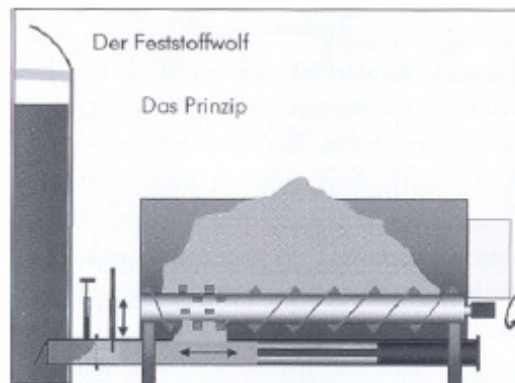


Abbildung 22: Feststoffwolf der Firma PlanET Biogas (EDER & SCHULZ 2007)

Besteht das Substratspektrum überwiegend aus festen nicht pumpfähigen Substraten ohne Faseranteil, können diese mittels Schubböden direkt in den Fermenter eingebracht werden. Die Substrate werden durch den Schubboden zu einer Förderschnecke transportiert und von dort in den Fermenter gegeben. Diese Methode ist in Abfallverbrennungsanlagen weit verbreitet und relativ verschleißarm. Anbieter dieser Technologie ist z. B. die Günter Schmithing GmbH.

Oben aufgeführte Beschickungstechnologien werden hauptsächlich bei der kontinuierlichen Nassvergärung bzw. zum Teil auch bei der kontinuierlichen Trockenfermentation eingesetzt, die Beschickung diskontinuierlicher Trockenfermenter erfolgt in der Regel mit handelsüblichen Radladern.

2.2.6.1.4 Substrataufbereitung

Die optimale Ausnutzung der in den Pflanzen hauptsächlich in Form von Fetten, Proteinen und Zuckern gespeicherten Energie ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht von höchster Wichtigkeit. Besteht das Substrat zu größeren Teilen aus schwer hydrolysierbaren (faserreichen) Bestandteilen, kann durch eine vorgeschaltete Aufbereitung des Substrates der spezifische Abbau gesteigert und darüber hinaus eine Steigerung der Geschwindigkeit des Abbaus erreicht werden, was sich in verkürzten Verweilzeiten des Substrates im Fermenter bemerkbar macht. Dadurch kann bei gleicher Gasproduktion der Gärraum und die benötigte Menge an Substrat verkleinert werden. Derzeit werden verschiedene Ansätze zur Substrataufbereitung verfolgt, welche sich vorwiegend bei der Nassvergärung einsetzen lassen.

2.2.6.1.5 Hydrolyse

Eine dem Fermenter vorgeschaltete Hydrolyse bewirkt eine Trennung des anaeroben Abbaus in zwei Stufen (sog. Zweiphasiges Verfahren). Die hydrolytischen Bakterien haben ein höheres Temperatur- und niedrigeres pH-Wert-Optimum, so dass durch Hydrolyse in einem vorgeschalteten separaten Behälter die Bedingungen für die hydrolytischen Bakterien verbessert werden können. Dadurch kann ein besserer Aufschluss der Substratbestandteile erreicht werden, darüber hinaus können Schwimmschichten reduziert werden. Die Hydrolyseeinheit besteht aus einem kleinen Behälter mit einer Substratverweildauer von etwa 2-4 Tagen. Durch das Anmischen der Feststoffe in der Hydrolyseeinheit wird zugleich die Pumpfähigkeit der Substrate verbessert. Die Nutzung schwer abbaubarer Substrate (faserreicher Biomassen) als Teil eines Substratspektrums wird dadurch ermöglicht. Bei der Vergärung von leicht abbaubaren Substraten wie z. B. Getreidekörnern ohne Zugabe ausreichend puffernder Stoffe (Gülle) kann durch eine Vorhydrolyse eine erhöhte Betriebssicherheit

(Vermeidung von Übersäuerung) gewährleistet werden. Methanemissionen aufgrund einer Biogasbildung in der hydrolytischen Vorstufe sind nicht zu befürchten, da die dort herrschenden Bedingungen für methanogene Bakterien lebensfeindlich sind. Durch Entweichen großer Mengen an Kohlendioxid entstehen darüber hinaus höhere Methangehalte im Biogas. Da bei der hydrolytischen Vorstufe jedoch neben CO₂ auch Wasserstoff entweicht, welcher von einigen methanogenen Bakterien neben Kohlendioxid als Substrat zur Synthese des Methans benötigt wird, kann der spezifische Methanertrag der als Substrat eingesetzten Biomassen deutlich niedriger sein als bei Anlagen ohne vorgeschaltete Hydrolyse (PREIBLER 2008). Darüber hinaus wird der Investitionsbedarf durch einen zusätzlichen Fermenter inklusive Rühr- und Pumpentechnik erhöht. Herstellerangaben bezüglich der „Verbesserung“ des Gaseintrages durch vorgeschaltete Hydrolyseeinheiten sollten daher kritisch geprüft werden. Anbieter dieser Technologie versprechen Gaserträge von bis zu 30 % über den vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) angesetzten Durchschnittswerten (vgl. Tabelle 4), wobei anzumerken ist, dass die KTBL-Werte generell sehr niedrig angesetzt sind. Gut geführte Biogasanlagen ohne Hydrolysestufe können auch Gaserträge in dieser Größenordnung erzielen. Nach VDI (2007) ist eine Vorhydrolyse bei der Vergärung von Gras- und Maissilagen nicht nötig.

2.2.6.1.6 Mechanische/Physikalische Substrataufbereitung

Bei der Substrataufbereitung mit mechanischen oder physikalischen Methoden wird die biologische Verfügbarkeit der (Pflanzen-) Inhaltsstoffe durch einen Aufschluss von Feststoffen oder Agglomeraten bewirkt. Zum Einsatz kommen bei der mechanischen Substrataufbereitung dabei vorwiegend Hammermühlen oder Extruder, welche eine Vergrößerung der Oberfläche der Nährstoffe bewirkt. Durch die Homogenisierung des Substrates wird neben der Oberflächenvergrößerung, welche einen besseren biologischen Aufschluss und damit höhere spezifische Gaserträge und kürzere Verweilzeiten ermöglicht, eine bessere Pumpfähigkeit und somit eine Entlastung der Pump- und Rührwerkstechnik gewährleistet. Hammermühlen sind mittlerweile bei der (Co-) Vergärung von Feststoffen in Nassfermentern bewährt und Stand der Technik.

Physikalisch kann das Substrat durch Ultraschall aufgeschlossen werden. Die Zellen der Biomasse werden dabei zerstört und die Zellinhaltsstoffe für die am Biogasprozess beteiligten Mikroorganismen besser verfügbar. Dadurch wird die spezifische Gasausbeute der Substrate erhöht. Diese innovative Methode ist noch nicht weit verbreitet, hat sich aber in den Anlagen, in denen sie eingesetzt wird, bewährt. Hersteller ist z. B. die Firma Sonotronic.

2.2.6.1.7 Enzymatische Substrataufbereitung

Eine weitere Möglichkeit der Erhöhung des spezifischen Gasertrages eines Substrates ist die Zugabe von hydrolisierenden Enzymgemischen. Diese Enzymgemische, bestehend in der Regel hauptsächlich aus Cellulasen, spalten für die Mikroorganismen schwer abbaubare Substratbestandteile in leichter verdaubare Produkte und unterstützen so die hydrolytisch aktiven Bakterien. Die Polysaccharide Cellulose und Hemicellulose werden in leicht für die Mikroorganismen verfügbare Oligo- bzw. Monomere wie Glucose gespalten. Die Enzymprodukte sind überwiegend bei stark faserhaltigen Substraten wie Gras(-silagen) wirksam. Mais z. B. enthält zum großen Teil leicht für Mikroorganismen verwertbare Stärke, welche nicht durch zusätzliche Gaben von Enzymen aufgeschlossen werden muss. Durch die relative große Zuckerfreisetzung kann es jedoch leicht zu einer Überfrachtung der Mikroorganismen mit Nährstoffen kommen, was sich in niedrigeren Gaserträgen und im Extremfall Übersäuerung und Zusammenbrechen der Gasproduktion bemerkbar machen kann.

Außerdem sind solche Enzympräparate in der Regel sehr teuer, so dass aus den genannten Gründen ein Einsatz genau überdacht werden muss.

2.2.6.1.8 Substratlagerung

Der Lagerung der Substrate kommt eine entscheidende Bedeutung zur Erzielung höherer spezifischer Gasausbeuten zu. Der Erhalt der in Pflanzen gespeicherten Energie ist dabei, neben Vermeidung von Geruchsemissionen, oberstes Ziel bei der Lagerung der Substrate. Biogassubstrate mit hohem Feuchtegehalt, wie z. B. Pflanzenschnitt oder Feuchtgetreide, gehen sehr schnell in Fäulnis über und verlieren an Energie.

Die Silierung von Pflanzenmaterial ist eine Methode, um dem Verderben und Energieverlusten von Pflanzen bzw. Pflanzenteilen vorzubeugen. Die Pflanzen werden dazu unter Luftabschluss einer Milchsäuregärung unterzogen, wobei der pH-Wert auf 3,5 bis 4,5 absinkt. Durch das Absinken des pH-Wertes werden andere Bakterien, Hefen und Schimmelpilze am Wachstum gehindert. Die in den Pflanzen vorhandenen Zucker werden bei der Silierung hauptsächlich zu Milchsäure und kleinen Anteilen Essigsäure umgewandelt.

Wichtig bei der Herstellung von Silagen ist neben der raschen Weiterverarbeitung nach der Pflanzenernte die Struktur, Zusammensetzung und der TS-Gehalt. Bei zu hohem Anteil an puffernden Substanzen wie Proteinen, Ammoniak oder Aschebestandteilen wird die Säuerung der Silage verzögert, so dass schädliche Mikroorganismen gedeihen können. Ein Häckseln der Pflanzen bereits während der Ernte auf Längen zwischen 3 und 5 cm erlaubt eine gute Verdichtung der Silagen und damit wenig Lufteinschluss.

Es gibt drei Möglichkeiten der Silogestaltung. Bei der Lagerung im Hochsilo wird ein Hohlkörper von oben mit den gehäckselten Pflanzenteilen beschickt und am unteren Ende wird die Silage entnommen. Nachteilig wirken sich hier höhere Investitionskosten und eine umständliche Beschickung und Entnahme aus. Daher ist die Verbreitung dieser Silos eher gering.

Weit verbreitet sind dagegen Fahrsilos. Bei diesen Silos wird das Pflanzenmaterial mit Traktoren und Siloverteilern verdichtet. Eine seitliche Begrenzung der Silos kann mit Wänden erfolgen. Die luftdichte Abdeckung kann entweder durch Folien oder durch Einsaat von Roggen als Ersatz für die Folienabdeckung erfolgen. Die Einsaat von Roggen ist aber nur bei größeren Silos als Alternative zu sehen, da es im oberen Bereich des Silos zu höheren Verlusten kommen kann (EDER & SCHULZ 2007). Die Ersparnis an Arbeitszeit und Materialeinsatz muss daher genau mit den zu erwartenden Verlusten abgeschätzt werden. Problematisch gestaltet sich bei Silagen das Öffnen und Anstechen der Silos, da ab diesem Zeitpunkt die Silage mit Luft in Berührung kommt und so unerwünschte Mikroorganismen wachsen können. Durch optimale Gestaltung der Silos kann jedoch die mit Luft in Kontakt kommende Anschnittfläche klein gehalten werden. Problematisch bei Fahrsilos ist neben dem Luftabschluss durch Folien, dass das Silo beim Einsilieren relativ zügig mit Pflanzenmaterial gefüllt werden muss. Bei einem zeitlich versetzten Anfallen der Silierpflanzen müssen daher mehrere kleine Silos nacheinander befüllt und verschlossen werden. Grobstrukturierte Pflanzen können aufgrund mangelhafter Verdichtungsmöglichkeit nicht siliert werden. Nach Öffnen des Silos muss stetig Silage entnommen werden, damit an der geöffneten Stelle kein Fäulnisprozess einsetzen kann.

Eine weitere Möglichkeit ist die Ballensilierung. Dabei wird direkt bei der Ernte das Pflanzenmaterial verdichtet und mit einem Ballenwickelgerät in Folie eingewickelt. Der Transport der Silageballen wird dadurch leicht möglich. Durch Öffnen nur einzelner Ballen kann die Silage nach Bedarf verwendet werden. Nachteilig bei diesem Verfahren sind die deutlich höheren Kosten als beim Fahrsilo, die aufwendigere Entnahme der Silage und der größere Bedarf an Lagerflächen.

Steht als Substrat Mist zur Verfügung, so sollte dieser in Boxen aufbewahrt werden. Bei Hühnermist sind Vorkehrungen gegen Geruchbelästigungen zu treffen (VDI 2007)

Flüssige Substrate wie Rinder- oder Schweinegülle werden in Tanks gelagert. Problematisch ist, dass flüssige Wirtschaftsdünger bei der Einlagerung an Gaspotential verlieren können und es zu Ammoniak- und Methanemissionen kommen kann. Diese Substrate sind schnellstmöglich der Vergärung zuzuführen (VDI 2007).

2.2.6.1.9 Biogasaufbereitung

Um das Biogas in Erdgasnetze einspeisen zu können bzw. in Tankstellen als Treibstoff für erdgasbetriebene Kraftfahrzeuge zur Verfügung stellen zu können, ist eine Aufreinigung auf Erdgasqualität notwendig. Die zu erreichende Qualität kann einschlägigen Normen (u. a. DVGW G 260/ G 262/ DIN EN ISO 15403) entnommen werden und wird hier nicht näher erläutert.

Durchzuführende Aufbereitungsschritte sind Entfeuchtung, Entschwefelung und CO₂-Abtrennung sowie bei Einspeisung in Erdgasnetze gegebenenfalls Sauerstoffabtrennung.

Entfeuchtung

Die Entfeuchtung von Biogas erfolgt hauptsächlich durch Kondensationsverfahren sowie durch adsorptive Gastrocknungsverfahren.

Bei Entfeuchtung des Biogases im Kondensationsverfahren wird die Feuchte des Biogases durch Abkühlen des Gases abgeschieden. Durch Herabsetzen der Gastemperatur auf 3 bis 5°C lässt sich so der Wasserdampfanteil in Biogas auf unter 0,15 Volumen-Prozent Wasserdampf absenken. Durch Verdichtung des Biogases vor der Entfeuchtung lässt sich der Wasserdampfanteil noch weiter reduzieren. Die zur Kondensation erforderliche Kälte wird durch kaltes Wasser bereitgestellt, so dass Kondensationstemperaturen unter 0°C zwar technisch möglich sind, aufgrund von Betriebsausfällen durch Einfrieren von Komponenten sich aber nicht technisch bewährt haben. Diese Methode wird bei Nutzung des Gases in BHKWs angewandt und ist Stand der Technik und erprobt. Der Trocknungsgrad ist ausreichend für weitere Aufbereitungsschritte. Bei beabsichtigter Einspeisung des Gases in Gasnetze ist diese Trocknung allerdings nicht ausreichend.

Die noch vorhandene Restfeuchte des Biogases nach Kondensationstrocknung wird durch adsorptive Gastrocknungsverfahren entfernt. Dabei durchströmt das vorgetrocknete Biogas in Kolonnen befindliche Festbettadsorber (Molekularsiebe). Das Gas wird bei Umgebungstemperatur mit einem Druck von 6-10 bar in den Adsorber gepresst, der Flüssigkeitsanteil wird vom Molekularsieb gebunden. Nach Sättigung des Molekularsiebes mit Feuchtigkeit erfolgt eine regenerative Phase (Desorption). Bei kontinuierlichem Betrieb sind daher zwei Adsorber nötig.

Bei diesem Aufreinigungsschritt kann das Gas äquivalent eines Taupunktes von -110°C entfeuchtet werden.

Entschwefelung

Bei den Verfahren zur Entschwefelung des Biogases kann in eine grobe und in eine feine Entschwefelung unterschieden werden.

Verfahren zur Grobentschwefelung sind sowohl die Sulfidfällung als auch biologische Entschwefelung mittels Biowäschern.

Bei der Sulfidfällung wird der Gehalt von Schwefelwasserstoff in der flüssigen Phase und indirekt damit auch in der gasförmigen Phase reduziert. Dazu werden Eisen-Verbindungen wie Eisenchlorid oder Eisensulfat (fest oder flüssig) direkt in den Fermenter oder in den Vorlagenbehälter gegeben. Durch eine Reaktion fällt sowohl

Eisensulfid als auch elementarer Schwefel aus, welcher mit dem Gärrest aus dem Fermenter ausgebracht werden kann. Problematisch sind hierbei die richtige Dosierung der Eisenverbindungen sowie hohe Kosten dieser Methode. Vorteilhaft ist allerdings die Tatsache, dass keine Luft, wie bei anderen Verfahren, in das Biogas eingetragen wird, welche nachher aufwendig entfernt werden muss.

Eine weitere Methode der Grobentschwefelung ist der biologische Abbau mit sog. Biowäschern. Bei diesem Verfahren durchströmt das Biogas einen Gegenstromabsorber, in welchem das H_2S durch alkalisches Wasser absorbiert wird. Das mit H_2S beladene Waschwasser wird in einen externen Bioreaktor befördert und hier unter Luftzugabe von Schwefelbakterien aufgereinigt und erneut unter Zugabe von Natronlauge dem Gegenstromabsorber zugeführt. Dieses in der Abwasserreinigung etablierte Verfahren entschwefelt das Biogas zuverlässig und kann, als zweistufiges Verfahren, auch zur Feinentschwefelung eingesetzt werden. Allerdings ist der apparative Aufwand solcher Entschwefelungsanlagen und damit der Preis relativ hoch, so dass der Einsatz von Biogaswäschern überdurchschnittlich großen Biogasanlagen bzw. Anlagen mit hohem H_2S -Anteil im Biogas vorbehalten ist. Die Kosten für die Grobentschwefelung mit Biowäschern sind bei einer Gülleanlage (90 % Gülle; 10 % NaWaRo) ab einer Biogasproduktion von etwa 200 Nm^3/h geringer als mit Sulfidfällung (Annahme: Schwefelgehalt 2.000 ppm). Bei NaWaRo-Anlagen mit 90 % NaWaRo und 10 % Gülle ist die Aufreinigung mit Biogaswäschern ab etwa 1.000 Nm^3 Biogas pro Stunde wirtschaftlicher (500 ppm H_2S) (URBAN et al. 2009).

Die Feinentschwefelung des Biogases erfolgt durch mit Katalysatoren imprägnierte Aktivkohlen. Als Katalysatoren werden Kaliumjodid oder Kaliumcarbonat eingesetzt. Die beladene Aktivkohle wird ausgetauscht und thermisch verwertet oder mit Heißgas regeneriert (Kaliumjodid). Die mit Kaliumkarbonat versehenen Aktivkohlen können mit Wasser und anschließender Nachimprägnierung regeneriert werden. Beide Verfahren eignen sich nicht für luftfreie Biogase sowie, aufgrund der hohen Kosten, zur Grobentschwefelung.

Die Feinentschwefelung von luftfreiem Biogas kann mit dotierten Aktivkohlen erfolgen. Die Adsorptionsfähigkeit dieser Aktivkohlen ist merkbar größer als die von imprägnierten Aktivkohlen; des Weiteren kann eine Regenerierung im laufenden Betrieb durchgeführt werden.

CO₂-Abtrennung/ Methan-Aufkonzentrierung

Die Abtrennung des Kohlendioxids aus dem Biogas und die damit verbundene Aufkonzentrierung des Methangehaltes im Biogas kann durch Druckwasserwäsche (DWW), Druckwechseladsorption (PSA), Chemische Wäsche (Aminwäsche), Membran-Trennverfahren oder Gasverflüssigung erfolgen. Die Verfahren Druckwasserwäsche und Druckwechseladsorption sind in Europa am meisten verbreitet und Stand der Technik. Auf die Verfahren Druckwasserwäsche, Druckwechseladsorption und Aminwäsche wird nachfolgend näher eingegangen. In Tabelle 25 sind einige Hersteller der verschiedenen Verfahren aufgeführt.

Tabelle 25: Überblick über Hersteller von CO₂-Abtrennverfahren (URBAN et al. 2009)

Verfahren	Firmen	Referenzen	Anlagengröße
PSA	Acrona (CH)	5	bis 250 Nm ³ Biogas/h
	Carbotech Engineering (D)	> 20	5 - 3.000 Nm ³ Erdgas/h
	Cirmac (NL)	mehrere	50 - 5.000 Nm ³ Erdgas/h
	Xebeg (CAN)	mehrere	100 - 10.000 Nm ³ Biogas/h
DWW	Flotech (S/NZ)	> 20	80 - 2.000 Nm ³ Biogas/h
	Malmberg (S)	> 10	bis 1.250 Nm ³ Biogas/h
	Ros Roca (D)	mehrere	k. A.
Genosorb-Wäsche	Haase Energietechnik	mehrere	100 - 1.900 Nm ³ Erdgas/h
Aminwäsche	MT-BioMethan (D)	4	250 - 2.000 Nm ³ Biogas/h
Membrantrennverfahren	Cirmac (NL)	1	75 Nm ³ Erdgas/h
	Air Liquide (F)	2	100 - 10.000 Nm ³ Biogas/h

Die Aufkonzentrierung von Biogas zu Biomethan mit Druckwechseladsorptionsverfahren beruht auf der unterschiedlichen Adsorption von Gasen an Molekularsieben oder Aktivkohle. Bei diesem diskontinuierlichen Verfahren wird das Biogas in eine Adsorberkolonne geleitet. Das CO₂ adsorbiert leichter an den Oberflächen des Molekularsiebes bzw. der Aktivkohle. Dieser Vorgang wird durch Erhöhung des Drucks gefördert, so dass PSA-Anlagen in der Praxis mit einem Druck von 8-10 bar arbeiten. Nach Sättigung des Molekularsiebes bzw. der Aktivkohle wird das Biogas in eine zweite Adsorberkolonne geleitet und die gesättigte Kolonne unter Temperaturerhöhung und Druckabsenkung regeneriert. Aus diesem Grund werden mindestens zwei Kolonnen, welche im Wechsel betrieben werden, benötigt. In der Praxis werden allerdings oft weitere Kolonnen in Reihe geschaltet, um die Reinheit des Produktgases zu erhöhen. Daher sind PSA-Anlagen mit 6 und mehr Kolonnen ausgestattet. Dieses Verfahren ist nur für kontinuierliche Gasströme mit Schwankungen von maximal 10 % geeignet.

Die Druckwasserwäsche ist das in Europa am meisten verbreitete Verfahren zur Aufbereitung von Bio- oder Klärgas zu Biomethan. Dieses kontinuierliche Verfahren beruht auf der unterschiedlichen Löslichkeit von CO₂ und Methan in Wasser. Der Gasstrom wird im Gegenstromverfahren in einer Waschkolonne dem Waschwasser zugeführt. Die Absorption der jeweiligen Gase wird vom Druck und der Temperatur beeinflusst. Der Arbeitsdruck dieser Anlagen liegt bei etwa 7 bar, die Arbeitstemperatur bei 25°C. Durch Verdichtung des Rohbiogases vor Zuführung in die Aufbereitungsanlage wird nutzbare Wärmeenergie frei, mit der z. B. der Fermenter beheizt werden kann. Nach Beladung des Gases mit Kohlendioxid wird das Waschwasser in einer Regenerationseinheit entspannt und so das Kohlendioxid wieder freigesetzt. Bei diesem Verfahren wird das Schwefelwasserstoffgas ebenfalls abgetrennt, so dass auf eine zusätzliche Entschwefelungsanlage verzichtet werden kann. Der Schwefelgehalt des Rohbiogases sollte allerdings unter 500 ppm liegen, kurzzeitige Überschreitungen dieses Wertes bis zu 2.000 ppm sind jedoch möglich. Überschreitet der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas dauerhaft die Grenze von 500 ppm, ist eine separate Entschwefelung durchzuführen, da der Anlagenverschleiß und der Wasserverbrauch ab dieser Größenordnung erheblich steigen. Vorteilhaft bei

diesem Verfahren ist die leichte Zugänglichkeit des Waschmediums (Wasser), welches auch leicht entsorgt bzw. wieder verwendet werden kann. Dieses Verfahren eignet sich auch für stark schwankende Gasströme.

Bei der Aminwäsche strömt das Rohbiogas in eine Waschkolonne. Die Kohlendioxidentfernung erfolgt im Gegenstromverfahren mit einer Aminlösung als Waschlösung. Dabei wird das CO₂ von der Aminlösung absorbiert. Der Waschvorgang erfolgt bei einer Temperatur von 40 °C. Die Regeneration (CO₂-Abscheidung) der Waschlösung erfolgt unter Energiezufuhr. Zuvor sind eine Grob- und Feinentschwefelung des Biogases sowie eine Entfeuchtung notwendig. Eine Trocknung des Biomethans nach der Aminwäsche ist ebenfalls erforderlich. Zu beachten ist, dass Amine Grundwasser gefährdend sind und demzufolge entsprechende bauliche Maßnahmen gegen eine Kontamination zu treffen sind.

Die Kosten der Anlagen der jeweiligen Hersteller sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Kostenübersicht der jeweiligen Anlagen zur Methanaufbereitung (URBAN et al. 2009)

Hersteller	Verfahren	Kosten	Anlagendurchsatz [Nm ³ Biogas/h]			Sonstiges
			250	500	1.000	
Malmberg	DWW	Investition	1.145.000 €	1.323.500 €	1.699.000 €	Gastrocknung enthalten, Abwärme nutzbar
		jährliche Kosten	229.300 €	326.500 €	523.100 €	
		pro Nm ³ Methan	21,85 ct	15,56 ct	12,46 ct	
Flotech	DWW	Investition	k.A.	k.A.	k.A.	hohe H ₂ S Konzentrationen am Eingang möglich
		jährliche Kosten	k.A.	k.A.	k.A.	
		pro Nm ³ Methan	25,17 ct	17,83 ct	15,48 ct	
Carbotech	PSA	Investition	1.407.500 €	1.840.800 €	2.925.000 €	inkl. Kältetrocknung und Feinentschwefelung
		jährliche Kosten	336.100 €	539.100 €	982.400 €	
		pro Nm ³ Methan	16,34 ct	13,11 ct	11,94 ct	
Cirmac	PSA	Investition	k.A.	1.068.600 €	k.A.	inkl. adsorptive Feinentschwefelung
		jährliche Kosten	k.A.	338.300 €	k.A.	
		pro Nm ³ Methan	k.A.	16,45 ct	k.A.	
	Aminwäsche	Investition	k.A.	996.200 €	k.A.	
		jährliche Kosten	k.A.	363.300 €	k.A.	
		pro Nm ³ Methan	k.A.	17,15 ct	k.A.	
MT-Energie	Aminwäsche	Investition	847.400 €	1.057.400 €	1.556.100 €	inkl. adsorptive Feinentschwefelung
		jährliche Kosten	206.900 €	332.900 €	570.500 €	
		pro Nm ³ Methan	19,54 ct	15,72 ct	13,47 ct	

Die Abgase der Gasaufbereitungsanlagen enthalten immer zu geringen Prozentsätzen Methan. Grundsätzlich ist zu beachten, dass je höher der Reinheitsgrad des Biomethans, mehr Methan im Abgas zu finden ist. Dieses Methan kann bei einigen Anlagen direkt zur Versorgung der Fermenter mit der nötigen Prozessenergie (Wärme, Strom) in vorhandenen BHKW genutzt werden. Ist kein BHKW vorhanden, müssen die Abgase thermisch nachbehandelt werden, um kein klimaschädliches Methan freizusetzen.

Die Kosten für die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan sind sehr hoch und dementsprechend nur bei relativ großen Anlagen ab einer Gasproduktion von 250 Nm³ Biomethan pro Stunde wirtschaftlich zu betreiben (EDER & SCHULZ 2007).

2.2.6.1.10 Technik und Beurteilung der Praktikabilität bei Nutzung schwieriger Substrate

Nach den Erhebungen über die Qualitäten des in Sachsen zu erwartende Biomasseaufkommens aus der Landschaftspflege mit hohen Anteilen an stapelbaren Substraten und einem hohen Trockensubstanzgehalt spricht für die Batch-Trockenvergärung dieser Substrate in Boxenfermentern. Zur Vergärung im Nassverfahren eignen sich nur Substrate mit einem Trockensubstanzgehalt von bis zu 20 % in der Frischmasse. Um diesen Wert zu erreichen, müsste eine unverhältnismäßig große Menge an Wasser bzw. Prozesswasser zugeführt werden.

Aufgrund des schwankenden Substrataufkommens sollte anhand des zeitlichen Anfallens der Pflanzenschnitte abgeschätzt werden, ob eine Silierung möglich ist. Der Grünschnitt aus Überschussgrünland dürfte zeitlich in einem engen Rahmen anfallen. Hier könnte die Ballensilierung die Substratproblematik etwas entzerren. Auch sollten weitere Substratquellen erschlossen werden.

2.2.6.2 Verbrennung

Für die energetische Verwertung der holzigen Biomasse oder des stark verholzten Grünschnitts aus der Landschaftspflege ist die Verbrennung am besten geeignet. Die Wahl des geeigneten Feuerungssystems hängt neben der Anlagengröße davon ab, in welcher Form (z. B. Späne, Häcksel, Pellets, Ballen) die zu verbrennenden Biomassen vorliegen. Eine Gegenüberstellung der möglichen Feuerungsarten zeigt Tabelle 27.

Tabelle 27: Feuerungsarten und deren Charakteristika (FNR 2000: 116)

Feuerungsart	Beschickung	Brennstoffe	Leistungsbereich	Wassergehalt in % der FM
Schachtfeuerungen				
Schachtfeuerung	manuell	stück. Holzreste, Scheite, Hackschnitzel	10 kW-250 kW	< 20
Vorofenfeuerung mit Rost	mechanisch	trockene Hackschnitzel, Aschegehalt bis 5 %	20 kW-1,5 MW	5-35
Unterschubfeuerung	mechanisch	Pellets und Hackschnitzel Aschegehalt bis 1 %	10 kW-2,5 MW	5-40
Vorschubrostfeuerung	mechanisch	alle Holzbrennstoffe, Aschegehalt bis 50 %	150 kW-50 MW	5-60
Stationäre Wirbelschichtfeuerung	mechanisch	Partikeldurchmesser < 90 mm	5 MW-35 MW	5-60
Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung	mechanisch	Partikeldurchmesser < 40 mm	15 MW-250 MW	5-60
Einblasfeuerung	pneumatisch	Partikeldurchmesser < 5 mm	500 kW-50 MW	meist < 20
Halmgutfeuerungen				
Ballenfeuerung mit stirnseitigem Abbrand ("Zigarrenfeuerung")	mechanisch	Halmgutballen (Hesstonballen)	> 3 MW	< 20
Ballenfeuerung mit Ballenteiler	mechanisch	Halmgutquaderballen	0,5 MW-3 MW	< 20
Ballenfeuerung mit Ballenauflöser	mechanisch	Halmgutquaderballen	> 0,5 MW	< 20
Halmguttaugliche Schüttgutfeuerungen - Schubbodenfeuerung - Vorschubrostfeuerung	mechanisch	Häckselgut, Pellets, Quaderballen	0,05 MW-3 MW 2,5 MW-> 20 MW	< 20

Im Folgenden werden die verschiedenen Biomasseformen, die sich für eine Verbrennung eignen, vorgestellt. Für die Einschätzung der potenziell produzierbaren Energie sind der Heizwert sowie der den Heizwert beeinflussende Wassergehalt von Bedeutung. „Der Heizwert (Hu, früher auch "unterer Heizwert") beschreibt die Wärmemenge, die bei der vollständigen Oxidation eines Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird. [...] Der Wasserdampf im Abgas der Verbrennung stammt aus der chemischen Oxidation des gebundenen Wasserstoffs mit Sauerstoff und vor allem aus der Verdunstung des freien Wassers im (feuchten) Brennstoff. Da für diese Verdunstung eine ebenso große Wärmemenge benötigt wird wie durch Kondensation frei werden würde, sinkt der Heizwert mit zunehmendem Wassergehalt entsprechend.“ (FNR 2000: 86). Folgende Tabelle 28 zeigt Heizwert und Wassergehalt verschiedener Biomassearten im Vergleich zu Heizöl und Steinkohle.

Tabelle 28: Wassergehalt und Heizwert verschiedener Energieträger

Energieträger	Wassergehalt	Heizwert	
		kWh/kg	MJ/kg
Holzhackschnitzel			
Nadelholz	30	3,4	12,1
Laubholz	30	3,4	17,0
Holzpellets	15	4,0	17,0
Heupellets	15	4,0	14,5
Strohballen kubisch	15	4,0	14,5
Heizöl extraleicht (HEL)		11,9	42,8
Steinkohle	6	8,3	29,9

Quelle: vgl. FNR (2000); OECHSNER & MAURER (2004); KIESEWALTER et al. (2007)

2.2.6.2.1 Spezifika der Verbrennung von Heu aus der Landschaftspflege

Während Holz einen seit langem bewährten Biobrennstoff darstellt und die Verbrennung von Stroh zwar in Deutschland kaum praktiziert wird, aber relativ gut erforscht ist und im benachbarten Ausland in großem Umfang betrieben wird, liegen zur energetischen Nutzung von Heu nur vereinzelte Untersuchungen vor. Um Rückschlüsse auf die Verbrennungseigenschaften von Heu machen zu können, wird nachfolgend die Zusammensetzung von Heu im Vergleich zu Holz und Stroh dargelegt. Die nachfolgende Tabelle 29 zeigt zunächst die Relevanz der Inhaltsstoffe für den Verbrennungsprozess.

Tabelle 29: Qualitätsmerkmale & Auswirkungen

Qualitätsmerkmal	Wichtigste Auswirkung
Chemisch-stoffliche Merkmale:	
Wassergehalt	Lagerfähigkeit, Heizwert, Verluste, Selbstentzündung
Heizwert	Brennstoffausnutzung, Anlagenauslegung
Elementgehalte:	
Cl	HCl-, Dioxin/Furanemissionen, Hochtemperaturkorrosion
N	NO _x -, HCN- und N ₂ O-Emissionen
S	SO _x -Emissionen
K	Hochtemperaturkorrosion, Ascheerweichungsverhalten
Mg, Ca, P	Ascheerweichungsverhalten, Ascheeinbindung von Schadstoffen, Aschverwertung
Schwermetalle	Schadstoffemissionen, Ascheverwertung
Aschegehalt	Partikelemission, Rückstandsverwertung

Qualitätsmerkmal	Wichtigste Auswirkung
Chemisch-stoffliche Merkmale:	
Ascheerweichungspunkt	Anlagenbetriebssicherheit, Niveau des Schadstoffausstoßes
Pilzsporen	Gesundheitsrisiken
Physikalische Merkmale:	
Lagerungsdichte	Transport- und Lageraufwendungen, Logistikplanung
Teilchendichte	Feuerungseigenschaften (spezifische Wärmeleitfähigkeit, Entgasungsrate)
Größenverteilung	Rieselfähigkeit, Brückenbildungsneigung, Trocknungseigenschaften, Staubbildung
Feinanteil	Lagerdichte, Lagerfähigkeit, Staubbildung
Abriebfestigkeit	Entmischung, Verluste

Quelle: KALTSCHMITT ET AL. 2002

Zur Erzielung einer optimalen Energieausbeute müssen Qualität und Technik aufeinander abgestimmt werden. Zur Erhöhung der Brennstoffqualität sind Mahdzeitpunkte, Trocknung des Materials oder technische Verfahren eventuell anzupassen. Dies verdeutlicht das Beispiel des Rohrglanzgrases, das aufgrund seiner hohen Standfestigkeit im Winter geerntet werden kann, wenn die Triebe stark abgetrocknet sind. Der Wassergehalt in der Rohrglanzgrasbiomasse sinkt von 65 % im August auf 15 % bei der Ernte im Frühjahr (FNR 2000). Dies gilt auch für Heu von Flächen mit Spätschnittnutzung, die besonders rohfaserreich sind, und sich deshalb als Festbrennstoff eignen (RÖSCH et al. 2007).

Chemisch-stoffliche Merkmale des Brennstoffs Heu

Wassergehalt & Heizwert: Der Wassergehalt beschreibt das in der feuchten Biomasse befindliche Wasser. „Der Wassergehalt ist die wesentliche Einflussgröße, die den Heizwert biogener Festbrennstoffe bestimmt. Da wasserfreie Biomasse in der Natur praktisch nicht vorkommt, müssen stets mehr oder weniger große Mengen Feuchtigkeit während der Verbrennung verdunsten. Die hierfür benötigte Wärme wird der dabei freigesetzten Energie entnommen und mindert dadurch die Nettoenergieausbeute, wenn – und das ist der Regelfall – keine Rückkondensation des entstandenen Wasserdampfes im Abgas durch eine Abgaskondensationsanlage realisiert wird (FNR 2000: 85).“ Zum Zeitpunkt des höchsten Biomasseaufwuchses in der Blüte beträgt der Wassergehalt bei Gräsern zwischen 65 und 80 % (Landschaftspflege-Halmgüter zw. 45 bis 70 %), der durch eine Feldtrocknung reduziert werden muss (ebd.). Da halmgutartige Biomasse nur lagerfähig ab einem Wassergehalt von weniger als 20 % ist, unterliegt der Heizwert im Gegensatz zu Holz nur geringen Schwankungen (FNR 2001). Der Heizwert von Heu liegt bei ca. 4 MWh/t (siehe oben).

Elementarzusammensetzung: Bei der Elementarzusammensetzung wird zwischen Hauptelementen, emissionsrelevanten Elementen und Spurenelementen unterschieden.

- **Hauptelemente:** „Feste pflanzliche Biomasse besteht im Wesentlichen aus Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Die Komponente biogener Festbrennstoffe, durch deren Oxidation die freigesetzte Energie weitgehend bestimmt wird, ist der Kohlenstoff. Daneben liefert der Wasserstoff bei der Oxidation ebenfalls Energiemengen und bestimmt somit gemeinsam mit dem Kohlenstoff den Heizwert des trockenen Brennstoffes. Der Sauerstoff unterstützt dagegen lediglich den Oxidationsvorgang. Mit 47 bis 50 % in der Trockenmasse (TM) haben Holzbrennstoffe den höchsten Kohlenstoffgehalt, während die Mehrzahl der Nicht-Holz-Brennstoffe meist einen C-Gehalt von rund 45 % aufweist. Der Sauerstoffgehalt liegt zwischen 40 und 45 % in der TM und der des Wasserstoffs zwischen 5 und 7 % (FNR 2000: 83).“

- **Emissionsrelevante Elemente:** „Zu den Elementen mit Auswirkung auf den Schadstoffausstoß bei der Verbrennung zählen vor allem der Schwefel-, Stickstoff- und Chlorgehalt sowie der Aschegehalt. Bei diesen Inhaltsstoffen gilt allgemein, dass steigende Gehalte im Brennstoff mit einer Zunahme an Schadstoffen im Abgas verbunden sind. [...] Stickstoff wirkt sich direkt auf die Stickstoffoxid(NO_x)-Bildung aus, da er bei der Verbrennung nahezu vollständig in die Gasphase übergeht und sich deshalb nicht in der Asche wieder findet. Der Schwefelgehalt (S) biogener Festbrennstoffe ist im Vergleich zu Kohlebrennstoffen relativ gering. [...] Bei der Verbrennung bestimmt der Schwefelgehalt primär die Schwefeldioxid (SO₂)-Emission. Ein großer Teil des Schwefelgehaltes im Brennstoff (ca. 40 bis 90 %) wird – je nach Abscheidegrad der Entstaubungseinrichtungen – in die Asche eingebunden. Auch Chlor (Cl) ist ein bedeutender Begleitstoff in Düngemitteln und kommt daher in Biomassen aus gedüngten Feldkulturen in deutlich höheren Anteilen vor als im Holz [...]. Die Gehaltsschwankungen sind auf Grund der hohen Mobilität des Chlors allerdings sehr hoch; es kann durch Niederschläge während der Bodentrocknung von Stroh oder Gras leicht ausgewaschen werden. Aus verbrennungstechnischer Sicht ist ausgewaschenes "graues" Stroh gegenüber frischem "gelbem" Stroh zu bevorzugen. Die Bedeutung des Chlors beruht auf dessen Beteiligung an der Bildung von Chlorwasserstoff (HCl) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F). Trotz relativ hoher Chloreinbindungsraten in der Asche von 40 bis 95 % können beispielsweise die HCl-Emissionen bei bestimmten chlorreichen Brennstoffen (z. B. Getreidestroh) problematisch werden. Zusätzlich wirkt Chlor im Zusammenspiel mit anderen Elementen korrosiv (FNR 2000: 84).“
- **Spurenelemente (Schwermetalle):** „Zu den Spurenelementen zählen alle verbleibenden Elemente, bei denen es sich in der Mehrzahl um Schwermetalle handelt. Sie bestimmen vor allem die Eigenschaften der bei der Verbrennung anfallenden Aschen. [...] Die Schwermetallgehalte stellen ein wesentliches Merkmal für die Unterscheidung zwischen naturbelassenen und nicht-naturbelassenen Brennstoffen dar. Einige Schwermetalle werden daher auch als Indikatoren für eine nicht-naturbelassene Brennstoffherkunft verwendet. Beispielsweise lassen sich mit Hilfe von Schnelltestverfahren für Zink, Blei und Chlor in der Asche von Kleinfeuerungsanlagen Anhaltspunkte für eine Verwendung belasteter Brennstoffe ableiten (ebd.).“

Da sich mit zunehmender Abreife der Gräser ihr Stickstoffgehalt verringert und der Rohfaser- und Trockensubstanzgehalt erhöht, ist ein möglichst später Schnitt anzustreben, wobei es aber nicht zum Lagern des Bestandes oder zum Ausfallen der Samen kommen darf. Durch Niederschläge, die nach dem Schnitt während der Bodentrocknung auftreten, können die Brennstoffeigenschaften deutlich verbessert werden (Auswaschung von Chlor und Kalium, Erhöhung des Ascheerweichungspunktes), allerdings ist auch mit erhöhten Masseverlusten zu rechnen (FNR 2000: 68).“ Bezüglich der erwähnten Chlorkorrosion bestehen schon genügend Erfahrungen, um diese zu vermeiden. Kesselkorrosion aufgrund des Chlorgehaltes konnten bisher nur vereinzelt festgestellt werden und werden als beherrschbar eingeschätzt (MAURER & OECHSNER 2004).

Die Elementarzusammensetzung der Biomasse ist vor allem in Hinblick auf die Zulassung gemäß Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) wichtig. In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft, 01. Oktober 2002) werden Gräser aufgrund der ähnlichen Brennstoffbeschaffenheit wie Stroh behandelt. In folgender Tabelle sind die Grenzwerte für Halmgutfeuerungsanlagen nach der TA-Luft zusammengestellt.

Tabelle 30: Emissionsanforderungen der TA-Luft 2002 an Halmgutfeuerungsanlagen

Brennstoff	Stroh und strohähnliche pflanzliche Stoffe
O ₂ -Bezug	11 %
Gesamtstaub	1 – 50 MW: 20 mg/m ³
CO	0,25 g/m ³
NO _x	1 – 50 MW: 0,4 mg/m ³
Organische Stoffe	50 mg/m ³ (Gesamt-C)
SO _x	0,35 g/m ³ (allg. Anf.)
HCl	30 mg/m ³ (allg. Anf.)
Cl	3 mg/m ³
Dioxine (PCDD/F)	0,1 ng/m ³ Minimierungsgebot
Kontinuierliche Messung	5 – 25 MW: Staub (qualitativ) > 25 MW: Staub (quantitativ)

Quelle: MAURER, OECHSNER 2004, verändert

Die Ergebnisse der Verbrennungsrechnung (Tabelle 31 & Tabelle 32) zeigen, dass die in der TA-Luft 2002 geforderten Emissionsgrenzwerte bei der Verbrennung von Heu nicht eingehalten werden können. Deshalb ist eine Rauchgasreinigung, bei der ein Teil der zunächst gasförmigen Verbrennungsprodukte in der Asche und im Flugstaub angelagert werden, notwendig. Stickoxide können durch feuerungstechnische Maßnahmen (gute Verbrennungsführung) vermindert werden. Die geforderten Grenzwerte für Staub und Chlor sowie die Verminderung des SO₂-Gehalts, können durch einen Gewebefilter in Verbindung mit einer Eindüsung von Kalkhydrat (Trockensorption) deutlich unterschritten werden (Maurer, Oechsner 2004).

Tabelle 31: Analysenwerte für Heu (erstmalig geschnitten nach Blüte bis überständig) (in %):

Trockensubstanz in 1 kg Futtermittel	Asche	H ₂ O	C	O	H	N	S	K	Mg	Cl
85	5,6	15	40	32	5,5	0,9	0,1	0,3	0,2	0,4

Quelle: MAURER & OECHSNER 2004

Tabelle 32: Konzentrationen in den Verbrennungsgasen (Bezugssauerstoff von 11 %, trockenes Rauchgas, in mg/m³n; Anlagen 1-50 MW):

	CO ₂	S ₂ O	NO _x	CO	HCl	Staub
Heu	180.000	246	280	50	506	38.500
TA-Luft 2002	-	350	400	250	30	20

Quelle: MAURER & OECHSNER 2004

Asche: Der Aschegehalt von Festbrennstoffen hat Auswirkungen auf die Schadstoffemissionen und auf die technische Auslegung einer Feuerungsanlage. Die Bestandteile der Asche sind v. a.: Kalzium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Phosphor (P) und Natrium (Na). Bestandteile und Eigenschaft der Asche sind für die anschließende umweltverträgliche Verwertung von Bedeutung, da die Wiedereingliederung der Asche; z. B. als Beimischung zu organischmineralischen Düngemitteln; in den natürlichen Wachstumsprozess und Mineralkreislauf angestrebt wird (FNR 2000).

Die Aschezusammensetzung und somit v. a. der Brennstoff beeinflusst das Erweichungsverhalten von Biomasseaschen. „Je niedriger der Ascherweichungspunkt eines Festbrennstoffes bzw. des darin enthaltenen Ascheanteils liegt, desto früher beginnt bei gleicher Feuerraumtemperatur die Agglomeration und Schlackenbildung [...] (IE 2005: 9).“ Durch Niederschläge während der Feldtrocknung wird eine Verbesserung der Brennstoffeigenschaften erzielt, da Auswaschungseffekte zu einem sinkenden Gehalt an kritischen Elementen (z. B. Chlor, Kalium) und damit zu einem Anstieg der Ascheerweichungstemperaturen führen (FNR 2000).

Tabelle 33 zeigt, dass im Vergleich zu Holz der Aschegehalt von Heu höher, die Ascheerweichungstemperatur (aufgrund des hohen Kaliumsgehalts in Heu und Stroh) niedriger ist (Rösch et al. 2007). Durch das Verkleben oder „Versintern“ der Aschepartikel kommt es zu Anbackungen z. B. im Feuerraum oder am Rost, die u. a. zu Betriebsunterbrechungen, Veränderungen bei der Verbrennungsluftzufuhr oder zu vermehrter Hochtemperaturkorrosion führen können (FNR 2000). Die Rauchzugrohre müssen demnach in kürzeren Zeitabständen von 3 bis 4 Wochen gereinigt werden. Es ist auch möglich in den Wärmetauscher „Reinigungstechniken“ (meist Spiralschnecken) fest einzubauen (MAURER & OECHSNER 2004).

Tabelle 33: Aschegehalt & Erweichungspunkt naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen

Brennstoff/Biomasse	Aschegehalt %	Erweichungspunkt der Asche °C
Pappelholz (Kurzumtrieb)	1,8	1.335
Fichtenholz (mit Rinde)	0,6	1.426
Roggenstroh	4,8	1.002
Weizenstroh	4,8	998
Landschaftspflegeheu	5,7	1.061
Weidelgras	8,8	k. A.

Quelle: FNR 2000, verändert

Physikalisch-mechanische Merkmale

Die physikalischen Eigenschaften des Brennstoffs werden vor allem durch die Biomassebereitstellung (Ernte- und Aufbreitung) ausgeprägt. Bezüglich der Nutzung von Heu ist hierbei vor allem die Lagerdichte (Stapeldichte) von Bedeutung.

Mit der Lagerdichte wird insbesondere das erforderliche Lager- und Transportvolumen der Brennstoffe (Schüttdichte bzw. Stapeldichte bei nichtschüttfähigen Brennstoffen) bestimmt. Quaderballen aus Heu weisen eine Stapeldichte von 160 kg/m³ (Stroh, Miscanthus 140 kg/m³) (FNR 2000). „Da biogene Festbrennstoffe im Vergleich zu fossilen Energieträgern eine geringe Roh- bzw. Lagerdichte aufweisen, spielt für den logistischen Aufwand zusätzlich die Energiedichte (d. h. Energiegehalt pro Volumen in Abhängigkeit von der Rohdichte) eine entscheidende Rolle, welche ein Maß für das letztlich bereitzustellende Brennstoffvolumen darstellt (IE 2005: 11).“ Die Energiedichte für Strohballen wird auf 560 kWh/m³ beziffert (ebd.).

Bezüglich Erzielung höherer Lager- und Energiedichten bei Heuballen, ist vor allem das Pressen der Ballen zu optimieren. So muss beispielsweise das Ernteverfahren auf die Quaderballenpresse abgestimmt werden. Um leistungsstarke Quaderballenpressen voll auszulasten, sollte ein Mähdrescher mit einer Scheidwerksbreite von mehr als 5 m eingesetzt werden oder zwei Schwade zusammengelegt werden (FNR 2000).

Für die Verbrennungsführung ist bei halmgutartigen Energieträgern die Form der angelieferten Biomasse ein wichtiges Qualitätskriterium. Wie bereits erwähnt, werden in Dänemark Quaderballen für größere Anlagen (>

100 kW) verwendet. Hier ist sowohl für den Zigarrenbrand als auch für Anlagen mit Scheibenteiler eine möglichst gleichmäßige Form und einheitliche Pressdichte von Bedeutung (FNR 2001)²³. Auch die Struktur der Halme spielt eine Rolle, da Versuche ergeben haben, dass Ballen mit langen Halmen und gröberer Struktur bei der Verbrennungsführung bedeutend besser regeln lassen als stark zerkleinertes bzw. sehr feines Erntegut (ebd.).

Die unterschiedlichen Formen des Anfalls der Biomasse aus der Landschaftspflege (Stückgut, Ballen oder Häckselgut) sind nicht nur für die Auswahl der passenden Verbrennungstechnologie von Bedeutung, sondern auch für die vorgeschalteten logistischen Prozesse der Bergung, Lagerung und des Transports (FNR 2000).

Für die Verbrennungsführung ist bei halmgutartigen Energieträgern die Form der angelieferten Biomasse ein wichtiges Qualitätskriterium. In Dänemark werden Quaderballen für größere Anlagen (> 100 kW) verwendet. Hier ist sowohl für den Zigarrenbrand als auch für Anlagen mit Scheibenteiler eine möglichst gleichmäßige Form und einheitliche Pressdichte von Bedeutung (FNR 2001). Auch die Struktur der Halme spielt eine Rolle, da Versuche ergeben haben, dass Ballen mit langen Halmen und gröberer Struktur sich bei der Verbrennungsführung bedeutend besser regeln lassen als stark zerkleinertes bzw. sehr feines Erntegut (ebd.). Die unzerkleinerte Verbrennung von Ballen in so genannten Zigarrenfeuerungen hat zum einen den Nachteil, dass diese auf einen Ballentyp beschränkt sind und zum anderen eine Rückbrandgefahr besteht, mit der Folge dass auch der Ballenanteil der sich außerhalb des Brennraums befindet Feuer fängt. Für eine kleinere Feuerungsleistung von weniger als 100 kW wird die Ballenauflösung zur Gutdosierung empfohlen (vgl. MAURER & OECHSNER 2004).

Für die Verbrennung von Heu kann die Pelletierung zur Qualitätsverbesserung führen, da durch die Verdichtung des Brennstoffes bessere Lager- und Transportmöglichkeiten und durch die Zerkleinerung und Pressung ein regelmäßiges Abbrandverhalten erzielt wird (GEIGER 2009: 25). Für Anlagen im mittleren Leistungsbereich ist die Pelletierung von Halmgütern allerdings nicht konkurrenzfähig, deshalb werden Halmgüter vorwiegend in Form von Ballen zur energetischen Nutzung eingesetzt. „Die Verarbeitung von Landschaftspflegeheu zu Briquets oder Pellets ist vorläufig noch zu teuer. [...] Technisch ist es auch möglich, Heupresslinge gemeinsam mit Holzhackschnitzeln als Brennstoff einzusetzen.“ (OECHSNER & MAURER 2004: 13).

2.2.6.2.2 Verbrennung von holziger Biomasse aus der Landschaftspflege

Im Vergleich zur Verbrennung von halmgutartiger Biomasse ist die thermische Verwertung von holziger Biomasse aus der Landschaftspflege bereits vielfach gängige Praxis. Der holzige Anteil der Biomasse aus der Landschaftspflege kann genau wie die Biomasse aus KUP vor allem zu Hackschnitzeln oder Pellets aufbereitet werden, die dann in marktgängigen Anlagen verschiedener Größenordnung verbrannt werden können..

Holz wird in Anlagen > 100 kW meist in Form von Hackschnitzeln energetisch genutzt. Die erforderliche Hackschnitzelgröße variiert zwischen maximalen Querschnittsflächen von 3 bis 10 cm² bei einer maximalen Länge von 8 bis 25 cm (FNR 2000: 104). „Zur Hackschnitzelgewinnung werden mobile Hacker entweder über eine Schlepperzapfwelle oder über einen eigenen Aufbau-Dieselmotor bzw. den Fahrzeugmotor (bei Selbstfahrern) angetrieben. Bei stationären Anwendungen sind auch Elektromotorantriebe gebräuchlich. Im mobilen Einsatz erfolgt die Beschickung von Hand oder mittels eines Anbaukrans, der mit dem Hacker fest verbunden ist.“

²³ FNR [Hrsg.] (2001): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse, Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gültzower Fachgespräche: Band 17 Im Internet unter: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_33qfg17stroh.pdf Gelesen am: 18. Juni 2008

(ebd.: 75). „Bei Randbäumen und Hecken, die regelmäßig auf den Stock zu setzen sind, werden vielfach motormanuelle Verfahren eingesetzt. Anschließend können, wie in der konventionellen Forstwirtschaft manuell oder kranbesockte Hacker zur Hackguterzeugung verwendet werden. Sie sind meist an ein Mehrzweckfahrzeug angebaut. Für den kommunalen Bereich werden daneben auch spezielle Systemfahrzeuge angeboten, auf denen ein Sammelbunker für das Hackgut aufgesattelt ist. Bei der Pflege von Gehölzen, die lediglich zurück geschnitten werden müssen, werden Ast- und Heckenscheren eingesetzt“ (ebd.: 60).

Bei der Nutzung von Landschaftspflegematerial für die Herstellung von Holzhackschnitzeln ist zu beachten, dass die anfallende Biomasse sehr heterogen ist. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Qualität von Holzhackschnitzeln gegenüber solchen z. B. aus Kurzumtriebsplantagen schlechter ist, was sich auch negativ auf die Brennstoffeigenschaften auswirken kann.

Mit der **Pelletierung** ist ein Höchstmaß an Homogenität bei den physikalischen Merkmalen biogener Festbrennstoffe erreichbar. Vorteilhaft bei dieser Aufbereitungsart ist die hohe Energiedichte und die günstigen Fließ- und Dosiereigenschaften. Durch den Verdichtungsprozess erfolgt zudem eine Feuchtereduktion. Für die Pelletierung kommt nur feines und trockenes Material in Frage (FNR 2000: 78 f.). „Pellets sind zylindrische Presslinge aus getrocknetem Holz (Sägemehl, Hobelspäne, Waldrestholz) mit einem Durchmesser von 4 bis 10 mm und einer Länge bis 50 mm (nach DIN). Sie haben im Vergleich zu anderen biogenen Brennstoffen einen auf das Volumen bezogen höheren Heizwert.“ (ebd.: 105).

2.2.6.3 Thermochemische Vergasung

Neben der Verbrennung kommen für die energetische Verwertung holziger Biomasse auch Technologien zur thermochemischen Vergasung und BtL-Verfahren (Biomass to Liquid) in Frage. Das gilt sowohl für die holzige Biomasse aus der Landschaftspflege als auch für KUP. Die verfügbaren Technologien stecken jedoch noch sehr in den Anfängen. Erfolgversprechende Entwicklungen sind zu erwarten, jedoch noch keine Marktreife. Insbesondere der Einsatz von „schwierigen“ Substraten wie Heu und Stroh ist noch nicht praxisreif (FNR 2007) und sollte erst einmal in einem aufwendigen Pilotprojekt auf seine zukunftsfähige Eignung hin geprüft werden.

BtL Biomass-to-Liquid

„BtL steht für Biomass-to-Liquid und gehört wie GtL (Gas-to-liquid)- und CtL (Coal-to-liquid)-Kraftstoffe zu den synthetischen Kraftstoffen, deren Bestandteile genau auf die Anforderungen moderner Motorenkonzepte zugeschnitten, also maßgeschneidert werden.

Für die Herstellung von BtL-Kraftstoffen können verschiedenste Biorohstoffe genutzt werden. Die Palette erstreckt sich von ohnehin anfallenden Reststoffen wie Stroh und Restholz auch auf Energiepflanzen, die eigens für die Kraftstoffherzeugung angebaut und vollständig verwertet werden.

Schätzungen gehen davon aus, dass auf einem Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche umgerechnet etwa 4.000 Liter BtL-Kraftstoffe erzeugt werden können. Damit lassen sich in Zukunft etwa 20-25 % des gesamten Kraftstoffbedarfs in Deutschland ersetzen - für Europa werden die Potenziale noch wesentlich höher angesetzt. Damit können BtL-Kraftstoffe ganz erheblich zur Substitution von fossilen Kraftstoffen beitragen“ (FNR o. J.: online).

Die Herstellung von BtL-Kraftstoffen (Kraftstoffe aus Holz oder Stroh) spielt derzeit noch keine marktrelevante Rolle. Im Jahr 2010 soll die erste deutsche industrielle Pilotanlage mit einer Produktionskapazität von 15.000 t BtL-Kraftstoff aus 60.000 t Biomasse in Freiberg in Betrieb gehen. Darüber hinaus sind nach Auskunft der Fa. CHOREN in Deutschland weitere Anlagen geplant. Für den Einsatz von holzigem oder krautigem Landschaftspflegematerial werden diese Verfahren in nächster Zeit aber aufgrund der hohen Substratanforderungen kaum infrage kommen.

Synthesegas

Die Herstellung von Synthesegas im Wege der thermochemischen Vergasung zum Antrieb von Gasmotoren ist als eine Vorstufe der BtL-Erzeugung bisher ebenso wenig für den Einsatz von Landschaftspflegematerial geeignet, wie die BtL-Herstellung.

2.2.7 Organisatorische und logistische Voraussetzungen zur Potenzialerschließung

Neben der Potenzialermittlung liegt eine weitere zentrale Herausforderung darin, die Logistikkette von der Ernte, über die Trocknung und Bergung des Materials sowie die Lagerung und insbesondere den Transport über teilweise weite Entfernungen so zu gestalten, dass sie rentabel ist (Abbildung 23). Im Rahmen der Studie können die verschiedenen Möglichkeiten und deren Erfolgsaussichten zu den drei Bereichen Biomassegewinnung, Lagerung und Transport nur überschlägig betrachtet werden. Dabei müssen sowohl technische als auch organisatorische Fragen einbezogen werden, die insbesondere die vertraglichen und institutionellen Aspekte betreffen.

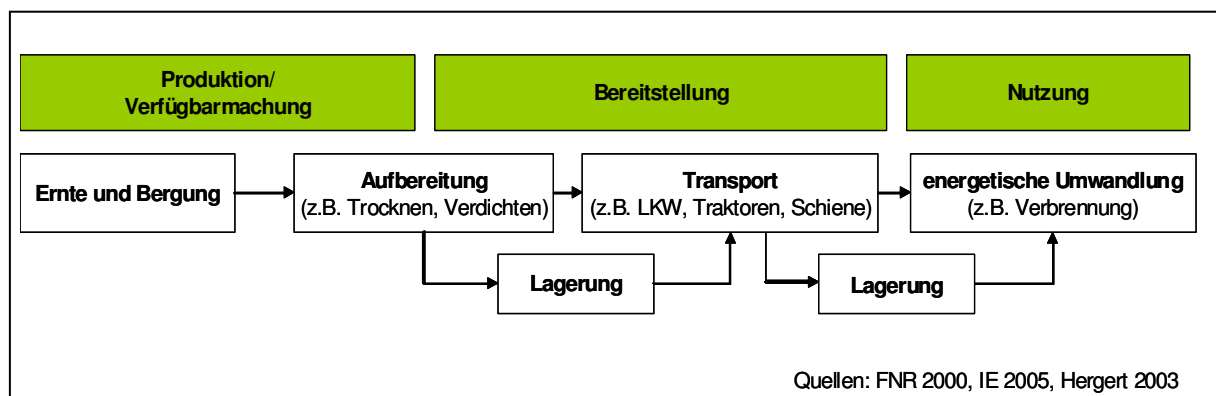


Abbildung 23: Verfahrenskette zur Bereitstellung von Biomasse aus der Landschaftspflege

Nach dem INSTITUT FÜR ENERGETIK werden „Bereitstellungskenngrößen“ als Bestandteile der Bereitstellungskette, die entscheidend für die Entwicklung von Logistikkonzepten sind, wie folgt definiert (IE 2005: 41 f., 72 f.) :

Biomassesortiment: „Für die logistischen Anforderungen, die im Zusammenhang mit den jeweils eingesetzten Biomassesortimenten stehen, ist das unterschiedliche Aufkommen ausschlaggebend, welches die zu erschließende Bereitstellungsfläche, den Dezentalisierungsgrad der Bereitstellung sowie die dabei zeitlich zu überbrückende Entkoppelung von Anfall und Nutzung beeinflusst. [...]“

Biomasseaufbereitung: „Durch die Aufbereitung der Biomasse kann die logistische Handhabbarkeit gezielt beeinflusst werden, so dass diese vor allem mit steigendem logistischen Anspruch an Bedeutung gewinnt. [...]“

Lagerbedarf: „Das Lagervolumen wird entscheidend von der Biomasseaufbereitung und der einzulagernden Menge vorgegeben. Die Einordnung in die Bereitstellungskette erfolgt dabei ggf. entsprechend der jeweils örtlichen Gegebenheiten und definiert die logistischen Anforderungen. [...] Der Anspruch an die Lagerungstechnik innerhalb der Bereitstellung biogener Festbrennstoffe und Sekundärenergieträger steht in Abhängigkeit zur eingelagerten Menge sowie Aufbereitungsform des Lagerguts.“

Anlagenstandort: „Der Anlagenstandort kann auf Basis zweier Ansätze gewählt werden, wobei einerseits der lokale Biomasseanfall im Vordergrund steht und andererseits die infrastrukturelle Transportweganbindung ausschlaggebend ist. Mit steigendem Biomassebedarf verlagert sich der Einfluss dabei auf Seiten der Infrastruktur, da entsprechend begünstigende Angebotsstrukturen im Hinblick auf die typischen Bereitstellungserträge zunehmend unwahrscheinlich werden.“

Transport: „Durch die für den Transport biogener Festbrennstoffe und Sekundärenergieträger zur Verfügung stehenden Transportmittel kann die Bereitstellung aufgrund der jeweils realisierbaren Nutzlasten grundsätzlich an nutzungs- und aufkommensseitige Ansprüche (d. h. große Biomassemengen im Gegensatz zu dezentralem Anfall) angepasst werden. [...] Auch die zu überbrückende Transportdistanz zwischen Anfall und Nutzung spielt für den bereitstellungstechnischen Aufwand eine wichtige Rolle. [...] Die Transportdistanz steht dabei in Abhängigkeit der bereit zu stellenden Menge und auch Art der Biomasse.“

Bisher wird überwiegend konventionelle Landtechnik für die Bergung und den Transport von Biomasse aus der Biotoppflege angewendet. Diese Maschinen werden aber nicht immer den naturschutzfachlichen Erfordernissen gerecht und sie sind nicht zwangsläufig für einen reibungslosen Arbeitsablauf auf den kleinen und oft stark geneigten Flächen sowie den Umgang mit heterogenen Biomasseströmen konzipiert.

Für eine kostengünstige Bergung und Transport fehlt es mitunter noch an geeigneten Technikentwicklungen. Eine entsprechende Technikentwicklung und die Einrichtung geeignet ausgerüsteter Maschinenringe bedürfen der gezielten Förderung.

Gewinnung und Aufbereitung von Landschaftspflegeheu zur Verbrennung

Aufgrund der Stückigkeit zeichnet sich das zu Ballen gepresste Halmgut durch eine einfache logistische Handhabbarkeit gegenüber Häckselgut aus (IE 2005). Da für die Verbrennung in der vorliegenden Studie vor allem Heu als Energieträger genutzt werden soll, wird im Folgenden ausschließlich auf die Ballenernte eingegangen, die als Standardernteform in der Untersuchungsregion angesehen werden kann.

Bei der **Mahd** von frischen Wiesengräsern wird vor allem das absätziges Verfahren durchgeführt, bei der das Mähgut auf der Fläche ausgebreitet und gegebenenfalls mehrmals gewendet wird. Für die Mahd werden Trommelmäher (Kreiselmäher mit Oberantrieb), Scheibelmäher (Kreiselmäher mit Unterantrieb) und Schlegelmäher (pendelnd aufgehängte Schlegel auf einer rotierenden Welle) unterschieden, wobei letzteres Verfahren hauptsächlich in der Landschaftspflege eingesetzt wird. Das Wenden wird mit einem Kreiselzettwender durchgeführt, der das Grüngut vom Boden aufnimmt und nach hinten schleudert. Die Trocknung wird durch Knick- und Quetschvorgänge (Zetten) beschleunigt (FNR 2000).

Bevor das Halmgut in die Ballenpresse aufgenommen werden kann, muss es z. B. mit zapfwellengetriebenen Kreisel- oder Rotorschwadern für den Front- oder Heckanbau eines Schleppers geschwadet werden.

Um eine lagerfähige Materialfeuchte von weniger als 15 % Wassergehalt zu erreichen, muss eine mehrtägige **Bodentrocknung** erfolgen. Der Wassergehalt beim Schnittzeitpunkt (zw. 55 und 80 %) kann unter günstigen Wetterbedingungen bereits nach zwei Tagen auf ca. 15 % sinken. Kommt es zu Niederschlägen, wird die Trocknung verzögert. In diesem Fall wirken sich aber die Auswaschungseffekte aufgrund des sinkenden Gehalts an kritischen Elementen (z. B. Chlor, Kalium) und dem Anstieg der Ascheerweichungstemperaturen positiv auf die Brennstoffeigenschaften aus. Demgegenüber stehen allerdings die Bröckel- und Bergungsverluste, die durch längere Feldverweilzeiten entstehen (ebd.).

Bei der **Ballenernte** werden in der Praxis vor allem Aufsammelpressen eingesetzt, die das zuvor im Schwad abgelegte Halmgut aufnehmen (vgl. Abbildung 24). Hier dominieren Quaderballenpressen (gezogen oder als selbstfahrende Erntemaschinen) und Rundballenpressen. (FNR 2000). Für eine energetische Nutzung in der angedachten Größenordnung kommt aus technischen Gründen nur der Einsatz von großen Quaderballen in Frage.

Bei **Quaderballenpressen** wird das Halmgut mittels Pick-up aufgenommen, über Vorförderelemente (Raffer) vorverdichtet und in den Presskanal geschoben. Abschließend presst der Presskolben das Halmgut gegen die Stirnseite eines bereits verdichteten Halmgutpakets. Bevor die Ballen über eine Auswurfrutsche einzeln auf dem Feld abgelegt oder in einer Stapleinrichtung gesammelt werden, wird jeder Ballen mit 4 bis 6 Bändern aus Polypropylen oder Sisal abgebunden. Da die Ballenlänge bei Stangenpressen zwischen ca. 0,7 bis 2,8 m frei gewählt werden kann, ist eine Anpassung an die nachfolgenden Transportbedingungen möglich (ebd.).

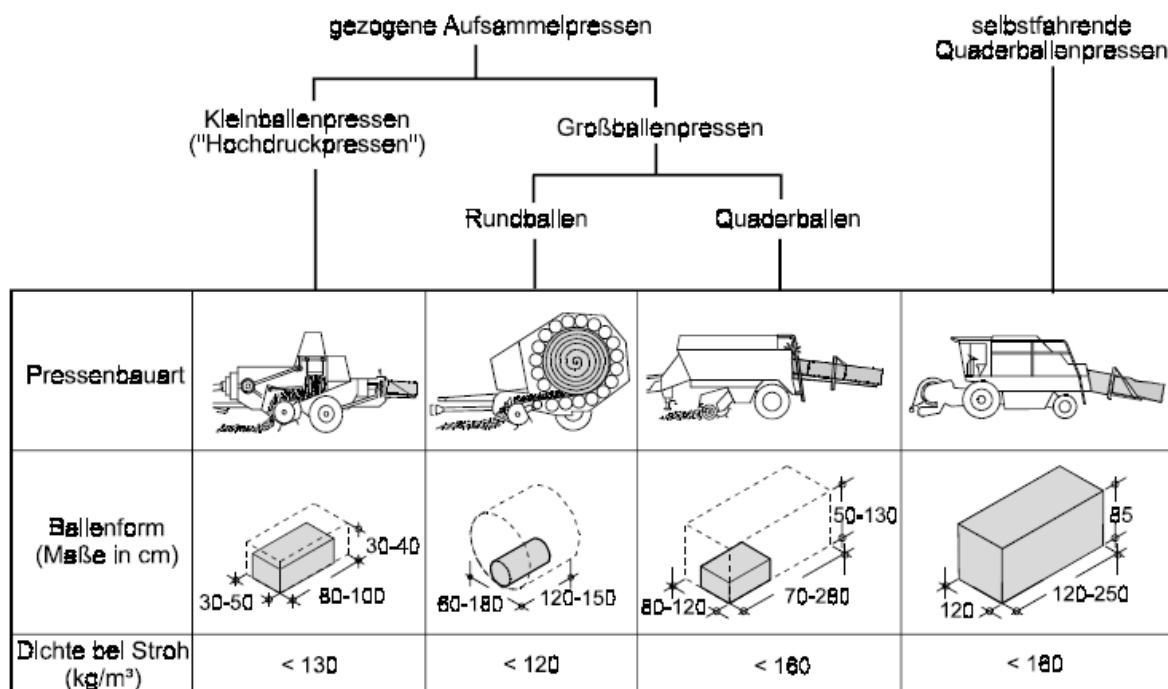


Abbildung 24: Praxisübliche Ballenpressen für die Halmgutbergung sowie Ballenmaße (FNR 2000)

Die unzerkleinerte Verbrennung von Ballen in so genannten Zigarrenfeuerungen hat zum einen den Nachteil, dass diese auf einen Ballentyp beschränkt sind, und zum anderen eine Rückbrandgefahr besteht. Für eine kleinere Feuerungsleistung von weniger als 100 kW wird die **Ballenauflösung** zur Gutsdosierung empfohlen (vgl. Maurer, Oechsner 2004). Da für die in der vorliegenden Studie geplante Anlage eine Leistung von 10 MW nötig ist, kann auf die Ballenauflösung verzichtet werden. Ist sie dennoch nötig, z. B. um der Beschränkung auf einen Ballentyp zu umgehen, müssen für die Ballenauflösung zusätzliche Kosten berechnet werden (vgl. Kapitel 5).

Je kleiner die zu mähenden Landschaftspflegeflächen und damit in der Regel auch die einsetzbare Technik ist, um so eher wird man davon absehen müssen, den Grasschnitt auf der Fläche zu trocknen und der Verbrennung zuzuführen. Stattdessen bietet sich dann eher der Weg der Silierung und Verwertung in der Biogasanlage an.

Organisatorische Anforderungen

Die energetische Verwertung der in der Regel kleinen und räumlich verteilt anfallenden Biomasseaufkommen verlangt eine Bündelung verschiedenster im Einzugsgebiet einer Anlage anfallender Biomassen. Hier kommen sowohl Biomassen aus der Biotoppflege als auch aus der sonstigen Landschaftspflege (Straßenränder, Gewässer) bis hin zu Materialien aus der kommunalen Grünflächenpflege in Frage.

Mit den unterschiedlichen Biomassen müssen auch die verschiedenen zuständigen Akteure zusammengebracht werden, um ein gemeinsames Energienutzungskonzept zu entwickeln. Hierin besteht eine besondere Herausforderung, da diese aus verschiedenen Branchen stammen und ihre Zusammenarbeit zunächst nicht eingespielt ist. Ein organisatorisch zuständiger Ansprechpartner ist für einen reibungslosen Ablauf der Beschickung einer Bioenergieanlage unerlässlich. Darüber hinaus muss aber auch ein enger Dialog zwischen Naturschutzvertretern, den Anlagenbetreibern und den übrigen als Biomasselieferanten fungierenden Akteuren geführt werden. Um eine kontinuierliche Belieferung der Anlage zu sichern, sind besondere Abstimmungen zwischen den Akteuren erforderlich.

Zur Realisierung von Nutzungskonzepten heterogener Biomassen unterschiedlicher Herkunft, wie sie Landschaftspflegematerial darstellen, bedarf es daher der Förderung von organisatorischer Unterstützung. Diese sollte sich sowohl auf die Erarbeitung von Konzepten zur energetischen Nutzung von Biomassen aus unterschiedlichen Quellen beziehen als auch auf logistische Herausforderungen in der Anfangsphase der praktischen Umsetzung derartiger Projekte.

Insgesamt ist dabei aber immer zu beachten, dass die Kosten für die Bereitstellung von Biomasse aus der Landschaftspflege in aller Regel höher sein dürften als bei der Verwertung von Anbaubiomasse oder Reststoffen aus der Landwirtschaft. Die höheren Kosten können jedoch durch den Mehrwert gerechtfertigt werden, der sich aus den ökologischen und landschaftsästhetischen Effekten der Landschaftspflege ergeben.

2.2.8 Fazit und Ausblick

Im gesamten Freistaat Sachsen können verschiedene Biotop- bzw. Nutzungstypen unterschieden werden, deren Flächen grundsätzlich für Maßnahmen zur Landschaftspflege infrage kommen und deren Biomasse als Landschaftspflegematerial eingestuft werden kann. Das sind insbesondere extensives Dauergrünland, Gewässerränder und Gehölzstrukturen außerhalb von Wald.

Zwar lässt sich die Ausdehnung und Lage der betreffenden Flächen noch relativ genau aus den landesweit vorliegenden Geodaten ableiten. Bereits zu den theoretischen jährlichen Biomasseaufwüchsen auf diesen

Flächen lassen sich aus der Literatur jedoch nur grobe Spannen entnehmen, die nur bedingt auf die räumlich sehr unterschiedlichen Standorte im Land übertragen werden können. Um letztlich den energetisch nutzbaren Anteil der Flächen bzw. des Substrataufwuchses zu bestimmen, können wiederum nur sehr grob prozentuale Anteile angegeben werden, da die tatsächlichen Pflegeaktivitäten und Nutzungskonkurrenzen für das anfallende Material nur indirekt abgeschätzt werden können.

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte für die potenziellen Landschaftspflegeflächen ein Biomassepotenzial in einer Größenordnung zwischen ca. 130.000 und 260.000 t Trockenmasse pro Jahr an halmgutartiger und krautiger Biomasse und sowie ca. 180.000 t TM pro Jahr an holziger Biomasse errechnet werden. Das entspricht bei einem Heizwert von 4 MWh/t insgesamt ca. 1,25 bis 1,75 Mio. MWh pro Jahr. Durch die energetische Nutzung dieses Materials könnten damit ca. 120.000 bis 160.000 t Heizöl jährlich ersetzt werden, was grob geschätzt einer CO₂-Einsparung von 360.000 bis 480.000 t entspricht.

Wesentliche Datenbasis für die Erfassung der energetisch nutzbaren Materialien aus der Landschaftspflege ist die Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (BTLNK), aus der das Spektrum der generell für Landschaftspflegemaßnahmen infrage kommenden Flächen abgeleitet werden kann. Allerdings resultieren diese Daten aus Erhebungen des Jahres 2005, so dass sie den aktuellen Stand der Flächengrößen und Verteilungen nur in Annäherung wiedergeben. Ergänzend wurden die Förderdaten der InVeKoS-Datenbank genutzt, um Hinweise auf die aktuelle Nutzung der Flächen zu erhalten und damit auch Anhaltspunkte für vorliegende Landschaftspflegemaßnahmen zu bekommen. Allerdings ist die Kompatibilität dieser beiden Informationsquellen nur bedingt gegeben, so dass in erheblichen Umfang Korrekturen erforderlich waren, die allerdings nur pauschalisiert vorgenommen werden konnten. Das gilt auch für die Differenzen zwischen den Gesamtflächenangaben aus der BTLNK und der Agrarstatistik, die insbesondere beim Grünland auffallen.

Eine landesweite ergänzende Auswertung der selektiven Biotoptypenkartierung war aus Kapazitätsgründen im Rahmen des Projektes nicht möglich. Im Falle einer regionalen Differenzierung der Ergebnisse wäre diese aber zu empfehlen.

Um Landnutzungsanalysen wie die vorliegende einfach durchführen zu können, wäre es empfehlenswert, die verschiedenen Daten digital zu vereinheitlichen. So erscheint es sinnvoll, alle flächenbezogenen Förderungen z. B. der Land-, Forstwirtschaft und des Naturschutzes zentral in einer flächenbezogenen Datenbank zu dokumentieren. Die Nutzbarkeit einer derartigen Datenbank wäre nicht nur für Forschungsprojekte von großem Nutzen, sondern auch für die Koordination der laufenden Förderungen sehr hilfreich. Auch die Synchronisation der Förderdatenbanken mit der Biotoptypen- und Landnutzungskartierung wäre für landesweite Analysen von großem Vorteil.

Trotz der Unschärfen in den Datengrundlagen kann die Größenordnung der ermittelten Flächen und Biomasseerträge durch die konservative Abschätzung als sehr zuverlässig angesehen werden. Im Detail sind die landesweit verfügbaren Datengrundlagen jedoch zu unspezifisch, um so genaue Aussagen daraus abzuleiten, dass darauf konkrete Nutzungskonzepte aufgebaut werden können. Insbesondere die Abschätzung der tatsächlich für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehenden Anteile der Biomasseerträge kann nur sehr pauschalisiert vorgenommen werden.

Im Hinblick auf die energetische Nutzung speziell von Landschaftspflegematerial lässt sich grundsätzlich nur schwer vom theoretischen Potenzial auf das abrufbare Potenzial schließen, da die zur Aktivierung erforderlichen Rahmenbedingungen sehr vielschichtig sind und besonders großen Einfluss haben.

Bezogen auf die holzige Biomasse wird beispielsweise in der Regel bereits ein merklicher Anteil energetisch genutzt und geht als Scheitholz oder Hackschnitzel in die Verbrennung.

Bezogen auf Grünland besteht ein fließender Übergang zwischen regulärer landwirtschaftlicher Nutzung und reiner Landschaftspflege, die ausschließlich im Sinne der Ziele des Naturschutzes stattfindet. Daher ist das energetisch nutzbare Biomassepotenzial größer als die Biomasse der Flächenanteile, die Landschaftspflegemaßnahmen unterliegen.

Für die Entwicklung und Etablierung konkreter Energienutzungskonzepte von besonderer Bedeutung ist das Landschaftspflegematerial von Siedlungs- und Infrastrukturflächen. Zum einen befinden sich die entsprechenden Flächen zu großen Teilen in öffentlicher Hand oder – falls die Flächen privat sind – wird das Grüngut nicht selten bereits durch kommunale Einrichtungen gesammelt. Beides erleichtert den Zugriff auf diese Materialien, so dass eine energetische Nutzung vergleichsweise leicht zu organisieren ist. Zum anderen werden diese Materialien heute in der Regel kompostiert oder verrotten auf den Flächen. Beides führt zu einer besonderen THG-Belastung, so dass eine energetische Nutzung dieser Materialien eine besonders günstige Klimabilanz aufweist.

Insgesamt machen die Ergebnisse der Potenzialabschätzung deutlich, dass das im Rahmen von Landschaftspflegemaßnahmen anfallende Material eine sehr lohnenswerte Rohstoffressource für die energetische Nutzung darstellt. Als Voraussetzung für die Erarbeitung konkreter Nutzungsstrategien und -konzepte ist es jedoch erforderlich, die vorliegenden landesweiten Ergebnisse regional weiter zu differenzieren.

Diese Einschätzung entspricht auch den Ergebnissen der landesweiten Befragung. Allerdings war der Rücklauf zu gering, um für ganz Sachsen repräsentative Aussagen treffen zu können. Es ist zu vermuten, dass zahlreiche Befragte aufgrund der aktuell geringen energetischen Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege den Fragebogen nicht beantworten konnten und von einer negativen Antwort bzw. einer Rücksendung eines leeren Fragebogens abgesehen haben.

Darüber hinaus ist die Verfeinerung der GIS-gestützten Potenzialerfassung durch die Einbeziehung der Daten aus der selektiven Biotopkartierung sowie Informationen über weitere flächenbezogene Förderungen wie z. B. im Rahmen der Richtlinie Natürliches Erbe (RL NE/2007) zu empfehlen. Für die Bestimmung der tatsächlichen Verfügbarkeit der Grünlandpotenziale auf regionaler Ebene ist beispielsweise ein Abgleich der Grünlandflächen mit den Viehbeständen und den damit verbundenen Futterbedarf sinnvoll.

2.3 Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz

2.3.1 Ziele

Für das Modul Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz sind nachfolgend aufgeführte Zielstellungen formuliert worden:

1. Kennzeichnung von Standorten, die aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes gegenüber bestimmten Formen des Biomasseanbaus und deren Konzentration in der Landschaft als sensibel eingeschätzt werden müssen (Flächen mit Risikopotenzial = Vorsorgeflächen).
2. Ausweisung von Flächen, die für Kurzumtriebsplantagen und ähnliche Dauerkulturen erhebliche Synergieeffekte mit Zielen des Natur- und Landschaftsschutzes erwarten lassen (Vorzugsflächen).

2.3.2 Definitionen und Methodik

Für das Erreichen der Zielstellung wurden zunächst die existierenden Datengrundlagen recherchiert und nach Verfügbarmachung durch das LfULG auf ihre Verwendbarkeit geprüft.

In einem nachfolgenden Schritt konnten Kriterien erarbeitet werden, die zur Identifizierung entsprechender Flächen und Räume führten, auf und in denen der Anbau von Biomasse-Dauerkulturen aus Sicht des Naturschutzes mit bestimmten Risiken verbunden ist (Risikoflächen) oder einen Zusatznutzen für Natur und Landschaft erbringt (Synergieflächen). Hierbei konnte auf die im Rahmen von AGROWOOD erarbeiteten Kriterien zur Ermittlung von geeigneten Flächen für die Anlage von KUP (SCHMIDT & GLASER 2009) aufgebaut werden.

Für die anschließend durchgeführte Identifizierung konkreter Flächen und Räume fanden GIS-Programme Verwendung. Durch die Größe des Bezugsraumes Sachsen konnten nicht alle Kriterien abschließend mit GIS bearbeitet werden. Einerseits existierten nicht immer genügend Datengrundlagen, z. B. für das Vorkommen bestimmter seltener und gefährdeter Arten, sodass sich deren Verbreitung nicht punkt- oder flächengenau festlegen lässt. Bei Arten mit sehr großem Aktionsradius (z. B. Gänse, Wolf) ist das ohnehin schwierig, sodass in solchen Fällen geprüft werden muss, ob der vorgesehene Anbau für die betreffende Art beeinträchtigend wirkt. Andererseits sind nicht alle Auswirkungen von Biomasse-Dauerkulturen auf Schutzgüter vollständig abschätzbar (z. B. Beschattung oder Veränderung des Wasserregimes). Die Beurteilung ist in diesen Fällen nur anhand von Einzelfallentscheidungen möglich.

Im Modul 3 wurden Flächen und Suchräume ausgewiesen, für die nach bestimmten Merkmalen (z. B. Schutzgebietsstatus, Vorkommen bestimmter Arten, etc.) entschieden werden kann, ob der Anbau der gewünschten Dauerkultur aus naturschutzfachlicher Sicht möglich ist, evtl. auch durch Erfüllung bestimmter Bedingungen oder Auflagen (siehe Tabelle 35).

Für die Darstellung der Ergebnisse der Module ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ (Module 3 und 4) wurden sieben Synergieklassen gebildet, wobei nicht alle Synergieklasse in beiden Modulen verwendet wurden (Tabelle 34).

Tabelle 34: Übersicht über Synergieklassen ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘

Synergieklasse		Erläuterung	Relevanz
Nr.	Bezeichnung		
1	Synergie <i>sehr stark</i>	Synergieeffekte erwartet!	N, B
2	Synergie <i>stark</i>	Synergieeffekte erwartet, aber in geringerem Ausmaß als bei Synergieklasse 1!	B
3	Synergie prüfen	Einzelfallprüfung erforderlich! Prüfung kann zu „Synergie“ oder „Ausschluss“ führen!	N, B
4	Keine Synergie <i>Risiko</i>	Keine Synergieeffekte erwartet! Anbau von Dauerkulturen birgt Risiko!	B
5	Keine Synergie <i>Ausschluss</i>	Bei Anbau von Dauerkulturen wie KUP hohes Risiko für Natur und Landschaft erwartet!	N
0	neutral <i>keine Synergie – kein Risiko</i>	Neutrale Flächen! Für den Anbau von Dauerkulturen wird weder ein Synergieeffekt noch ein Risiko erwartet!	N, B
9	nicht bewertet	Fläche wurde nicht bewertet (z. B. für Landnutzungsarten wie Gewässer und Siedlungen, auf denen der Anbau von KUP nicht möglich ist) oder es lagen keine Daten vor.	B *
<i>Die in Spalte ‚Bezeichnung‘ dargestellten Farbgebungen entsprechen denen auf den Karten.</i> <i>Die Spalte ‚Relevanz‘ gibt an, in welchem Modul die jeweilige Synergieklasse verwendet wurde.</i> <i>N – Naturschutz (Modul 3 – Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz)</i> <i>B – Bodenschutz (Modul 4 – Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz)</i> <i>* Die Synergieklasse 9 hat keine Relevanz für N, da in diesem Modul im ersten Schritt die Ackerflächen als Ausgangsbasis ermittelt wurden. Landnutzungsarten wie Gewässer und Siedlungen wurden dadurch von Anfang an für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen.</i>			

Für das Modul ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ entspricht die Synergieklasse 1 (Synergie - sehr stark) den Flächen mit Synergieeffekten gemäß Ziel 2, die Synergieklasse 5 den Risikoflächen gemäß Ziel 1. Flächen, bei denen zur Ermittlung von Risiko oder Synergie erst eine Einzelfallprüfung erforderlich ist, wurden der Synergieklasse 3 (Synergie prüfen) zugeordnet.

Die Zuordnung von Flächen zu den Synergieklassen 1, 3 und 5 erfolgte zunächst landesweit und einzeln für jede Synergieklasse anhand der unten für deren Auswahl aufgeführten Kategorien. Flächen, die durch diese Kategorien unberührt blieben, wurden als ‚neutrale Flächen‘ (Synergieklasse 0) bezeichnet. Auf diesen neutralen Flächen ist bei Anbau von Biomasse-Dauerkulturen weder mit einem Risiko noch mit Synergieeffekten für Natur und Landschaft zu rechnen.

Zwischen den einzelnen Synergieklassen traten Überlagerungen auf. Bei der Zusammenführung wurde den Flächen mit der höheren Synergieklassen-Nummer Priorität eingeräumt. D. h. Flächen, die aufgrund des hohen Risikos für den Anbau von Dauerkulturen ausgeschlossen wurden (Synergieklasse 5), bekamen auch dann keine andere Synergieklasse zugeordnet, wenn sie durch Synergieklasse 1 oder/und Synergieklasse 3

überlagert wurden. Nicht bewertete Flächen blieben nur so lange der Synergieklasse -9 zugeordnet, so lange sie nicht durch eine Fläche einer anderen Synergieklasse überlagert wurden.

Dasselbe Verfahren wurde auch bei der Zusammenführung der Ergebnisse der Module Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz und Bodenschutz angewandt (Abbildung 25).

		Modul Naturschutz						
		<u>9*</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2*</u>	<u>3</u>	<u>4*</u>	<u>5</u>
Modul Bodenschutz	<u>9</u>	<u>-9</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
	<u>5*</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>	<u>5</u>
* Synergieklasse nicht vergeben. <i>Kursive Ziffer - Kombination gibt es nicht (aufgrund nicht vergebener Synergieklassen)</i> Standen für Flächen (Rasterfelder) beim Zusammenführen nur Daten eines Moduls zur Verfügung, wurde deren Synergieklasse in die gemeinsamen Daten übernommen!								

Abbildung 25: Matrix zur Zusammenführung der Ergebnisse aus den Modulen ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘

Für die Auswahl von ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ (Modul 3) sowie ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ (Modul 4) wurde festgelegt, sich auf die Ackerflächen (Basis der BTLNK, Code 81) zu beschränken, da dort die meisten Synergieeffekte zu erwarten sind. Aus wirtschaftlichen Gründen könnte der Anbau von Dauerkulturen ebenfalls auf Grünland oder Waldflächen interessant sein. Beide Landnutzungstypen wurden in diesem Projekt von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, da der Anbau von Biomasse-Dauerkulturen dort kaum Synergieeffekte hervorbringt. Nach Anlage von entsprechenden Dauerkulturen wie KUP auf Grünland sind zunächst ungünstige Wirkungen auf die Klimabilanz (CO₂-Ausgasung nach Umbruch) und auf die Erodierbarkeit der Böden zu erwarten. Weiterhin hat das Grünland aus Sicht des Artenschutzes, der Landschaftsökologie und -ästhetik eine tlw. sehr hohe Bedeutung, was - um negative Wirkungen auf Schutzgüter auszuschließen - bei der Flächenauswahl unbedingt zu berücksichtigen ist (SCHMIDT & GLASER 2009). Bei Einschluss in einer sachsenweiten Auswertung wären diese Flächen kategorisch für eine Einzel-fallprüfung vorzusehen gewesen.

Der Energiepflanzenanbau im Wald bedeutet eine Intensivierung der Waldbewirtschaftung mit i.d.R. gebietsfremden Baumarten. Das steht im Widerspruch zu dem im BNatSchG § 5 geforderten Aufbau naturnaher Wälder. Der Anbau von KUP im Wald würde außerdem gegenüber einem Wirtschaftswald zu einer Verringe-

rung an Strukturvielfalt und Naturnähe führen (SCHMIDT & GEROLD 2008). Aus diesem Grund ist die Anlage von KUP im Wald aus Sicht des Naturschutzes nicht sinnvoll.

Als gemeinsame Basis für die dargestellten Ergebnisse wurde die **Gesamtfläche des Freistaates Sachsen mit der Außengrenze der BTLNK** verwendet.

2.3.2.1 Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie – Ausschluss)

Bei der Erzeugung von Biomasse zur Energiegewinnung können fossile Energieträger substituiert werden. Die damit erreichte günstige Wirkung auf das Klima (Verringerung des CO₂-Anstieges) ist aus Sicht des Naturschutzes generell zu befürworten. Beim Anbau von KUP ist das Verhältnis zwischen CO₂-Vermeidungsleistung pro Hektar (mögliche Einsparung durch Substitution fossiler Energieträger) und den dafür erforderlichen Kosten (Vermeidungskosten) im Vergleich zu anderen nachwachsenden Rohstoffen sehr günstig (WBA 2007). Das darf aber nicht darüber hinweg täuschen, dass im konkreten Fall durch den Anbau von Dauerkulturen wertvolle Schutzgüter des Naturschutzes beeinträchtigt werden können.

Deshalb sind diejenigen Flächen zu identifizieren, auf denen durch die Erzeugung von Biomasse zur energetischen oder stofflichen Nutzung in Form von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen aus naturschutzfachlicher Sicht ungünstige Wirkungen zu erwarten wären. So könnten einerseits naturschutzfachlich wertvolle Biototypen als solche geschädigt oder vernichtet werden. Andererseits könnten aber auch einzelne oder mehrere seltene oder gefährdete Arten betroffen sein, deren Habitat oder auch Teilhabitat sich auf der betreffenden Fläche befindet und die durch die veränderte Nutzung ihren (Teil-) Lebensraum verlieren würden (z. B. durch verändertes Licht- oder/und Wasserregime, Barrierewirkung von Gehölzen für Offenlandarten). Diese Risiko behafteten Flächen werden der Synergieklasse 5 (keine Synergie – Ausschluss) zugeordnet und aus der Flächenkulisse für den Anbau von Biomasse-Dauerkulturen ausgeschlossen.

Methodisches Vorgehen, verwendete Daten:

Die in die Flächenkulisse der Synergieklasse ‚keine Synergie - Ausschluss‘ aufgenommenen Flächenkategorien sind in Tabelle 35 aufgelistet.

Tabelle 35: Übersicht über Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie - Ausschluss)

Kategorie	Bemerkung
NLP	Ausschluss der gesamten NLP-Fläche, auch innerhalb gelegene Acker- und Grünlandflächen, da mit einem Biomasseanbau zur energetischen Nutzung auf solchen Flächen in erster Linie wirtschaftliche Ziele verfolgt würden, was im NLP ausgeschlossen werden soll.
BR	Ausschluss von Kern- und Pufferzone (in der Entwicklungszone wird der Anbau von Dauerkulturen nicht ausgeschlossen; Kern- und Puffer- oder Pflegezone sind dagegen i. d. R. gleichzeitig NSG-Flächen)
NSG	Ausschluss, da in NSG Naturschutzziele oberste Priorität haben.
FND	relativ kleine Flächeneinheiten nach § 21 SächsNatSchG, deren Schutzziel durch den Anbau von Dauerkulturen gefährdet wäre. Die Datengrundlage der FND ist nicht ganz aktuell: Datengrundlage vom LfULG ist auf dem Stand von 2004; Daten der UNB der Landkreise nach der Kreisreform 2008 teilweise aktueller, teilweise gerade in Überarbeitung, sodass auf die Daten des LfULG (2004) zurück gegriffen wurde.
SBK	Ausschluss aller SBK-Biotop, da Naturschutzziele bei den Biotoptypen nach SBK eine hohe Priorität haben; die hier eingeschlossenen gesetzlich geschützten Biotop nach § 26 SächsNatSchG unterliegen einem Zerstörungs- und Beeinträchtungsverbot
Gewässer- randstreifen	10 m-Puffer um die bzw. entlang der Gewässer sollen naturnahe Vegetation aufweisen und können deshalb für den Anbau von Dauerkulturen ausgeschlossen werden. Gewässerrandstreifen sind im Sächsischen Wassergesetz (SächsWG § 50) geregelt.
Habitat des Feldhamsters (<i>Cricetus cricetus</i>)	(Potenzielles) Habitat des Feldhamsters in NW-Sachsen. Es ist für die flächige Anlage von Dauerkulturen auszuschließen, da damit Lebensraum des Feldhamsters verloren gehen würde.* Ein streifenweiser Anbau von Dauerkulturen innerhalb dieser Flächenkategorie wäre aber denkbar (maximal 10-15 m Breite), wobei konkrete Vorhaben durch die zuständige Naturschutzbehörde auf ihre Vereinbarkeit mit artenschutzrechtlichen Belangen geprüft werden sollten.

* Der Feldhamster ist eine streng geschützte Art nach Anhang IV der FFH-Richtlinie und fand aufgrund seiner hochgradigen Gefährdung Eingang in verschiedene Rote Listen (RL D 1**, RL SN 1). Sein Überleben in der mitteleuropäischen Kulturlandschaft ist nur in bestimmten Rückzugsgebieten möglich, in denen eine entsprechend angepasste landwirtschaftliche Nutzung erfolgt.

** Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands (HAUPT et al. 2009).

2.3.2.2 Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen)

Flächen, für die die Auswirkungen des Anbaus von Dauerkulturen auf Natur und Landschaft ohne konkrete Ortskenntnis bzw. ohne ein konkretes Vorhaben nicht beurteilt werden kann, die aber auch nicht zu den ‚Risikoflächen‘ (Synergieklasse 5: Keine Synergie - Ausschluss) gehören, bedürfen einer Einzelfallprüfung, um deren Eignung einschätzen zu können. Sie wurden der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ zugeordnet. Bei der Prüfung ist festzustellen, ob nach Anbau von Dauerkulturen ein Risiko für Schutzgüter des Naturschutzes

besteht. Wenn ja, sind die betreffenden Flächen für die Anlage von Dauerkulturen abzulehnen (Synergieklasse 5: keine Synergie - Ausschluss), wenn nein, kann das folgende Gründe haben:

- Beeinträchtigungen von Naturschutzziele sind auf der konkreten Fläche nicht zu erwarten,
- Beeinträchtigungen von Naturschutzziele sind durch Erfüllung bestimmter Bedingungen oder Auflagen vermeidbar (z. B. Einhaltung von Abständen oder Randgestaltung).

Diese Flächen sind - ggf. nach Erfüllung der Bedingungen - als geeignet für den Biomasseanbau in Form von KUP und ähnlichen Dauerkulturen zur energetischen oder stofflichen Verwertung anzusehen und können der Synergieklasse ‚neutral‘ zugeordnet werden. Bei Überlagerung der Flächen mit solchen, die Synergieeffekte erwarten lassen (siehe Kapitel 2.3.2.3), wäre sogar die Zuordnung in die Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘ vorzunehmen.

Methodisches Vorgehen, verwendete Daten:

Aus Sicht des Naturschutzes ist zur Beurteilung der Anbaufähigkeit von Dauerkulturen innerhalb der Flächenkulisse ‚Flächen mit Synergieprüfung‘ (Tabelle 36) generell eine Einzelfallprüfung notwendig!

Tabelle 36: Übersicht über die Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen)

Kategorie	Bemerkung
LSG	<u>Prüfkriterium:</u> Abprüfung, ob die Erfüllung der Schutzziele durch Anlage der Dauerkultur beeinträchtigt oder gefährdet ist, z. B. Erhaltung der Eigenart/ des Erholungswertes des Gebietes!
FFH	<u>Prüfkriterium:</u> Abprüfung, ob das Erreichen der Erhaltungsziele nach FFH-Richtlinie durch Anlage der Dauerkultur beeinträchtigt oder gefährdet ist! In FFH-Gebieten ist sicher zu stellen, dass es durch Anbau von Dauerkulturen wie KUP nicht zu Beeinträchtigungen der LRT nach Anhang I und der Arten bzw. ihrer Habitate nach Anhang II der FFH-RL sowie der Kohärenzfunktion kommt
SPA	<u>Prüfkriterium:</u> Abprüfung, ob Erfüllung der Schutzziele durch Anlage der Dauerkultur beeinträchtigt oder gefährdet ist! In SPA-Gebieten ist eine Beeinträchtigung von Vogelarten nach Anhang I der Vogelschutz-Richtlinie auszuschließen.
BR Zonen 3 und 4	<u>Prüfkriterium:</u> Zu prüfen sind die Flächen auf Übereinstimmung mit den für die jeweilige Zone formulierten Zielen (z. B. Erhaltung oder Wiederherstellung einer harmonischen, ökologisch funktionsfähigen Kulturlandschaft); bei Überlagerungen mit weiteren Schutzgebietskategorien (z. B. LSG) sind die dort aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen
NP	<u>Prüfkriterium:</u> Zu prüfen sind die Flächen auf Beeinträchtigung der Ziele des NP entsprechend der NP-Verordnungen und des § 20 SächsNatSchG, z. B. der Erhaltung der Erholungsfunktion. Bei Überlagerungen mit weiteren Schutzgebietskategorien (z. B. LSG) sind die dort aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.

Kategorie	Bemerkung
Ackerrandstreifen bzw. Standorte seltener Ackerwildkrautarten	<u>Prüfkriterium:</u> Bei Vorkommen von den in Anhang 15 genannten gefährdeten Ackerwildkrautarten in den verwendeten Suchräumen ist der Anbau von Dauerkulturen aus Naturschutzsicht nicht zielführend, da die Gefahr besteht, dass diese Arten dadurch verdrängt würden. Die Suchräume werden auf der Grundlage des Projektes „Untersuchungen zur gezielten Ausweisung und erfolgreichen Etablierung von Ackerrandstreifen im Rahmen bestehender bzw. künftiger Agrarumweltförderprogramme“ (BUDER et al. 2002, BUDER & DÖRING 2003) übernommen.
Robinienanbauflächen	<u>Prüfkriterium:</u> Es ist in diesem Suchraum (Robinienanbau) zu prüfen, dass zu den Biotoptypen Magerrasen und Heiden sowie zu weiteren naturschutzfachlich wertvollen, gegenüber Einwanderung von Robinie empfindlichen Biotopen ein Mindestabstand von 500 m eingehalten wird! In Gebieten, in denen der Anbau von Weiden und Pappeln nicht sinnvoll ist (Bedingungen: Ertragspotenzial von Pappel unter 5 t_{atro}/ha*a und Jahresmitteltemperatur über 8 °C), wird alternativ der Anbau von Robinie vorgesehen (siehe Kapitel 2.1). Die Robinie ist eine invasive Baumart, für die ein Abstand zu wertvollen Grünland-Biotoptypen (z. B. Halbtrockenrasen) von 500 m empfohlen wird (BfN 2009). Die Flächenkulisse für Robinienanbau ist in Anhang 3 (Ergebniskarte Robinie aus Modul 1) dargestellt.
Puffer um Schutzgebiete	Um Schutzgebiete der Kategorien NLP, der Kern- und Pufferzone (Zone 1 und 2) der BR und der NSG werden Pufferflächen von 20 m vorgesehen, in denen die Anlage einer Dauerkultur von einer Einzelfallentscheidung abhängig gemacht wird. Die Anlage von Dauerkulturen kann zur Pufferung von Nährstoffeinträgen auch sinnvoll sein. <u>Prüfkriterium:</u> Es ist abzuschätzen, ob durch die Anlage von Dauerkulturen Schutzgüter der o. g. Schutzgebietskategorien beeinträchtigt werden, z. B. durch Beschattung artenreicher Säume oder Veränderung des Wasserregimes infolge höheren Wasserverbrauchs einer KUP gegenüber der Vorkultur(en).
Seltene und gefährdete Arten	Besonders und/ oder streng geschützte, seltene und gefährdete Tier- und Pflanzenarten, für die der Anbau von Dauerkulturen eine Beeinträchtigung darstellen würde. <u>Prüfkriterium:</u> Bei Vorkommen von Arten der in Anhang 16 genannten Tier- und Pflanzenarten ist zu prüfen, ob durch die Anlage von Dauerkulturen eine Beeinträchtigung eintritt. Falls ja, ist der Anbau von Dauerkulturen nicht möglich bzw. aus Sicht des Naturschutzes unerwünscht. Alternativ kann geprüft werden, ob sich die Beeinträchtigungen durch einen streifenweisen Anbau (Breite ≥ 10 m) verhindern lassen. Wenn nein, kann der Anbau aus Sicht des Naturschutzes nicht befürwortet werden. ⇒ Anhang 16 stellt keine abgeschlossene Liste an Tier- und Pflanzenarten dar! Sie kann nach Bedarf erweitert werden!

Zu den Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen) zählen die Schutzgebiete der Kategorien FFH-Gebiet, SPA-Gebiet, LSG und Naturpark (NP), sowie die Zonen 3 und 4 des Biosphärenreservates (BR). Die Shapes dieser Flächen wurden vom LfULG zur Verfügung gestellt. Die Zonen 3 und 4 wurden per Auswahlabfrage aus der Gesamtfläche des BR selektiert.

Der Einbezug der LRT und Habitats der **FFH-Gebiete** scheint aufgrund des aktuellen Standes (März 2009: ca. 50 % der FFH-Gebiete mit bestätigtem MAP) nicht sinnvoll und ist im Rahmen dieses Projektes auch nicht leistbar. Aus diesem Grunde wurde die Beurteilung der Beeinträchtigungen von Schutzgütern in FFH-Gebieten durch den Anbau von Biomasse-Dauerkulturen als Einzelfallentscheidung integriert.

Neben diesen Schutzgebieten wurden **Suchräume** zur Erhaltung und Entwicklung von gefährdeten Arten der **Ackerwildkrautflora** einbezogen (BUDER et al. 2002). Diese Suchräume, bei deren Ausweisung auch das (potenzielle) Vorkommen seltener und gefährdeter Tierarten berücksichtigt wurde, sind oder waren durch eine hohe Diversität an gefährdeten Segetalarten gekennzeichnet. Sie weisen somit das Potenzial zur Erhaltung und Entwicklung der vorhandenen Segetalflora auf, was durch gezielte extensive Bewirtschaftung dieser Flächen oder von Ackerrandstreifen erreicht werden kann. Eine Übersicht über die gefährdeten Ackerwildkrautarten, die Grundlage für die Ausweisung von Ackerrandstreifen sind, befindet sich im Anhang 15.

Da sich nach der Anlage von Dauerkulturen die Habitatbedingungen verändern (z. B. vertikale Struktur, Temperaturschwankungen, Beleuchtung), ist es erforderlich, die Auswirkungen dieses Anbaus auf **besonders und/ oder streng geschützte, seltene und gefährdete Tier- und Pflanzenarten** im Vorfeld abzuschätzen. Dazu wurden im LfULG (Referat 63: Landschaftspflege, Artenschutz) aus verschiedenen Gruppen Arten mit Risikopotenzial ausgewählt. Kriterien für deren Auswahl waren rechtlicher Schutzstatus, Seltenheit und Gefährdung, die sich beispielsweise durch das schwerpunktmäßige Vorkommen dieser Arten in Landnutzungstypen (Acker- und Grünland, bei Pflanzen zusätzlich Ruderal- und Saumarten), die im Fokus der Anlage von Dauerkulturen stehen, ergibt. Die daraus erstellte Übersicht (Anhang 16) soll bei einer naturschutzfachlichen Prüfung der Eignung einer Fläche für die Anlage von Dauerkulturen als Anhaltspunkt dienen und ist u. U. durch weitere Arten (eventuell unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen oder Arten mit regionalem Schwerpunkt) zu ergänzen. Die Liste der zu berücksichtigenden besonders und/oder streng geschützten, seltenen und gefährdeten Arten stammt aus verschiedenen Quellen des LfULG. Es handelt sich dabei um

- naturschutzfachlich planungsrelevante Arten (u. a. besonders geschützte Arten, FFH-Arten)
- in Sachsen vom Aussterben bedrohte sowie ausgewählte gefährdete Pflanzenarten, für die Naturschutzbemühungen prioritär sind,
- besonders schutzwürdige Vogelarten, bei deren Vorkommen für den KUP-Anbau eine Einzelfallprüfung notwendig ist (vgl. auch Karten der Anhänge 21-24).

Im Vorfeld der Anlage einer KUP wird die naturschutzfachliche Prüfung durch die UNB vorgeschlagen. Dabei ist das Vorkommen von Arten der o. g. Artenlisten gefährdeter Arten der Ackerwildkrautflora sowie besonders und/oder streng geschützter, seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten (Anhang 15 und Anhang 16) zu prüfen. Im Fall von möglichen (nicht auszuschließenden) Beeinträchtigungen der dort aufgeführten Arten durch die Anlage von Dauerkulturen ist das Vorhaben abzulehnen.

Aus naturschutzfachlicher Sicht sind die aus ertragskundlichen Aspekten ausgewiesenen **Flächen für den Robinienanbau** nur unter gewissen Abstandsauflagen zu empfehlen. Die Robinie, die sowohl auf mageren (aufgrund ihrer Möglichkeit der Bindung von Luftstickstoff) als auch auf trockenen Standorten zurecht kommt, ist in der Lage, sich invasiv auszubreiten. Aus diesem Grunde wird sie in der Liste der invasiven Arten geführt

(BfN 2009). Besonderes Gefährdungspotenzial besteht gegenüber den aus Sicht des Naturschutzes wertvollen, nach § 26 SächsNatSchG besonders geschützten Biototypen der Heiden und Magerrasen sowie weiteren naturschutzfachlich wertvollen, gegenüber Einwanderung von Robinie empfindlichen Biotopen. Zum Schutz dieser Biotope wird die Einhaltung eines Abstandes von 500 m (BfN 2009) gefordert.

KUP können dem Boden recht große Stickstoffmengen entziehen (u. a. ARONSSON et al. 2000) und dadurch eine **Pufferfunktion** gegenüber Nährstoffeinträgen für angrenzende Flächen erfüllen. Um Schutzgebiete, die den Schutz von Biototypen nährstoffarmer Standorte (z. B. bodensaure Wälder) oder Arten solcher Standorte zum Ziel haben, kann diese Pufferfunktion Synergieeffekte, besonders bei unmittelbar angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen bringen. Allerdings ist sicher zu stellen, dass durch die Dauerkulturen selbst keine Beeinträchtigungen hervorgerufen werden, z. B. durch Beschattung artenreicher Säume oder Veränderung des Wasserregimes infolge höheren Wasserverbrauchs einer KUP gegenüber der Vorkultur(en). Ist dies nicht der Fall, können durch den Anbau von Dauerkulturen Synergieeffekte erwartet werden. Die Ausweisung der Pufferflächen wurde auf Schutzgebietskategorien mit größerer Flächenausdehnung beschränkt. Zwar wäre die Pufferfunktion auch für kleinere Schutzgebietskategorien, wie FND oder geschützte Biototypen nach SBK, sinnvoll, allerdings wäre die GIS-technische Bearbeitung dieser kleinflächigen Schutzgebietskategorien im Verhältnis zu der dadurch zu erwartenden Flächengröße sehr aufwändig. In der Statistik würden diese Flächen bei Bezug auf die Ackerflächen kaum ins Gewicht fallen.

Die **seltenen und gefährdeten Tierarten** konnten aufgrund ihres schwierig zu fassenden Vorkommens bzw. wegen des Fehlens einer vollständigen Kartierung aller dieser Arten bei der GIS-technischen Verschneidung nicht berücksichtigt werden. Gerade bei Tierarten, deren Auftreten jährlichen Schwankungen unterliegt, kann eine flächenkonkrete Berücksichtigung nicht erfolgen. Auch der Einbezug von Pufferflächen um derzeit bekannte Fundpunkte, deren Größe für jede Art spezifisch festzulegen wäre, könnte nicht befriedigen, da dazu eine jährliche flächendeckende Erfassung sowie nachfolgend eine Neuberechnung der Flächenkulisse durchgeführt werden müsste. Deshalb wird die Aufführung der seltenen und gefährdeten Arten in einer Liste, die bei der naturschutzfachlichen Eignungsprüfung einer konkreten Fläche Berücksichtigung findet, als praktikable Lösung angesehen.

2.3.2.3 Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark)

Es handelt sich um Flächen bzw. Räume, auf und in denen durch Biomasse-Dauerkulturen zur energetischen und stofflichen Verwertung Synergieeffekte mit Zielen des Natur- und Landschaftsschutzes erzielt werden können. Dazu zählen z. B. waldarme Räume, erosionsgefährdete Flächen, ausgedehntere Pufferstreifen um Gewässer bei angrenzender Ackernutzung sowie ggf. Flächen des Biotopverbundes (**Tabelle 37**).

Methodisches Vorgehen, verwendete Daten:

Der Aspekt der Erosionsgefährdung, der gleichzeitig ein Anliegen des Boden- und Naturschutzes ist, wurde im Modul ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ analysiert und daraus die Zuordnung der entsprechenden Synergieklasse abgeleitet (Kapitel 2.4).

Tabelle 37: Übersicht über Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark)

Kategorie	Bemerkung
Waldarme Räume	Waldarme Räume mit Empfehlungen zur Waldmehrung aus dem Landesentwicklungsplan 2003. Die Anlage von KUP trägt dort zur Anreicherung von Gehölzstrukturen bei.
Puffer um Gewässerrandstreifen	In einem 20 m breiten Streifen im Anschluss an die Gewässerrandstreifen (nach SächsWG) wird auf Ackerflächen die Anlage von KUP zur Pufferung von Nährstoffeinträgen sowie auf schwermetallhaltigen Ackerflächen (bzw. wenn sich solche im Einzugsgebiet befinden) zur Pufferung von Schwermetallen empfohlen.
BVP	Unter Nutzung der Gebietskulisse der Biotopverbundplanung mit Kern- und Verbindungsflächen (STEFFENS et al. 2007) sollen innerhalb der Suchräume für die BVP (30 % der Fläche Sachsens) Kriterien erarbeitet werden, die zur Ermittlung von geeigneten Flächen dienen, wo KUP einen Beitrag zur Biotopvernetzung und ggf. auch zum Biotopverbund leisten können, ohne direkt zur BVP (10 % der Landesfläche) zu gehören.

In den **waldarmen Räumen** trägt die Anlage von KUP zur Anreicherung von Gehölzstrukturen bei. In diesen agrarbetonten Gebieten werden dadurch zusätzliche Habitate für Tier- und Pflanzenarten geschaffen.

Im Anschluss an den unmittelbaren **Gewässerrandstreifen** (nach SächsWG), der zu den ‚Risikoflächen (Ausschluss)‘ gehört (Kapitel 2.3.2.1), wird auf Ackerflächen die Anlage von KUP zur Pufferung von Nährstoffeinträgen sowie auf schwermetallhaltigen Ackerflächen (bzw. wenn sich solche im Einzugsgebiet befinden) zur Pufferung von Schwermetalleinträgen empfohlen. Aufgrund der Ergebnisse von Studien an schwedischen KUP bezüglich der Aufnahme von Nährstoffen und Schwermetallen (u. a. ARONSSON et al. 2000 und DIMITRIOU et al. 2006) wird davon ausgegangen, dass KUP diese Funktionen übernehmen können. Der Pufferstreifen sollte i.d.R. mindestens 20 m breit angelegt werden.

Das SächsNatSchG § 1b regelt die Schaffung eines **Biotopverbundes** auf 10 % der sächsischen Landesfläche. Durch das LfUG wurden bereits Suchräume für die BVP (30 % der Fläche Sachsens) erarbeitet (STEFFENS et al. 2007). Auf mindestens einem Drittel dieser Gebietskulisse (10 % der Fläche Sachsens) sollen Kern- und Verbindungsflächen als Biotopverbund zur Sicherung heimischer Tier- und Pflanzenarten sowie ihrer natürlichen Lebensräume und Lebensgemeinschaften verbindlich festgelegt und nachhaltig gesichert werden. Bei KUP handelt es sich um künstlich begründete, strukturarme und gleichaltrige Gehölzbestände, die meist aus Monokulturen gebietsfremder Arten, Hybriden oder Herkünften bestehen. Sie haben bezüglich Naturnähe, Vielfalt oder Vorkommen seltener und gefährdeter Arten nur einen geringen naturschutzfachlichen Wert (SCHMIDT & GLASER 2010). Deshalb sind sie innerhalb eines Biotopverbundsystems nicht als Kernflächen geeignet. Aufgrund der gegenüber Ackerflächen extensiveren Bewirtschaftungsweise der KUP (SCHMIDT & GEROLD 2010) kann sie als Puffer um Kern- und Verbindungsflächen sowie entlang von intensiven Landnutzungsformen wie Äckern angelegt werden. KUP selbst wären bei entsprechender Randgestaltung ggf. auch als Elemente für die (Gehölz-)Biotopvernetzung nach § 21 Abs. 6 BNatSchG geeignet. Zur Integration von KUP in die Biotopvernetzung sollten die KUP so angelegt werden, dass sie eine möglichst hohe Habitatfunktion erfüllen. Hierzu sollte die Anlage von Begleitbiotopen vorgesehen werden (SCHMIDT & GLASER 2010), beispielsweise durch

- Anlage eines Außenmantels aus gebietsheimischen Baum- und Straucharten,

- Anlage eines Krautsaumes sowie
- die Gewährleistung ausreichend breiter Säume entlang der Bewirtschaftungswege.

Weiterhin sollten KUP, die zur Biotopvernetzung beitragen, nur in Teilabschnitten beerntet sowie in möglichst großen Rotationszyklen (≥ 10 Jahre) bewirtschaftet werden.

Unter Nutzung der bestehenden Gebietskulisse der Biotopverbundplanung (Kern- und Verbindungsflächen) wird die Erarbeitung von Kriterien zur Ermittlung von geeigneten Flächen, auf denen KUP ggf. auch einen Beitrag zum Biotopverbund nach § 21 Abs. 1-4 BNatSchG leisten können, befürwortet. Zu bedenken ist dabei, dass ein Biotopverbund durch KUP nicht dauerhaft gesichert werden kann. Da die Fläche den Status einer Ackerfläche beibehält, kann die Kurzumtriebswirtschaft durch den Bewirtschafter jederzeit beendet und die Fläche wieder mit einjährigen Ackerkulturen bestellt werden. Langfristige Verträge zwischen dem Freistaat Sachsen und dem Landbewirtschafter könnten hierfür eine Lösung darstellen.

Zur Ermittlung der ‚Flächen und Räume mit Synergieeffekten‘ ist für alle oben genannten Flächenkategorien eine Verschneidung mit den ‚Risikoflächen (Ausschluss)‘ sowie ‚Flächen mit Synergieprüfung‘ erforderlich. Treten Überlagerungen mit den beiden zuletzt genannten Kategorien auf, haben diese eine höhere Priorität (siehe Kapitel 2.3.2 – Synergieklassen).

2.3.3 Mögliche Ergänzungen

Modellgestützte Studien zum Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen auf sächsischen Standorten (PETZOLD et al. 2009a, 2009b, LAMERSDORF et al. 2010) belegen, dass die Sickerwasserrate unter KUP gegenüber Ackerflächen sinkt. Der Rückgang des Gebietsabflusses in einem Einzugsgebiet lässt sich durch Pegelmessungen oder Modellstudien allerdings erst ab 20 - 25 % Aufforstungen (oder KUP) eines Einzugsgebietes sicher nachweisen (BOSCH & HEWLETT 1982, ECKHARDT et al. 2006). Die Auswirkungen sind besonders in niederschlagsärmeren Gebieten wie dem nordsächsischen Tiefland zu spüren, wo die Grundwasserneubildungsrate und der Gebietsabfluss unter Pappel-KUP nur noch geringe Werte einnehmen (LAMERSDORF et al. 2010). Gerade dort sollte die Obergrenze für KUP-Flächen bereits bei geringeren Anteilen eines Einzugsgebietes festgelegt werden, um Tendenzen in Richtung der Unterschreitung von ökologischen Mindestabflüssen zu vermeiden. Für eine nach Naturräumen differenzierte, objektive Festlegung von Obergrenzen werden weitere Untersuchungen in repräsentativen, kleinen Einzugsgebieten empfohlen.

2.3.4 Ergebnisse

2.3.4.1 Risikoflächen (Synergieklasse 5: Keine Synergie – Ausschluss)

Auf Risikoflächen, die der Synergieklasse ‚Keine Synergie – Ausschluss‘ zuzuordnen sind, wird die Anlage von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen aus Naturschutzgründen abgelehnt. Sie nehmen insgesamt etwa 194.000 ha (≈ 11 % der Landesfläche Sachsens) ein (Tabelle 38). Die Gesamtfläche ist kleiner als die Summe der einzelnen Kategorien, da sich diese teilweise überlagern (z. B. Pufferstreifen und Schutzgebietskategorien). Die Flächenverteilung in Sachsen wird aus der Karte in Anhang 17 ersichtlich. Wird die Flächenkulisse der Synergieklasse ‚Keine Synergie – Ausschluss‘ auf die Ackerflächen begrenzt, erreichen die „Ausschlussflächen“ lediglich etwa 16.000 ha (<1 % der Landesfläche Sachsens, Tabelle 38). Die Habitatflächen des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*) bilden zusammen mit den Gewässerrandstreifen den Hauptanteil der ‚Risikoflächen (Ausschluss)‘. Die weiteren Kategorien haben flächenbezogen kaum Gewicht, da Ackerflächen in diesen Schutzgebietskategorien nur eine untergeordnete Bedeutung haben.

Tabelle 38: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Keine Synergie – Ausschluss‘

Kategorien	Gesamt-Fläche in Sachsen [ha]	Fläche auf A- cker** [ha]	Anteil an der Gesamtacker- fläche** [%]
NLP	9.354	180	0,03
BR Zonen 1 und 2	13.165	465	0,07
NSG	51.861	1.180	0,2
SBK Offen	58.659	1.329	0,2
SBK Wald	39.065	320	0,04
FND	6.526	249	0,04
Gewässerrandstreifen (<i>10 m Puffer um Gewässer</i>)	56.483	4.675	0,7
Habitate des Feldhamsters (<i>Cricetus cricetus</i>)	10.401	8.727	1,2
Summe	245.514	17.125	2,4
Ausschlussfläche gesamt*	193.704	16.363	2,3

* nach Abzug der Überlagerung verschiedener Kategorien innerhalb der Synergieklasse

** BTLNK-Code 81

2.3.4.2 Flächen mit Einzelfallprüfung (Synergieklasse 3: Synergie prüfen)

Flächen, für die die Wirkung (Synergie oder Risiko) des KUP-/Dauerkulturanbaus auf Natur und Landschaft erst durch eine Einzelfallprüfung festgestellt werden kann, sind der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ zuzuordnen. Sie nehmen rund 914.000 ha (≈ 50 % der Landesfläche Sachsens) ein (Tabelle 39). Die Gesamtfläche ist kleiner als die Summe der einzelnen Kategorien, weil Überlagerungen auftreten. Die Flächenverteilung in Sachsen wird aus der Karte in Anhang 18 ersichtlich. Wird die Flächenkulisse der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ auf die Ackerflächen begrenzt, erreichen die „Flächen mit Einzelfallprüfung“ etwa 282.000 ha. Nach Abzug der Überlagerungen mit der Synergieklasse ‚Keine Synergie – Ausschluss‘, der Priorität eingeräumt wird, verbleiben etwa 272.000 ha (≈ 15 % der Landesfläche Sachsens, Tabelle 38, Anhang 17). Die Flächen mit Synergieprüfung werden durch LSG (64 %) dominiert, gefolgt von Suchräumen für Ackerrandstreifen bzw. Standorten seltener und gefährdeter Ackerwildkrautarten, SPA und NP. Die Kategorien BR (Zonen 3 und 4), Robinienflächen und Puffer um Schutzgebiete spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 39: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘

Kategorien	Gesamt- Fläche in Sachsen [ha]	Fläche auf Acker** [ha]	Fläche auf Acker** nach Abzug von Überlagerungen*** [ha]	Anteil an der Gesamtacker- fläche*** [%]
FFH	168.667	8.236	6.397	0,9
SPA	248.965	49.602	45.791	6,5
LSG	557.018	175.488	173.020	24,6
BR Zonen 3 und 4	16.952	4.959	4.802	0,7
NP	198.796	31.089	30.761	4,4
Ackerrandstreifen bzw. Standorte seltener Ackerwildkrautarten	143.744	90.032	84.550	12,0
Robinienanbauflächen	3.408	3.408	3.391	0,5
Puffer um Schutzgebiete (20 m um NLP, BR Zonen 1 und 2, NSG)	3.337	756	699	0,1
Summe	1.340.887	363.570	346.020	49,1
Prüffläche gesamt*	913.715	282.154	272.074	38,6

* nach Abzug der Überlagerung verschiedener Kategorien innerhalb der Synergieklasse

** BTLNK-Code 81

*** Abzug der Überlagerungen der Synergieklasse ‚keine Synergie – Ausschluss‘

Die Verteilung ausgewählter Tierarten mit Risikopotenzial ist auf gesonderten Karten dargestellt (Anhänge 20 bis 23). Weiterhin sind die in den Anhängen 14 und 15 aufgeführten Arten (gefährdete Ackerwildkrautarten, besonders und/oder streng geschützte, seltene und gefährdete Tier- und Pflanzenarten) zu berücksichtigen (siehe Erläuterungen in Kapitel 2.3.2.2).

2.3.4.3 Flächen und Räume mit Synergieeffekten (Synergieklasse 1: Synergie – sehr stark)

Die ‚Flächen mit Synergieeffekten‘ sind der Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘ zuzuordnen. Sie nehmen rund 555.000 ha (≈ 30 % der Landesfläche Sachsens) ein (Tabelle 40). Die Gesamtfläche ist kleiner als die Summe der einzelnen Kategorien, weil Überlagerungen auftreten. Die Flächenverteilung in Sachsen wird aus der Karte im Anhang 19 ersichtlich. Wird die Flächenkulisse der Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘ auf die Ackerflächen begrenzt, erreichen sie etwa 282.000 ha. Nach Abzug der Überlagerungen mit den Synergieklassen ‚Keine Synergie – Ausschluss‘ und ‚Synergie prüfen‘, denen Priorität eingeräumt wird, verbleiben etwa 184.000 ha (≈ 10 % der Landesfläche Sachsens, Tabelle 40). Die Synergieeffekte werden zu 98 % durch Flächen in waldarmen Räumen erreicht. Die Puffer um Gewässerrandstreifen machen nur einen geringen Teil aus.

Die Auswertung der BVP wurde auf der Basis der zusammengeführten Daten der Module ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ durchgeführt. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass KUP als Puffer oder Verbindungselement in einem Gehölzbiotopverbund in waldar-

men Räumen Synergieeffekte erbringen können (siehe auch Ausführungen hierzu in Kapitel 2.3.2.3). Im Anhang 38 sind die Flächen mit den Synergieklassen ‚starke Synergie‘ und ‚sehr starke Synergie‘ (Module Natur- und Bodenschutz) sowie die Flächen waldarmer Räume (Waldmehrungsflächen), die z. B. aufgrund von Überlagerungen mit anderen Schutzgebieten (z. B. LSG, FFH-Gebiet) der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ zugeordnet wurden, dargestellt. Auf Flächen, die sich mit der Flächenkulisse der BVP oder den Verbundkorridoren decken, können KUP ggf. einen Beitrag zum Biotopverbund leisten, wenn sie gewisse Bedingungen erfüllen (siehe Erläuterungen in Kapitel 2.3.2.3). Anhang 38 zeigt ebenfalls Räume außerhalb der Kulisse der BVP auf, die aufgrund der Zuordnung großer Flächenanteile zu den Synergieklassen ‚starke Synergie‘ und ‚sehr starke Synergie‘ das Potenzial für die Entwicklung von Gehölzverbundsystemen haben. Ist der Biotopverbund für Offenlandarten geplant, kann noch geprüft werden, ob KUP eventuell als Pufferstreifen einbezogen werden können. Bei der Integration von KUP in den Biotopverbund bzw. die Biotopvernetzung sollte die Gestaltung eines Randbereiches unter Verwendung gebietsheimischer Strauch- und Baumarten zum Standard erhoben werden. Die Maximierung wirtschaftlicher Erträge muss innerhalb des Biotopverbundes zugunsten der Erhöhung der naturschutzfachlichen Wertigkeit zurück treten. Die Mehrausgaben durch die hier geforderte Zusatzleistung der Anlage von Begleitstrukturen sollten finanziell ausgeglichen werden (z.B. durch Förderung). Voraussetzung für die Bereitschaft der Landwirte zur Anlage von Begleitstrukturen ist allerdings die Zusicherung des Erhalts dieser Teilflächen als beihilfefähige Ackerflächen. Auf der Kernfläche der KUP (Anbaufläche schnellwachsender Gehölze) sollte angestrebt werden, dass sich das System auch innerhalb des Biotopverbundes/ der Biotopvernetzung von selbst trägt.

Tabelle 40: Flächenzuordnung der Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘

Kategorien	Gesamt- Fläche in Sachsen [ha]	Fläche auf Acker** [ha]	Fläche auf Acker** nach Abzug von Überlagerungen*** [ha]	Anteil an der Gesamtacker- fläche*** [%]
Waldarme Räume	472.478	274.518	180.686	25,7
Puffer um Gewässerrandstreifen (20 m)	104.667	12.609	6.509	0,9
Summe	577.145	287.127	187.195	26,6
Synergiefläche gesamt*	555.341	281.598	184.045	26,1

* nach Abzug der Überlagerung verschiedener Kategorien innerhalb der Synergieklasse

** BTLNK-Code 81

*** Abzug der Überlagerungen der Synergieklassen ‚keine Synergie – Ausschluss‘ und ‚Synergie prüfen‘

2.3.4.4 Zusammenfassende Auswertungen - Naturschutz

Für die Darstellung der ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ wurden die Ackerflächen (BTLNK-Code 81) sachsenweit Synergieklassen zugeordnet (Tabelle 41). Neben den bereits dargestellten drei Synergieklassen, wurden alle übrigen Ackerflächen in die Synergieklasse ‚neutral‘ eingegliedert. Die Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ nimmt mit 39 % den größten Flächenanteil ein. Für ca. ein Viertel der Ackerflächen (26 %) werden Synergieeffekte erwartet. Als Risikoflächen (Synergieklasse ‚keine Synergie – Ausschluss‘) werden lediglich 2 % der Ackerflächen bewertet. Die Flächenverteilung in Sachsen wird in Anhang 20 dargestellt.

Tabelle 41: Verteilung der Synergieklassen auf die Ackerfläche des Freistaates Sachsen

Synergieklasse	Ackerfläche* [ha]	Flächenanteil an der Ackerfläche* [%]
Sehr starke Synergie	184.045	26
Synergie prüfen	272.074	39
neutral (keine Synergie – kein Risiko)	231.669	33
Keine Synergie – Ausschluss	16.363	2
gesamt	704.151	100

* Basis: BTLNK-Code 81, ohne Überlagerungen der einzelnen Synergieklassen

Die Ergebnisse wurden in einem weiteren Schritt auf Basis der Landschaftsräume für den Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm ausgewertet (siehe Tabelle 42). Daraus ist ersichtlich, dass die meisten Flächen mit erwarteten Synergieeffekten in den waldarmen, hauptsächlich agrarisch genutzten Räumen NW- und Mittel-Sachsens und der Lössgebiete Ost-Sachsens liegen. Ausschlussgebiete nehmen nur sehr geringe Anteile der Landschaftsräume ein (meist < 2 % der Ackerfläche). Lediglich in dem Landschaftsraum ‚Leipziger Land und Elsteraue‘ wird ein größerer Anteil der Ackerfläche aufgrund des (potenziellen) Feldhamsterhabitats für den Anbau von Dauerkulturen ausgeschlossen (15,6 %).

Tabelle 42: Flächenanteile der Synergieklassen an Landschaftsräumen auf der Basis der Ackerflächen – Auswahl nach Naturschutzkriterien

Landschaftsraum		Synergieklasse – Fläche [ha]							Summe* [ha]	Synergieklasse -Flächenanteil [%]						
		0	1	2	3	4	5	9		0	1	2	3	4	5	9
1	Leipziger Land und Elsteraue	5.784,1	31.569,8	0,0	24.011,3	0,0	11.323,8	0,0	72.689,1	8,0	43,4	0,0	33,0	0,0	15,6	0,0
2	Ballungsraum Leipzig	8,2	2.273,8	0,0	1.519,6	0,0	32,0	0,0	3.833,6	0,2	59,3	0,0	39,6	0,0	0,8	0,0
3	Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Landes	2,0	8.030,3	0,0	1.931,9	0,0	124,4	0,0	10.088,6	0,0	79,6	0,0	19,1	0,0	1,2	0,0
4	Mittlere Mulde	433,8	240,3	0,0	3.522,4	0,0	160,4	0,0	4356,9	10,0	5,5	0,0	80,8	0,0	3,7	0,0
5	Düben-Dahlener Heide	9.797,4	4.021,8	0,0	21.353,0	0,0	455,5	0,0	35.627,7	27,5	11,3	0,0	59,9	0,0	1,3	0,0
6	Riesa-Torgauer Elbtal mit Annaburger Heide und Gohrischheide	1.753,2	1.164,4	0,0	11.501,5	0,0	397,4	0,0	14.816,4	11,8	7,9	0,0	77,6	0,0	2,7	0,0
7	Elbe-Durchbruchstal um Meißen und Randlagen	781,4	390,0	0,0	4.838,3	0,0	97,1	0,0	6.106,7	12,8	6,4	0,0	79,2	0,0	1,6	0,0
8	Ballungsraum Dresdner Elbtalweitung	825,9	142,3	0,0	520,8	0,0	22,5	0,0	1.511,5	54,6	9,4	0,0	34,5	0,0	1,5	0,0
9	Nordsächsisches Platten- und Hügelland	11.744,2	31.583,9	0,0	15.651,6	0,0	470,1	0,0	59.449,7	19,8	53,1	0,0	26,3	0,0	0,8	0,0
10	Mittelsächsisches Lösshügelland	15.738,7	28.727,4	0,0	6.338,3	0,0	383,7	0,0	51.188,2	30,7	56,1	0,0	12,4	0,0	0,7	0,0
11	Mulde-Lösshügelland und angrenzende Teile des Altenburg-Zeitzer Lösshügellandes	29.331,3	28.911,5	0,0	29.576,8	0,0	488,4	0,0	88.308,0	33,2	32,7	0,0	33,5	0,0	0,6	0,0
12	Vogtland	17.418,4	113,8	0,0	19.552,1	0,0	193,5	0,0	37.277,9	46,7	0,3	0,0	52,4	0,0	0,5	0,0
13	Erzgebirgsbecken	12.900,7	5.688,1	0,0	9.167,8	0,0	178,2	0,0	27.934,8	46,2	20,4	0,0	32,8	0,0	0,6	0,0
14	Ballungsraum Zwickau	98,0	259,5	0,0	625,1	0,0	3,6	0,0	986,3	9,9	26,3	0,0	63,4	0,0	0,4	0,0
15	Ballungsraum Chemnitz	882,2	300,4	0,0	362,5	0,0	13,7	0,0	1.558,9	56,6	19,3	0,0	23,3	0,0	0,9	0,0
16	Unteres und Mittleres Westerzgebirge	18.078,6	132,4	0,0	13.466,2	0,0	150,9	0,0	31.828,0	56,8	0,4	0,0	42,3	0,0	0,5	0,0
17	Oberes Westerzgebirge	130,5	0,9	0,0	779,6	0,0	7,8	0,0	918,7	14,2	0,1	0,0	84,9	0,0	0,9	0,0
18	Unteres und Mittleres Osterzgebirge	30.376,7	298,7	0,0	14.575,5	0,0	220,9	0,0	45.471,8	66,8	0,7	0,0	32,1	0,0	0,5	0,0
19	Oberes Osterzgebirge	231,2	0,3	0,0	3.571,1	0,0	22,5	0,0	3.825,2	6,0	0,0	0,0	93,4	0,0	0,6	0,0
20	Östliches Erzgebirgsvorland	19.040,5	25,2	0,0	4.892,8	0,0	44,4	0,0	24.002,9	79,3	0,1	0,0	20,4	0,0	0,2	0,0
21	Elbsandsteingebirge und Zittauer Gebirge	1.345,4	4,9	0,0	7.477,1	0,0	205,6	0,0	9.032,9	14,9	0,1	0,0	82,8	0,0	2,3	0,0
22	Westlausitzer Platte und Südwestlausitzer Hügelland	4.041,3	34,1	0,0	3.487,3	0,0	52,3	0,0	7.615,0	53,1	0,4	0,0	45,8	0,0	0,7	0,0
23	Großenhainer Pflege	7.097,1	14.236,6	0,0	11.201,1	0,0	508,1	0,0	33.042,9	21,5	43,1	0,0	33,9	0,0	1,5	0,0
24	Westlausitzer Hügel- und Bergland	9.410,7	1.119,4	0,0	13.835,7	0,0	140,9	0,0	24.506,8	38,4	4,6	0,0	56,5	0,0	0,6	0,0
25	Oberlausitzer Gefilde	749,5	18.182,8	0,0	11.990,6	0,0	389,4	0,0	31.312,3	2,4	58,1	0,0	38,3	0,0	1,2	0,0
26	Oberlausitzer Bergland	2.980,2	128,7	0,0	7.005,4	0,0	63,9	0,0	10.178,2	29,3	1,3	0,0	68,8	0,0	0,6	0,0
27	Östliche Oberlausitz	7.626,9	4.694,5	0,0	12.489,4	0,0	232,1	0,0	25.042,9	30,5	18,7	0,0	49,9	0,0	0,9	0,0
28	Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet und Königsbrück-Ruhlander Heiden	20.167,7	1.556,5	0,0	12.115,7	0,0	1.486,6	0,0	35.326,5	57,1	4,4	0,0	34,3	0,0	4,2	0,0
29	Bergbaufolgelandschaft der Oberlausitz	1.313,0	47,5	0,0	2.904,7	0,0	39,1	0,0	4.304,3	30,5	1,1	0,0	67,5	0,0	0,9	0,0
30	Muskauer Heide und Muskauer Faltenbogen	1.250,6	43,2	0,0	1.589,7	0,0	50,3	0,0	2.933,8	42,6	1,5	0,0	54,2	0,0	1,7	0,0
Summe [ha]		231.339,5	183.922,9	0,0	271.854,9	0,0	17.959,0	0,0	705.076,3							
Synergieklasse (SK) 0 = neutral, SK 1 = Synergie – <i>sehr stark</i> , SK 2 = Synergie – <i>stark</i> , SK 3 = Synergie prüfen, SK 4 = keine Synergie – <i>Risiko</i> , SK 5 = keine Synergie – <i>Ausschluss</i> , SK 9 = nicht bewertet																
* Anmerkung: Die Abweichung der Flächensumme für Ackerflächen von der Ackerfläche nach Tabelle 41 (ca. 0,1 %) ist auf inkonsistente Grenzlinien der Landschaftsräume im Vergleich zur verwendeten Außengrenze Sachsens (BTLNK) zurückzuführen.																

Während für die anderen Synergieklassen die absoluten Flächen feststehen, sind die Angaben bei der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ vom Ausgang der Einzelfallprüfung abhängig. Prinzipiell ist die Entscheidung zwischen Befürwortung, neutral und Ausschluss zu treffen. Tatsächlich gibt es zwei Entscheidungsmöglichkeiten zwischen jeweils zwei Synergieklassen:

1. zwischen Ausschluss (SK ‚keine Synergie - Ausschluss‘) und SK ‚neutral‘,
2. zwischen Ausschluss (SK ‚keine Synergie - Ausschluss‘) und Befürwortung (SK ‚Synergie – sehr stark‘).

Bei allen Flächen der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘, die sich mit Flächen der Synergieklasse ‚Synergie – sehr stark‘ überlagern, steht die Entscheidung nach Punkt 2 an, bei allen übrigen Flächen nach Punkt 1. Welche Flächengröße nach Einzelfallentscheidungen maximal zur Befürwortung oder zum Ausschluss von KUP führen kann, ist der Abbildung 26 zu entnehmen. Von den Flächen der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ können maximal 82.214 ha (30 %) nach Einzelfallprüfung bei den Flächen mit Synergieeffekten eingeordnet werden. Für alle Flächen hingegen könnte theoretisch der Ausschluss festgestellt werden (maximal 272.074 ha). Die der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ zugeordnete Ackerfläche wird zu ca. 64 % durch die Zugehörigkeit zur Schutzgebietskategorie LSG bestimmt (Tabelle 39). Eine starke Erhöhung des Gehölzanteils durch die Anlage von sehr vielen oder sehr großen KUP würde zum Verlust der Eigenart dieser Landschaften, deren Bewahrung das Ziel der LSG ist, führen. Bei einer Umwandlung von 20 % der Ackerflächen in KUP, wären die Veränderungen des Wald-Offenland-Verhältnisses in Abhängigkeit von Anteil der Ackerfläche am LSG bereits deutlich spürbar. Ob bei Umwandlung von 40 % der Ackerfläche in KUP der ursprüngliche Charakter der LSG noch erhalten werden kann, ist für die meisten LSG zu bezweifeln. Im Umkehrschluss hieße das, dass 80 % bzw. 60 % der LSG-Flächen nach Tabelle 39 bei der Einzelfallprüfung zum Ausschluss führen. Das würde ca. 140.000 ha bzw. 105.000 ha (bei Umwandlung von 20 % bzw. 40 % der Ackerfläche in KUP) entsprechen. Diese theoretische Überlegung zeigt, dass bei der Einzelfallprüfung der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ für einen großen Flächenanteil ein Ausschluss für den Anbau von KUP anzunehmen ist.

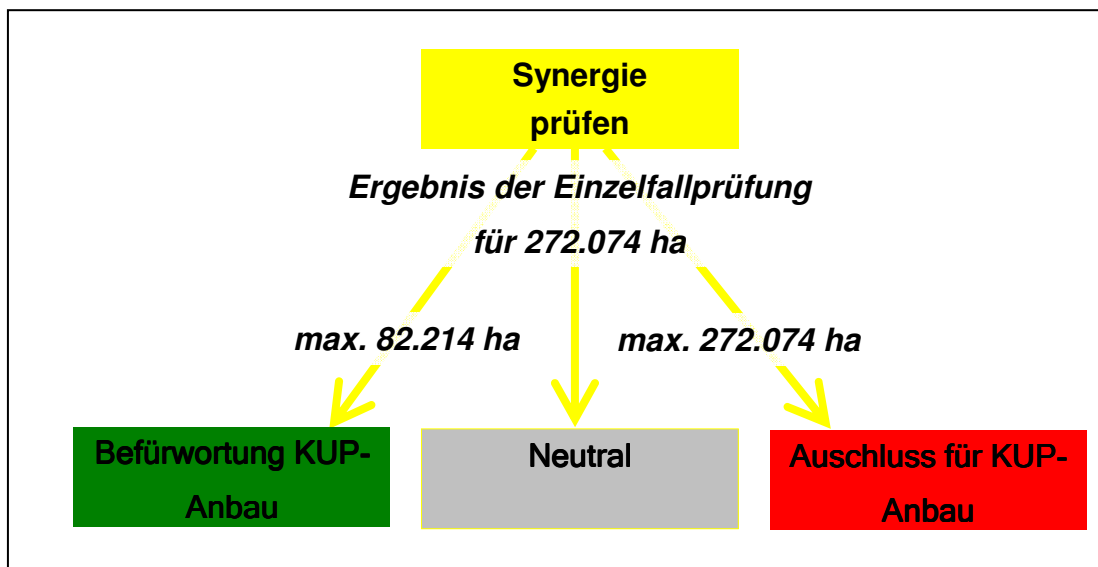


Abbildung 26: Mögliche Aufteilung der Flächen 'Synergie prüfen' nach Einzelfallprüfung

2.3.5 Chancen der Realisierung durch Landwirte

Die zum Anbau von Dauerkulturen vorgeschlagenen Flächen (außer Synergieklasse „keine Synergie - Ausschluss“) wurden wie oben beschrieben nach rein fachlichen Aspekten ausgewählt. Bei der Erarbeitung von Kriterien zur Identifizierung dieser Flächen und Räume fanden ökologische (Modul 1 [Standortkunde]) und naturschutzfachliche Aspekte (Modul 3 [Naturschutz]) Berücksichtigung.

Keine Beachtung bekam das Kriterium Ökonomie, was alle Kosten für Anlage, Pflege, Ertrag, Ernte (einschließlich Erntetechnik), Erlös, aber auch Absatzmöglichkeiten beinhaltet, sowie das Kriterium rechtliche Rahmenbedingungen.

Diese sind für Landwirte aber prioritär (siehe hierzu SKODAWESSELY et al. 2008). Eine Anlage von KUP und ähnlichen Dauerkulturen hat beispielsweise Auswirkungen

auf die betriebswirtschaftliche Bilanzierung:

- hohe Anfangsinvestitionen,
- Rückflüsse in mehrjährigen Ernteintervallen [bei KUP],
- Erreichen der Gewinnzone erst nach mehreren Ernten,

auf den Arbeitskräftebedarf:

- Anbau von Dauerkulturen gleich Flächenextensivierung: nach Anlage Befahrung nur zur Beerntung [evtl. zur Düngung] der Flächen erforderlich,

auf die Technikauslastung:

- bei Nutzung vorhandener landwirtschaftlicher Technik zur Beerntung [im Winterhalbjahr] höhere Auslastung gegeben.

Außerdem muss berücksichtigt werden, dass Landwirte gegenwärtig mit der Anlage von KUP noch Neuland betreten. Regionale Absatzmärkte dafür müssen erst entwickelt werden. Demgegenüber geht der Landwirt mit dem recht späten Erreichen einer Gewinnzone (abhängig von der Gewinnspanne, frühestens nach mehreren Rotationsperioden: ab 10 Jahren möglich) ein vergleichsweise hohes betriebswirtschaftliches Risiko ein. Außerdem kann vorerst nicht auf marktwirtschaftliche Veränderungen reagiert werden.

Hinzu kommt, dass verschiedene rechtliche Unsicherheiten bestehen. Das trifft z. B. zu für:

- das Vorkommen seltener Tier- und Pflanzenarten (einschließlich Einstellen dieser Arten während des Betriebes der Dauerkultur),
- die naturschutzfachlich sinnvolle Randgestaltung aus einheimischen Strauch- und Baumarten, die dann nicht als CC-relevantes Landschaftselement gewertet werden darf,
- KUP als Begleitelement oder Bestandteil der BVP, deren mögliche Rückumwandlung abgesichert bleiben muss,
- den Erhalt von Teilflächen, die für die Anlage von Begleitstrukturen genutzt werden, als beihilfefähige Ackerflächen.

Die aufgeführten Aspekte könnten die Chancen für die Realisierung des Vorhabens, Dauerkulturen auf Flächen und in Räumen mit Synergieeffekten für den Naturschutz anzulegen, stark einschränken.

Ohne ein entsprechendes Förderprogramm ist diese Zielstellung unter gegenwärtigen Marktbedingungen nicht erreichbar.

Die zukünftige Entwicklung des Preises für Hackschnitzel spielt hierbei eine große Rolle. Es ist davon auszugehen, dass dessen an den Ölpreis geknüpfte Entwicklung wieder Werte erreichen wird, welche die Kurzumtriebswirtschaft marktwirtschaftlich interessant machen werden. Sollten dennoch in Zukunft

ökonomische Defizite auftreten, sollte die Möglichkeit geschaffen werden, diese durch Förderprogramme auszugleichen bzw. zu verringern.

Eine weitere wichtige Voraussetzung für den Anbau von Dauerkulturen ist die Absatzsicherheit. Eine Etablierung von regionalen Kreisläufen spielt hier eine entscheidende Rolle! Auch hierfür sollte ein entsprechender Anreiz (z.B. Initialförderung zum Aufbau regionaler Absatzmöglichkeiten) geschaffen werden.

2.3.6 Fazit

Beim Anbau von Dauerkulturen können aus Sicht des Naturschutzes für einen Flächenanteil der Ackerflächen von ca. 25 % Synergieeffekte für Natur und Landschaft erwartet werden (Synergieklasse: Synergie - sehr stark). Die Flächen befinden sich hauptsächlich in den waldarmen Räumen NW- und Mittel-Sachsens und der Lössgebiete Ost-Sachsens bzw. sind Pufferflächen um Gewässerrandstreifen (verteilt in ganz Sachsen).

Die Anteile der Ackerflächen, die für den Anbau von Dauerkulturen ausgeschlossen werden müssen (Synergieklasse ‚keine Synergie – Ausschluss‘), liegen lediglich bei 2 %. Für etwa 40 % der Ackerfläche ist eine Einzelfallprüfung der Naturschutzbelange erforderlich, die zum Ergebnis kommen kann, dass der KUP-Anbau Naturschutzziele nicht beeinträchtigt (Synergieklasse neutral), dass der KUP-Anbau auszuschließen ist oder dass er sogar Synergien mit Zielen des Naturschutzes besitzt. Letzteres tritt dann ein, wenn die KUP nicht im Widerspruch zu Naturschutzzielen stehen und sich gleichzeitig in der Flächenkulisse Synergie - sehr stark (s. o.) befinden.

Für ein Drittel (33 %) der Ackerfläche sind (auch ohne Einzelfallprüfung) weder Risiken noch Synergieeffekte durch Anbau den von Biomasse-Dauerkulturen zu erwarten (Synergieklasse: ‚Synergie neutral‘). Im Ergebnis der vorliegenden Studie wurde demnach ermittelt, dass auf fast 60 % der sächsischen Ackerfläche ein Anbau von KUP und anderen Biomasse-Dauerkulturen ohne Zielkonflikte mit naturschutzfachlichen Belangen möglich ist.

2.4 Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz

2.4.1 Zielsetzungen des Bodenschutzes

Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen birgt folgende Chancen für den Bodenschutz (vgl. u. a. BURGER 2004, KAHLE & BOELCKE 2004, RÖHRICHT & RUSCHER 2004b, MEYER-MARQUART et al. 2006):

- Minderung der Bodenerosion,
- Minderung der mechanischen Bodenbelastung,
- Förderung des Bodenlebens und Bodengefüges,
- Sicherung und Stabilisierung des Nährstoffhaushalts der Böden,
- Stärkung des Boden- und Landschaftswasserhaushalt als Beitrag zur dezentralen Hochwasservorsorge,
- Nutzungsoption für schadstoffbelastete Böden, auf denen keine hochwertigen Nahrungs- oder Futterpflanzen mehr angebaut werden können.

2.4.2 Methoden zur Identifizierung von Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Bodenschutzes

Im **Modul Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Bodenschutzes** sollen einerseits Flächen ausgewiesen werden, die für bestimmte Formen der Biomasseproduktion (Kurzumtriebsplantagen und ähnliche Dauerkulturen) erhebliche Synergieeffekte mit Zielen des Bodenschutzes erwarten lassen (= Vorzugsflächen). Andererseits sind die Standorte zu kennzeichnen, die aus Gründen des Bodenschutzes gegenüber diesen bestimmten Formen des Biomasseanbaus oder deren Konzentration in der Landschaft als sensibel eingeschätzt werden müssen (= Vorsorgeflächen/ Ausschlussflächen).

Dazu werden folgende Nutzungsoptionen vorgesehen (Tabelle 43):

Tabelle 43: Nutzungsoptionen zur Lenkung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen im Landschaftsmaßstab

Nr.	Zielsetzung	Datengrundlagen	Auswertearbeiten
Minderung der Bodenerosion			
1	Anbau in vorgeprägten Abflussbahnen, die in Folge der reliefbedingten Abflusskonzentration besonderes durch Wassererosion gefährdet sind, zur Minderung der Grabenerosion.	KONZERO_LN.shp ²⁴ (Erosionsgefährdung), BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge Ermitteln der Standortpotenziale zum Anbau schnellwachsender Baumarten oder ähnlicher Dauerkulturen
2	Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen mit großer standörtlicher Wassererosionsgefährdung zur Verkürzung der erosiven Hanglänge.	KRLS_LN.shp ²⁰ (Erosionsgefährdung), BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge Ermitteln der Standortpotenziale zum Anbau schnellwachsender Baumarten oder ähnlicher Dauerkulturen
3	Anbau auf steilen, besonders erosionsgefährdeten Ackerflächen zur Minderung der flächen- und linienhaften Bodenerosion.	KS_09.shp ²⁰ (Erosionsgefährdung), BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge Ermitteln der Standortpotenziale zum Anbau schnellwachsender Baumarten oder ähnlicher Dauerkulturen
4	Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen mit großer standörtlicher Winderosionsgefährdung als Windhindernis zur Beruhigung des Windfeldes.	Karte der Winderosionsgefährdung nach DIN 19706 und BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge Ermitteln der Standortpotenziale zum Anbau schnellwachsender Baumarten oder ähnlicher Dauerkulturen
Nutzung von Böden mit schädlichen Bodenveränderungen auf Grund von stofflichen Einwirkungen			
5	Anbau auf schadstoffbelasteten Böden als Nutzungsalternative zur Produktion von Nahrungs- oder Futterpflanzen.	Übersichtskarte der Gebiete mit großflächigen Überschreitungen von Prüf- bzw. Maßnahmenwerten, BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge für unterschiedliche Schwellenwerte (Überschreitung der Prüf-/Maßnahmenwerte oder landesspezifischer Beurteilungswerte) Ermitteln der Standortpotenziale zum Anbau schnellwachsender Baumarten oder ähnlicher Dauerkulturen
Identifizierung von Böden, die sensibel auf bestimmten Formen des Biomasseanbaus oder deren Konzentration in der Landschaft reagieren (Ausschlussflächen)			
6	Ausschluss von sensiblen Bodenflächen im Hinblick auf schutzwürdige Archivböden, empfindliche Böden auf Grund besonderer Standortverhältnisse wie Moorböden	BÜK200 und BK50konz, ggf. GMK20 (Abflussneigung), BTLNK (Landnutzung)	Ermitteln der Flächenumfänge, differenziert nach unterschiedlichen Ausschlussgründen

Weiterhin wurden Möglichkeiten abgewogen, ob auf vernässten Standorten ein Anbau von Kurzumtriebsplantagen oder sonstiger Dauerkulturen zur Stärkung des dezentralen Wasserrückhalts und damit als Beitrag zur dezentralen Hochwasservorsorge empfohlen werden kann. Im Vergleich zu annuellen Ackerkulturen wäre mit den Dauerkulturen eine deutliche Steigerung der Evapotranspirationsleistung von ca. 100 bis 200 mm je Jahr

²⁴ Auswertekarten des ehemaligen LfUG. Die Bewertungsgrundlagen sind dem Dokument „Erläuterung – Bewertung der potenziellen Wassererosionsgefährdung“ vom 15.08.2008. LfUG, Referat 64 "Bodenschutz", Dr. Arnd Bräunig zu entnehmen.

Tabelle 45: Rasterbezogene Einzugsgebietsgröße EZG (reliefbedingte Abflusskonzentration) (siehe Fn. 24)

Einzugsgebietsgröße [ha]	Stufenwert	Bezeichnung Abflusskonzentration
2 – <5	4	hoch
5 – <10	5	sehr hoch
≥ 10	6	äußerst hoch

Tabelle 46: Potenziell besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen (siehe Fn. 24)

Stufen-code	Bezeichnung Gefährdung	Einzugsgebietsgröße (EZG) [ha]	K * R * LS (Abtrag) [t / (ha*a)]	KRLS-Stufenwert * EZG-Stufenwert
4	hoch	2 – <5	15 – <30	16
5	sehr hoch	2 – <5	30 – <60	20
		5 – <10	15 – <30	20
6	äußerst hoch	≥ 5	≥ 30	25
				30
				36

Sachsenweit sind auf landwirtschaftlich genutzten Flächen rund 2 % der Landesfläche als hoch bis äußerst hoch erosionsgefährdete Abflussbahnen ausgeprägt (vgl. Tabelle 47, Karte im Anhang 26).

Tabelle 47: Häufigkeitsverteilung der Klassen potenziell besonders erosionsgefährdeter Abflussbahnen

Erosionsgefährdung durch Wasser – potenziell besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
keine	0	984.535	53,3
hoch	4	7.175	0,4
sehr hoch	5	22.116	1,2
äußerst hoch	6	13.697	0,7
<i>keine Daten oder nicht bewertet (Flächen außerhalb LN)</i>	9	817.965	44,3
Summe		1.845.488	100,0

2.4.3.2 Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen

Die potenzielle Wassererosionsgefährdung in Abhängigkeit von der Bodenart, Hangneigung, Hanglänge und Regenerosivität erfolgte auf der Grundlage der „Allgemeinen Bodenabtragsgleichung“ ABAG mit dem Modul ABAGflux der Firma Geoflux für landwirtschaftlich genutzte Flächen (WURBS et al. 2008; siehe Fn. 24). Bei den ermittelten Bodenabträgen auf den landwirtschaftlichen Flächen handelt es sich um Gefährdungspotenziale und nicht um den tatsächlichen Bodenabtrag.

Die Klassifizierung der KRLS-Werte geht aus Tabelle 48 hervor. Anhand der KRLS-Werte sind knapp 26 % der Landesfläche hoch bis äußerst hoch potenziell erosionsgefährdet (Tabelle 49, Anhang 27).

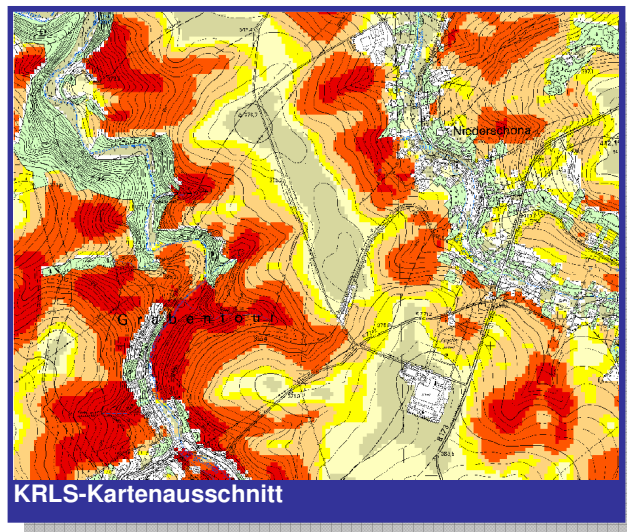


Tabelle 48: Potenzielle Erosionsgefährdung in Abhängigkeit von $K \cdot R \cdot LS$ (siehe Fn. 24)

KRLS-Stufe Code	Bezeichnung Erosions- gefährdung	$K \cdot R \cdot LS$ [t / (ha*a)]
1	sehr geringe	<5
2	geringe	5 – <10
3	mittlere	10 – <15
4	hohe	15 – <30
5	sehr hohe	30 – <60
6	äußerst hohe	≥ 60

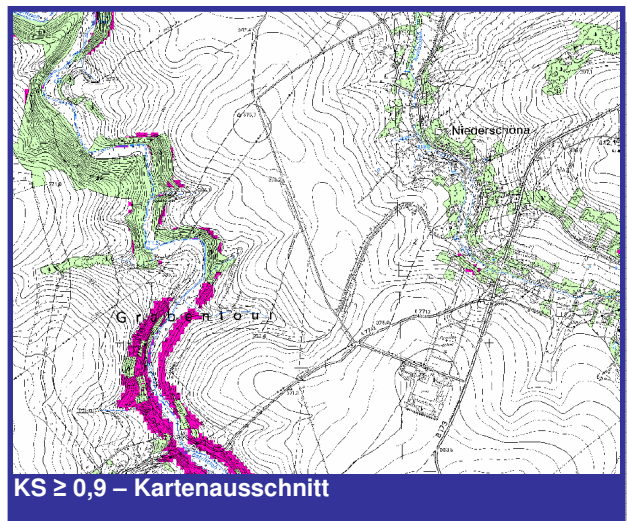
Tabelle 49: Häufigkeitsverteilung der KRLS-Klassen für landwirtschaftlich genutzte Flächen in Sachsen

Erosionsgefährdung durch Wasser – KRLS	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
sehr gering	1	343.911	18,6
gering	2	128.023	6,9
mittel	3	95.232	5,2
hoch	4	193.888	10,5
sehr hoch	5	179.820	9,7
äußerst hoch	6	101.919	5,5
keine Daten bzw. nicht bewertet	9	802.695	43,5
Summe		1.845.488	100,0

2.4.3.3 Anbau auf steilen, besonders erosionsgefährdeten Ackerflächen

Die Auswertung hebt Ackerstandorte hervor, die einen KS-Faktor $\geq 0,9$ haben (siehe Fn. 24). Ein KS-Faktor $\geq 0,9$ tritt z. B. auf:

- bei einer Hangneigung von 14 % und einer hoch erosionsanfälligen Bodenart (K-Faktor = 0,5) oder
- bei einer Hangneigung von 21 % und einer mittel erosionsgefährdeten Bodenart (K-Faktor = 0,3).



Derartige steile, potenziell erosionsgefährdete Standorte kommen auf 4 % der Landesfläche vor (Tabelle 50, Anhang 28). Die meisten dieser Flächen sind bereits durch Wald oder Dauergrünland gut vor Erosion geschützt. Auf noch ca. 0,3% der Landesfläche ist eine Dauerbegrünung dieser Flächen anzustreben. Dazu eignen sich prinzipiell KUP und sonstige Dauerkulturen zur Energiegewinnung. Jedoch können verfahrenstechnische Restriktionen dagegen sprechen (vgl. Kapitel 2.5).

Tabelle 50: Häufigkeitsverteilung der steilen, besonders erosionsgefährdeten Flächen in Sachsen

Erosionsgefährdung durch Wasser – KS $\geq 0,9$	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
Potenziell besonders erosionsgefährdete Steillagen	1	73.496	4,0
keine erosionsgefährdete Steillage oder nicht bewertet	9	1.771.993	96,0
Summe		1.845.488	100,0

2.4.3.4 Streifenförmiger Anbau auf großen, ungegliederten Ackerflächen mit großer standörtlicher Winderosionsgefährdung

Anhand der Bodenart und der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit kann eine vereinfachte Gefährdungsbewertung nach DIN 19706 vorgenommen werden (BSA200).

Auf knapp 20 % der Landesfläche wird ein mittleres oder höheres Gefährdungspotenzial gegenüber Winderosion angetroffen (Tabelle 51). Der BSA200 weist für ca. 16 % aller Ackerflächen ein mittleres bis sehr hohes Gefährdungspotenzial aus; das sind ca. 6 % der Landesfläche, wobei ein sehr hohes Gefährdungspotenzial und Ackerland nur auf 0,6 % der Landesfläche auftreten.

Regional treten insbesondere in den nördlichen Sandregionen vermehrt erhöhte potenzielle Winderosionsgefährdungen auf (vgl. Anhang 29).

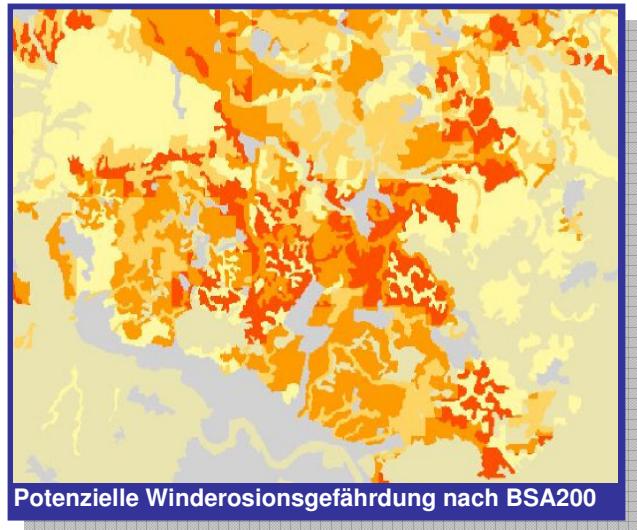


Tabelle 51: Häufigkeitsverteilung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind in Sachsen

Erosionsgefährdung durch Wind – potenzielle Gefährdung (nach Bodenatlas Sachsen)	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
keine	0	121.696	6,6
sehr gering	1	766.577	41,5
gering	2	496.306	26,9
mittel	3	183.379	9,9
hoch	4	142.069	7,7
sehr hoch	5	21.650	1,2
<i>keine Daten oder nicht bewertet</i>	9	113.812	6,1
Summe		1.845.488	100,0

2.4.3.5 Anbau auf schadstoffbelasteten Böden

Zur räumlichen Abgrenzung von Böden mit hohen Schadstoffgehalten, die potenziell für eine Biomasseproduktion zur thermischen Verwertung als Alternative für die Lebens- oder Futtermittelproduktion geeignet sind, wurden mit dem Auftraggeber Schwellenwerte von Schadstoffgehalten fachlich abgestimmt. Von besonderer Bedeutung für Sachsen sind die Elemente Arsen, Cadmium und Blei. Aus diesem Grund werden zur räumlichen Abgrenzung von Böden mit schädlichen Bodenveränderungen nur diese drei Elemente herangezogen. Zur Ableitung fachlich geeigneter Schadstoffgehalte, mit denen eine Flächenkulisse für schadstoffbelastete Flächen vorgenommen werden kann, wurden sowohl die Prüf- bzw. Maßnahmenwerte der BBodSchV als auch die in zahlreichen Untersuchungen der ehemaligen LfL ermittelten Empfehlungswerte herangezogen (Tabelle 52). Bei der Überschreitung der Schwellenwerte im Boden sind in pflanzlichen Produkten vermehrt Überschreitungen der nach Lebens- und Futtermittelrecht zulässigen Höchstgehalte für Schwermetalle zu erwarten.

Tabelle 52: Schwellenwerte zur räumlichen Abgrenzung von Gebieten mit stark erhöhten Schadstoffgehalten in Oberböden

Element		Grundlage für Schwellenwerte		
		BBodSchV	LfL-Empfehlungswerte	Verwendete Schwellenwerte
Arsen	Auenböden	50 mg/kg	50 mg/kg (Grünland)	50 mg/kg
	sonstige Böden	200 mg/kg		
Cadmium	Acker	40 µg/kg (AN-Extrakt)	1 mg/kg (KW-Extrakt)	2 mg/kg (KW-Extrakt)
	Grünland	20 mg/kg (KW-Extrakt)	2 mg/kg (KW-Extrakt)	5 mg/kg (KW-Extrakt)
Blei	Acker	100 µg/kg (AN-Extrakt)	–	100 µg/kg (AN-Extrakt)
	Grünland	1.200 mg/kg (KW-Extrakt)	–	1.200 mg/kg (KW-Extrakt)

Für die Kartenerstellung konnte keine Interpolation der Originalschadstoffgehalte vorgenommen werden, weil die geostatistischen Voraussetzungen dafür nicht gegeben waren. Insbesondere konnte über die unterschiedlichen Raumkategorien anhand der Messwerte keine stetige Werteoberfläche erzeugt werden. Aus diesem Grund wurden vom LfULG (Frau Kardel) für alle Nutzungen und relevanten Elemente (As, Cd, Pb) die Überschreitungen abgefragt; Proben ober- bzw. unterhalb der Schwellenwerte wurden entsprechend codiert. Mit Hilfe der Codierung wurden anschließend elementunabhängig Flächen abgegrenzt, in denen gehäuft Überschreitungen der Schwellenwerte auftreten (Anhang 30). Für die Gebietsabgrenzung waren letztlich die Arsen- und Cadmiumgehalte ausschlaggebend; die Bleigehalte sind zwar in den gekennzeichneten Gebieten ebenfalls deutlich erhöht, jedoch werden die verwendeten Schwellenwerte auf einer kleineren Fläche überschritten.

Bei der Gebietsabgrenzung führten die Schwellenwerte nach BBodSchV und LfL zu einer vergleichsweise großen Gebietsabgrenzung. Deshalb wurden die Schwellenwerte für Cadmium nochmals angehoben, um eine Eingrenzung auf die deutlich schadstoffbelasteten Flächen vorzunehmen. Die letztlich für die Kartenerstellung verwendeten Schwellenwerte sind ebenfalls in Tabelle 52 dokumentiert. In den in der Karte abgegrenzten

Gebieten (vgl. Anhang 30) werden die Schwellenwerte nicht flächendeckend überschritten. Jedoch liegen anhand umfangreicher Bodenuntersuchungen Anhaltspunkte für großflächige Überschreitungen der Schwellenwerte vor. Um möglichen Schadstoffanreicherungen in pflanzlichen Lebens- oder Futtermitteln vorzubeugen, bietet sich auf solchen Standorten als Alternative der Anbau von Energiepflanzen an.

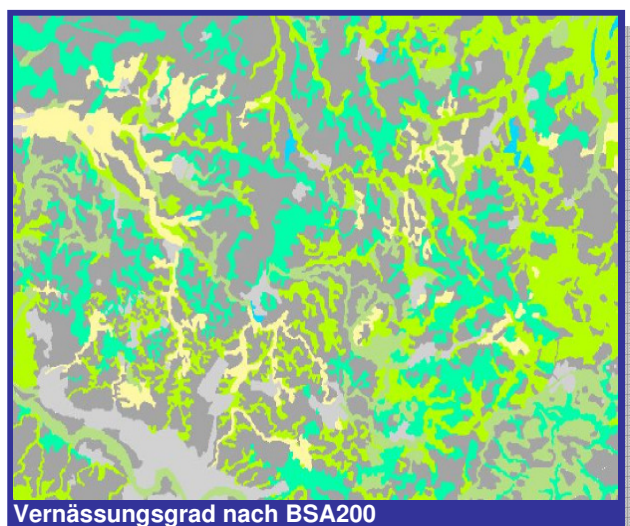
2.4.3.6 Ausschluss von sensiblen bzw. nicht geeigneten Bodenflächen

Der Anbau von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen ist nicht auf allen Böden möglich. Zur Identifizierung sensibler bzw. nicht geeigneter Bodenflächen werden folgende Kriterien herangezogen:

- Vernässungsgrad
- Schutzwürdige Böden
- Nutzung

Vernässungsgrad

Der Vernässungsgrad gibt den durchschnittlichen Grad der Vernässung eines Bodens durch Stau-, Haft- oder Grundwasser während länger andauernder Nassphasen im Durchwurzelungsbereich an. Tabelle 53 zeigt die Flächenstatistik zu den Klassen des Vernässungsgrades nach BSA200 für Sachsen (Anhang 31). Auf ca. 60 % der Landesfläche treten nicht bis schwach vernässte Böden auf. Mit jeweils rund 15 % treten Böden mit schwachem, mittlerem oder starkem Vernässungsgrad auf, während sehr starke Vernässungen selten angetroffen werden. Stark bis sehr stark vernässte Böden werden als ungeeignet für den Anbau von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen eingestuft, weil auf diesen Böden schädliche Bodenverdichtungen auf Grund der winterlichen Erntetermine wahrscheinlich sind.



Vernässungsgrad nach BSA200

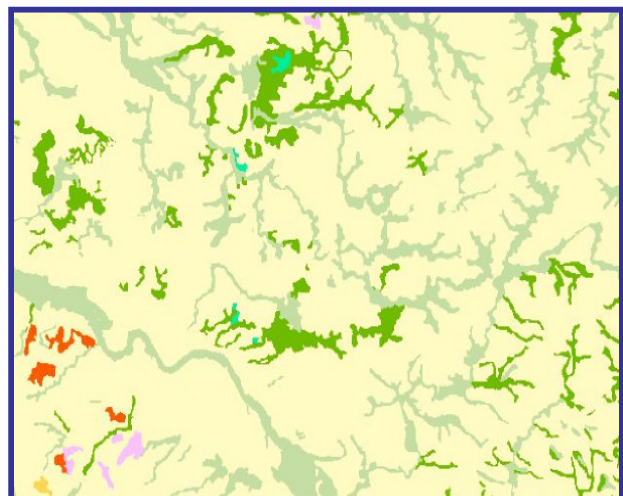
Tabelle 53: Häufigkeitsverteilung der Vernässungsgrade der Böden in Sachsen (BSA200)

Vernässungsgrad (nach Bodenatlas Sachsen)	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
nicht vernässt	0	758.228	41,1
sehr schwach vernässt	1	92.941	5,0
schwach vernässt	2	281.029	15,2
mittel vernässt	3	312.002	16,9
stark vernässt	4	268.944	14,6
sehr stark vernässt	5	32.681	1,8
keine Daten oder nicht bewertet	9	99.663	5,4
Summe		1.845.488	100,0

Schutzwürdige Böden

Schutzwürdige Böden zeichnen sich durch eine besondere Merkmalskombination und hohe Erfüllungsgrade der Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 Nr. 1 und 2 BBodSchG aus. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen nach § 1 BBodSchG Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden. Diesem Schutzanspruch ist bei der Flächenauswahl zum Anbau von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen Rechnung zu tragen.

Der BSA200 weist anhand der Leit- und Begleitbodenformen (LBF, BBF) Areale aus, in denen mit einer gewissen Flächenausdehnung schutzwürdige



Schutzwürdige Böden nach LBF und BBF (BSA200)

Böden auftreten. Dabei wird zwischen Arealen differenziert, in denen einerseits auf Grund der vorkommenden Leitbodenformen und flächenrelevanter Begleitbodenformen mit schutzwürdigen Böden verbreitet zu rechnen ist (Tabelle 54), und andererseits auf Grund besonderer Merkmalsausprägungen einzelner Begleitbodenformen mit geringen Flächenanteilen schutzwürdige Böden bzw. Pedotope angetroffen werden (Tabelle 54). Die gekennzeichneten Areale sind maßstabsbedingt nur als Suchräume für schutzwürdige Böden anzusehen (Anhang 32 und Anhang 33).

Tabelle 54: Häufigkeitsverteilung schutzwürdiger Böden anhand von Leitbodenformen und ausgewerteten Begleitbodenformen (BSA200)

Schutzwürdige Böden anhand von Leitbodenformen und BBF (BSA200)	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
"Biotopentwicklungspotenzial" hoch	B4	206.628	11,2
"Biotopentwicklungspotenzial" sehr hoch	B5	233.685	12,7
"Biotopentwicklungspotenzial", Kulturgeschichte hoch	BK4	10.938	0,6
"Biotopentwicklungspotenzial", Kulturgeschichte sehr hoch	BK5	28.451	1,5
"Biotopentwicklungspotenzial", Naturgeschichte sehr hoch	BN5	6.477	0,4
"Biotopentwicklungspotenzial", Kultur-/Naturgeschichte sehr hoch	BKN5	9.444	0,5
Naturgeschichte hoch	N4	11.205	0,6
Naturgeschichte sehr hoch	N5	17.604	1,0
Sonstige Böden	9	1.321.056	71,6
Summe		1.845.488	100,0

Tabelle 55: Häufigkeitsverteilung schutzwürdiger Pedotope anhand von Begleitbodenformen mit geringer Flächenausdehnung (BSA200)

Schutzwürdige Pedotope anhand von Begleitbodenformen mit geringer Flächenausdehnung (BSA200)	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
"Biotopentwicklungspotenzial" sehr hoch	B5	54.325	2,9
"Biotopentwicklungspotenzial", Naturgeschichte sehr hoch	BN5	51.752	2,8
"Biotopentwicklungspotenzial", Kultur-/Naturgeschichte sehr hoch	BKN5	38.947	2,1
Naturgeschichte sehr hoch	N5	16.630	0,9
Sonstige Böden	9	1.683.835	91,2
Summe		1.845.488	100,0

Die in den Karten gekennzeichneten Flächen werden nicht vollständig als Ausschlussflächen des Bodenschutzes definiert, weil sie weder vollflächig schutzwürdige Böden umfassen noch das Vorhandensein schutzwürdiger Böden generell dem Anbau von KUP oder ähnlicher Dauerkulturen entgegenstehen. Vor diesem Hintergrund wird für die ausgewiesenen Flächenkulissen ein Prüfauftrag formuliert.

Landnutzung

Der Anbau von KUP oder ähnlicher Dauerkulturen kann vorwiegend auf Ackerflächen oder anderen vegetationsfreien Böden (Bergbaufolgelandschaften) Synergieeffekte für den Bodenschutz entfalten. Grünland ist im Regelfall nicht geeignet, weil damit zumeist negative Auswirkungen auf den Bodenhaushalt sowie den Natur- und Gewässerschutz einhergehen. Aus diesem Grund wird nur für Ackerflächen mit einem Flächenumfang von rund 38 % der Landesfläche (Tabelle 56) eine generelle KUP-Eignung unterstellt.

Tabelle 56: Häufigkeitsverteilung der Nutzungsformen in Sachsen

Nutzung nach Hauptgruppe BTLNK	Stufe	Fläche ha	Fläche % gesamt
Gewässer	–	40.134	2,1
Moore, Sümpfe	–	3.084	0,2
Grünland, Ruderalflur	–	306.848	16,6
Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden	–	25.911	1,4
Baumgruppen, Hecken, Gebüsche	–	17.953	1,0
Wälder und Forsten	–	512.353	27,8
Acker, Sonderstandorte	–	713.439	38,7
Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen	–	225.766	12,2
Summe		1.845.488	100,0

2.4.4 Synergieklassen für die verschiedenen Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien

Synergieklassen

Die im Kap. 2.4.3 beschriebenen Kriterien können zur Differenzierung der KUP-Synergieklassen²⁵ herangezogen werden. Unterschieden werden 7 Klassen (Tabelle 57), anhand derer die Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien eingestuft werden (Tabelle 58).

Tabelle 57: Synergieklassen

Synergie-klasse	Bedeutung für den KUP-Anbau	Erläuterung
0	neutral	Weder Synergien noch Risiken für Böden zu erwarten.
1	sehr starke Synergie	Synergie zu erwarten.
2	starke Synergie	Synergie zu erwarten, aber im geringeren Ausmaß.
3	Synergie prüfen	Einzelfallprüfung erforderlich. Prüfung kann zu „Synergie“ oder „Ausschluss“ führen
4	keine Synergie – Risiken	Keine Synergieeffekte zu erwarten. Anbau von Dauerkulturen birgt Risiko.
5	keine Synergie – Ausschluss	Beim Anbau von Biomasse-Dauerkulturen wie KUP hohes Risiko für Böden.
9	keine Daten oder nicht bewertet	<u>Nicht bewertet:</u> BTLNK-Code 21, 23, 25 (Gewässer) und 91-96 (Siedlungsflächen) <u>keine Daten:</u> Auswertegrundlagen des Bodenschutzes liegen nicht für ganz Sachsen vor, so dass Teilbereiche außerhalb von Gewässer- und Siedlungsflächen nicht bewertet werden können.

Tabelle 58: Synergieklassen für die Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien

Boden- und Nutzungskriterien	Stufe	Synergieklasse (vgl. Tabelle 57)
Erosionsgefährdung durch Wasser – potenziell besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen		
keine	0	0
hoch	4	1
sehr hoch	5	1
äußerst hoch	6	1
<i>keine Daten oder nicht bewertet</i>	9	9
Erosionsgefährdung durch Wasser – KRLS		
sehr gering	1	0
gering	2	0
mittel	3	0
hoch	4	2
sehr hoch	5	1
äußerst hoch	6	1
<i>keine Daten oder nicht bewertet</i>	9	9
Erosionsgefährdung durch Wasser – KS $\geq 0,9$		

²⁵ Nachfolgend wird aus sprachlichen Gründen vereinfachend nur das Kürzel „KUP“ verwendet und auf den Zusatz „und ähnliche Kulturen“ verzichtet.

Boden- und Nutzungskriterien	Stufe	Synergieklasse (vgl. Tabelle 57)
Potenziell besonders erosionsgefährdete Steillagen	1	1
keine erosionsgefährdete Steillage oder nicht bewertet	9	9
Erosionsgefährdung durch Wind – potenzielle Gefährdung (BSA200)		
keine	0	0
sehr gering	1	0
gering	2	0
mittel	3	2
hoch	4	1
sehr hoch	5	1
äußerst hoch	6	1
keine Daten oder nicht bewertet	9	9
Schadstoffbelastung der Böden		
Gebiete mit stark erhöhten Schadstoffgehalten in Oberböden	1	1
außerhalb dieser Gebiete	0	0
Vernässungsgrad (BSA200)		
nicht vernässt	0	0
sehr schwach vernässt	1	0
schwach vernässt	2	0
mittel vernässt	3	0
stark vernässt	4	4
sehr stark vernässt	5	4
äußerst stark vernässt	6	4
keine Daten oder nicht bewertet	9	9
Schutzwürdige Böden anhand von Leit- und Begleitbodenformen (BSA200)		
"Biotopentwicklungspotenzial" hoch	B4	3
"Biotopentwicklungspotenzial" sehr hoch	B5	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Kulturgeschichte hoch	BK4	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Kulturgeschichte sehr hoch	BK5	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Naturgeschichte sehr hoch	BN5	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Kultur-, Naturgeschichte sehr hoch	BKN5	3
Naturgeschichte hoch	N4	3
Naturgeschichte sehr hoch	N5	3
Sonstige Böden	9	0
Pedotope anhand von Begleitbodenformen mit geringer Flächenausdehnung (BSA200)		
"Biotopentwicklungspotenzial" sehr hoch	B5	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Naturgeschichte sehr hoch	BN5	3
"Biotopentwicklungspotenzial", Kultur-, Naturgeschichte sehr hoch	BKN5	3
Naturgeschichte sehr hoch	N5	3
Sonstige Böden	0	0
Nutzung nach Hauptgruppe BTLNK		
Gewässer	–	9
Moore, Sümpfe	–	5
Grünland, Ruderalflur	–	4
Magerrasen, Felsfluren, Zwergstrauchheiden	–	5
Baumgruppen, Hecken, Gebüsche	–	5

Boden- und Nutzungskriterien	Stufe	Synergieklasse (vgl. Tabelle 57)
Wälder und Forsten	–	5
Acker, Sonderstandorte (BTLNK-Code 81)	–	1
Siedlung, Infrastruktur, Grünflächen	–	9

Synergien nach Boden- und Schadstoffkriterien

Die verschiedenen Boden- und Schadstoffkriterien werden hinsichtlich ihrer Synergieklassen zusammengeführt. Dabei bestimmt immer die maximale Synergieklasse aller Bodenkriterien die Gesamteignung. Das heißt, wird einmal die Synergieklasse 5 für ein Kriterium vergeben, dann wird für diese Bodenfläche die Gesamtsynergieklasse „5“ vergeben.

Das Ergebnis der Gesamtbewertung der Boden- und Schadstoffkriterien wird in Tabelle 59 und im Anhang 34 wiedergegeben. Danach sind dem Grundsatz nach auf 21,5 % der Landesfläche Synergien für den Bodenschutz möglich, wenn dort ein nachhaltiger Anbau von KUP anstelle normaler ackerbaulicher Kulturen ohne besondere Schutzmaßnahmen erfolgt. Bei weiteren 14,2 % der Landesfläche ist die Eignung anhand großmaßstäbiger Bodeninformationen zu überprüfen. Der KUP-Anbau birgt Risiken auf rund 9 % der Landesfläche. Auf der restlichen Fläche sind weder positive noch negative Effekte für den Bodenschutz zu erwarten bzw. die Flächen wurden nicht bewertet.

Tabelle 59: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Boden- und Schadstoffkriterien

Synergieklassen nach Boden- und Schadstoffkriterien	Klasse	Fläche ha	Fläche % gesamt
neutral	0	221.160,7	12,0
sehr starke Synergie	1	228.124,8	12,4
starke Synergie	2	168.614,7	9,1
Synergie prüfen	3	262.147,0	14,2
keine Synergie – Risiken	4	162.746,1	8,8
keine Synergie – Ausschluss	5	0,0	0,0
keine Daten oder nicht bewertet	9	802.695,2	43,5
Summe		1.845.488,5	100,0

Synergien nach Nutzungskriterien

Synergien werden grundsätzlich nur auf Ackerflächen (ca. 38 % der Landesfläche) unterstellt, alle anderen Flächen werden als ungeeignet bewertet (Ausschluss) bzw. sind gegenüber KUP-Anbau sensibel und mit Risiken behaftet (Grünland, Ruderalflur) (Tabelle 60, Anhang 35).

Für Grünland wurde abgewogen, ob im Falle von schadstoffbelasteten Böden eine Synergiewirkung aus Sicht des Bodenschutzes für den KUP-Anbau angerechnet werden kann. Folgende Gründe des vorsorgenden Bodenschutzes sprechen gegen eine generelle Synergiewirkung auf Grünlandflächen:

Mit dem Anbau von KUP oder anderen Dauerkulturen geht ein Grünlandumbruch einher. Damit verbunden sind im Regelfall kräftige Mineralisationsschübe, die sowohl erhöhte Nähr- als auch Schadstoffausträge verursachen. Die erhöhten Austräge können zu Gewässerbelastungen beitragen. Gleichzeitig reduziert der anfängliche Humusabbau die positive Klimawirkung, die mit dem Anbau von Dauerkulturen zur Energiegewinnung verbunden wird, das heißt die CO₂-Bilanz verschlechtert sich. Im Übrigen wird die Erosionsgefährdung nach dem Grünlandumbruch bis zum 2. Bestandsjahr aufgrund deutlich geringerer Bodenbedeckungsgrade stark erhöht.

Die grundsätzliche Zielsetzung, für Böden mit stark erhöhten Schadstoffgehalten eine Alternative zur Lebensmittel- oder Futtermittelproduktion bereitzustellen, ist auf Grünlandböden besser mit der Schnittnutzung zu erreichen, als mit dem Anbau von KUP oder sonstigen Dauerkulturen. Der Grünlandaufwuchs dieser schadstoffbelasteten Flächen kann in Biogasanlagen zur Energiegewinnung verwendet werden. Die oben genannten Nachteile des Grünlandumbruchs können so im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes vermieden werden.

Tabelle 60: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Nutzungskriterien

Synergieklassen nach Nutzungskriterien	Klasse	Fläche ha	Fläche % gesamt
neutral	0	0,0	0,0
sehr starke Synergie	1	704.146,6	38,2
starke Synergie	2	0,0	0,0
Synergie prüfen	3	0,0	0,0
keine Synergie – Risiken	4	320.570,1	17,4
keine Synergie – Ausschluss	5	559.301,5	30,3
keine Daten oder nicht bewertet	9	261.470,3	14,2
Summe		1.845.488,5	100,0

Synergien nach Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien

Führt man die Boden-, Schadstoff- und Nutzungsbewertung zusammen, dann werden die Flächen ermittelt, für die aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes Synergien oder Risiken zu erwarten sind. Da nur für Ackerflächen Synergien möglich sind, reduziert sich die Flächenkulisse auf die sächsischen Ackerflächen. Die entsprechende Flächenstatistik für Sachsen kann Tabelle 61 entnommen werden. Die räumliche Verteilung der Gesamtbewertung der Synergieklassen geht aus der Karte im Anhang 36 hervor.

Nach Tabelle 61 werden 15,2 % der Fläche Sachsens in die Klassen starke bzw. sehr starke Synergien eingestuft; auf diesen Flächen sind anhand der verwendeten Boden- und Nutzungskriterien Synergieeffekte für den Bodenschutz zu erwarten. Auf weiteren 8,1 % der Landesfläche sind die Bedingungen für den KUP-Anbau anhand von Zusatzinformationen zu überprüfen. Als ungeeignet bzw. Risikoflächen gegenüber dem KUP-Anbau werden 5,2 % der Landesfläche eingestuft.

Tabelle 61: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen nach Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien auf Ackerflächen

Synergieklassen nach Boden-, Schadstoff- und Nutzungskriterien	Klasse	Fläche ha Acker	Fläche % Acker	Fläche % Sachsen
neutral	0	171.734,9	24,4	9,3
sehr starke Synergie	1	150.502,4	21,4	8,2
starke Synergie	2	130.101,1	18,5	7,0
Synergie prüfen	3	149.435,6	21,2	8,1
keine Synergie – Risiken	4	96.289,3	13,7	5,2
keine Synergie – Ausschluss	5	0,0	0,0	0,0
keine Daten oder nicht bewertet	9	6.083,3	0,8	0,3
Summe		704.146,6	100,0	38,2

2.4.5 Verteilung der Synergieklassen auf die Landschaftsräume

Die Verteilung der einzelnen Synergieklassen kann für planerische Fragestellungen auf die einzelnen Landschaftsräume Sachsens runter gebrochen werden (Tabelle 62). Dadurch wird deutlich, dass die naturräumliche Gunst für den Anbau von KUP oder ähnlichen Dauerkulturen sehr unterschiedlich verteilt ist. Während z. B. die Landschaftsräume 2 und 4 „Leipziger Land und Elsteraue“ sowie „Ballungsraum Leipzig“ durch sehr geringe Ackerflächenanteile mit Synergien aus Sicht des Bodenschutzes gekennzeichnet sind, zeichnet sich das „Mulde-Lösshügelland“ (Landschaftsraum 11) durch absolut und prozentual sehr hohe Flächenanteile mit Synergieeffekten aus.

Tabelle 62: Häufigkeitsverteilung der Synergieklassen für Ackerflächen nach Boden- und Nutzungskriterien bezogen auf die Landschaftsräume

Landschaftsraum Nr. (vgl. Anhang 1)	Bewertungsklasse							Flächensumme ha	Bewertungsklasse						
	0	1	2	3	4	5	9		0	1	2	3	4	5	9
	ha Ackerfläche								% der Ackerfläche						
1	34075,4	2077,5	4931,3	20933,1	8473,1	0,0	547,7	71038	48,0	2,9	6,9	29,5	11,9	0,0	0,8
2	2867,5	12,3	93,7	568,6	172,6	0,0	118,3	3833	74,8	0,3	2,4	14,8	4,5	0,0	3,1
3	3219,2	64,3	2467,1	3053,3	856,1	0,0	426,5	10086	31,9	0,6	24,5	30,3	8,5	0,0	4,2
4	20,6	35,1	5,0	4261,1	0,5	0,0	35,8	4358	0,5	0,8	0,1	97,8	0,0	0,0	0,8
5	18969,6	2709,6	1729,8	9404,6	2477,6	0,0	345,3	35636	53,2	7,6	4,9	26,4	7,0	0,0	1,0
6	1077,9	2184,2	141,8	15715,3	1439,2	0,0	144,8	20703	5,2	10,5	0,7	75,9	7,0	0,0	0,7
7	1115,6	1598,6	854,1	2161,9	306,9	0,0	72,6	6110	18,3	26,2	14,0	35,4	5,0	0,0	1,2
8	389,2	308,4	129,5	606,0	21,8	0,0	57,1	1512	25,7	20,4	8,6	40,1	1,4	0,0	3,8
9	24944,0	3392,4	17001,1	9313,0	4331,6	0,0	468,5	59451	42,0	5,7	28,6	15,7	7,3	0,0	0,8
10	5335,0	14750,0	7674,3	19617,3	3400,6	0,0	408,8	51186	10,4	28,8	15,0	38,3	6,6	0,0	0,8
11	16895,5	29081,2	20274,2	7369,0	13988,0	0,0	716,6	88324	19,1	32,9	23,0	8,3	15,8	0,0	0,8
12	10110,6	8086,2	7446,2	1275,4	9938,4	0,0	415,1	37272	27,1	21,7	20,0	3,4	26,7	0,0	1,1
13	3890,3	7443,6	4480,2	3004,5	8864,4	0,0	252,8	27936	13,9	26,6	16,0	10,8	31,7	0,0	0,9
14	132,1	155,6	140,6	227,2	305,3	0,0	25,0	986	13,4	15,8	14,3	23,0	31,0	0,0	2,5
15	156,8	406,6	256,7	86,5	632,2	0,0	19,8	1559	10,1	26,1	16,5	5,6	40,6	0,0	1,3
16	3100,0	14752,0	6461,0	1108,6	6111,6	0,0	290,3	31824	9,7	46,4	20,3	3,5	19,2	0,0	0,9
17	118,7	377,2	167,8	35,5	199,1	0,0	18,9	917	12,9	41,1	18,3	3,9	21,7	0,0	2,1
18	4055,8	17003,0	9471,0	1711,3	12799,0	0,0	434,2	45474	8,9	37,4	20,8	3,8	28,1	0,0	1,0
19	381,2	1491,4	726,3	77,9	1100,5	0,0	49,9	3827	10,0	39,0	19,0	2,0	28,8	0,0	1,3
20	812,2	2286,8	1042,6	1055,3	1455,7	0,0	64,6	6717	12,1	34,0	15,5	15,7	21,7	0,0	1,0
21	1688,8	4042,7	2257,1	500,8	487,8	0,0	58,2	9035	18,7	44,7	25,0	5,5	5,4	0,0	0,6
22	899,1	3210,5	1153,6	1026,5	1275,4	0,0	48,4	7614	11,8	42,2	15,2	13,5	16,8	0,0	0,6
23	7452,1	4109,5	9809,1	6005,9	5539,6	0,0	138,2	33055	22,5	12,4	29,7	18,2	16,8	0,0	0,4
24	4167,9	7698,4	6372,4	2363,3	3745,7	0,0	158,4	24506	17,0	31,4	26,0	9,6	15,3	0,0	0,6
25	12271,3	4297,3	8468,1	5784,2	376,4	0,0	116,5	31314	39,2	13,7	27,0	18,5	1,2	0,0	0,4
26	1295,6	5531,6	2356,5	619,2	326,6	0,0	54,3	10184	12,7	54,3	23,1	6,1	3,2	0,0	0,5
27	10155,3	10691,8	9532,9	5046,6	864,5	0,0	172,5	36464	27,9	29,3	26,1	13,8	2,4	0,0	0,5
28	1879,9	2112,8	4232,9	21018,6	5923,8	0,0	202,0	35370	5,3	6,0	12,0	59,4	16,7	0,0	0,6
29	95,0	202,3	129,1	3420,3	392,8	0,0	65,5	4305	2,2	4,7	3,0	79,4	9,1	0,0	1,5
30	83,2	342,3	234,6	1821,4	401,2	0,0	52,5	2935	2,8	11,7	8,0	62,1	13,7	0,0	1,8
	171655	150455	130041	149192	96208	0	5979	703531*							

* Anmerkung: Die Abweichung der Flächensumme für Ackerflächen von der Ackerfläche nach Tabelle 61 ist auf inkonsistente Grenzlinien der Landschaftsräume im Vergleich zur verwendeten Außengrenze Sachsens zurückzuführen.

2.5 Natur- und bodenschutzfachliche Standards

2.5.1 Grundlagen

Aus Sicht des **vorsorgenden Bodenschutzes** sind bei KUP insbesondere folgende Bewirtschaftungsverfahren kritisch:

KUP-Anlage:

Für das Anlegen von KUP wird zumeist eine Herbstfurche empfohlen. Auf erosionsgefährdeten Standorten kann verstärkt Bodenerosion und Auswaschung auftreten, wenn lange Brachezeiten vor den Pflanz- bzw. Setzarbeiten und eine unzureichende Bodenbedeckung in der Phase der langsamen Bestandsentwicklung im 1. und ggf. 2. Jahr angetroffen werden. Diesen potenziellen Gefährdungen kann grundsätzlich mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren und Mulchpflanz- bzw. Mulchsetzverfahren begegnet werden. Zu diesen Techniken liegen derzeit keine praktischen Erfahrungen vor. Aus diesem Grund empfehlen sich entsprechende Versuchsanlagen, um schonende KUP-Anlage-Verfahren zu erproben.

KUP-Ernte

Die KUP-Ernte erfolgt im Winterhalbjahr. Dem Gefügeschutz bei der winterlichen Ernte ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen, weil bei den grundsätzlich hohen Bodenfeuchtegehalten im Winterhalbjahr massive Bodengefügeschäden nicht ausgeschlossen werden können. Hier besteht Entwicklungsbedarf für bodenschonende Ernteverfahren. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Vorverlagerung der KUP-Ernte. Zu Zeiten der Blattverfärbung bzw. des Blattwurfs im Oktober bis November liegen häufig noch trockene Bodenverhältnisse vor; zumindest der Unterboden ist in dieser Zeitspanne im Regelfall noch nicht wassergesättigt. Aus diesem Grund kann durch die Vorverlegung der KUP-Ernte in den Herbst ein effektiver Beitrag zum Bodengefügeschutz geleistet werden.

KUP-Umbruch:

Die Vorteilswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf das Bodengefüge und das Bodenleben können bei der Rückumwandlung in Ackerflächen wieder verloren gehen, wenn sehr intensive Rekultivierungsverfahren zum Einsatz kommen. Beispielsweise empfehlen RÖHRICHT & RUSCHER (2004a) und FNR (2008) zur Wiederherstellung der landwirtschaftlichen Fläche den Einsatz einer Rodungsfräse, die von einem leistungsstarken Traktor gezogen wird. Die Rodungsfräse sorgt für die erste grobe Durcharbeitung des bestockten Bodens, mit Zerschneiden sowie Zerreißen der Wurzelstöcke und arbeitet die verbleibenden Stücke ca. 40 cm in den Boden ein. Für eine möglichst bodenschonende Rückumwandlung fehlen derzeit praxisreife Verfahren, so dass entsprechende Versuche empfohlen werden.

Standortauswahl:

In Kap. 2.4.3.6 sind Standorte aufgeführt, die als sensibel gegenüber dem Anbau von KUP oder anderen Dauerkulturen einzustufen sind. So besteht auf vernässten Standorten die Gefahr der Schadverdichtung während der winterlichen Ernteverfahren. Auf Grünlandböden sind durch die Umwandlung in KUP und andere Dauerkulturen starke Mineralisationsschübe der organischen Substanz zu erwarten, die sowohl im Hinblick auf Nährstoffauswaschungen in Gewässer als auch im Hinblick auf die CO₂-Emissionen in die Atmosphäre negativ zu beurteilen sind. Sehr hohe CO₂-Emissionen sind insbesondere auf humusreichen

Böden oder Moorböden zu erwarten, wenn die Bodenbelüftung durch die Anlage von KUP oder anderen Dauerkulturen durch anfänglichen Umbruch erhöht wird. Auch besonders schutzwürdige Böden können sensibel auf die Anlage von KUP und Dauerkulturen reagieren; im Falle von Böden mit hohen Biotopentwicklungspotenzialen stimmen die Schutzanforderungen des Boden- und Naturschutzes überein. Darüber hinaus sollten Böden mit besonderen Archivfunktionen der Natur- bzw. Kulturgeschichte nicht durch Nutzungsänderungen beeinträchtigt werden. Weiterhin sind im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Landschaftswasserhaushaltes ein Mindestwasserabfluss zu gewährleisten. Dies muss besonders in Gebieten mit geringer bis negativer klimatischer Wasserbilanz berücksichtigt werden. Hier wird eine gebietsbezogene Definition von Obergrenzen für KUP-/Dauerkulturanlagen als sinnvoll angesehen.

Aus Sicht des **Naturschutzes** sind bei der Kurzumtriebswirtschaft folgende Aspekte zu berücksichtigen: Die Neuanlage von KUP sollte stets auf Ackerland erfolgen. Die Anlage von KUP auf Grünland ist aus Sicht des Klimaschutzes als ungünstig einzustufen (siehe oben, Bodenschutz), auch bezüglich des Artenschutzes können Beeinträchtigungen auftreten. Deshalb wird die Einführung einer Genehmigungspflicht für die Anlage von KUP auf Grünland empfohlen.

Des Weiteren sollten Ausschlussgebiete definiert werden, die als Anbaufläche für KUP nicht in Frage kommen. Diese Ausschlussgebiete, die bereits als solche in Regionalplänen / Landschaftsplänen ausgewiesen werden könnten, sollten u. a. folgende Flächen umfassen (siehe Kapitel 2.3.2.1):

- die Schutzgebietskategorien (nach SächsNatSchG) Nationalpark, Biosphärenreservat (Kern- und Pufferzone), Naturschutzgebiete, Flächennaturdenkmale, Flächen der Selektiven Biotopkartierung,
- Gewässerrandstreifen (nach SächsWG).

Darüber hinaus ist die Ausweisung von Gebieten mit erforderlicher Einzelfallprüfung sinnvoll, wobei in diesen Gebieten vor Anlage einer KUP eine Prüfung der Vereinbarkeit mit den Zielen des Natur-, Landschafts- und Bodenschutzes vorzunehmen ist. Zu diesen Flächen gehören (siehe Kapitel 2.3.2.2):

- bedeutsame Flächen für den Artenschutz: Gebiete mit Vorkommen besonders und streng geschützter, seltener und gefährdeter Arten gemäß Anhang 16 (u. a. Rast-, Brut- und Nahrungsgebiete für (Zug-) Vögel, z. B. Wiesenweihe, Bekassine, Ortholan, Kiebitz),
- die Schutzgebietskategorien (nach SächsNatSchG) Landschaftsschutzgebiet, FFH-Gebiet, Vogelschutz-Gebiet, Biosphärenreservat (Zone 3 und 4), Naturpark und
- Grenzertragsstandorte mit hohem Biotopentwicklungspotenzial.

Eng verbunden mit der Standortwahl ist die erforderliche Beachtung der örtlichen landschaftlichen und landschaftsökologischen Bedingungen. Daher sollten KUP so an das Landschaftsbild angepasst werden, dass kein Verlust von Eigenart, Vielfalt, Schönheit der Landschaft hervorgerufen wird. Dies kann über eine naturräumlich angepasste Struktur oder durch die Einbindung der KUP ins Landschaftsbild durch heimische Gehölzsäume geschehen. Durch das Freihalten von Sichtachsen wird der jeweilige Landschaftscharakter bewahrt.

In ausgeräumten Agrarlandschaften wirken sich KUP durch Erhöhung des Gehölzanteils in der Landschaft vorteilhaft aus. Die Lenkung der KUP-Anlage in diese Gebiete wäre aufgrund dessen sinnvoll. Trotzdem sol-

len und können sie Hecken und andere Feldgehölze aus einheimischen Arten nicht ersetzen (SCHMIDT & GLASER 2010).

Bezüglich der Ausprägung und Gestaltung der KUP sind zunächst Anforderungen an die Auswahl des Pflanzmaterials zu stellen. Es sollten

- keine invasiven Arten verwendet werden (außer Robinie, siehe hierzu Kapitel 2.3.2.2),
- keine gentechnisch veränderten Arten zum Einsatz kommen.

Bezüglich des Invasionspotenzials bestimmter Baumarten, z. B. der Robinie, sind Mindestabstände zu aus Naturschutzsicht wertvollen invasionsgefährdeten Biotopen (z. B. Magerrasen und Heiden, wertvolle südexponierte Waldränder etc.) einzuhalten. Sowohl die Abstände als auch die zu berücksichtigenden wertvollen Biotope müssen noch genau definiert werden. Empfehlungen zu Abständen gibt z. T. das Bundesamt für Naturschutz (z. B. BfN 2009).

Die Verwendung gentechnisch veränderter Pflanzen birgt (langfristig) Gefahren, die gegenwärtig nicht abgeschätzt werden können. Deshalb sollte vielmehr die Züchtung, deren Potenzial noch nicht ausgeschöpft ist, gefördert werden, um eine größere Anzahl standortangepasster Sorten für die Anlage von KUP zur Verfügung zu haben.

Um das ökologische Risiko zu minimieren, sind KUP möglichst aus mehreren Sorten und Klonen aufzubauen. Bei der Anlage der KUP sollte darauf geachtet werden, dass möglichst viele Randstrukturen bei der Bewirtschaftung entstehen. Die Länge der Randstrukturen wirkt sich günstig auf die Biodiversität aus (WEIH et al. 2003). Die Anlage von möglichst vielen schmalen Blöcken (technologisch beerntbare Flächeneinheiten), die zeitlich gestaffelt beerntet werden, ist nicht geteilten sowie quadratischen Formen vorzuziehen.

Die Gestaltung von Rändern hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die Biodiversität der KUP. Durch die Anlage von Mantelflächen gebietsheimischer Gehölzarten und die Entwicklung von Staudensäumen kann die Attraktivität von KUP als Lebensraum und damit die Artenvielfalt gesteigert werden, was verschiedene Untersuchungen belegen (z. B. NABU 2008, SCHULZ et al. 2008, SCHMIDT & GLASER 2010). Insgesamt ist ein kleinflächiger Strukturwechsel, auch innerhalb der KUP, z. B. durch Mischung mit anderen Gehölzen, zu bevorzugen. Grundsätzlich sollten für die Anlage oder spontane Entwicklung von Begleitbiotopen 5 -10 % der KUP-Fläche vorgesehen werden (SCHMIDT & GLASER 2010). Der Erhalt der Beihilfefähigkeit für diese Flächen ist sicher zu stellen.

Aus Naturschutzsicht sind längere Umtriebszeiten von Vorteil, hierzu besteht aber noch Forschungsbedarf. Positiv würde sich auch eine Ernte von Teilflächen auswirken, wodurch eine Art Altersstruktur innerhalb der Plantagen und ein größeres Habitatangebot für Arten entstehen. Die Ernte sollte grundsätzlich außerhalb der Vegetationsperiode, nach Möglichkeit im Winter bei gefrorenem Boden, erfolgen.

Bei der Integration der KUP in den Biotopverbund/ die Biotopvernetzung ist zu prüfen, inwiefern bereits bestehende strukturreiche und/oder artenreiche Biotope (z.B. Feldgehölze, Hecken, Feuchtbiotope) eingebunden sowie weitere strukturelle oder funktionelle Vernetzungen von Landschaftsbestandteilen mit den KUP realisiert werden können. An eine KUP innerhalb eines Biotopverbundsystems oder an KUP mit Beitrag zur Biotopvernetzung müssen aus Sicht des Naturschutzes höhere Maßstäbe angesetzt werden als bei einer KUP außerhalb des Biotopverbundes. Beispielsweise sind dort Anforderungen wie die Anlage von Begleitbiotopen, längere Rotationszyklen sowie die gestaffelte Beerntung - angepasst auf die Zielstellung des Biotopverbundes/ der Biotopvernetzung - umzusetzen.

2.5.2 Technikeinsatz auf Problemstandorten (Hangneigung, Vernässung), Extensivierung

Die ökonomische Bewirtschaftung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb ist mit dem Einsatz hoch mechanisierter Pflanz- und Erntetechnik verbunden. Hauptkriterium ist somit die Befahrbarkeit. Nach den bisherigen Erfahrungen (BECKER & WOLF 2009) können Standorte bis 10 % Hangneigung mit Erntemaschinen befahren werden. Einschränkungen treten allerdings bei zunehmender Bodenfeuchte insbesondere auf schluffreichen sowie lehmigen Böden auf. Auch stauwassergeprägte Böden mit langer Nassphase und Standorte in Überflutungsbereichen sind nur eingeschränkt befahrbar. Landwirtschaftliche Flächen, die aufgrund von zu starker Hangneigung oder lang anhaltender Vernässung eine Befahrung mit Pflanz- und Erntemaschinen nicht oder nur sehr eingeschränkt erlauben, werden als Problemstandorte bezeichnet. Auf solchen Standorten ist die hoch mechanisierte Beerntung von Kurzumtriebsplantagen mit Umtriebszeiten bis zu 5 Jahren für die Gewinnung von Hackgut nicht möglich bzw. ökologisch (Bodenschäden) und wirtschaftlich (Maschinenverschleiß, Ausfallzeiten) nicht vertretbar. Auch Flächen ohne Anbindung an ein landwirtschaftliches Wegenetz oder ungünstige Flächenanlage (z. B. hangparallele Pflanzreihen, keine Abfuhrmöglichkeit am Hangfuß) sind problematisch. Im Sinne eines vorbeugenden Bodenschutzes sollten Problemstandorte deshalb nicht primär für die Erzeugung von Biomasse in intensiv bewirtschafteten Kurzumtriebsplantagen (Rotationslänge bis 5 Jahre) ausgewählt werden.

Die ausgeschiedenen Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Bodenschutzes (Kapitel 2.3) umfassen jedoch gerade auch vorgeprägte Abflussbahnen, die auf 2 % der Fläche Sachsens vorkommen (2.4.3.1) sowie steile, besonders erosionsgefährdete Standorte (2.4.3.3) mit einem Anteil von 4 % an der sächsischen Ackerfläche. Hinzu kommen sehr schwach bis schwach vernässte Böden (20,2 % der sächsischen Landesfläche), die für KUP noch geeignet sind (Kapitel 2.4.3.6, Tabelle 53) jedoch eine angepasste KUP-Bewirtschaftung erfordern, um Bodenschäden zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Allgemein gilt, je schlechter die Befahrbarkeit des Standorts ist, desto geringer sollte die verwendete Pflanzenzahl und desto länger die Umtriebszeit der KUP gewählt werden. Durch die dann stärkeren zu erntenden Dimensionen können jedoch nur noch Ernteverfahren aus dem Forstbereich bzw. kombinierte Verfahren aus Harvester und Hacker eingesetzt werden. Die folgenden Aussagen wurden deshalb der „Holzerntetechnologien - Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen“ (SBS 2006) entnommen. Der Forstmaschineneinsatz setzt allerdings voraus, dass Pflanzreihen nicht parallel mit den Höhenlinien verlaufen (BECKER & WOLF 2009). Am Hangfuß sollte sich ein LKW-befahrbarer Weg befinden, wo das Erntegut entladen, zwischengelagert und abgefahren werden kann. Wenn diese Verhältnisse gegeben sind sowie Bodenfrost bzw. Bodentrockenheit herrscht, gilt, dass Beerntung mit Forstmaschinen bis etwa 20 % Hangneigung bodenschonend möglich ist (Tabelle 63, vgl. BECKER & WOLF 2009).

Tabelle 63: Hangneigungsklassen und Befahrbarkeit mit Forstmaschinen (SBS 2006)

Hangneigungsklasse	Harvester	Forwarder	Seilschlepper
H 1 0–4 %, eben	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung	Keine Einschränkung
H 2 >4–20 %	Keine Einschränkung	Leerfahrt bergauf möglich, Lastfahrt bergab	Leerfahrt bergauf möglich, Lastfahrt bergab
H 3 >20–30 %	Keine Einschränkung	Leerfahrt bergauf bedingt möglich, Lastfahrt berg-	Leerfahrt bergauf bedingt möglich, Lastfahrt berg-

Hangneigungsklasse	Harvester	Forwarder	Seilschlepper
		ab, Aufstiegsgasse festlegen	ab, Aufstiegsgasse festlegen
H 4 >30–40 (45) %	Keine Einschränkung	Leerfahrt nur auf festgelegter Aufstiegsgasse zulässig, Lastfahrt bergab	Leerfahrt nur auf festgelegter Aufstiegsgasse zulässig, Lastfahrt bergab
N >45 %, nicht befahrbar	Einsatz Kettenharvester möglich	Bodengebundene Rückung nur vom Abfuhr- oder Maschinenweg aus	Bodengebundene Rückung nur vom Abfuhr- oder Maschi-nenweg aus

In Tabelle 64 sind die Befahrbarkeitsklassen für Forstmaschinen nach SBS (2006) aufgeführt. Für die Bewirtschaftung von KUP mit längeren Umtriebszeiten (>> 5 Jahre) sind demnach bereits Standorte beginnend ab der Befahrbarkeitsklasse 3 (stauwassergeprägt, stark vernässt) nicht mehr befahrbar und somit nicht für die Bewirtschaftung mit KUP geeignet (vgl. Kapitel 2.4.3.6).

Tabelle 64: Befahrbarkeitsklassen für den Einsatz von Forstmaschinen (nach SBS 2006)

Befahrbarkeitsklassen				
B1 befahrbar	B2 eingeschränkt befahrbar	B3 stark eingeschränkt befahrbar	B4 kaum befahrbar	B5 nicht befahrbar
bartrockene und mäßig frische, unvernässte Standorte	frische, unvernässte Standorte	von Bodenfeuchte abhängig; stauwassergeprägte Standorte; aueartige (Überflutungs-) Standorte	hydromorphe (dauernasse) Standorte (einschließlich Moore u. Bachtälchen)	schutzwaldartige Steilhang-Standorte; nicht befahrbare Komplexstandorte, Wasserflächen
	muldige bzw. konkave Wassersammelbereiche (Boden-substrat gegenüber benachbarten Standorten i.d.R. länger feucht und skelettärmer; Sohle ist potenzielle Abflussbahn bzw. Sammelbereich bei Starkniederschlägen); bei Befahrung Bodenfeuchte und Witterung beachten! (teilweise auch erosionsgefährdete trockene Standorte dieser Befahrbarkeitsklasse zuzuordnen i. S. der erhöhten Ansprüche an Verfahren und Technologie)	Standorte mit Wechsel von Wasserübersättigung und unterschiedlich lang andauernden Austrocknungsphasen (in Nassphasen ist Erhalt der technischen Befahrbarkeit gefährdet; in Trockenphasen in Abhängigkeit vom Boden-substrat relativ gut befahrbar); Befahrung ist auf Austrocknungsperioden des Bodens zu konzentrieren; in Feucht- und Nassphasen sowie Regenperioden keine Befahrung!	hochsensible, vorrangig extensiv zu bewirtschaftende Standorte; Befahrung nur mit sehr geringem Bodendruck möglich in Anpassung an Vorfeuchte und Wettersituation (z. B. Frostperioden nutzen)	Standorte, auf denen eine Befahrung mit Forstmaschinen aus technologischen Gründen nicht mehr möglich ist.

2.6 Modulübergreifende Auswertungen

2.6.1 Abstimmung der Module

Für die Darstellung von räumlich konkreten Gebietskulissen für den Anbau von Dauerkulturen zur Gewinnung von Biomasse für die Energieerzeugung sind zunächst die Ergebnisse aus den Modulen Standortstypisches Ertragspotenzial (Kapitel 2.1), Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz (Kapitel 2.3), Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz (Kapitel 2.4) zusammenzuführen. Dies erfordert die Verwendung eines einheitlichen Systems für die Darstellung der Ergebnisse. Dazu wurden Synergieklassen gebildet (siehe Kapitel 2.3.2, Tabelle 57) und die Ergebnisse der einzelnen Module darauf abgestimmt.

Bei der Überlagerung von verschiedenen Synergieklassen auf einer Fläche wurde für die zusammengeführten Ergebnisse diejenige übernommen, deren Synergieklassen-Nummer den höheren Wert hat. Das Verfahren wird in den Kapiteln 2.3.2 und 2.4.4. beschrieben und beispielhaft für die Zusammenführung der Ergebnisse zwischen den Modulen ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ dargestellt.

Als Basisfläche, die für den Anbau von Dauerkulturen, insbesondere Kurzumtriebsplantagen in Frage kommt, wurde nur die Fläche berücksichtigt, die sich aus den Biotoptypen Acker (BTLNK-Schlüssel 81) zusammensetzt. Sie umfasst 7.041,5 km² (Stand der BTLNK 2005).

Die Ergebniskarten der einzelnen Module wurden zunächst mit dieser Basisfläche und danach nach festgelegten Kriterien weiter verschnitten.

Offen bleibt, welche Ergebnisse in der Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ der zusammengeführten Daten nach erfolgter Einzelfallprüfung erzielt werden. Eine Vorabprüfung wäre nur möglich, wenn z. B. die Vorgaben aus Schutzgebietsplänen (LSG-Verordnungen, FFH-Managementpläne) berücksichtigt würden. Das war allerdings innerhalb dieses Projektes nicht leistbar.

Die weitere Verschneidung der Vorzugs- und Vorsorgeflächen des Naturschutzes bzw. Bodenschutzes mit den Ertragspotenzialen führte zur zusammenfassenden Ergebniskarte Gebietskulisse für Biomasse aus KUP mit den standortstypischen Ertragspotenzialen.

2.6.2 Ergebnisse - Kartendarstellungen und Zusammenfassung nach Landschaftsräumen

Die Darstellung der zusammengeführten Ergebnisse der Module ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ findet sich in Tabelle 65.

Die Synergieklasse ‚Synergie prüfen‘ nimmt mit 44 % den größten Flächenanteil ein. Für ein Drittel der Ackerflächen (33 %) werden Synergieeffekte erwartet. Als Risikoflächen (Synergieklasse ‚keine Synergie – Risiko‘) sowie Ausschlussflächen (Synergieklasse ‚keine Synergie – Ausschluss‘) werden zusammen 16 % (13,3 bzw. 2,3 %) der Ackerflächen bewertet. Neutrale Flächen (keine Synergie – kein Risiko) haben mit 7 % nur geringe Flächenanteile.

Die Flächenverteilung dieser sachsenweit zugeordneten Synergieklassen kann der Karte im Anhang 37 entnommen werden.

Tabelle 65: Verteilung der Synergieklassen auf die Ackerfläche des Freistaates Sachsen nach Zusammenführung der Module ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs- und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘

Synergieklasse	Ackerfläche* [ha]	Flächenanteil an der Ackerfläche* [%]
Sehr starke Synergie	152.907,41	21,4
Starke Synergie	83.554,60	11,7
Synergie prüfen	313.717,60	43,9
Keine Synergie – Risiko	95.086,77	13,3
Keine Synergie – Ausschluss	16.609,72	2,3
Neutral (keine Synergie – kein Risiko)	50.932,41	7,2
Nicht bewertet	1.386,93	0,2
gesamt**	714.195,44	100,0

* Basis: BTLNK-Code 81, ohne Überlagerungen der einzelnen Synergieklassen

** durch Transformation der BTLNK von Vektordaten (Ausgangsdaten) in Rasterdaten, erhöht sich die Ackerfläche um 1,4 %

Die zusammengeführten Daten der Module ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ wurden bezüglich des möglichen Beitrages von KUP zum Biotopverbund hin geprüft. Die Ergebnisse sind in Kapitel 2.3.4.3 zu finden.

Die zusammengeführten Ergebnisse der Module ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Naturschutz‘ und ‚Vorzugs und Vorsorgeflächen Bodenschutz‘ wurden im Folgenden auf Basis der 30 Landschaftsräume für den Fachbeitrag zum Landschaftsprogramm ausgewertet (siehe Tabelle 66).

Tabelle 66: Flächenanteile der Synergieklassen an den Landschaftsräumen auf der Basis der Ackerflächen – Auswahl nach Boden- und Naturschutzkriterien

Landschaftsräume		Synergieklasse – Fläche [ha]							Summe* [ha]	Synergieklasse -Flächenanteil [%]						
		0	1	2	3	4	5	9		0	1	2	3	4	5	9
1	Leipziger Land und Elsteraue	2.964,7	19.093,6	2.863,2	28.741,1	8.133,8	9.739,0	102,7	71.638,2	4,1	26,7	4,0	40,1	11,4	13,6	0,1
2	Ballungsraum Leipzig	55,4	1.753,3	26,2	1.857,4	171,2	35,3	13,8	3.912,5	1,4	44,8	0,7	47,5	4,4	0,9	0,4
3	Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Landes	44,4	3.364,7	1.611,5	4.211,3	845,5	130,7	28,3	10.236,5	0,4	32,9	15,7	41,1	8,3	1,3	0,3
4	Mittlere Mulde	7,4	10,8	0,6	4.240,2	0,5	161,4	9,7	4.430,6	0,2	0,2	0,0	95,7	0,0	3,6	0,2
5	Düben-Dahlener Heide	5.977,7	3.085,7	635,5	23.281,6	2.458,0	483,6	75,3	35.997,3	16,6	8,6	1,8	64,7	6,8	1,3	0,2
6	Riesa-Torgauer Elbtal mit Annaburger Heide und Gohrischheide	871,9	1.328,6	72,0	16.804,0	1.405,3	406,6	29,0	20.917,5	4,2	6,4	0,3	80,3	6,7	1,9	0,1
7	Elbe-Durchbruchstal um Meißen und Randlagen	178,3	548,0	239,1	4.852,7	298,4	94,9	19,4	6.230,8	2,9	8,8	3,8	77,9	4,8	1,5	0,3
8	Ballungsraum Dresdner Elbtalweitung	237,7	295,8	105,8	864,7	21,7	23,1	9,2	1.558,0	15,3	19,0	6,8	55,5	1,4	1,5	0,6
9	Nordsächsisches Platten- und Hügelland	6.245,3	16.562,9	12.255,7	20.046,0	4.300,8	491,4	108,3	60.010,4	10,4	27,6	20,4	33,4	7,2	0,8	0,2
10	Mittelsächsisches Lösshügelland	2.770,9	15.539,3	6.790,5	22.760,9	3.381,8	397,5	85,1	51.725,8	5,4	30,0	13,1	44,0	6,5	0,8	0,2
11	Mulde-Lösshügelland und angrenzende Teile des Altenburg-Zeitzer Lösshügellandes	5.967,3	25.497,4	14.277,0	29.253,8	13.929,0	475,5	180,5	89.580,4	6,7	28,5	15,9	32,7	15,5	0,5	0,2
12	Vogtland	4.877,9	4.561,2	3.735,4	14.685,7	9.885,6	186,4	127,9	38.060,1	12,8	12,0	9,8	38,6	26,0	0,5	0,3
13	Erzgebirgsbecken	2.110,5	5.646,3	2.883,6	8.723,4	8.839,7	176,5	57,9	28.437,8	7,4	19,9	10,1	30,7	31,1	0,6	0,2
14	Ballungsraum Zwickau	10,6	130,3	44,1	517,0	304,8	3,3	4,2	1.014,3	1,0	12,8	4,3	51,0	30,1	0,3	0,4
15	Ballungsraum Chemnitz	130,1	327,4	197,2	293,1	628,0	13,6	4,1	1.593,5	8,2	20,5	12,4	18,4	39,4	0,9	0,3
16	Unteres und Mittleres Westerzgebirge	2.312,6	8.576,0	3.828,2	11.528,7	6.063,6	143,9	81,7	32.534,7	7,1	26,4	11,8	35,4	18,6	0,4	0,3
17	Oberes Westerzgebirge	29,1	62,9	28,4	622,2	196,8	7,5	5,4	952,3	3,1	6,6	3,0	65,3	20,7	0,8	0,6
18	Unteres und Mittleres Osterzgebirge	3.168,5	11.721,2	6.383,8	11.868,6	12.730,5	216,4	93,9	46.182,8	6,9	25,4	13,8	25,7	27,6	0,5	0,2
19	Oberes Osterzgebirge	45,0	86,8	66,5	2.579,0	1.096,0	22,5	11,2	3.907,0	1,2	2,2	1,7	66,0	28,1	0,6	0,3
20	Östliches Erzgebirgsvorland	178,5	616,0	213,2	4.332,8	1.448,8	40,9	17,5	6.847,7	2,6	9,0	3,1	63,3	21,2	0,6	0,3
21	Elbsandsteingebirge und Zittauer Gebirge	190,4	728,7	287,7	7.302,2	481,7	203,0	16,8	9.210,4	2,1	7,9	3,1	79,3	5,2	2,2	0,2
22	Westlausitzer Platte und Südwestlausitzer Hügelland	716,7	1.510,0	764,9	3.445,1	1.263,4	52,6	11,5	7.764,1	9,2	19,4	9,9	44,4	16,3	0,7	0,1
23	Großenhainer Pflege	930,8	6.015,4	7.007,4	13.486,7	5.387,1	547,4	38,4	33.413,1	2,8	18,0	21,0	40,4	16,1	1,6	0,1
24	Westlausitzer Hügel- und Bergland	2.318,3	3.742,0	2.700,1	12.260,3	3.726,9	139,9	43,0	24.930,4	9,3	15,0	10,8	49,2	14,9	0,6	0,2
25	Oberlausitzer Gefilde	448,9	9.901,3	5.286,2	15.269,6	373,1	413,0	37,1	31.729,1	1,4	31,2	16,7	48,1	1,2	1,3	0,1
26	Oberlausitzer Bergland	556,8	1.758,9	739,7	6.938,4	324,7	64,7	17,1	10.400,3	5,4	16,9	7,1	66,7	3,1	0,6	0,2
27	Östliche Oberlausitz	5.896,7	8.387,3	6.612,1	14.942,8	858,1	230,5	44,1	36.971,5	15,9	22,7	17,9	40,4	2,3	0,6	0,1
28	Oberlausitzer Heide- und Teichgebiet und Königsbrück-Ruhlander Heiden	1.436,4	1.715,4	3.711,8	21.806,8	5.673,3	1.545,0	71,7	35.960,2	4,0	4,8	10,3	60,6	15,8	4,3	0,2
29	Bergbaufolgelandschaft der Oberlausitz	95,9	100,4	82,6	3.677,9	383,6	40,5	12,6	4.393,6	2,2	2,3	1,9	83,7	8,7	0,9	0,3
30	Muskauer Heide und Muskauer Faltenbogen	75,9	169,8	71,2	2.233,0	394,5	52,7	10,3	3.007,4	2,5	5,6	2,4	74,3	13,1	1,8	0,3
	keine Zuordnung zu den Landschaftsräumen möglich	82,1	70,2	33,7	290,6	80,5	70,5	19,6	647,2	12,7	10,9	5,2	44,9	12,4	10,9	3,0
Summe [ha]		50.932,4	152.907,4	83.554,7	313.717,6	95.086,7	16.609,7	1.386,9	714.195,4							
Synergieklasse (SK) 0 = neutral, SK 1 = Synergie – <i>sehr stark</i> , SK 2 = Synergie – <i>stark</i> , SK 3 = Synergie prüfen, SK 4 = keine Synergie – <i>Risiko</i> , SK 5 = keine Synergie – <i>Ausschluss</i>																
* Anmerkung: durch Transformation der BTLNK von Vektordaten (Ausgangsdaten) in Rasterdaten, erhöht sich die Ackerfläche um 1,4 %. Außerdem ergeben sich Abweichungen der Ackerflächen durch inkonsistente Grenzlinien der Landschaftsräume im Vergleich zur verwendeten Außengrenze Sachsens (BTLNK).																

Flächen mit erwarteten Synergieeffekten sind sowohl in den waldarmen, hauptsächlich agrarisch genutzten Räumen NW- und Mittel-Sachsens und der Lössgebiete Ost-Sachsens, aber auch im Gebirge und Gebirgsvorland (Erzgebirge, Oberlausitzer Bergland) zu finden.

Ausschlussgebiete nehmen meist nur sehr geringe Anteile der Landschaftsräume ein (meist < 5 %). Lediglich in dem Landschaftsraum ‚Leipziger Land und Elsteraue‘ wird ein größerer Anteil der Ackerfläche für den Anbau von Dauerkulturen ausgeschlossen (13,6 %). Das (potenzielle) Habitat des Feldhamsters hat daran große Anteile. Hohe Flächenanteile mit Risiko sind in den folgenden Landschaftsräumen konzentriert: Erzgebirgsbecken, Ballungszentrum Zwickau, Ballungszentrum Chemnitz, Unteres und Mittleres sowie Oberes Osterzgebirge, Unteres und Mittleres sowie Oberes Westerzgebirge, Vogtland.

Flächen, auf denen die Synergie erst durch eine Einzelfallprüfung festzustellen ist, nehmen generell in den Landschaftsräumen hohe (meist über 40 %), z. T. auch sehr hohe Flächenanteile ein, z. B. in dem Landschaftsraum Mittlere Mulde mit 95,7 %.

Auf der Karte in Anhang 39 sind den Flächen der Synergieklassen ‚stark‘ und ‚sehr stark‘ die Biomasseertragspotenziale für KUP zugeordnet. Tabelle 67 fasst die Ertragspotenziale auf diesen Synergieflächen nach Landschaftsräumen zusammen.

Tabelle 67: Den Landschaftsräumen zugeordnete Ackerflächen, Gesamterträge und durchschnittliche Biomasseerträge von KUP in den Synergieklassen ‚stark‘ und ‚sehr stark‘

Landschaftsraum Nr. (vgl. Anhang 1)	Ackerfläche [ha]	Gesamtertrag [t/Jahr]	Biomasseertrag [t _{atro} /ha*Jahr]
1	21 957	272 577	12.4
2	1 780	22 226	12.5
3	4 976	54 768	11.0
4	11	82	7.2
5	3 721	28 764	7.7
6	1 401	11 826	8.4
7	787	10 557	13.4
8	402	5 349	13.3
9	28 819	348 756	12.1
10	22 330	342 056	15.3
11	39 774	582 464	14.6
12	8 297	92 259	11.1
13	8 530	105 220	12.3

Landschaftsraum Nr. (vgl. Anhang 1)	Ackerfläche [ha]	Gesamtertrag [t/Jahr]	Biomasseertrag [t _{atro} /ha*Jahr]
14	174	1 992	11.4
15	525	5 123	9.8
16	12 404	128 225	10.3
17	91	695	7.6
18	18 105	179 717	9.9
19	153	887	5.8
20	829	9 115	11.0
21	1 016	13 371	13.2
22	2 275	22 346	9.8
23	13 023	139 975	10.7
24	6 442	87 239	13.5
25	15 187	231 625	15.3
26	2 499	33 428	13.4
27	14 999	210 785	14.1
28	5 427	55 522	10.2
29	183	1 483	8.1
30	241	2 010	8.3
Gesamt	236 358	3 000 440	12.7

Erwartungsgemäß sind die Potenziale für die Produktion von Biomasse in KUP am höchsten in den Lössgebieten Sachsens (nordsächsisches Platten- und Hügelland, Mittelsächsisches Lösshügelland und Mulde-Lösshügelland, Landschaftsräume 9, 10 bzw. 11) mit einem hohen Flächenpotenzial bei gleichzeitig hohem Ertragspotenzial von bis zu 15 t_{atro}/ha*Jahr. Würde man alle Flächen mit starken und sehr starken Synergien für den Natur- und Bodenschutz mit KUP bewirtschaften (ca. 1/3 der sächsischen Ackerfläche), ließe sich theoretisch ein Biomasseertrag von rund 3 Millionen t_{atro}/ha*Jahr erzielen. Bei der Beurteilung dieser Zahl ist allerdings zu beachten, dass technische Restriktionen der Bewirtschaftung auf vielen Synergieflächen (vgl. Kapitel 2.5.2) sowie Ernteverluste von bis zu 10 % zu einem tatsächlich realisierbaren Potenzial führen, das deutlich geringer ausfällt.

2.7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen herausgearbeitet. Dabei wurden die Potenziale von Biomasse quantifiziert, die sich aus Landschaftspflegemaßnahmen ergeben sowie die Potenziale von Dauerkulturen, insbesondere Kurzumtriebsplantagen. Der Schwerpunkt der Studie lag dabei auf der gezielten Identifikation von Flächen, auf denen mit dem Anbau von KUP und ähnlichen Dauerkulturen Synergieeffekte für den Naturschutz und den Bodenschutz zu erzielen sind. Solche Synergieeffekte werden zum derzeitigen Stand vor allem auf Ackerflächen gesehen.

Auf sächsischen Ackerstandorten können durchschnittlich Biomasseerträge von $12 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ mit dem Anbau von Hybrid-Pappeln erzielt werden. Auf besten Standorten können bis zu $18 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ erreicht werden. Alternative Baumarten wie Robinie und Schwarzerle, die auf trockenen bzw. vernässten Standorten angebaut werden können, liegen mit einer Ertragserwartung von ca. $5 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ bzw. $4 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ deutlich darunter. Die Biomasseerträge für Miscanthus werden auf bis zu $20 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{Jahr}$ geschätzt.

Die Abschätzung der möglichen Folgen des Klimawandels auf die Ertragserwartungen ist noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Nachzeitigem Kenntnisstand kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auf aktuell günstigen Standorten auch unter dem möglichen Szenario WEREX A1b in den nächsten Jahrzehnten gleich bleibend hohe Biomasseerträge erzielt werden können.

Für potenzielle Landschaftspflegeflächen in Sachsen wurde ein Biomassepotenzial in einer Größenordnung zwischen ca. 130.000 und 260.000 $\text{t}_{\text{atro}}/\text{Jahr}$ an halmgutartiger und krautiger Biomasse sowie ca. 180.000 $\text{t}_{\text{atro}}/\text{Jahr}$ an holziger Biomasse errechnet. Im Hinblick auf die energetische Nutzung speziell von Landschaftspflegematerial lässt sich grundsätzlich nur schwer vom theoretischen Potenzial auf das abrufbare Potenzial schließen, da die zur Aktivierung erforderlichen Rahmenbedingungen sehr vielschichtig sind.

Beim Anbau von KUP und ähnlichen Biomasse-Dauerkulturen können aus Sicht des Boden- und Naturschutzes für einen Flächenanteil der Ackerflächen von mindestens einem Drittel Synergieeffekte für Natur und Landschaft erwartet werden (Synergieklassen: Synergie – sehr stark, Synergie – stark). Hinzu kommen hier die Flächen, die nach der Einzelfallprüfung als Flächen mit Synergieeffekten eingestuft werden. Synergieflächen befinden sich hauptsächlich in den waldarmen Räumen NW-, Mittel- und Ost-Sachsens sowie im Gebirge und Gebirgsvorland.

Für derzeit 7 % der Ackerfläche sind weder Risiken noch Synergieeffekte durch Anbau von Dauerkulturen zu erwarten (Synergieklasse: ‚Synergie neutral‘). Dieser Anteil wird sich nach den Einzelfallprüfungen (Synergieklasse: ‚Synergie prüfen‘) wahrscheinlich auf ca. ein Viertel (15-35 %) der Ackerfläche erweitern. Unter der Annahme, dass alle Flächen mit starken und sehr starken Synergien für den Boden- und Naturschutz in Sachsen mit KUP bewirtschaftet werden, lässt sich ein theoretisches Biomassepotenzial von rund 3 Millionen $\text{t}_{\text{atro}}/\text{Jahr}$ herleiten. Durch den eingeschränkten Technikeinsatz auf sensiblen Flächen (Hanglagen, vernässte Standorte), Ernteverluste sowie weitere mögliche Einschränkungen, ist unter Praxisbedingungen jedoch von einem deutlich geringerem Potenzial auszugehen.

Bei der Berücksichtigung von Standards des vorsorgenden Bodenschutzes sowie naturschutzfachlicher Kriterien bei der Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen sind keine negativen Auswirkungen dieser Landnutzungsform auf den Landschafts- und Naturhaushalt zu erwarten. Insbesondere die räumlich und zeitlich differenzierte Etablierung und Bewirtschaftung von KUP sowie die Integration von heimischen Gehölzen und Randstrukturen führt im Vergleich zu großflächiger, konventioneller Ackernutzung zu einer deutlichen ökologischen Aufwertung der Landschaft.

3 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (5. Aufl.): Hannover: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- AINSWORTH, E. A.; BEIER, C.; CALFAPIETRA, C.; CEULEMANS, R.; DURAND-TARDIF, M.; FARQUHAR, G. D.; GOBOLD, D. L.; HENDREY, G. R.; HICKLER, T.; KADUK, J.; KARNOSKY, D. F.; KIMBALL, B. A.; KÖRNER, C.; KOORNNEEF, M.; LAFARGE, T.; LEAKEY, A. D. B.; LEWIN, K. F.; LONG, S.; MANDERSCHIED, R.; MCNEILL, D. L.; MIES, T. A.; MIGLETTA, F.; MORGAN, J. A.; NAGY, J.; NORBY, R. J.; NORTON, R. M.; PERCY, K.E.; ROGERS, A.; SOUSSANA, J.-F.; STITT, M.; WEIGEL, H.-J.; WHITE, J.W. (2008): Next generation of elevated [CO₂] experiments with crops: a critical investment for feeding the future world. *Plant, Cell & Environment* 31, 1317-1324
- ALI, W. (2009): Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Lands of Saxony, Germany. Dissertation am Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, TU Dresden
- ARONSSON, P. G.; BERGSTRÖM, L. F.; ELOWSON, S. N. E. (2000): Long-term influence of intensively cultured short-rotation Willow Coppice on nitrogen concentrations in groundwater. In: *Journal of Environmental Management* 58, 135-145
- AUGUSTIN, O. N. (2005): Anforderungen an das Material im Heizkraftwerk Gildestraße. Vortrag im Rahmen des Expertenworkshops zum Forschungsprojekt „Bioenergie und Naturschutz: Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegeresten möglich? Online verfügbar: <http://www.oeko.de/service/naturschutz/Dateien/Augustin.pdf> (Abruf: 20. 08.09)
- BAUR, F.; HAAS, C. (2001): Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse im Saarland. Teil 1: Herleitung von Biomasse-Potenzialen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen. Institut für Zukunftssysteme (IZES): Saarbrücken
- BEALE, C. V.; MORISON, J. I.; LONG, S. P. (1999): Water use efficiency of C4 perennial grasses in a temperate climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 96, 103-115
- BECKER, R.; WOLF, H. (2009): Acker, Plantage, Acker – eine wechselseitige Nutzung. Erfahrungen mit der Ernte von Kurzumtriebsplantagen. *AFZ/DerWald* 64/10, 530-531
- BEKON (2009): BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG Online verfügbar: <http://www.bekon-energy.de> (Abruf: 24.08.09)
- BEMMANN, A.; FEGER, K.-H.; GEROLD, D.; GROBE, W.; HARTMANN, K.-U.; PETZOLD, R.; RÖHLE, H.; SCHWEINLE, J.; STEINKE, C. (2007): Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in der Region Großenhain im Freistaat Sachsen. *Forstarchiv* 78, 95-101
- BEMMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg., 2010): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin. (Im Druck)
- BERNHOFER C.; GOLDBERG V.; FRANKE J.; HÄNTZSCHEL J.; HARMANSA S.; PLUNTKE T.; GEIDEL K.; SURKE M.; PRASSE H.; FREYDANK E.; HÄNSEL S.; MELLENTIN U.; KÜCHLER W. (2008): Klimamonographie für Sachsen (KLIMOSA) – Untersuchung und Visualisierung der Raum- und Zeitstruktur diagnostischer Zeitreihen der Klimaelemente unter besonderer Berücksichtigung der

- Witterungsextreme und der Wetterlagen. In: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.): Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse. Eigenverlag, Dresden, 211 S.
- BERNIER, P.Y.; BREDÁ, N.; GRANIER, A.; RAULIER, F.; MATHIEU, F. (2002): Validation of a canopy gas exchange model and derivation of a soil water modifier for transpiration for sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) using sap flow density measurements. *Forest Ecology and Management* 163, 185-196
- BfN (2009): <http://www.floraweb.de/neoflora/handbuch/robiniapseudoacacia.html>, (Abruf: 24.08.09)
- BIOFERM (2009): BIOFerm GmbH, Biogas aus Feststoffvergärung Online verfügbar: <http://www.bioferm-energy.com> (Abruf: 24.08.09)
- BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; FREESE, D.; HÜTTL, R. (2009): Wachstumsverlauf von vierjährigen Robinien. Kurzumtriebsplantagen auf Niederlausitzer Rekultivierungsflächen. *AFZ/DerWald* 64, 532-533
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2007): Auslegungshilfe "Trockenfermentation für kontinuierliche Biogasverfahren"; § 8, Abs. 4 EEG. Online verfügbar: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/trockenfermentation_lang.pdf (Abruf: 09.04.09)
- BRANDES, D. (1985): Die Ruderalvegetation im östlichen Niedersachsen: Syntaxonomische Gliederung, Verbreitung und Lebensbedingungen. - Habilitationsschr. Naturwiss. Fak. TU Braunschweig. VI, 292 S. TabelleAnh. Zitiert in BRANDES 2002
- BRANDES, D.; GRIESE, D. (1991): Siedlungs- und Ruderalvegetation von Niedersachsen. Eine kritische Übersicht. - Braunschweig. 173 S. (Braunschweiger Geobotanische Arbeiten, 1.) Zitiert in BRANDES 2002
- BRANDES, D. (2002): Ruderalvegetation - was ist das? Technische Universität Braunschweig [Hrsg.]. Online verfügbar: <http://www.ruderal-vegetation.de/wasistdas.htm> (Abruf: 05.11.09)
- BRIEMLE, G.; EICKHOF, D.; WOLF, R. (1991): Tabelle zur Nutzung & Pflege unterschiedlicher Grünlandtypen. In: Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht. - Beiheft 60 der Veröff. Naturschutz Landschaftspflege, 144-149, Vertrieb: LfU Karlsruhe
- BRÖCKLING, F.; OLBRICH, D.; LISCHESKI, D. (2008): Konzept zur Pflege und energetischen Nutzung von Wallhecken im Kreis Steinfurt, Kurzbeschreibung. Im Auftrag von: Haus im Glück e. V. Online verfügbar: [http://www.haus-im-glueck-st.de/C12573D40046BB0C/files/wallheckenpflegekonzept_st_kurzfassung.pdf/\\$file/wallheckenpflegekonzept_st_kurzfassung.pdf](http://www.haus-im-glueck-st.de/C12573D40046BB0C/files/wallheckenpflegekonzept_st_kurzfassung.pdf/$file/wallheckenpflegekonzept_st_kurzfassung.pdf) (Abruf: 05.02.09)
- BRÖCKLING, F.; OLBRICH, D.; LISCHESKI, D. (2009): Gutachten zur Umsetzung des Heckenpflegekonzeptes im Kreis Steinfurt. Auftraggeber: Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein Westfalen: Münster

- BSA200 (2007): Bodenatlas des Freistaats Sachsen. Teil 4: Auswertungskarten des Bodenschutzes. Erläuterungsheft und Karten im Maßstab 1:200.000. Hrsg. vom Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden, 2007
- BUDER, W.; STEINERT, S.; HERING, S. (2002): Untersuchungen zur gezielten Ausweisung und erfolgreichen Etablierung von Ackerrandstreifen im Rahmen bestehender bzw. künftiger Agrarumweltförderprogramme – Abschlussbericht
- BUDER, W.; DÖRING, J. (2003): Beiträge zum Naturschutz auf dem Ackerland. In: Naturschutzarbeit in Sachsen 45, 13-20
- BUNGART, R.; HÜTTL, R. (2004): Growth dynamics and biomass accumulation of 8-year-old hybrid poplar clones in a short-rotation plantation on a clayey-sandy mining substrate with respect to plant nutrition and water budget. *European Journal of Forest Research* 123, 105-115
- BURGER, F. (2004): Ökologische Auswirkungen von Energiewäldern; In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35 „Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie“. Potsdam-Bornim 2004
- CLEARINGSTELLE EEG (2009): Landschaftspflege-Bonus – Empfehlung der Clearingstelle EEG. Empfehlungsverfahren 2008/48. Online verfügbar: <http://www.clearingstelle-eeg.de/EmpfV/2008/48> (Abruf: 05.11.09)
- CLIFTON-BROWN, J.; & LEWANDOWSKI, I. (2002): Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in Southern Germany. *European Journal of Agronomy* 16, 97-110
- CLIFTON-BROWN, J.; LEWANDOWSKI, I. (2000): Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Annals of Botany* 86, 191-200
- DEUTSCHER GRÜNLANDVERBAND [Hrsg.] (2003): Grünlandaufwüchse ohne Wiederkäuer verwerten? Heft 5/2003
- DIMITRIOU, I.; ERIKSSON, J.; ADLER, A.; ARONSSON, P.; VERWIJST, T. (2006): Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. In: *Environmental Pollution* 142, 160-169
- EDER, B.; SCHULZ, H. (2007): Biogas Praxis, 4. Auflage 2007, Ökobuch-Verlag: Staufen
- EGGLERSÜß, W. (o. J.): Knickholznutzung, heute und morgen. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
- ENERGIE PFLANZEN (2001): Knickpflege in Schleswig-Holstein; Biomasse-Gewinnung und Erhalt historischer Landschaftselemente; in: *energie pflanzen* VI/2001, 23-27
- FELD, W.; HEINRICHS, O. (1993): Modellversuch Wärme-/Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen; Bioenergie Sommerfeld-Nahwärmeversorgung auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Hrsg.: Sommerfeldbau- und Entwicklungs GmbH (SBE), Fichtner Development Engineering (FDE), Ingenieur Arbeitsgemeinschaft (IAG)

- FELDWISCH, N.; FRIEDRICH, C.; SCHLUMPRECHT, H. (2007): Arbeitshilfe - Bodenschutzfachlicher Beitrag zur Entwicklung von Umsetzungsstrategien und Umsetzungsinstrumenten für eine umweltverträgliche Landnutzung in Natura2000-Gebieten. Erstellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG). Bergisch Gladbach (Ingenieurbüro Feldwisch) und Chemnitz (Büro für ökologische Studien)
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.) [Hrsg.] (2000): Leitfaden Bioenergie. Aktualisierte Ausgabe; Online verfügbar: <http://fnr-server.de/cms35/fileadmin/biz/pdf/leitfaden/datensammlung> (Abruf: 11.06.08)
- FNR [Hrsg.] (2001): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse, Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzower Fachgespräche, 17. Online verfügbar: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_33gfg17stroh.pdf (Abruf: 18.06.08)
- FNR [Hrsg.] (2005): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Gülzow
- FNR [Hrsg.] (2007): Analyse und Evaluierung der thermo-chemischen Vergasung von Biomasse. Nachwachsende Rohstoffe, 29. Landwirtschaftsverlag, Münster
- FNR [Hrsg.] (o. J.): BtL: Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse. Online verfügbar: <http://www.btl-plattform.de/> (Abruf: 21.04.09)
- FNR [Hrsg.] (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. 2. Auflage. Eigenvertrieb. Gülzow.
- FÜHRER, E. (2005): Robinienwirtschaft in Ungarn: I. Die Robinie im praktischen Waldbau. Forst und Holz 60, 464-466
- GEIGER, B. (2009): Energiegewinnung aus Grünland – Eine Perspektive für den Naturschutz? Potenzialanalyse im Biosphärenreservat Elbe Brandenburg. Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, Fachgebiet Landschaftsplanung. unveröff.
- GIELEN, B.; CEULEMANS, R. (2001): The likely impact of rising atmospheric CO₂ on natural and managed *Populus*: a literature review. Environmental Pollution 115, 335-358
- GLASER, T., SCHMIDT, P.A. (2010): Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf die Phytodiversität. In: Bemann, A.; Knust, C. (Hrsg., 2010)
- GRÜNEWALD, H.; SCHOLZ, V.; SCHNEIDER, B. U.; HÜTTL, R. F. (2007): Baumartenwahl und Erntetechnik als Schlüsselfaktoren beim Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Forst und Holz 22, 22-27
- HAASE ENERGIE TECHNIK (2009): HAASE Energietechnik AG Online verfügbar: <http://www.haase-energietechnik.de> Gelesen am: 26. August 2009
- HARTMANN, K.; MEYER, K.; NELLES, M. (2005): Hackschnitzel aus Landschaftspflegeholz Holz aus der Landschaftspflege – Basis für kostengünstige Hackschnitzel. AFZ 14/2005

- HEIDMANN, T.; THOMSEN, A.; SCHELDE, K. (2000): Modelling soil water dynamics in winter wheat using different estimates of canopy development. *Ecological Modelling* 129, 229-243
- HIMKEN, M.; LAMMEL, J.; NEUKIRCHEN, D.; CZYPIONKA-KRAUSE, U.; OLFS, H.-W. (1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil* 189, 117-126
- HOLM-MÜLLER, K.; BREUER, T. (2006): Potenzialkonzepte für Energiepflanzen. In: BBR [Hrsg.]: Informationen zur Raumentwicklung; Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume 1/2.2006, 15-21
- IE (Institut für Energetik und Umwelt) [Hrsg.] (2005): IE Bereitstellung biogener Festbrennstoffe zur Strom- und Kraftstofferzeugung – Bewertung unterschiedlicher Logistikansätze FKZ 22 0099 04
- IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung), Öko-Institut (2007): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. UBA-Texte 04/07 Forschungsbericht 205 33 303, UBA-FB 000959. Online verfügbar: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3135.pdf> (Abruf: 13.07.09)
- JANSSON, P. E.; KARLBERG, L. (2004): Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. - Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm 435 S., Online verfügbar: <http://www.lwr.kth.se/CoupModel/CoupModel.pdf> (Abruf: 25.08.09)
- JANSSON, P.E.; SVENSSON, M.; KLEJA, D. B.; GUSTAFSSON, D. (2007): Simulated climate change impacts on fluxes of carbon in Norway spruce ecosystems along a climatic transect in Sweden. *Biogeochemistry*. DOI 10.1007/s10533-007-9147-6
- JUG, A. ; Hoffmann-Schielle, C.; Makeschin, F.; Rehfuess, K. E. (1999): Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen, willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. II. Nutritional status and bioelement export by harvested shoot axes. *Forest Ecology and Management* 121, 67-83
- KAHLE, P.; BEUCH, S.; BOELCKE, B.; LEINWEBER, P.; SCHULTEN, H.-R. (2001): Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European Journal of Agronomy* 15, 171-184
- KAHLE, P.; BOELCKE, B. (2004): Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf ausgewählte Bodeneigenschaften. In: BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE 35, „Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie“. Potsdam-Bornim 2004
- KBGA (2009): Die KBGA GmbH ist Ihr Spezialist für Planung und Bau von kleinen Biogasanlagen (KBGA) für Trocken- und Naßfermentation. Online verfügbar: <http://www.kbga.de> (Abruf: 25.08.09)
- KIESEWALTER, S.; ALBERT, E.; RÖHRICHT, C.; RIEHL, G. (2007): Nutzungsalternativen von Grünlandaufwüchsen in sächsischen Vorgebirgslagen – Ein Beitrag zur Erhaltung der -

Kulturlandschaft und des ländlichen Raums. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2/2007

- KIM, H.-S.; OREN, R.; HINCKLEY, T. M. (2008): Actual and potential transpiration and carbon assimilation in an irrigated poplar plantation. *Tree Physiology* 28, 559–577
- KIRSCH-STRACKE, R.; WIEHE, J. (2006): Blickpunkt Wallhecke - Ergebnisse aus dem INTERREG IIIA-Projekt "Grenzübergreifendes Wallheckenkonzept". Institut für Umweltplanung, Landkreis Grafschaft Bentheim & Provincie Overijssel (Hrsg.). Endbericht. Online verfügbar: http://www.interreg.euregio.de/admin/dc_media/WHAbschlussberichtD.pdf (Abruf: 05.02.09)
- KLÖCKING, B.; MEY, S.; FERBER, F.; WESSOLEK, G.; TRINKS, S. (2008): F/E-Bericht "Bodenatlas Sachsen – Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt" im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 75 S.
- KOMPOGAS (2009): Kompogas AG Online verfügbar: <http://www.kompogas.ch> (Abruf: 24.08.09)
- KÖTHE, R.; BOCK, K.; VOGEL, E. (2005): Expertise zum Forschungsvorhaben "Digitale Reliefanalyse Sachsen": Erstellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG). Göttingen (sciLands GmbH)
- KÜCHLER, W.; SOMMER, W. (2003): Anwendung eines Verfahrens zur wetterlagenkonsistenten Projektion von Zeitreihen und deren Extreme mit Hilfe globaler Klimasimulationen. – Zusammenfassender Bericht zum F/E-Vorhaben des LfUG. Online verfügbar unter: http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/klima/werex_zusammenfassung_2003.pdf (Abruf: 24.08.2009)
- KÜCHLER, W. (2005): Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick. Online verfügbar unter: http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/klima/Klimawandel_ges%281%29.pdf (Abruf: 24.08.2009)
- LANDGRAF, D.; ERTLE, C.; BÖCKER, L. (2007): Stockausschlagspotenzial von Aspe und Robinie. *AFZ/Der Wald* 62, 80-83
- LASCH, P.; KOLLAS, C.; ROCK, J.; SUCKOW, F. (2009): Potentials and impacts of short-rotation coppice plantation with aspen in Eastern Germany under conditions of climate change. *Reg Environ Change*, DOI 10.1007/s10113-009-0095-7
- LETALIK, C. (2008): Möglichkeiten zur energetischen Nutzung von Landschaftspflegematerial. Präsentation; C.A.R.M.E.N. Fachkongress am 7.11.2008 in Rosenheim
- Lewis, T. (2007): Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen. FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier (Hrg.). Wien. Online verfügbar: http://www.forstholzpapier.at/data_shop_articles.php?App=Webshop&Channel=3&mltem=Webshop (Abruf am 21.01.10)
- LFL (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft) [Hrsg.] (2006): Landwirtschaftliche Biomasse. Potenziale an Biomasse aus der Landwirtschaft des Freistaates Sachsen zur stofflich-energetischen Nutzung. Dresden

- LFULG (2007): Bodenatlas des Freistaates Sachsen. Teil 4: Auswertekarten zum Bodenschutz. DVD. Saxoprint, Dresden
- LFULG (2009): Rasterdaten des FuE-Projektes RaKliDa. Online verfügbar: http://141.30.160.222:8082/RaKliDa_WebServlet/
- LINDERSON, M. L.; IRITZ, Z.; LINDROTH, A. (2007): The effect of water availability on stand-level productivity, transpiration, water use efficiency and radiation use efficiency of field-grown willow clones. *Biomass and Bioenergy* 31, 460-468
- LINDROTH, A.; BATH, A. (1999): Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. *Forest Ecology and Management* 121, 57-65
- LOOCK (2009): Looock Biogassysteme GmbH Online verfügbar: <http://www.loock-tns.de> (Abruf: 24.08.09)
- LYR, H. (1996): Effect of the root temperature on growth parameters of various European tree species. *Ann. Sci. For.* 53, 317-323
- MARTIN, P. J.; STEPHENS, W. (2006): Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. I. Growth and biomass production. *Bioresource Technology* 97, 437-448
- MARTIN, P. J.; STEPHENS, W. (2006): Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. II: Water use. *Bioresource Technology* 97, 449-458
- MELLANDER, P. E.; STÄHLI, M.; GUSTAFSSON, D.; BISHOP, K. (2006): Modelling the effect of low soil temperatures on transpiration by Scots pine. *Hydrological Processes* 20, 1929-1944
- METTE, R. (2005): Energetische Verwertung von Landschaftspflegeholz am Beispiel der schleswig-holsteinischen Knicklandschaft Artikel aus der Zeitschrift: *NATUR UND LANDSCHAFT* Jg.: 80, 9/10, 2005
- MEYER-MARQUART, D.; FELDWISCH, N.; LENDVACZKY, T. (2006): Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche energetische Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden
- MURACH, D. (2007): Zukunftsrohstoff Dendromasse – Hintergrund und erste Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts DENDROM. *Forstarchiv* 78, 88-94
- MURACH, D.; MURN, Y.; HARTMANN, H. (2008): Ertragsermittlung und Potenziale von Agrarholz. *Forst und Holz* 63, 18-23
- MURACH, D.; HARTMANN, H., MURN, Y., SCHULTZE, M., ALI, W., RÖHLE, H. (2009) Standortsbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: REEG, T.; BEMMAN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIECKER, H. (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Wiley-VCH. Weinheim. 29-40
- MURTHY, R.; BARRON-GAFFORD, G.; DOUGHERTY, P. M.; ENGEL, V. C.; GRIEVE, K.; HANDLEY, L.; KLIMAS, C.; POTOSNAK, M. J.; ZARNOCHI, S. J.; ZHANG, J. A. (2005): Increased leaf area dominates carbon

- flux response to elevated CO₂ in stands of *Populus deltoides* (Bartr.). *Global Change Biology* 11, 716-731
- NABU (Naturschutzbund Deutschland) (2008) Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. 68 S.
- OECHSNER, H.; MAURER, K. (2004): Verbrennung von Heu und Getreide – für jeden technisch machbar? Nachwachsende Rohstoffe für Baden-Württemberg – Forschungsprojekte für den Ländlichen Raum Tagung vom 14. Oktober 2004. Universität Hohenheim. Online verfügbar:
- http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1119150/alr_141004_06_Tagungsband_Oechsner.pdf (Abruf: 13. 06.08)
- ÖKO-INSTITUT E.V.; ALW; PETERS, W.; THOSS, C.; INSTITUT FÜR ENERGETIK (2007): Bioenergie und Naturschutz. Sind Synergien durch die Energienutzung von Landschaftspflegereesten möglich? Endbericht an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- OWS (2009): Organic Waste Systems Online verfügbar: <http://www.ows.be> Gelesen am 26. August 2009
- PETERS, K.; BILKE, G.; STROHBACH, B. (2007): Ertragsleistung sechsjähriger Robinien (*Robinia pseudoacacia*) auf vier ehemaligen Ackerstandorten unterschiedlicher Bodengüte in Brandenburg. *Archiv f. Forstwesen u. Landschafts.ökol* 41, 26-28.
- PETERS, W.; THOSS, C. (2007): Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. UBA- Texte 04/07 Forschungsbericht 205 33 303, UBA-FB 000959. Online verfügbar: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3135.pdf> (Abruf: 13. 07.09)
- PETZOLD, R.; FEGER, K.-H.; SIEMER, B. (2006): Standörtliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. *AFZ-DerWald* 61, 855-857
- PETZOLD, R.; FEGER, K. H.; SCHWÄRZEL, K. (2009a): Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T.; Bemman, A.; Konold, W.; Murach, D.; Spiecker, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH. Weinheim. 181-191
- PETZOLD, R., FEGER, K.H., SCHWÄRZEL, K. (2009b): Wieviel Wasser verbraucht eine Kurzumtriebsplantage? Berichte der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Jahrestagung der DBG 2009
- PlanET (2009): PlanET Biogastechnik GmbH Online verfügbar: <http://www.planet-biogas.com> (Abruf: 07.09.09)
- PREIBLER, D. (2008): Bietet eine separate Hydrolyse zusätzliche Potentiale in NaWaRo-Biogasanlagen? Universität Hohenheim
- REEG, T.; HAMPEL, J.; HOHLFELD, F.; MATHIAK, G.; RUSDEA, E. (2009b) Agroforstsysteme aus Sicht des Naturschutzes. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH. Weinheim., 301-311

- RICHTER, D (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194
- RL AuW (2007): Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung von flächenbezogenen Agrarumweltmaßnahmen und der ökologischen Waldmehrung im Freistaat Sachsen (Förderrichtlinie Agrarumweltmaßnahmen und Waldmehrung – RL AuW/2007) Vom 13. November 2007 [Berichtigt 2. Januar 2008 (SächsABL. S. 228)] [Geändert durch Teil A Ziff. XII der VwV vom 3. Juli 2008 (SächsABL. S. 944, 951) mit Wirkung vom 1. August 2008] Teil A: flächenbezogene Agrarumweltmaßnahmen (UM)
- RIEHL, G. (2008): Bedingungen und Potenziale für die Grünlandnutzung mit Milchkühen in Sachsen. Vortrag auf dem 17. Sächsischen Grünlandtag "Erfolgreiche Grünlandnutzung mit Milchkühen - Realität oder Utopie?" am 4.6.2008 in Raschau/OT Langenberg
- ROCK, J.; LASCH, P.; KOLLAS, C. (2009): Auswirkungen von absehbarem Klimawandel auf Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T.; Bemman, A.; Konold, W.; Murach, D.; Spiecker, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH. Weinheim. 19-28
- RODE, M.; KANNING, H. (2006): Beiträge der räumlichen Planungen zur Förderung eines natur- und raumverträglichen Ausbaus des energetischen Biomassepfades. In: BBR [Hrsg.]: Informationen zur Raumentwicklung; Bioenergie: Zukunft für ländliche Räume. 1/2.2006, 103-110
- RÖHLE, H. (2004): Wachstumsmodelle und Umweltfaktoren - Möglichkeiten und Grenzen der forstlichen Modellierung. Forst und Holz 59, 480-484
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C.; WOLF, H. (2005): Wuchsleistung von Pappel und Weide im Kurzumtrieb. AFZ-DerWald 60, 745-747
- RÖHLE, H.; BÖCKER, L.; FEGER, K.-H.; PETZOLD, R.; WOLF, H.; ALI, W. (2008): Anlage und Ertragsaussichten von Kurzumtriebsplantagen in Ostdeutschland. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159, 133-139
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C.; MURACH, D. (2009): Leistungsvermögen und Leistungsergassung von Kurzumtriebsbeständen. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIECKER, H; (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH, 41-55
- RÖHRICHT, C.; RUSCHER K. (2004a): Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten. Fachmaterial der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig
- RÖHRICHT, C.; RUSCHER K. (2004b): Einsatz nachwachsender Rohstoffpflanzen als landschaftsgestaltendes Element – Feldstreifenanbau auf großen Ackerschlägen. In: BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHT 35 „Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie“. Potsdam-Bornim 2004

- RÖHRICHT, C. (2006): *Miscanthus sinensis* – Anbau und Verwertung von Chinaschilf. Informationsmaterial der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. 7 S.
- RÖHRICHT, C. (2008): *Miscanthus* – eine alternative Energiepflanze Ergebnisse aus Anbauversuchen. Online verfügbar: http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Roehricht_2008_03_05.pdf (Abruf: 19.08.09)
- RÖSCH, C.; RAAB, K.; SKARKA, J.; STELZER, V. (2007): Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333
- SächsNatSchG (2007): Sächsisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Sächsisches Naturschutzgesetz – SächsNatSchG) i. d. F. d. Bek. vom 03.07.2007
- SCHABER, J.; BADECK, F.-W. (2003): Physiology based phenology models for forest tree species in Germany. Intern. J. Biometeorol. 47 (4), 193-201
- SBS - Staatsbetrieb Sachsenforst (2006). Holzerntetechnologien. Richtlinie zur Anwendung im Staatswald des Freistaates Sachsen. Eigenverlag Graupa. Online verfügbar: www.smul.sachsen.de/sbs/download/Holzerntetechnologien.pdf (Abruf: 25.08.2009)
- SCHILDBACH, M.; GRÜNEWALD, H.; WOLF, H.; SCHNEIDER, B.-U. (2009a): Begründung von Kurzumtriebsplantagen: Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: Reeg, T.; Bemann, A.; Konold, W.; Murach, D.; Spiecker, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH, 57-71
- SCHILDBACH, M.; WOLF, H.; BÖHNISCH, B. (2009b): 10 Jahre Pappelanbau zur Papierherstellung – eine Bilanz. AFZ/DerWald 64, 526-528
- SCHMIDT, P. A.; GEROLD, D. (2008): Kurzumtriebsplantagen – Ergänzung oder Widerspruch zur nachhaltigen Waldwirtschaft? Schweiz. Z. Forstwes. 159 (6), 152-157
- SCHMIDT, P. A.; GEROLD, D. (2010): Nachhaltig bewirtschaftete Wälder vs. Plantagen vs. Agroforstsysteme. In: Bemann, A.; Knust, C. (Hrsg., 2010)
- SCHMIDT P. A.; GLASER T. (2009): Kurzumtriebsplantagen aus Sicht des Naturschutzes. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIECKER, H. (Hrsg): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley VCH, Weinheim, 161-170
- SCHMIDT, P. A.; GLASER, T. (2010): Naturschutzfachliche Bewertung der Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann, A.; Knust, C. (Hrsg., 2010)
- SCHUBERT, A. (2007): Das Biomassepotential zur Energieerzeugung der Stadt Dresden. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Institut für Geographie Lehrstuhl für Landschaftslehre und Geoökologie
- SCHULZ, U.; BRAUNER, O.; SACHS, D.; THÜRING, M. (2008): Insekten an Pappeln und Weiden – erste Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS und Auswertung von Wirtspflanzenangaben. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung 6, 171-173

- SCHÜTTE, A. [Hrsg.] (1999): Modellvorhaben "Schnellwachsende Baumarten". Zusammenfassender Abschlußbericht. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" 13, Münster/Westfalen: Landwirtschaftsverlag GmbH
- SCHWERTMANN, U.; VOGEL, W.; KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrages und Bewertung von Gegenmaßnahmen. 2. Auflage. Stuttgart.
- SKODAWESSELY, C.; GLASER, T.; PRETZSCH, J.; SCHMIDT, P. A. (2008): Einstellungen von Landwirten und Naturschutzverbänden zu Kurzumtriebsplantagen. Schweiz. Z. Forstwes. 159 (6), 158-164
- SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) [Hrsg.] (2007): Energie für die Zukunft, Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen/ Biomasse. Druckfabrik Dresden
- SMUL [Hrsg.] (2008): Sächsischer Agrarbericht 2008. Dresden
- SLF - SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN [Hrsg.] (2000): Hilfstafeln zur Sächsischen Forsteinrichtungsdienstanweisung: Zusammenstellung für den Gebrauch in der Forsteinrichtung. Pirna, OT Graupa
- SOUCH, C. A.; STEPHENS, W. (1998): Growth, productivity and water use in three hybrid poplar clones. Tree Physiology 18, 829-835
- STALA SACHSEN (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen) [Hrsg.] (2009): GENESIS-Online Datenbank. Online verfügbar: <http://www.statistik.sachsen.de/genonline/online/login> (Abruf: 21.01.09)
- STEFFENS, R.; BANGERT, U.; JENEMANN, K. (2007): Fachliche Arbeitsgrundlagen für einen landesweiten Biotopverbund im Freistaat Sachsen. LfULG: Naturschutz und Landschaftspflege
- STRABAG (2009): STRABAG Umwelttechnik Online verfügbar: <http://www.strabag-umwelttechnik.com> (Abruf: 26.08.09)
- STRAUCH, M. (2008): Auswirkungen von Klimaänderungen und Energiepflanzenanbau auf den Wasser- und Stickstoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Diplomarbeit am Institut für Geographie, TU Dresden
- SVENSSON, M.; JANSSON, P. E.; KLEJA, D. B. (2007): Modelling soil C sequestration in spruce forest ecosystems along a Swedish transect based on current conditions. Biogeochemistry. Biogeochemistry 89, 95-119
- THOSS, C.; PETERS, W. (2008): Erfolgsmodelle der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Landschaftspflege. Broschüre zur Best Practice.
- THRÄN, D.; LENZ, V.; ZELLER, V.; SCHWENKER, A.; LORENZ, H; PETERS, W. (2009): Gutachterliche Einordnung des Landschaftspflegebonus im EEG 2009. Online verfügbar: <http://www.clearingstelle-eeeg.de/filemanager/active?fid=631> (Abruf: 07.04.09)
- URBAN, W.; GIROD, K.; LOHMANN, H. (2009): Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-und Energietechnik: Oberhausen

- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) [Hrsg.] (2007): Biogasanlagen in der Landwirtschaft, Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger. VDI 3475 Blatt 4, Beuth Verlag: Berlin
- WBA (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik) (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung - Empfehlungen an die Politik
- WENZELIDES M.; HAGEMANN H.; VORPAHL A. (2008): Energetische Nutzung von Holz aus der Landschaftspflege. AFZ 2/2008, 82-85
- WEIH, M.; KARACIC, A.; MUNKERT, H.; VERWIJST, T.; DIEKMAN, M. (2003): Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). Basic Applied Ecology 4, 149-156
- WGBU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) [Hrsg.] (2003): Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Springer-Verlag Berlin
- WHITE, M. A.; THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. (1997): A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. Global Biogeochemical Cycles 11, 217-234
- WIEHE, J. (2003): Die energetische Nutzung von Holz aus der Landschaftspflege. Wallhecken als Wärmequelle für den Landkreis Graftschaft Bentheim. Diplomarbeit am Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover. Online verfügbar: <http://www.umwelt.uni-hannover.de/am2006.html> (Abruf: 05.02.09)
- WOLF, H.; BÖHNISCH, B. (2004): Modellvorhaben StoraEnso / Verbundvorhaben Pappelanbau für die Papierherstellung. Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben am Landesforstpräsidium Graupa (nicht veröffentlicht)
- WORM, R. (2006): Kostengünstige Heckenpflege durch Hackschnitzelgewinnung. Vortrag, DVL-Tagung 20.11.2006 in Veitshöchheim. Online verfügbar: http://forestyle.org/goto.php?url=http%3A%2F%2Fwww.lpv.de%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fdata_files%2FInformationen_Dokumente%2FInfomaterial_DVL%2FWorm_Heckenpflege_DVL__1_.pdf (Abruf: 20.08.09)
- WURBS, D.; MÖLLER, M.; KOSCHITZKI, T. (2008): Erosionsschutz in reliefbedingten Abflussbahnen – Ableitung und räumliche Abgrenzung von besonders erosionswirksamen Abflussbahnen. Erstellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG). Halle (geoflux GbR)
- ZACHARIAS, S.; WESSOLEK, G. (2007): Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. Soil Science Society of America Journal 71, 43-50
- ZALESNY, R. S.; HALL, R. B.; BAUER, E. O.; RIEMENSCHIEDER, D. E. (2005): Soil temperature and Precipitation Affect the Rooting Ability of Dormant Hardwood Cuttings of *Populus*. Silvae Genetica 54, 47-58

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de, Internet: www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Prof. Dr. Karl-Heinz Feger, Rainer Petzold
Institut für Bodenkunde und Standortslehre der TU Dresden
Postfach 1117, 01735 Tharandt
Telefon: + 49 35203 383-1307
Telefax: + 49 35203 383-1388
E-Mail: boku@forst.tu-dresden.de

Prof. Dr. Peter A. Schmidt, Thomas Glaser, Anke Schroiff, Norman Döring
Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz der TU Dresden
Postfach 1117, 01735 Tharandt
Telefon: + 49 35203 383-1288
Telefax: + 49 35203 383-1266
E-Mail: service.landeskultur@forst.tu-dresden.de

Dr. Norbert Feldwisch, Dr. Christian Friedrich
Ingenieurbüro Feldwisch
Karl-Philipp-Straße 1, 51429 Bergisch Gladbach
Telefon: + 49 2204 42 28 50
Telefax: + 49 2204 42 28 51
E-Mail: info@ingenieurbuero-feldwisch.de

Dr. Wolfgang Peters, Heike Schmelter
Bosch & Partner GmbH
Streitstraße 11-13, 13587 Berlin
Telefon: + 49 30 56 73 83 99
Telefax: + 49 30 46 99 86 08
E-Mail: bueroberlin@boschpartner.de

Redaktion:

LfULG/Abteilung Naturschutz, Landschaftspflege/Referat Landschaftsökologie
Dr. Maik Denner, Dr. Rolf. Tenholtern
LfULG/Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/Referat Boden, Altlasten
Dr. Arnd Bräunig, Dr. Ingo Müller
Halsbrücker Straße 31a, 09599 Freiberg
Telefon: + 49 3731 294-280
Telefax: + 49 3731 22918
E-Mail: Maik.Denner@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.10.2009

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung. Die PDF-Datei kann im Internet unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

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.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.