

**Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale
von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen
Flächen in Deutschland**

Inaugural-Dissertation zur
Erlangung der Doktorwürde
der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i. Brsg.

vorgelegt von

Cisco Aust

Freiburg im Breisgau

Februar 2012

Dekan: Prof. Dr. Jürgen Bauhus

Referent: Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker

Korreferent: Prof. Dr. Jörg-Peter Schnitzler

Tag der Disputation: 19. Juni 2012

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand zwischen Oktober 2009 und Februar 2012 im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes PROBIOPA (Nachhaltige Produktion von Biomasse mit Kurzumtriebsplantagen der Pappel auf Marginalstandorten) an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Waldnutzung. Für die wissenschaftliche Erstbetreuung und die konstruktiven fachlichen Anregungen möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Gero Becker vom Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft bedanken. Frau Prof. Dr. Barbara Koch danke ich ebenfalls sehr für die Zweitbetreuung. Für die Übernahme des Korreferates und für seine fachliche Unterstützung danke ich Herrn Prof. Dr. Jörg-Peter Schnitzler.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Dr. Udo Hans Sauter, dem Leiter der Abteilung Waldnutzung der FVA, bei Herrn Dr. Frank Brodbeck und bei meinen anderen Kollegen an der FVA für ihre Unterstützung und die fachlichen Anregungen bedanken. Ganz besonderer Dank geht dabei an Philipp Rehenning und Florian Netzer für ihre tatkräftige Unterstützung bei den zahlreichen Außenaufnahmen.

Großer Dank geht auch an meine Familie, insbesondere an meine Frau Esther, die mich in dieser Zeit fortwährend unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund der Arbeit	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	4
2 Stand des Wissens	7
2.1 KUP-Potentialanalysen in Sachsen.....	8
2.2 KUP-Potentialanalysen in Brandenburg.....	9
2.3 KUP-Potentialanalysen in Deutschland	12
2.4 KUP-Potentialanalysen im europäischen Ausland.....	13
3 Regionalisierte und standortsbezogene Abschätzung des Biomassepotentials von KUP	15
3.1 Material und Methode	15
3.1.1 Darstellung der standörtlichen Faktoren, die die Ertragsfähigkeit von KUP beeinflussen.....	15
3.1.2 Ertragsmodellierung von KUP anhand der Wasserverfügbarkeit.....	17
3.1.2.1 Definition des pflanzenverfügbaren Wassers.....	17
3.1.2.2 Erfassung des pflanzenverfügbaren Wassers auf Kurzumtriebsflächen.....	20
3.1.2.3 Erfassung der Bestandesmittelhöhen und der Trockengewichte.....	21
3.1.2.4 Korrelation der Biomasseerträge mit der Wasserversorgung	22
3.1.3 Darstellung des Einfluss der Jahresdurchschnittstemperatur auf die Biomasseerträge	28
3.1.4 Einteilung und Beschreibung von Kurzumtriebs-Standortsklassen in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit und der Jahresdurchschnittstemperatur.....	29
3.1.5 Regionalisierung der KUP-Standortsklassen mittels GIS.....	31
3.2 Ergebnisse der standörtlichen Potentialabschätzung.....	37
3.2.1 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für Deutschland.....	37
3.2.2 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für Baden-Württemberg.....	40
3.2.3 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für die Gemeinden	43
4 Berücksichtigung technischer, ethischer und ökologischer Restriktionen bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen	48
4.1 Material und Methoden	48
4.1.1 Erfassung der technischen Einschränkungen zur Flächennutzbarkeit.....	48
4.1.2 Erfassung der KUP- Flächenpotentiale auf Ackerflächen unter Berücksichtigung des Vorrangs der Nahrungs- und Futtermittelproduktion	50
4.1.3 Erfassung ökologischer Restriktionen auf Dauergrünlandflächen.....	53

4.2 Ergebnisse	56
4.2.1 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für Deutschland.....	56
4.2.2 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für Baden-Württemberg..	60
4.2.2 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für die Gemeinden	64
5 Darstellung von ökonomischen Restriktionen für die Anlage von	
Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen	70
5.1 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer KUP	70
5.2 Ökonomische Bewertung von Kurzumtriebsplantagen.....	74
5.2.1 Grundlagen und Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung	74
5.2.2 Wirtschaftlichkeit von KUP in Abhängigkeit vom Biomassertrag	77
5.3 Vorzugsflächen für Kurzumtriebsplantagen unter ökonomischen Gesichtspunkten	80
5.3.1 Konkurrenzfähigkeit von KUP gegenüber herkömmlichen Ackerkulturen	81
5.3.2 Vorzugsflächen für Kurzumtriebsplantagen	81
6 Auswirkungen des Klimawandels auf das Standortpotential für	
Kurzumtriebsplantagen in Deutschland	84
6.1 Beschreibung der Klimamodelle und -szenarien.....	84
6.2 Einfluss des Klimawandels auf das Wachstum von KUP	86
6.2.1 Einfluss der Niederschlagsänderung auf die Wasserverfügbarkeit für KUP.....	86
6.2.2 Einfluss des Temperaturanstiegs auf KUP.....	87
6.3 Abschätzung des KUP-Potentials bis 2100.....	88
6.3.1 Methode der Abschätzung	88
6.3.2 Darstellung des KUP-Potentials bis 2100.....	89
7 Diskussion	94
7.1 Methodenkritik.....	94
7.1.1 Ertragsmodell.....	94
7.1.2 Standortliche Potentialabschätzung.....	96
7.1.3 Technisch-ethisch-ökologische Potentialabschätzung.....	99
7.1.4 Wirtschaftliche Potentialabschätzung.....	102
7.1.5 Potentialabschätzung bis 2100 unter Berücksichtigung des Klimawandels.....	103
7.2 Diskussion der Ergebnisse.....	104
7.2.1 Vergleich der Ergebnisse zwischen Bundes-, Landes- und Gemeindeebene	104
7.2.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Potentialabschätzungen.....	108
7.2.3 Sensitivitätsanalyse	109
7.2.4 Aussagefähigkeit der Ergebnisse	112
7.2.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	117

Zusammenfassung	121
Summary	126
Abbildungsverzeichnis	130
Tabellenverzeichnis.....	132
Literaturverzeichnis	133
Quellenverzeichnis der verwendeten Karten.....	143
Abkürzungsverzeichnis	145
Umrechnungszahlen	145
Anhang	146

1 Einleitung

1.1 Hintergrund der Arbeit

Menschliche Aktivitäten haben seit Beginn der Industrialisierung in starkem Maße zu einem Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre geführt. Eine wesentliche Ursache dafür ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe und die dadurch bedingte Freisetzung klimaschädlicher Treibhausgase. Diese haben zur Erwärmung der Atmosphäre und einer Änderung des Klimas geführt, welches laut verschiedener Szenarien auch weiterhin zunehmen wird (IPCC 2008). Durch die zunehmende Verknappung fossiler Energieträger sind außerdem deren Rohstoffpreise in den letzten Jahren stark gestiegen und werden vermutlich auch weiterhin ansteigen (FELL 2007). Aus all diesen Gründen ist in der Öffentlichkeit, in der Politik, aber auch in der Forschung und in der Industrie ein zunehmendes Interesse an regenerativen Energiequellen, den sogenannten Erneuerbaren Energien, entstanden. Mit der nuklearen Katastrophe vom 11. März 2011 im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi ist die Forderung nach einem zügigen Ausbau der erneuerbaren Energien in der Öffentlichkeit und der Politik weiterhin verstärkt worden. Deutschland hat sich hierbei als Ziel gesetzt, bis 2020 den Anteil der Erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch auf 18 % zu steigern. Davon soll die Bioenergie den Großteil mit 10,9 % tragen (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Ziele der Bundesrepublik Deutschland zum Ausbau der Erneuerbaren Energien bis 2020 (entnommen aus BMELV & BMU 2009)

	2007		2020	
	EE insgesamt	davon Bioenergie ²	EE insgesamt „Meseberg“ ³ bzw. EEG oder EE-RL	davon Bioenergie ⁴ nach „Leitstudie 2008“
Anteil EE am gesamten Primärenergieverbrauch	6,7%	4,9%	16%	11%
Anteil EE gesamten Endenergieverbrauch ⁵	8,6%	6,2%	18%	10,9%
Anteil EE am gesamten Stromverbrauch/Stromversorgung ⁶	14,2%	3,9%	mindestens 30%	8%
Anteil EE am gesamten EEV für Wärme	6,6%	6,1%	14%	9,7%

1 Anteil Biokraftstoffe gem. EE-RL 12 % (2020)

2 Inkl. biogene Festbrennstoffe, Biogas, Klär- und Deponiegas, flüssige Biomasse und biogener Anteil am Abfall

3 Gemäß Kabinettsbeschluss Meseberg, 23.8.2007

4 Gemäß BMU-Leitstudie 2008 „Ausbau der erneuerbaren Energien“

5 Strom, Wärme, Kraftstoffe

6 Bezugsgröße: Bruttostromverbrauch

Wie die Zahlen des Biomasseaktionsplans für Deutschland zeigen, hat die energetische Verwertung von Biomasse (z.B. Biogas, thermische Verwertung) momentan die bedeutendste Rolle bei den regenerativen Energiequellen und wird nach Meinung von Experten auch in Zukunft wichtigster erneuerbarer Energieträger bleiben (WBGU 2003). Bereits im Jahr 2010 deckte die Biomasse ca. 72 % der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland ab (BMU 2011). Biomasse in ihren unterschiedlichen Formen kann, neben der thermischen Verwertung, auch zur Erzeugung von Strom und biogenen Treibstoffen genutzt werden. Der größte Markt für Biomasse bleibt aber zweifelsohne der Wärmemarkt (KOPETZ 2007). Demzufolge deckte die Biomasse bei der Wärmebereitstellung im Jahr 2010 allein einen Anteil von 92 % bei den erneuerbaren Energien ab, wobei die biogenen Festbrennstoffe (überwiegend Holz) mit 80 % den Grossteil ausmachten. Der Rest setzte sich aus flüssiger (Klärschlamm, Pflanzenöle) und gasförmiger Biomasse (Biogas, Klärgas), sowie aus den biogenen Bestandteilen des Abfalls zusammen (BMU 2011; siehe Abbildung 1).

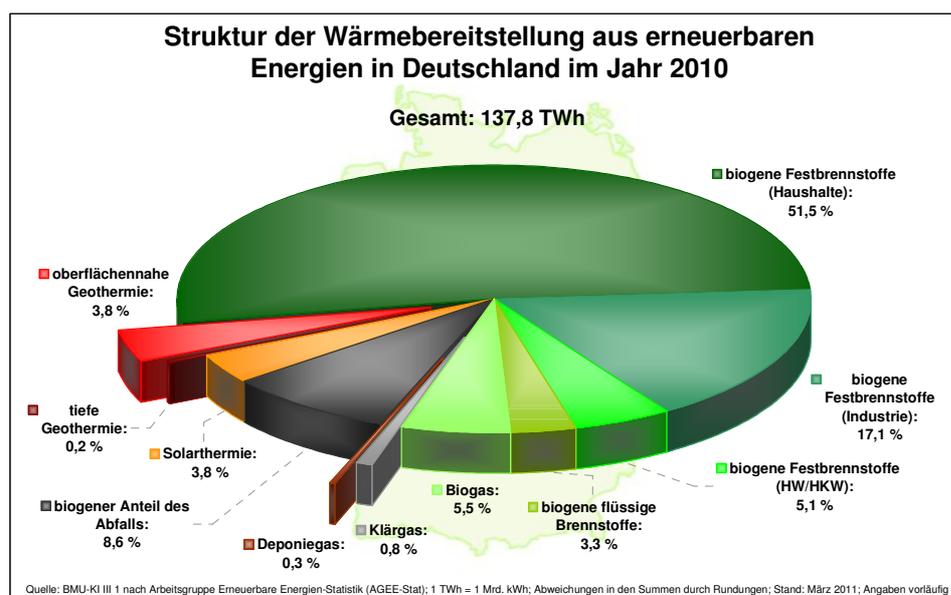


Abb. 1: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010 (Quelle: BMU 2011)

Somit ist Holz nach wie vor der wichtigste regenerative Energieträger in Deutschland. Dies zeigt sich auch an dem zunehmenden Bedarf an Energieholz für die direkte energetische Verwendung in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln oder in der veredelten Form von Holzpellets. So stieg der Anlagenbestand von 3000 Pelletheizungen in Deutschland im Jahr 2000 auf 140.000 Anlagen im Jahr 2010 rasant an (BMU 2011). Das entspricht einer jährlichen Steigerung von ca. 460 % und so geht der Deutsche Energie Pellet Verband e.V. von einem Pelletbedarf von 10 Mio. Tonnen im Jahr 2020 aus (DEPV 2008). Die Potentiale der Energieholzbereitstellung aus dem Wald sind

jedoch begrenzt, durch zum einen den nachhaltigen Grundsatz der Bewirtschaftung, sowie aufgrund technischer und ökologischer Restriktionen. So geht eine Abschätzung von THRÄN et al. (2009) davon aus, dass im Jahr 2020 eine Deckungslücke für den gesamten Holzbedarf in Deutschland von etwa 30 Mio. Festmeter (290 PJ/a) Holz bestehen wird. MANTAU (2010) geht in seiner Studie EUwood in der Zukunft ebenfalls von einer höheren Nachfrage nach Holz aus als potentiell zur Verfügung steht und gibt für das Jahr 2030 eine Deckungslücke von 61-153 Millionen m³ Holz für die 27 EU Länder an. Um einen Teil dieser Deckungslücke schließen zu können, setzen unter anderem der Deutsche Energie Pellet Verband e.V., der Energiekonzern RWE AG, der Heiztechnikhersteller Viessmann und der Pellethersteller Schellinger KG im starkem Maße auf die Nutzung von schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb und wollen in den nächsten Jahren mehrere tausend Hektar Kurzumtriebsplantagen in Deutschland anlegen (DEPV 2008, RWE 2008, VIESSMANN 2008, SCHELLINGER 2008). Auch Experten des Deutschen BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) prognostizieren einen Flächenbedarf für Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen von 1 – 1,5 Mio. Hektar im Jahr 2020 (KALTSCHMITT et al. 2010), um so einen Teil des gesteigerten Energieholzbedarfs decken zu können. Aus diesen Gründen möchte auch die Bundesregierung, im Rahmen des nationalen Biomasseaktionsplans für Deutschland, die Anlage von Kurzumtriebsplantagen erleichtern (BMELV & BMU 2009).

Diese sogenannten Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind Kulturen, welche zumeist auf landwirtschaftlichen Flächen, mit schnellwachsenden und wiederausschlagsfähigen Baumarten wie z.B. Pappeln, Weiden oder Robinien bestockt werden (siehe Abb. 2). Diese werden nach kurzen Umtriebszeiten von in der Regel 3-5 Jahren geerntet, treiben dann wieder neu aus und



Abb. 2: 2-jährige Weidenkurzumtriebsfläche

können so über einen Zeitraum von 20-30 Jahren bewirtschaftet werden (BOELCKE 2006, UNSELD 2010). Seit der Novelle des Bundeswaldgesetzes vom 06.08.2010 ist diese vorwiegend zur energetischen Nutzung ausgerichtete Holzproduktion, bei einer Umtriebszeit von maximal 20 Jahren, vom Waldbegriff ausgenommen und stellt damit eine landwirtschaftliche Dauerkultur dar (BWaldG 2010).

Bislang wird der Anbau von Kurzumtriebsplantagen jedoch nur im sehr kleinen Maßstab in Deutschland betrieben. Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) gibt für das Jahr 2010 eine Fläche von ca. 3.600 Hektar KUP in Deutschland an (SCHÜTTE 2011). Trotz des bisher geringen Anteils von Kurzumtriebsplantagen an der landwirtschaftlichen Nutzung steigt seit ein paar Jahren deren Flächenanteil auf dem Acker- und Dauergrünland in Deutschland kontinuierlich an.

Inwieweit allerdings die energetische Nutzung von Biomasse aus Kurzumtrieb tatsächlich signifikant zur regionalen und bundesweiten Deckung des Energiebedarfes beitragen kann, hängt von mehreren Faktoren ab. So verhindern Hemmnisse wie hohe Anlagekosten, eine lange Flächenbindung und mangelndes Fachwissen bei den Landwirten häufig noch die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen (WAGNER 2009). Insbesondere beim Anbau von Energiepflanzen auf guten landwirtschaftlichen Flächen besteht zudem immer wieder die Diskussion über deren zunehmenden Flächenverbrauch und die damit angenommenen Konsequenzen für die Nahrungsmittelproduktion (DEHMER 2010). Auch die auf den ertragsreichen Ackerstandorten oft noch fehlende wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Kurzumtriebsplantagen gegenüber herkömmlichen landwirtschaftlichen Kulturen erschwert den verstärkten Anbau von Energieholz im Kurzumtrieb (KRÖBER et al. 2008). Eine intensive Nutzung von Grenzertragsstandorten, Brachflächen oder Dauergrünland für den Anbau von Kurzumtriebshölzern wird dagegen häufig durch rechtliche Auflagen, wie z.B. der EU-Verordnung zum Erhalt des Dauergrünlandanteils (EG Verordnung Nr. 1782/2003) bzw. durch Restriktionen seitens des Naturschutzes beschränkt (NABU 2008). Zudem stehen die Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen in starker Konkurrenz zu anderen Energiepflanzen, wie z.B. Raps, Miscanthus oder Energiemais, deren Bedarf ebenfalls angestiegen ist. Um absehen zu können inwieweit Kurzumtriebsplantagen im gewünschten Umfang zur Energieholzbereitstellung beitragen können, müssen diese Restriktionen der Flächenverfügbarkeit berücksichtigt werden.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Um darstellen zu können, welche landwirtschaftlichen Flächen sich von ihren standörtlichen Voraussetzungen her für die Kurzumtriebsbewirtschaftung eignen, muss abgeschätzt werden, wie hoch das Ertragspotential einer jeweiligen Fläche für Kurzumtriebsplantagen ist. Somit können anschließend die Flächen nach dem darauf durchschnittlich erzielbaren Biomassezuwachs klassifiziert und für ihre ökonomische Rentabilität bewertet werden. Um diese

Abschätzung vornehmen zu können, wird im ersten Schritt dieser Arbeit eine Ertragsmodellierung auf Grundlage von erfassten Zuwachs- und Standortdaten mehrerer Kurzumtriebsflächen in Süddeutschland und Frankreich durchgeführt. Das Modell soll somit aufzeigen, wie hoch der durchschnittlich erzielbare Trockenmassezuwachs einer Kurzumtriebsplantage in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit ist. Aufbauend auf diesem Modell erfolgt im zweiten Schritt, unter der Nutzung verfügbarer geographischer Daten, eine Abschätzung wie viel Biomasse auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland über Kurzumtriebsplantagen erzeugt werden könnte. Zudem werden, neben der Beachtung der standörtlichen Einschränkungen, auch technische, ethische, ökologische und wirtschaftliche Restriktionen mit einbezogen, die das Flächenpotential für Kurzumtriebsplantagen beeinflussen können. Dabei werden die nationalen Potentiale für Deutschland, sowie in detaillierteren Ansätzen die regionalen Potentiale für das Bundesland Baden-Württemberg und für vier ausgewählte Gemeinden in Baden-Württemberg aufgezeigt. Auf diese Weise kann in unterschiedlicher Detailliertheit auf verschiedenen geographischen Ebenen ein Überblick gegeben werden, welche Acker- und Dauergrünlandflächen für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen wirtschaftlich rentabel genutzt werden könnten, ohne dass dabei negative Auswirkungen auf die Futter- und Nahrungsmittelproduktion, sowie für den Naturschutz entstehen. Die Struktur der Abschätzung gliedert sich dabei folgendermaßen:

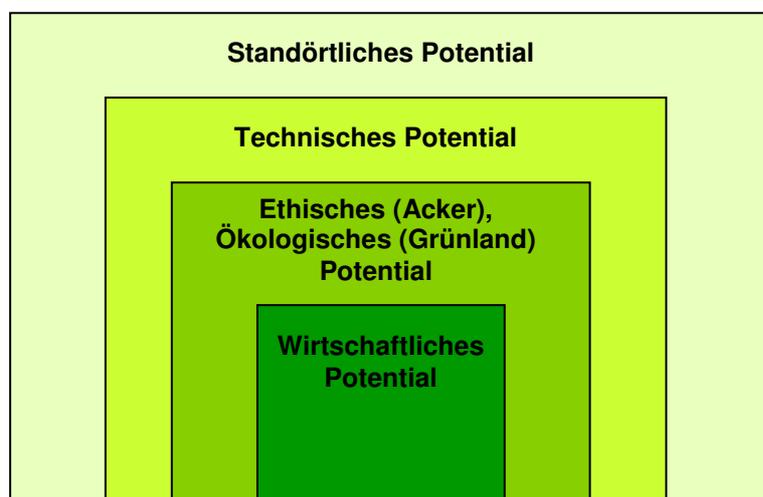


Abb. 3: Abstufung der Potentialabschätzungen

Entsprechend dieser Abstufung der Potentialabschätzung (siehe Abb. 3) wurde die Arbeit in folgende vier Kapitel strukturiert. Die Auslegung der Potentiale erfolgte dabei in Anlehnung an die Potentialdefinitionen von KALTSCHMITT et al. 2001:

In **Kapitel 3** wird eine Ertragsmodellierung in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit erstellt, basierend auf den erhobenen Zuwachs- und Standortdaten mehrerer Kurzumtriebsflächen. Anschließend wird mittels der Nutzung geographischer Informationssysteme eine Abschätzung des **standörtlichen Potentials** in Deutschland und Baden-Württemberg vorgenommen und die Ergebnisse dargestellt. Unter dem Begriff des standörtlichen Potentials wird das, durch die Anlage und Nutzung von Kurzumtriebsplantagen, hypothetisch erzeugbare Biomassepotential in einer gegebenen Region und innerhalb eines bestimmten Zeitraums beschrieben. Dieses Potential wird allein durch die gegebenen standörtlichen Nutzungsgrenzen bestimmt und kennzeichnet damit die Obergrenze der theoretisch realisierbaren Biomasseproduktion auf Acker- und Dauergrünlandflächen.

In **Kapitel 4** wird das **technisch-ethisch-ökologische Potential** hergeleitet. Mit diesem Potential wird der Teil des standörtlichen Potentials dargestellt, der unter Berücksichtigung der herkömmlichen maschinellen Bewirtschaftungsformen nutzbar ist. Darüber hinaus werden in dem Kapitel die ethischen und ökologischen Begrenzungen berücksichtigt, da sie ebenfalls schwer überwindbare Einschränkungen darstellen.

In **Kapitel 5** wird das **wirtschaftliche Potential** aufgezeigt. Dies ist der verbleibende Flächenanteil des technisch-ethisch-ökologischen Potentials auf dem, unter bestimmten gegebenen Rahmenbedingungen, ökonomisch rentabel produziert werden kann.

In **Kapitel 6** wird anhand einer Szenariobetrachtung eine Abschätzung vorgenommen wie sich das **Potential zukünftig** unter Anbetracht des Klimawandels entwickeln könnte. Dabei werden unter Berücksichtigung steigender Temperaturen und sinkender Niederschläge die Parameter des standörtlichen Potentials verändert.

2 Stand des Wissens

Nach den Angaben der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe sind im Jahr 2010 auf etwa 3.600 ha landwirtschaftlicher Fläche in Deutschland Kurzumtriebshölzer angebaut worden. Die Hälfte der Flächen befindet sich im Bundesland Brandenburg. In Baden-Württemberg lag 2009 die Anbaufläche bei ca. 125 ha und im Jahr 2010 bei ca. 200 ha (SCHÜTTE 2011).

Tab. 2: Anbaufläche von Festbrennstoffen in Deutschland 2009 und 2010 (SCHÜTTE 2011)

Bundesland	KUP 2009	Miscanthus 2009	Anbaufläche 2009 (ha)	KUP 2010	Miscanthus 2010	Anbaufläche 2010 (ha)
Baden-Württemberg	125,1	239,0	364,1	202,5	273,6	476,1
Bayern	189,0	813,0	1.002,0	275,9	956,5	1.232,4
Brandenburg, Berlin	700,0	7,0	707,0	1.796,00	8,0	1.804,0
Hessen	199,0	136,5	335,5	211,0	166,0	377,5
Mecklenburg-Vorp.	30,0	k.A.	30,0	30,0	k.A.	30,0
Niedersachsen, HB	485,0	115,7	600,7	500,0	145,0	645,0
Nordrhein-Westfalen	98,0	311,0	409,0	141,0	381,0	522,0
Rheinlandpfalz	24,0	150,0	174,0	24,0	150,0	174,0
Saarland	4,8	1,6	6,4	4,8	1,6	6,4
Sachsen	155,0	17,0	172,0	133,1	23,2	156,3
Sachsen-Anhalt	151,3	0,0	151,3	151,3	0,0	151,3
Schleswig-Holstein, HH	99,0	25,0	124,0	93,4	6,9	124,0
Thüringen	37,5	9,5	47,0	37,5	9,5	47,0
Gesamt:	2.297,7	1.825,3	4.123,0	3.600,5	2.121,2	5.721,6

gelb= noch nicht gemeldet für 2010

Eine Abschätzung wie viel Potential für den Anbau von Energieholz auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland vorhanden ist, wurde bislang jedoch nur in wenigen Arbeiten durchgeführt. Die ausführlichsten Studien hierzu fanden im Rahmen der abgeschlossenen Projekte DENDROM und AGROWOOD statt, welche sich allerdings nur auf die Bundesländer Brandenburg und Sachsen beziehen (ALI 2009; MURACH 2008; MURN 2007; PETZOLD et al. 2006). Des Weiteren gibt es einige Studien, die eine Abschätzung des zukünftig nutzbaren Biomassepotenzials in Deutschland zum Ziel haben. Die Methoden und Ergebnisse von mehreren dieser Studien werden in der Arbeit von ARETZ und HIRSCHL (2007) verglichen. In diesen fließen die Potentialanalysen der verfügbaren Massen von forstlicher Biomasse, landwirtschaftlicher Biomasse, Biomasse aus der Landschaftspflege und sonstiger Biomasse (Siedlungsabfälle und gewerbliche/industrielle Abfälle) mit ein. Für den Anbau von Energiepflanzen gehen die Studien dabei von einer Flächenverfügbarkeit zwischen 2-4 Millionen

Hektar in Deutschland aus, wovon ein Teil für den Anbau von Kurzumtriebsgehölzen genutzt werden könnte. Dieser Anteil wird jedoch nicht genauer definiert und die Studien lassen keine speziellen Aussagen über die wirtschaftlich und ökologisch realisierbaren Potentiale des Kurzumtriebsanbaues zu. Nachfolgend werden die wesentlichen durchgeführten Studien zur Abschätzung des Kurzumtriebspotentials in Deutschland und Europa vorgestellt.

2.1 KUP-Potentialanalysen in Sachsen

Eine Potentialanalyse zur Kurzumtriebsbewirtschaftung in Sachsen wurde von PETZOLD et al. (2006) für die Modellregion Freiberg, anhand einer GIS-basierten Analyse, durchgeführt. Basierend auf der Annahme, dass die Wasserverfügbarkeit den Zuwachs von KUP wesentlich beeinflusst, leitete er anhand von verschiedenen Standortparametern der Bodenkonzeptkarte für Sachsen vom Landesamt für Umwelt und Geologie die Eignung der Ackerflächen für den Anbau von Energieholz ab. Dabei werden drei Eignungsklassen für Kurzumtriebsplantagen anhand des Wasserspeichervermögens, des Kapillaraufstiegs, der Lage des Reduktionshorizontes und der natürlichen Fruchtbarkeit der Böden abgeleitet, wie sie in folgender Tabelle 4 dargestellt sind.

Tab. 3: Bewertungsschema des Standorts für KUP auf Grundlage von Ableitungen aus der Bodenkonzeptkarte (aus PETZOLD et al. 2006)

Wasserspeicher- vermögen und Kapil- laraufstieg (mm)	Lage des Reduk- tionshorizontes (dm unter Flur) ¹⁾	natürliche Boden- fruchtbarkeit	Bewertung für Kurz- umtriebsplantagen
< 60	≤ 4	sehr gering	nicht geeignet
60 bis 140	> 4 bis < 10	gering	bedingt geeignet
> 140 bis 220	≥ 10	mittel	geeignet
> 220 bis 300	≥ 10	hoch	geeignet
< 300	≥ 10	sehr hoch	geeignet

1) bei grundwasserbeeinflussten Standorten

Mittels eines weiteren Ausschlusses von Flächen mit zu geringem Niederschlag unter 300 mm und Lufttemperaturen unter 7°C im Jahresdurchschnitt, können die potentiell geeigneten Ackerstandorte in der Region Freiberg für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weide dargestellt werden.

Ein weiteres Modell zur Potentialabschätzung von Kurzumtriebsflächen hat ALI (2007, 2009) für Sachsen, anhand des Datenmaterials von sechs Versuchsfeldern mit Max-Klonen in Sachsen entwickelt. Dieses beruht auf den statistischen Beziehungen, die zwischen den aufstockenden

Biomassevorräten und verschiedenen Bestandes- und Standortsvariablen bestehen. Dabei wurde im ersten Schritt, mit Hilfe einer nichtlinearen Regressionsanalyse ($R^2 = 0,98$), die Oberhöhe (h_{dom}) auf Basis der Erklärungsvariablen Alter (Age), Mitteltemperatur April bis Juli (MeanT 4-7), Ackerwertzahl (SQI), Niederschlagssumme Mai bis Juni ($\sum P_{5-6}$) und der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (AWSC) geschätzt. Über eine zweite Regressionsbeziehung ($R^2 = 0,92$) sind Oberhöhe und Biomassevorrat miteinander verknüpft, wodurch sich der Biomassevorrat, unter den vorgegebenen Parametern, mit einer durchschnittlichen statistischen Abweichung zwischen Modell und Beobachtungen von 5,3 % schätzen lässt. Die Validierung des Modells erfolgte dabei an fünf weiteren Versuchsflächen in Sachsen.

Tab. 4: Modell für die Prognose von Oberhöhe (h_{dom}) und Biomasse (BM) von Pappelklonen in Sachsen (nach ALI 2009).

Model	Model Expression	N	R ² adj.	SIG.	Bias [m], [t/ha]	Bias %
h_{dom}	$h_{\text{dom}} = a1 * \text{Age} + a2 * \text{MeanT}_{4-7} * \text{SQI} + a3 * \sum P_{5-6} * \text{AWSC}$	25	0,980	1,5544E-19	0,07	1,311
BM	$\text{BM} = a1 * h_{\text{dom}}^{a2}$	25	0,927	3,6159E-15	0,301	5,272

Anhand des Modells sowie den durchschnittlichen Klima- und Standortdaten auf Gemeindeebene, wurden mit Hilfe eines GIS anschließend von ALI (2009) die standörtlichen Biomassepotentiale für Kurzumtriebsflächen in Sachsen ermittelt. Diese wurden als mittlerer jährlicher Biomassezuwachs je Gemeinde für die gesamte Ackerfläche sowie im zweiten Schritt nur für die Stilllegungsflächen in Sachsen dargestellt. Dabei wurden verschiedene Pflanzdichten und Umtriebszeiten für die Max-Klone zu Grunde gelegt.

2.2 KUP-Potentialanalysen in Brandenburg

Im Rahmen des DENDROM Projektes wurde von MURACH et al. (2008, 2009) eine umfassende KUP-Potentialabschätzung für das Land Brandenburg dargestellt. Sie basiert auf der Erkenntnis, dass die Wasserversorgung der wichtigste Wachstumsfaktor für Pappeln und Weiden ist, wie es von mehreren Autoren belegt wurde (LINDROTH & BATH 1999, STEPHENS et al. 2001, HALL 2003, PETZOLD et al. 2006). Dabei wurde die Wassermenge, die den Bäumen für die potentielle Transpiration auf nicht grundwasserbeeinflussten Standorten zur Verfügung steht, anhand des sogenannten Transpirationswasserangebotes (TWA) charakterisiert. Dieses setzt sich aus der nutzbaren Wasserspeicherkapazität der Böden bis 50 cm Tiefe und dem Niederschlag in der

Vegetationszeit, minus einer von LINDROTH & BATH (1999) gemessenen Interzeption von 35% bei Kurzumtriebsplantagen, zusammen.

Mittels der Boundary-Line-Methode wurde der Einfluss des TWA auf die Bestandeshöhe ermittelt. Die Boundary-Line-Methode dient dabei zur Identifikation wichtiger standörtlicher Einflussgrößen auf das Pflanzenwachstum unter Freilandbedingungen (WEBB 1972, WALWORTH et al. 1986). Dabei wird eine Pflanzenkenngröße in einem Scatterplot zu einem standortbezogenen Umweltfaktor in Beziehung gesetzt und unter Verwendung eines Regressionsmodells die klassenbezogenen Maximalwerte der Punktwolke des Scatterplots berechnet (HARTMANN 2010). Basierend auf den Erhebungen an verschiedenen Pappel- und Weidenklonen auf mehreren Kurzumtriebsflächen in Deutschland und Polen wurde somit der Einfluss des TWAs auf das Höhenwachstums dargestellt (siehe Abb. 4).

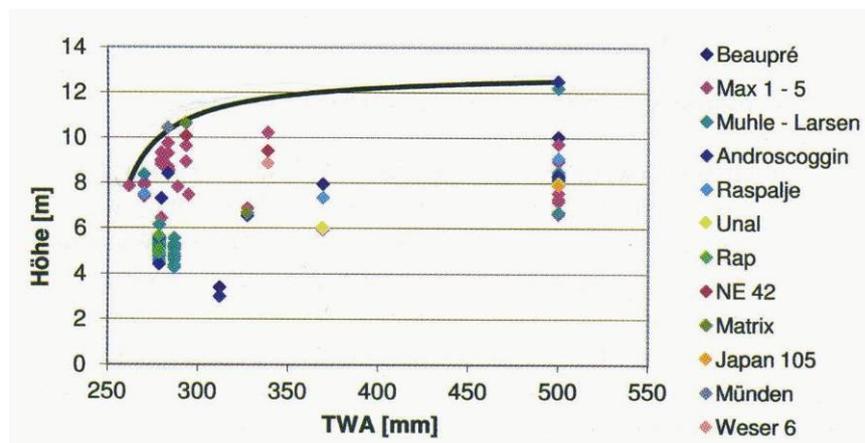


Abb. 4: Boundary-Line: Darstellung des Einflusses des TWA auf die Triebhöhe im Alter 5/5 für die Pappelklone im 5-jährigen Kurzumtrieb (entnommen aus MURACH et al. 2009; S. 32)

Anhand von erhobenen Daten von 18 Versuchsflächen wurden anschließend Ertragsfunktionen in Abhängigkeit von Mittelhöhe und Pflanzverband hergeleitet. Über beliebige Höhen und einer vorgegebenen Pflanzzahl konnte somit die Gesamtwuchsleistung und ein, über das Bestandesalter gemittelter, jährlicher Ertrag für Pappeln und Weiden in Abhängigkeit vom TWA dargestellt werden.

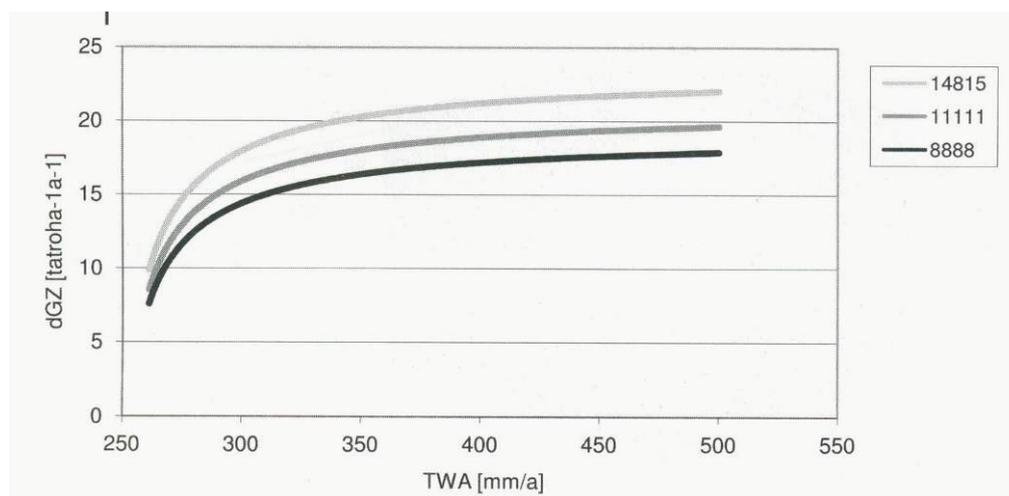


Abb. 5: Potentielle Massenerträge von Pappeln im Kurzumtrieb (5 Jahre) in Abhängigkeit von dem Transpirationswasserangebot und den Pflanzzahlen (entnommen aus MURACH et al. 2009; S. 34)

Basierend auf dem TWA-Modell von MURACH et al. (2008) hat MURN (2008) eine Quantifizierung der Vorzugsflächen für Kurzumtriebsplantagen in Brandenburg erstellt. Dabei wurde die Wasserverfügbarkeit auf landwirtschaftlichen Flächen, anhand von geographischen Daten für die Komponenten Niederschlag, nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) und kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser (KR), erfasst und dargestellt. Mittels drei Szenarien, die verschiedene ökologische Restriktionen mit einbeziehen, wurden so die Flächenpotentiale für Kurzumtriebsplantagen in Brandenburg aufgezeigt.

Einen weiteren Ansatz, das Flächenpotential für Pappel-Kurzumtriebsplantagen darzustellen, fand für Südbrandenburg von LANDGRAF et al. (2009) statt. Die Berechnung des Ertragspotentials erfolgte dabei in Anlehnung an die Ertragsleistung sächsischer Kurzumtriebsplantagen auf verschiedenen Standorten, die seit mehr als acht Jahren unter Beobachtung standen. Dazu wurden die Standorte anhand der nutzbaren Feldkapazität (nFK), der Niederschlagssumme in der Vegetationszeit (NS in VP), des Grundwasserflurabstand und der Ackerzahl (AZ) in fünf Standortstypen eingeteilt. Die Standortstypen A-C zeichnen sich entweder durch hohe Niederschläge (A), geringe Grundwasserflurabstände (B) oder hohe nutzbare Feldkapazitäten (C) und einer somit guten Wasserverfügbarkeit aus. Bei den Standortstypen D und F ist jedoch nur eine geringe Wasserverfügbarkeit gegeben und folglich nur eine niedrige Ertragsleistung zu erwarten (siehe Tabelle 5).

Tab. 5: Standortstypen für den Pappelanbau in Südbrandenburg (nach LANDGRAF et al. 2009)

	A	B	C	D	E
NS in VP in mm	> 300	> 270	> 270	> 270	< 270
nFK in mm	200 - 300	> 300	200 - 300	100 - 200	-
AZ	> 50	30 - 50	30 - 50	30 - 50	< 30
Ertrag in $t_{atro}/ha*a$	7 - 11	7 - 11	7 - 11	1,5 - 3	-

Anschließend wurden mittels Geographischer Informationssysteme sowie Klima- und Standortdaten die Standortstypen für die Ackerflächen in Südbrandenburg ermittelt. Nach den Abschätzungen von LANDGRAF wäre demnach etwa ein Drittel der Ackerflächen in Südbrandenburg gut für den Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb geeignet, was einer Fläche von ca. 200.335 ha entspricht.

2.3 KUP-Potentialanalysen in Deutschland

Eine deutschlandweite Studie zur Potentialabschätzung von Kurzumtriebsflächen mit der Aspe wurde von KOLLAS et al. (2009) mithilfe des am Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung entwickelten Waldwachstumsmodell 4C durchgeführt. Dieses Modell wird für die Simulation von Waldwachstum und Stoffflüssen verwendet. Die vorwiegend für den Kurzumtrieb genutzten Pappelklone sind im Modell jedoch nicht verfügbar, weshalb die Berechnungen für die Aspe (*Populus tremula* L.) durchgeführt wurden, da für diese alle notwendigen biologischen Parameter verfügbar waren. Das Modell 4C berechnet die Stoffflüsse und die für das Wachstum charakteristischen Größen wie Brusthöhendurchmesser, Höhe und Biomasse der Bäume für einen gewählten Zeitraum. Das Wachstum ist dabei abhängig von den Umweltbedingungen Temperatur, Niederschlag, Strahlung, relative Luftfeuchte und der atmosphärischen CO₂-Konzentration (ROCK et al. 2009). Mithilfe der bundesweiten Bodenübersichtskarte BÜK 1000 und mehrerer Klimaszenarien des Klimamodells STAR2 konnten somit die zu erwartenden Erträge auf den Ackerflächen in Deutschland abgeschätzt werden. Als Ergebnis wurde hierbei für eine Aspen-Kurzumtriebsbewirtschaftung mit vier fünfjährigen Umtrieben ein durchschnittlicher Ertrag von 5,86 $t_{atro}/ha*a$ ermittelt.

2.4 KUP-Potentialanalysen im europäischen Ausland

In Schweden wurde von LINDROTH & BATH (1999) eine Methode zur Ertragsabschätzung von Weiden-Kurzumtriebsplantagen für den südlichen Landesteil entwickelt. Basierend auf der Methode zur Messung der Wassernutzungseffizienz bei Weiden von LINDROTH & CIENCIALA (1996) konnte auf einer Weidenversuchsfläche in Schweden erfasst werden, dass pro Liter transpiriertem Wasser der Zuwachs von absolut trockener Biomasse bei 6,3 g lag. Zur Abschätzung des Zuwachses an oberirdischer absolut trockener Holzbiomasse (W_s) wurde diese ermittelte Wassernutzungseffizienz der Weide (r) mit den durchschnittlichen Niederschlägen in der Vegetationszeit minus 35 % für die Interzeption (P_w) und Abschlägen für den Zuwachs von Blatt- und Wurzelmasse (c_1 & c_r) in folgendem Modell zusammengeführt.

$$W_s = r (1 - c_1 - c_r) P_w \quad (\text{nach LINDROTH \& BATH, 1999})$$

So konnten mithilfe von langjährigen Niederschlagsdaten für Südschweden die zu erwartenden Erträge, welche sich in einer Spanne von 8 – 17 $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ bewegen, kartographisch dargestellt werden. Weitere bodenkundliche oder klimatische Standortfaktoren wie die nutzbare Feldkapazität oder die Lufttemperatur wurden dabei nicht berücksichtigt.

Weitere Potentialabschätzungen für Kurzumtriebsplantagen wurden in England von AYLOTT et al. (2008 & 2009) und von BALDWIN et al. (2009) durchgeführt. Diese beruhen auf der Auswertung von Boden-, Klima- und Zuwachsdaten, welche auf insgesamt 49 Kurzumtriebsflächen erhoben wurden. In Verbindung mit Klimamodellen wurden so aktuell und zukünftig erzielbare Biomasserträge für verschiedene Pappel- und Weidensorten kartographisch dargestellt.

Eine deutschlandweite Abschätzung der standörtlichen Eignung von Acker- und Dauergrünlandflächen für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb liegt jedoch noch nicht vor. Auch für Baden-Württemberg gibt es soweit keine umfassende Abschätzung der Ertragspotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen. Ebenso ist der ausführliche Einbezug von technischen, ethischen, ökologischen und wirtschaftlichen Restriktionen, die den Anbau von Kurzumtriebshölzern auf landwirtschaftlichen Flächen erheblich einschränken können, bundesweit als auch für Baden-Württemberg noch nicht durchgeführt worden und soll aus diesem Grunde im Rahmen dieser Arbeit verwirklicht werden.

Von den bereits durchgeführten KUP-Potentialabschätzungen in Deutschland basieren nur die von ALI (2007, 2009) und MURACH et al. (2008, 2009) auf Ertragsmodellierungen, welche mittels erhobener Zuwachs- und Standortdaten mehrerer Kurzumtriebsflächen erstellt wurden. Beide Modelle stützen sich dabei auf die Erkenntnis, dass die Wasserverfügbarkeit den Zuwachs von Pappel- und Weiden-Kurzumtriebsplantagen wesentlich beeinflusst. Zur Bestimmung der Wasserverfügbarkeit wird in beiden Modellen der Niederschlag mit einbezogen. MURACH et al. (2008, 2009) reduziert diesen Wert zuzüglich um einen Interzeptionsverlust von 35 %. Die potentielle Verdunstung (ETp), bestehend aus der Evaporation (E) und Transpiration (T), wird in beiden Fällen nicht berücksichtigt. Diese beeinflusst das Pflanzenwachstum jedoch erheblich und ist, neben der Art der Bedeckung der Fläche, unter anderem abhängig von der Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung (DIETRICH & SCHÖNIGER et al. 2009). Die potentielle Verdunstung kann dementsprechend durch zum Beispiel eine unterschiedliche Exposition oder Höhenlage stark variieren. So können selbst bei gleichen Niederschlagsmengen sehr unterschiedliche Standortsvoraussetzungen für KUP gegeben sein. Aus diesem Grunde wurde anstelle des Niederschlages für die Ertragsmodellierung in der vorliegenden Arbeit die klimatische Wasserbilanz, welche die potentielle Verdunstung beinhaltet, verwendet.

3 Regionalisierte und standortsbezogene Abschätzung des Biomassepotentials von KUP

3.1 Material und Methode

3.1.1 Darstellung der standörtlichen Faktoren, die die Ertragsfähigkeit von KUP beeinflussen

Unter dem Begriff des standörtlichen Potentials werden auch die strukturellen Gegebenheiten eines Gebietes mit einbezogen, da diese das Flächenpotential für Kurzumtriebsplantagen ebenfalls einschränken. Hierunter zählt die Art der Hauptnutzung einer landwirtschaftlichen Fläche, da diese die Verwendung der Fläche für den Kurzumtrieb verhindern bzw. ausschließen kann. Dazu zählen z.B. Hauptnutzungen wie Weinbau-, Streuobst-, Hopfen oder andere Dauerkulturen. Eine großflächige Umwandlung solcher Flächen zur Energieholzproduktion wäre aus verschiedenen Gründen (wirtschaftlichen, kulturellen, landschaftsästhetischen, etc.) nicht vertretbar. Demgemäß wurden nur Acker- und Dauergrünlandflächen in die Arbeit mit einbezogen, welche zudem mit knapp 99% den Großteil der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland ausmachen (STATISTISCHES BUNDESAMT 2009). Für Dauergrünland besteht zwar eine fest definierte Begrenzung des Umbruchs durch die EG Verordnung Nr. 1782/2003, die im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik alle Mitgliedstaaten zur Erhaltung des Dauergrünlandes verpflichtet. Da dies jedoch eine prozentuale Regelung ist und hierbei keine konkreten Flächen festgelegt sind, wird diese Einschränkung erst bei der technisch-ethisch-ökologischen Potentialabschätzung berücksichtigt.

Der Zuwachs von Kurzumtriebsplantagen wird durch viele Faktoren beeinflusst wie es in Abbildung 6 ersichtlich ist. Neben der Art der Bewirtschaftung (Sorte, Umtriebszeit, Pflege, etc.) zählen hierzu insbesondere die standörtlichen Einflüsse, welche durch die Klima-, Boden- und Reliefverhältnisse eines Standortes bestimmt werden. Das Klima und die Bodeneigenschaften eines Standorts können dabei nur zum geringen Teil wie z.B. durch Düngung oder Bewässerung beeinflusst werden. Damit stellen sie mehr oder weniger vorgegebene Faktoren für das standörtliche Ertragspotential dar. Die Art der Bewirtschaftung kann dagegen mittels geeigneter Sortenwahl, regelmäßiger Pflege, etc. optimiert werden.

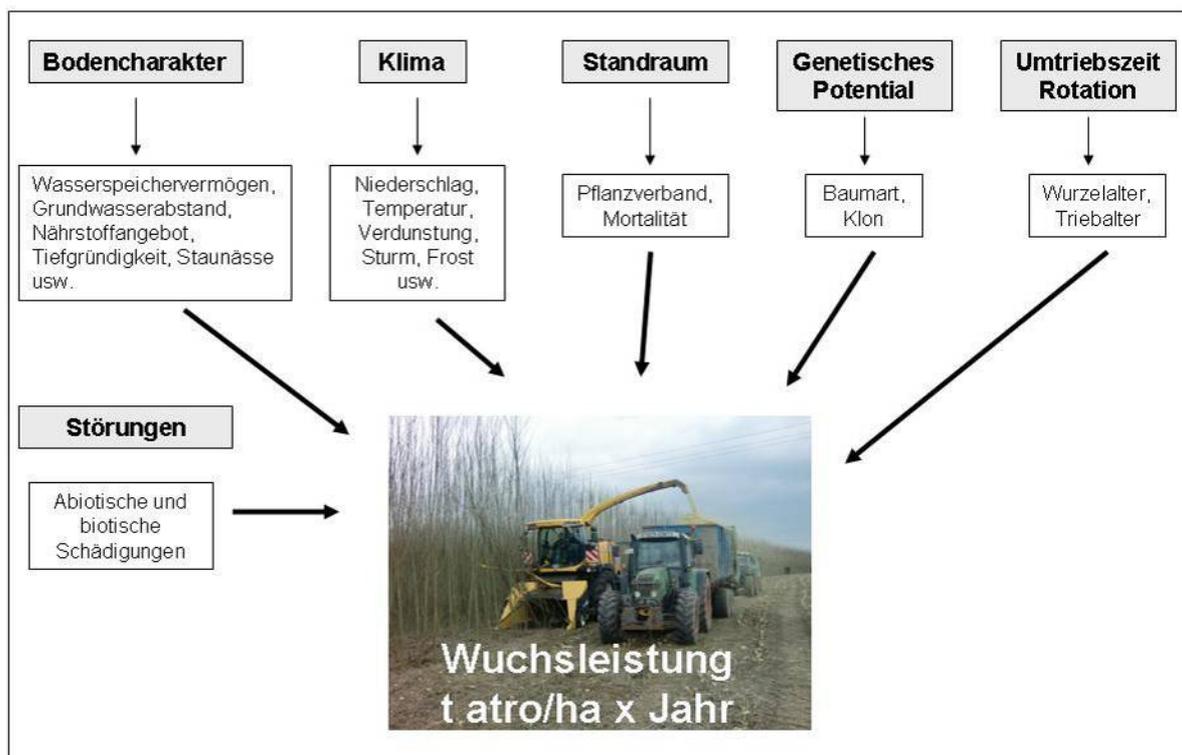


Abb. 6: Einflussfaktoren auf das Wachstum von Kurzumtriebsplantagen (verändert nach RÖHLE et al. 2006)

Der wesentlichste Faktor für das Wachstum von Kurzumtriebsplantagen ist der für die Pflanzen verfügbare Wasserhaushalt eines Standorts (LINDROTH & BATH 1999, STEPHENS et al. 2001, HALL 2003, PETZOLD et al. 2006). Dieser entscheidet hauptsächlich über die möglichen Zuwachsraten der Kurzumtriebshölzer, während andere Faktoren wie z.B. die Nährstoffversorgung oder die Bodenart nur eine untergeordnete Rolle spielen (PETZOLD 2006, MURACH et al. 2008). So zeigten Düngerversuche, dass selbst nach mehreren Rotationen keine deutlichen Zuwachssteigerungen durch die Zugabe von Nährstoffen erzielt werden konnten (REHFUESS 1995, JUG 1998, BOELKE 2006, KERN et al. 2009, BURGER 2010). Auch HOFMANN et al. (2011) beobachtete, dass das Nährstoffangebot weder bei der Pappel noch bei der Weide in den ersten drei Jahren einen signifikanten Einfluss auf das Wachstum hat. Da zudem die Nährstoffversorgung nur eingeschränkt aus den digitalen Bodendaten abgeleitet werden kann, da sie mit von der Bewirtschaftung abhängt und somit stark variieren kann, wurde sie im Rahmen der Potentialabschätzung nicht mit einbezogen. Die Bodenart, sowie Lagerungsdichte, Humus- und Skelettgehalt beeinflussen indessen die Speicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser und wurden dementsprechend, über die Erfassung der nutzbaren Feldkapazität, bei der Beurteilung des standörtlichen Potentials mit berücksichtigt. Ebenfalls wurde der Einfluss von der Exposition, der Hangneigung und der Reliefposition auf die Wasserversorgung mit einbezogen, da diese je nach Flächenlage einen beträchtlichen Einfluss haben können.

Neben der Wasserverfügbarkeit wurde die Lufttemperatur im Jahresmittel als zweiter Standortfaktor berücksichtigt. Insbesondere in höheren Lagen wie z.B. im Schwarzwald oder auf der Schwäbischen Alb, beeinflusst die Lufttemperatur wesentlich die Länge der Vegetationszeit und somit die erzielbaren Zuwächse (FRÖHLICH et al. 1973).

Anhand der aufgeführten Begründungen fließen somit nachfolgend zur **Abschätzung der standörtlichen Ertragspotentiale** die beiden Standortparameter **Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode** und der **Jahresdurchschnitt der Lufttemperatur** mit ein.

3.1.2 Ertragsmodellierung von KUP anhand der Wasserverfügbarkeit

Um Aussagen machen zu können wie viel Biomasse durch Kurzumtriebsplantagen, in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit und der Lufttemperatur, auf einer landwirtschaftlichen Fläche pro ha und Jahr erzielt werden kann, müssen die beiden Standortparameter definiert und mit dem Biomassertrag korreliert werden.

3.1.2.1 Definition des pflanzenverfügbaren Wassers

Der Bodenwasser- und Bodenluftgehalt wird durch mehrere klimatische Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Wärmegunst (Einfluss auf Verdunstung), geomorphologische Faktoren wie Sonn- und Schatthang, sowie edaphische Faktoren wie Wasserdurchlässigkeit bzw. Stauwassereinfluss, Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser und der Geländeposition (Ab- bzw. Zuflusssituation, kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser) gesteuert (WALDMANN & WEINZIERL 2008). Die den Pflanzen am jeweiligen Standort zur Verfügung stehende Wassermenge entscheidet dabei sowohl wesentlich über die Artenzusammensetzung der natürlichen oder naturnahen Vegetation als auch über die landbaulichen Nutzungsmöglichkeiten (WELLER et al. 1996). Ein Parameter, der zur Charakterisierung der Wasserverfügbarkeit anhand hydroklimatischer Bedingungen häufig Verwendung findet, ist die Klimatische Wasserbilanz (KWB) (WABOA 2007). Die KWB ist definiert als Differenz zwischen der Niederschlagshöhe und der Höhe der potentiellen Verdunstung für einen Betrachtungsort in einer Betrachtungszeitspanne (DIN 4049-3, 1994). Die KWB wird dabei wie ihre beiden Komponenten in mm angegeben. Je nachdem, ob in dem betrachteten Zeitintervall Niederschlag oder potentielle Verdunstung überwiegen, nimmt die Klimatische Wasserbilanz positive oder negative Werte an. Sie liefert damit eine Aussage über die klimatisch bedingten Überschüsse oder Defizite der Wasserhaushaltssituation und ihrer regionalen Verbreitung. Die Klimatische Wasserbilanz kann dabei anhand verschiedener

Verfahren berechnet werden. Für die vorliegende Arbeit wurde die KWB für die Vegetationsperiode von Mai-Oktober nach der Grasreferenzverdunstung nach Penman-Wendling genutzt, wie sie auch vom Deutschen Wetterdienst für die Agrarmeteorologie verwendet wird. Nachfolgend ist die Berechnung der potentiellen Verdunstung nach Penman-Wendling dargestellt.

Berechnungsverfahren der potentiellen Verdunstung nach PENMAN (von WENDLING modifiziert für Landflächen, aus dem Arbeitsblatt DVWK-M 238 von 1996)

$$ET_{p_{PENM}} = \frac{s}{s+y} * E_R + \frac{y}{s+y} * E_A$$

$$E_R = \frac{0,6 * R_G}{L}$$

$$E_A = 0,063 * (1 + 1,08 * v_2) * (e_s(T) - e) * S_R$$

$ET_{p_{PENM}}$... Potentielle Verdunstung nach PENMAN	R_G ... Globalstrahlung
E_R ... Strahlungsterm	L ... spezielle Verdunstungswärme
E_A ... Ventilations-Feuchte-Term	v_2 ... Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe
R_n ... Strahlungsbilanz [W/m^2]	$(e_{s(T)} - e)$... Sättigungsdefizit der Luft mit Wasserdampf [hPa]
s ... Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve [hPa/K]	S_R ... Verhältnis der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer

Da die Lage der Fläche (z.B. Schatt- oder Sonnenhang, Mulde oder Kuppe, etc.) ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Zu- und Abflüsse des Bodenwassers und somit auf das pflanzenverfügbare Wasser hat, wurde dieser standörtliche Einflussfaktor mit einbezogen. In Anlehnung an die Arbeit von HAUFFE et al. (1998) zur standörtlichen Bewertung von Böden, wurden anhand der Reliefposition, der Hangneigung und der Exposition Zu- und Abschlüge zur Klimatischen Wasserbilanz zugeteilt, wie sie in Tabelle 6 dargestellt sind.

Tab. 6: Reliefabhängige Ab- und Zuschläge zur Klimatischen Wasserbilanz (verändert übernommen von WALDMANN & WEINZIERL, 2008)

reliefabhängige Ab- und Zuschläge in mm				
Exposition	Hangneigung (%)			
	9-18	18-27	27-58	>58
N, NE, NW	+50	+100	+100	+100
S, SE, SW	-50	-50	-100	-150
E, W				-50
Reliefposition				
Oberhang, Kuppe	-50			
Unterhang, Hangfuß	+50			

Neben der reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz ist die Speicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Feldkapazität), bei grund- und stauwasserfreien Böden, eine maßgebliche Kenngröße für die Wasserversorgung der Vegetation (WABOA, 2007). Sie stellt damit ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Eignung des Standorts für den Anbau von Kurzumtriebsplantagen dar. Bei ausbleibenden Niederschlägen und einer durchschnittlichen Transpiration von ca. 6 mm/Tag bei der Pappel im Sommer (HALL et al. 1998) wären bei einer Rendzina mit einer nutzbaren Feldkapazität (nFK) von 50 mm die verfügbaren Wasservorräte schon nach 8 Tagen erschöpft. Bei einer Parabraunerde aus Löss mit einer nFK von 200 mm wäre dies erst nach 33 Tagen der Fall. Dass die nutzbare Feldkapazität einen signifikanten Einfluss auf das Wachstum bei Pappel und Weide hat, belegte auch HOFMANN et al. (2011) im Rahmen des PROLOC Projektes.

Der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser bis zum Wurzelraum wurde dagegen im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Zum einen werden für die Berechnung des Einflusses für die Potentialabschätzung Grundwasserflurabstandskarten benötigt, die allerdings weder für Deutschland noch für Baden-Württemberg flächendeckend existieren. Zum anderen ist ein relevanter kapillarer Aufstieg innerhalb der Vegetationsperiode nur bei geringem Abstand von Wurzelraum zum Grundwassermittelstand gegeben und kann bei den meisten Bodenarten bei über 50 cm Abstand schon nicht mehr zur Wasserversorgung der Pflanzen beitragen. So konnte auch MURN (2007) in ihrer KUP-Potentialabschätzung für Brandenburg einen Einfluss des kapillaren Grundwasseraufstiegs zur Wasserversorgung für die Kurzumtriebsplantagen auf nur einem äußerst geringen Flächenanteil aufzeigen.

Somit setzt sich im Folgenden die Bestimmung der **Wasserverfügbarkeit** eines Standortes, bei grund- und stauwasserfreien Böden, aus der **reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz** und der **nutzbaren Feldkapazität** zusammen.

3.1.2.2 Erfassung des pflanzenverfügbaren Wassers auf Kurzumtriebsflächen

Um den Einfluss der Wasserverfügbarkeit auf den Biomassertrag darstellen zu können, wurden bestehende Kurzumtriebs-Praxis- und Versuchsflächen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Frankreich zur Datenerhebung genutzt. Insgesamt standen somit 62 Kurzumtriebsflächen zur Verfügung, die mit schnellwachsenden Pappel- und/oder Weidensorten bestockt sind (siehe Abb. 7). Auf diesen wurden, wie nachfolgend beschrieben, alle notwendigen Daten zur Ertragsmodellierung erfasst und ausgewertet. Die Daten für die französischen Flächen wurden hierzu von der INRA (Institut national de la recherche agronomique) Nancy zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht der Flächen findet sich in Anhang I.

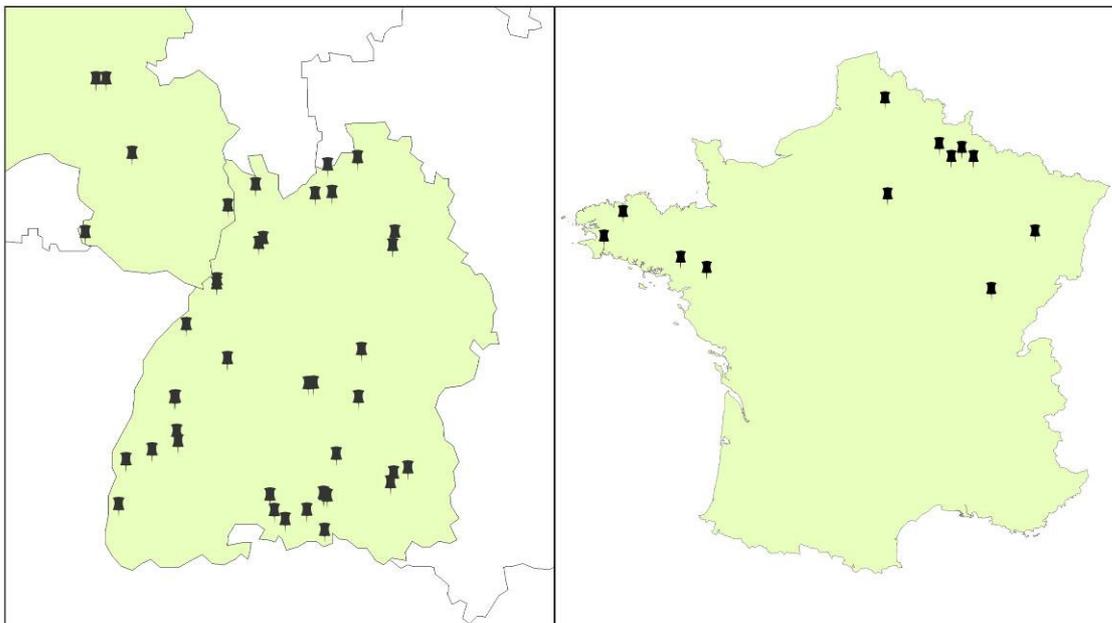


Abb. 7 : Lage der erfassten Kurzumtriebsplantagen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz (links) und Frankreich (rechts)

Zur Bestimmung der Wasserverfügbarkeit wurde auf jeder Fläche an zentraler Stelle der erfassten Sorte ein 1 Meter tiefes Bodenprofil ausgehoben, um die nutzbare Feldkapazität zu bestimmen (siehe Abb. 8). Dies erfolgte analog nach der Anleitung zur zweiten deutschen Bodenzustandserhebung im Wald (BMELV 2006), über die Bestimmung der Horizonttiefen, Bodenart, Humusgehalt, Trockenrohdichte und Skelettgehalt. Mittels der Daten wurde über die Pedotransferfunktion der 5. Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC AG BODEN 2005) die

nutzbare Feldkapazität in mm für 1 Meter Bodentiefe bestimmt. Ebenso fand bei ersichtlichen hydromorphen Merkmalen eine Einteilung der Böden in die Bodenkundlichen Feuchtestufen „vernässend“, „staunass“ und „teilweise staunass“, sowie, falls ersichtlich, der Vermerk über einen vorhandenen Grundwasseranschluss der Bäume statt.



Abb. 8: Bodenprofile der Kurzumtriebsflächen in Espasingen, Dußlingen, Aulendorf, Rheinstetten und Forchheim (von links nach rechts)

Zur Bestimmung der Klimatischen Wasserbilanz wurde auf die Messwerte der nächstgelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes und Météo-France zurückgegriffen. War keine Messstation in der Nähe konnte, für die deutschen Flächen auf aktuelle Rasterdaten des DWD zurückgegriffen werden. Erfasst wurde für jede Kurzumtriebsfläche jeweils die Summe der KWB von Mai – Oktober für die ersten drei Jahre seit ihrer Etablierung. Anschließend wurden die Summen der Jahre gemittelt und die reliefabhängigen Ab- und Zuschläge der jeweils vor Ort bestimmten Hangneigung, Exposition und Reliefposition addiert. Die so erhaltenen Werte der reliefabhängigen Klimatischen Wasserbilanz wurden anschließend mit den Werten der nutzbaren Feldkapazität addiert um den Millimeterwert der Wasserverfügbarkeit für jede der 62 Flächen zu erhalten (Einzelwerte siehe Anhang I).

3.1.2.3 Erfassung der Bestandesmittelhöhen und der Trockengewichte

Da die Baumhöhe stärker vom Standort als von der Behandlung abhängt (MURACH et al. 2008b), wurde zur Bestimmung der Korrelation des Biomasseertrags mit der Wasser-verfügbarkeit auf jeder Fläche die Bestandesmittelhöhe erfasst. Um den Einfluss unterschiedlicher Sorten zu minimieren, gleichzeitig aber auch keinen Standort überzurepräsentieren, wurde auf den Pappelflächen jeweils eine Max-Sorte (*Populus maximowiczii* × *Populus nigra*) und bei den Weiden die Sorte Tora (*Salix schwerinii* × *Salix viminalis*) ausgewählt. War die Sorte auf einer Fläche nicht vertreten, so wurde jeweils die wüchsigste Sorte einbezogen, da diese das mögliche

Zuwachspotential der Fläche am besten wiedergibt. Bei den so ausgewählten Sorten wurde im gleichmäßigen Raster um das Bodenprofil verteilt, an 40 Pflanzen die Höhe des jeweils längsten Triebes mittels eines Teleskopmessstabes gemessen und anschließend daraus das arithmetische Mittel gebildet. Dieses stellt die Bestandesmittelhöhe der Fläche dar. Ebenso konnten auf 13 Pappel- und 12 Weidenflächen jeweils im Alter von 3 Jahren je 15 Triebe entnommen werden. Bei diesen wurden die Triebhöhe, der Durchmesser bei 1,3 m und das frische Triebgewicht bestimmt. Anschließend wurden von jedem dieser Triebe Probestücke entnommen und im Trockenschrank bei 104°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Somit konnte der Wassergehalt und damit das absolute Trockengewicht der entnommenen Triebe bestimmt werden.

Um den Höhenzuwachs mit der gegebenen Wasserversorgung korrelieren und einen durchschnittlichen Jahreszuwachs bestimmen zu können, müssen die Bestandesmittelhöhen bei einem einheitlichen Alter aufgenommen werden. Da die erfassten Flächen zwischen 2007 und 2009 angelegt worden sind waren die gemessenen Triebe zum Messzeitpunkt im November 2010 und 2011 dementsprechend 3-4 Jahre alt waren. Deshalb wurde die 3-jährige Triebhöhe für die weitere Auswertung des Biomassezuwachses ausgewählt. Dies entspricht auch der in der Praxis häufig verwendeten 3-jährigen Umtriebszeit, insbesondere bei Weiden. Bei den schon älteren Flächen konnte zur Bestimmung der Bestandesmittelhöhe im Alter von 3 Jahren zumeist auf die Daten der jährlich stattgefundenen Messungen zurückgegriffen werden. Waren diese Daten nicht vorhanden, so wurde die 3-jährige Triebhöhe retrospektiv über eine Jahrringanalyse an den älteren Trieben bestimmt.

3.1.2.4 Korrelation der Biomasserträge mit der Wasserversorgung

Um den Einfluss der Wasserverfügbarkeit auf den KUP-Biomassezuwachs darstellen zu können, wurden die erhobenen Bestandesmittelhöhen in cm, getrennt für die Pappel- und Weidesorten, mit den Millimeterwerten der jeweils vorhandenen Wasserverfügbarkeit korreliert. In den Abbildungen 9 und 10 sind die Werte und die Korrelationen für die Pappel und Weide dargestellt. Da bei Grundwassernähe einzelne Wurzeläusläufer der Kurzumtriebshölzer 2,5 m Tiefe und mehr schon im zweiten Jahr erreichen können (MURN 2008), ist bei diesen Flächen eine ständige Wasserversorgung der Pflanzen gegeben. Um die Flächen mit einem Grundwasserflurabstand von unter 2 m in die Korrelation mit einbeziehen zu können, wurde ihnen ein mm-Wert von 350 zugewiesen. PETZOLD et al. (2008) hat bei einer gut wasserversorgten Pappelplantage in Mittelsachsen eine Gesamttranspiration von 480 mm gemessen und für Weiden wird eine Transpirationsrate von 500 mm bei optimaler

Wasserverfügbarkeit angegeben (LINDROTH & BATH 1999, HALL 2003, STEPHENS et al. 2001). Die potentielle Verdunstung der Klimatischen Wasserbilanz nach PENMAN setzt sich aus der Evaporation und Transpiration einer gut wasserversorgten Grasreferenzfläche zusammen. LINDROTH & BATH (1999) konnten feststellen, dass die Transpiration dieser Grasreferenzfläche durchschnittlich um etwa 1 mm pro Tag niedriger liegt als die Transpiration einer Weidenkurzumtriebsfläche mit guter Wasserverfügbarkeit. Somit kann bei einer Vegetationsperiode von etwa 180 Tagen bei einer Wasserverfügbarkeit von 350 mm von ausreichend guten Bedingungen für ein optimales Wachstum ausgegangen werden. Deshalb wurde dieser Wert als Obergrenze für die Korrelation vorgegeben. Demgemäß erklärt sich die Ansammlung von Punkten bei diesem Wert in den Abbildungen 9 und 10.

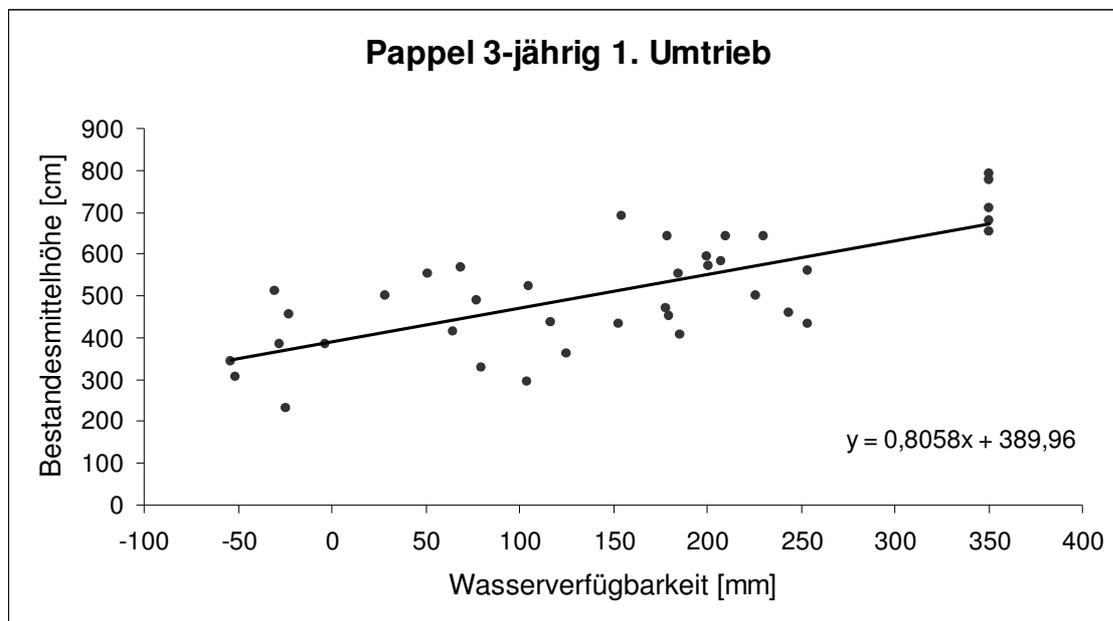


Abb. 9: Korrelation der Wasserverfügbarkeit mit der Bestandesmittelhöhe der Pappelkurzumtriebsflächen im Alter von 3 Jahren im 1. Umtrieb

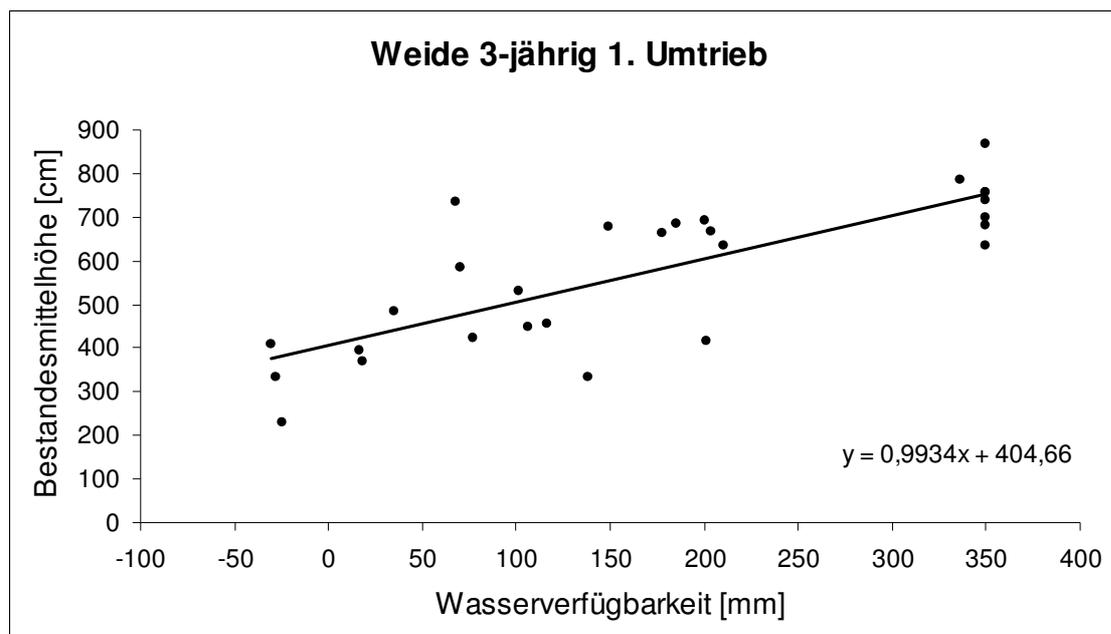


Abb. 10: Korrelation der Wasserverfügbarkeit mit der Bestandesmittelhöhe der Weidenkurzumtriebsflächen im Alter von 3 Jahren im 1. Umtrieb

Tab. 7: Ergebnisse der statistischen Analyse

Regressions-Statistik	Pappel	Weide
Multipler Korrelationskoeffizient	0,7218	0,7911
Bestimmtheitsmaß	0,5209	0,6258
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,5076	0,6114
Standardfehler	94,939	104,69
P-Wert	3,2E-07	5,4E-07
Beobachtungen	38	28

Beide Korrelationen zeigen dabei einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Höhenzuwachs und der Wasserverfügbarkeit mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,72 bei der Pappel und 0,76 bei der Weide. Ebenso kann bei beiden Korrelationen ein linearer Trend mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,52 und 0,59 dargestellt werden. Die Grafiken zeigen aber auch mehr oder weniger starke Abweichungen der Einzelwerte an, die durch Faktoren wie z.B. Bekämpfung von Beikräutern, mangelnde Nährstoffversorgung, etc. beeinflusst sein können. Die statistische Analyse der linearen Regression belegt jedoch, dass die Wasserverfügbarkeit einen starken Einfluss auf den Höhenzuwachs hat und dieser Zusammenhang mit den aufgezeigten Trendlinien verdeutlicht werden kann.

Ein straffer Zusammenhang besteht zudem zwischen der Trieblänge und dem jeweiligen Trockengewicht des Triebes. Anhand der insgesamt 195 entnommenen Pappel- und 180 Weidentriebe wird die Korrelation des Triebgewichtes mit der Trieblänge in den Abbildungen 11

und 12 dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt dabei bei der Pappel und bei der Weide 0,88.

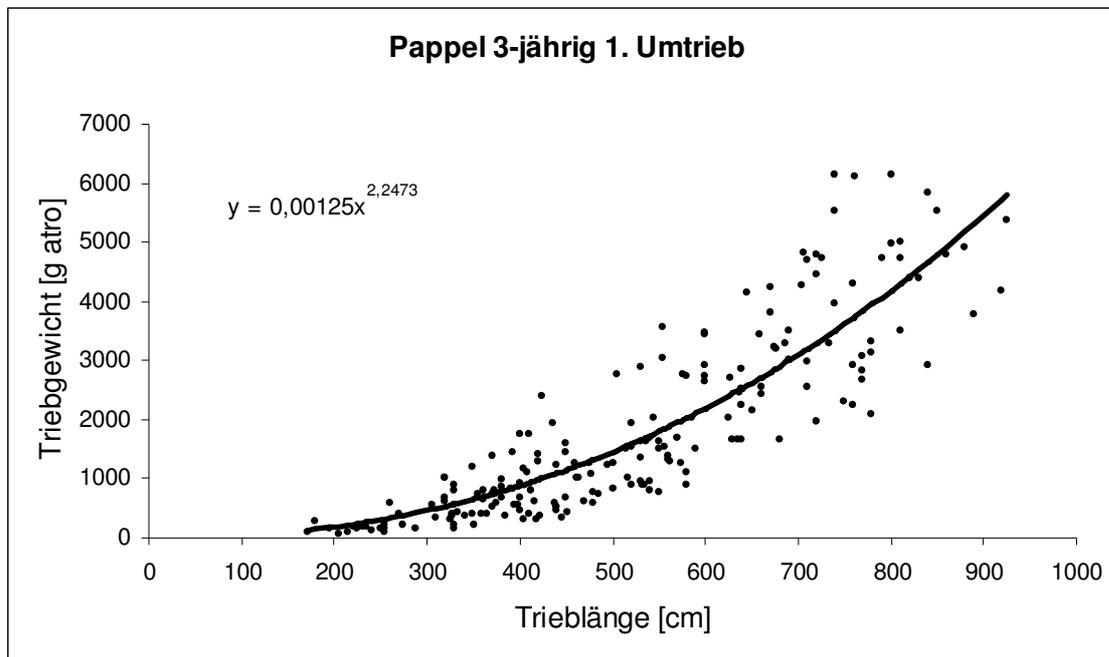


Abb. 11: Korrelation der Triebgewichte mit der Trieblänge bei der Pappel

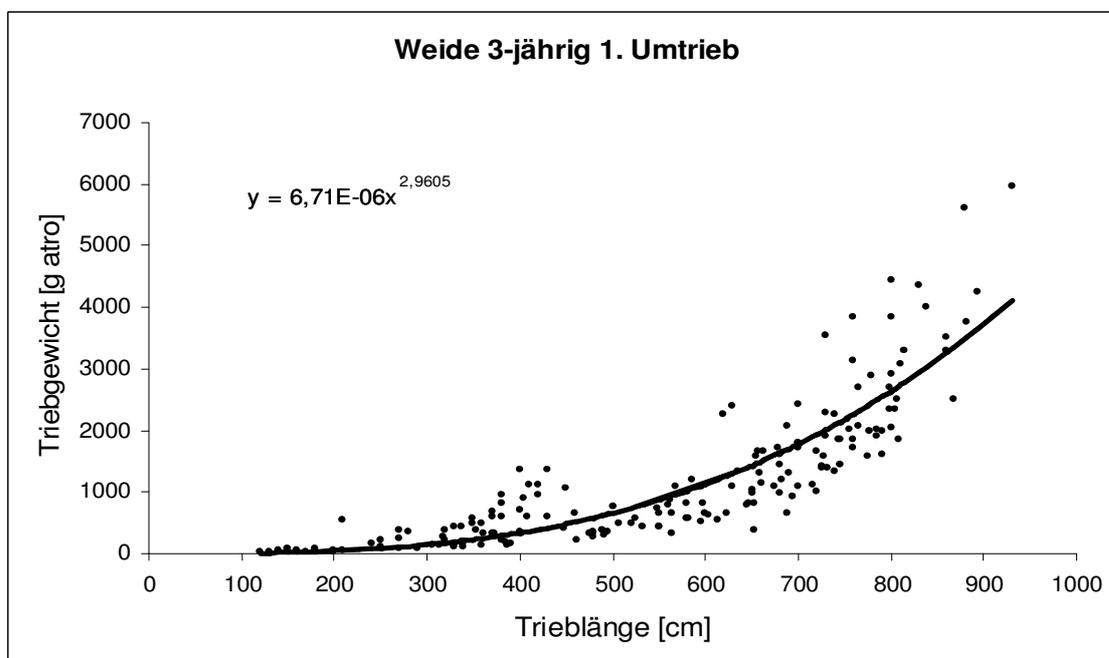


Abb. 12: Korrelation der Triebgewichte mit der Trieblänge bei der Weide

Wie in der Arbeit von RÖHLE (2009) aufgeführt wird, lässt sich anhand von allometrischen Gleichungen die Korrelation zwischen dem Triebdurchmesser und dem Triebgewicht mit hohen

Bestimmtheitsmaßen darstellen. Wie die Abbildungen 11 & 12 zeigen, eignen sich die allometrischen Gleichungen auch um die Korrelation zwischen der Trieblänge und dem Triebgewicht darzustellen (Bestimmtheitsmaß Pappel = 0,96, Weide = 0,90). Über die Koeffizienten der beiden Gleichungen lässt sich somit für jede beliebige Triebhöhe, innerhalb des Messbereichs, das zugehörige Triebgewicht bestimmen. Diese ergeben sich aus:

$$\text{Triebgewicht Pappel } (g_{\text{atro}}) = 0,00125 * \text{Triebhöhe}^{2,2473}$$

$$\text{Triebgewicht Weide } (g_{\text{atro}}) = 6,71\text{E-}06 * \text{Triebhöhe}^{2,9605}$$

Anhand einer durchschnittlichen Bestandesmittelhöhe kann folglich das atro-Gewicht des Bestandesmitteltriebs bestimmt werden. Über die Triebanzahl pro Hektar lässt sich anschließend die Gesamtbiomasse der Fläche in Tonne atro bestimmen. Da zur Erfassung der Daten vorwiegend auf Praxisflächen zurückgegriffen werden musste, war kein einheitlicher Pflanzverband gegeben. Die Pflanzdichte pro ha variiert somit von 4.000 bis 11.300 bei der Pappel und von 14.500 bis 30.000 bei der Weide. Um einen möglichen Einfluss der Pflanzdichte auf das Verhältnis von Trieblänge zu Triebgewicht auszugleichen, wurde der mittlere Pflanzverband aller Flächen ermittelt, die in die Korrelation Trieblänge-Triebgewicht (Abb. 11 & 12) eingegangen sind. Hierbei ergab sich bei den Pappeln eine durchschnittliche Triebanzahl von 7.550 Stück/ha, was etwa einem Pflanzverband von 2,5 m * 0,55 m entspricht. Bei der Weide werden deutlich höhere Pflanzdichten erreicht, durch zum einen engere Pflanzverbände aufgrund von Doppelreihen sowie mehrerer vorhandener Triebe pro Wurzelstock. Daher waren bei der Weide im Schnitt 19.560 Triebe pro ha vorhanden, was etwa einem doppelreihigen Pflanzverband von 1,7 m * 0,8 m * 0,65 m und einer durchschnittlichen Triebanzahl von ca. 1,6 Trieben pro Wurzelstock entspricht. Für diese Modellflächen mit den genannten Pflanzdichten lassen sich über folgende Gleichungen nun die durchschnittlichen Erträge in Tonne atro pro Hektar und Jahr in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit für den ersten 3-jährigen Umtrieb berechnen.

$$\text{DGZ Pappel } t_{\text{atro}}/\text{ha} * a = (a_0 * (0,806 * \text{WV} + 390)^{a_1}) * 0,0025$$

$$\text{DGZ Weide } t_{\text{atro}}/\text{ha} * a = (a_0 * (0,993 * \text{WV} + 405)^{a_1}) * 0,0065$$

$$\text{Pappel } a_0 = 0,00125 \quad a_1 = 2,2473$$

$$\text{Weide } a_0 = 6,71\text{E-}06 \quad a_1 = 2,9605$$

$$\text{WV} = \text{Wasserverfügbarkeit in mm (KWB}_{\text{relief}} + n\text{FK)}$$

In Abbildung 13 und 14 sind die Ertragskurven in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit graphisch für Pappel und Weide dargestellt.

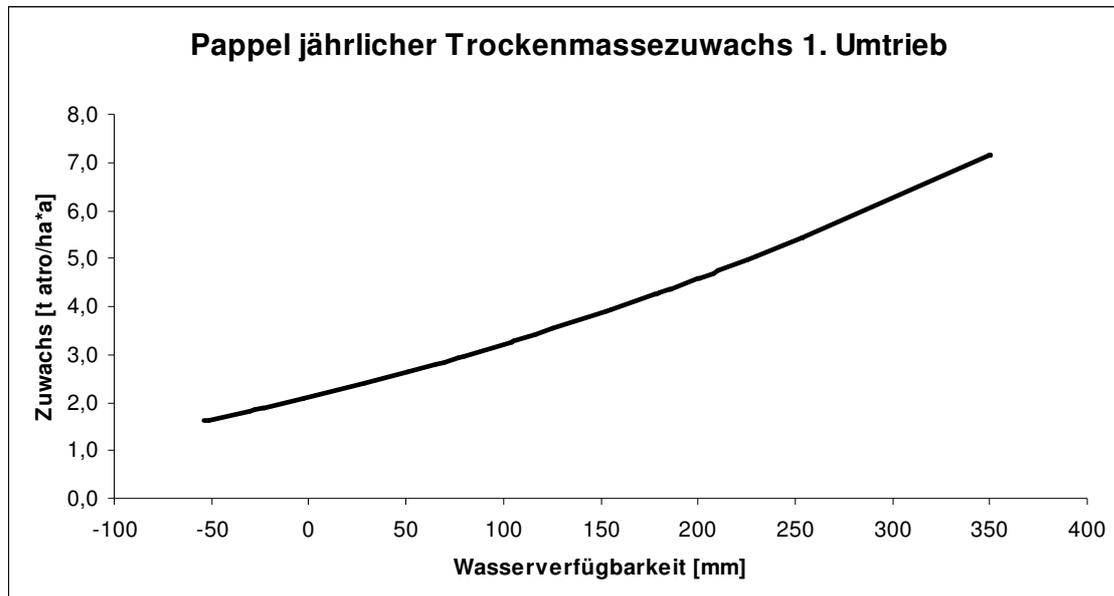


Abb. 13: Biomassezuwachs in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit bei der Pappel im ersten 3-jährigen Umtrieb und bei einer Triebdichte von 7550 Stk./ha

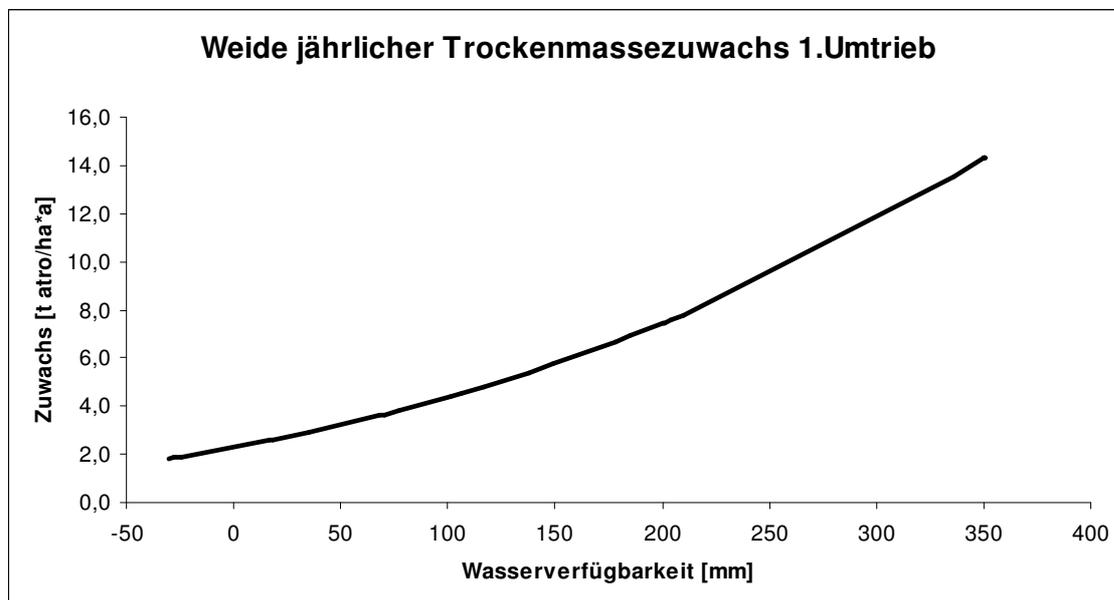


Abb. 14: Biomassezuwachs in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit bei der Weide im ersten 3-jährigen Umtrieb und bei einer Triebdichte von 19.560 Stk./ha

Die staunassen und vernässenden Standorte wurden in die Korrelation nicht miteinbezogen. Um für diese Standortstypen einen Anhaltswert zu erhalten, wie viel Biomasse erzielt werden kann,

wurde anhand der erfassten Daten das arithmetische Mittel der Bestandesmittelhöhen nach Pappel und Weide ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 ersichtlich.

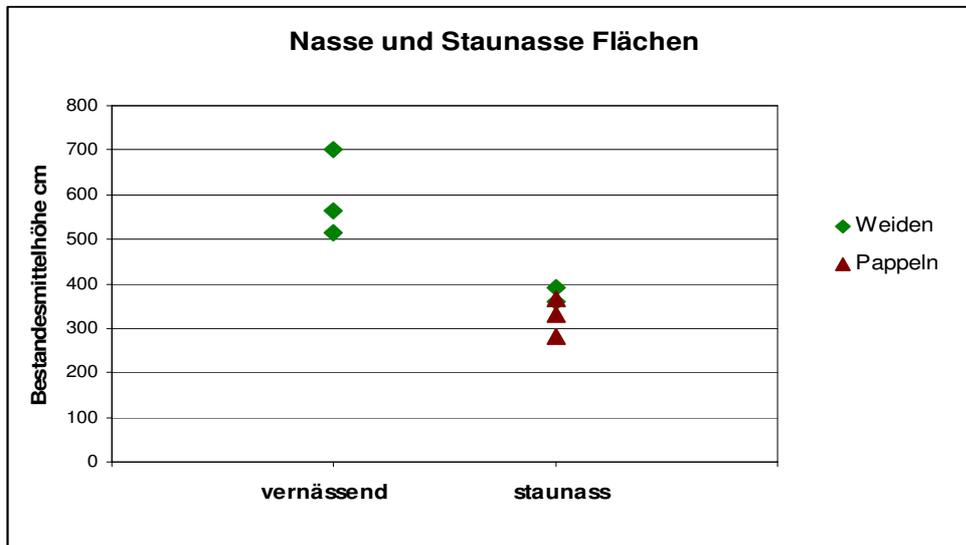


Abb. 15: Bestandesmittelhöhen der Pappel- und Weidenflächen im 3. Jahr auf nassen und staunassen Standorten

Die durchschnittliche Bestandesmittelhöhe der Weidenkurzumtriebsflächen auf den vernässenden Standorten liegt im 3. Jahr bei 593 cm und ergibt damit rechnerisch einen durchschnittlichen Zuwachs von ca. 7,1 t_{atro} pro Hektar und Jahr im ersten Umtrieb. Bei den staunassen Standorten liegt die durchschnittliche Bestandesmittelhöhe bei 375 cm (Weide) und 326 cm (Pappel) und entspricht somit einem mittleren Zuwachs von 1,8 bzw. 1,4 t_{atro} pro Hektar und Jahr im ersten Umtrieb.

3.1.3 Darstellung des Einfluss der Jahresdurchschnittstemperatur auf die Biomasseerträge

Neben der Wasserverfügbarkeit spielt die Lufttemperatur eine bedeutende Rolle beim Zuwachs der Kurzumtriebshölzer, da sie im Wesentlichen die Länge der Vegetationszeit bestimmt. Insbesondere in höheren Lagen der deutschen Mittelgebirge wie z.B. dem Schwarzwald nehmen durch niedrigere Durchschnittstemperaturen die erzielbaren Erträge der Kurzumtriebsplantagen deutlich ab. Als unterer Grenzwert wird deshalb für die Kurzumtriebsbewirtschaftung mit Pappeln und Weiden eine minimale Jahresmitteltemperatur von 6,5 - 7,0 Grad Celsius angegeben (PETZOLD et al. 2010, UNSELD et al. 2010). Hohe Biomassezuwächse können bei Jahresmitteltemperaturen über 8 Grad Celsius auf gut wasserversorgten Standorten erzielt werden. (PETZOLD et al. 2010, FRÖHLICH & GROSSCURTH 1973). Um Kurzumtrieb-

Standortsklassen anhand der Wasserversorgung und der Temperatur bilden zu können, erfolgte in Anlehnung an die zitierte Literatur die Einteilung der durchschnittlichen Jahrestemperatur in drei Stufen: $< 6,5^{\circ}\text{C}$, $6,5^{\circ} - 8^{\circ}\text{C}$ und $> 8^{\circ}\text{C}$.

3.1.4 Einteilung und Beschreibung von Kurzumtriebs-Standortsklassen in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit und der Jahresdurchschnittstemperatur

Um eine Bewertung von landwirtschaftlichen Flächen zu ihrer Eignung für den Kurzumtriebsanbau durchführen zu können, wurden nachfolgend Kurzumtriebs-Standortsklassen gebildet. Diese geben den möglichen Biomassezuwachs der Fläche pro Hektar und Jahr in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit und der Jahresdurchschnittstemperatur wieder. Dazu wurde als erstes der in Kapitel 3.1.2.4 dargestellte Zusammenhang zwischen der Wasserverfügbarkeit und des Biomassertrages in folgende fünf Wasserverfügbarkeitsstufen (WVS) eingeteilt:

Tab. 8: Einteilung der Biomasserträge in 5 KUP-Standortsklassen in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit (3-jähriger Umtrieb, Jahresmitteltemperatur über $8,0^{\circ}\text{C}$)

WVS-Stufe	Wasserverfügbarkeit in mm	Durchschnittlicher zu erwartender Biomassertrag in $t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$				KUP-Standortsklasse
		1. Umtrieb		6 Umtriebe		
		Pappel	Weide	Pappel	Weide	
1	< 0	1,6	1,5	3,2	2,0	ungeeignet
2	0 – 100	2,6	3,2	5,1	4,2	ungünstig
3	100 – 200	3,9	5,8	7,5	7,6	mittel
4	200 – 300	5,4	9,4	10,5	12,3	günstig
5	> 300	7,2	14,3	14,0	18,7	sehr günstig

Da beim Wiederaustrieb der Kurzumtriebsgehölze in den folgenden Umtrieben die Wurzel schon etabliert ist, ist in der Regel ein höherer Zuwachs als im 1. Umtrieb zu erwarten. Da keine älteren Kurzumtriebsplantagen zur Verfügung standen, anhand derer diese Zuwachssteigerung erfasst werden konnte, musste hierbei auf Literaturwerte zurückgegriffen werden. HOFMANN et al. (2011) gibt dabei für Max Klone im 3-jährigen Umtrieb eine Steigerung von 95 % vom 1. Umtrieb zu insgesamt fünf Umtrieben an. Auf etwa die gleiche Steigerung kommt GURGEL (2011) für die Max Klone 1-4 für sechs Rotationen im 3-jährigen Umtrieb auf Versuchsflächen in Gülzow. Für die Weidensorte Tora wurden keine langjährigen Daten erfasst. Nimmt man jedoch die fünf wüchsigsten Weidensorten der Versuchsflächen in Gülzow, so ergibt sich bei diesen eine

Zuwachssteigerung bei über sechs 3-jährigen Rotationen von ca. 30 % im Vergleich zum Ertrag des ersten Umtriebs (GURGEL 2011, BOELCKE 2007). Dementsprechend wird für die Pappel eine Steigerung des Zuwachs von 95 % und für die Weide von 30 % im Vergleich vom ersten Umtrieb zum langjährigen Mittel über 18 Jahre (6 Umtriebe) angenommen und für die folgenden Abschätzungen der erzielbaren Biomasseerträge je Standortsklasse genutzt.

Die staunassen und vernässenden Standorte wurden entsprechend ihres Biomasseertrages in die Wasserverfügbarkeitsstufe ungünstig (staunass) und günstig (vernässend) eingeteilt. Als Zwischenstufe wurde hier noch die Klasse der teilweise staunassen Standorte miteinbezogen.

Nur drei der erfassten 62 Kurzumtriebsflächen, die zur Ertragsmodellierung anhand der Wasserverfügbarkeit dienten, liegen unter der Jahresdurchschnittstemperatur von 8°C (siehe Anhang I). Bei allen anderen sind dementsprechend ausreichend gute Wachstumsbedingungen seitens der Wärmeversorgung gegeben. Für die Temperaturstufe über 8°C gilt somit die in Tabelle 8 vorgenommene Einteilung in die fünf KUP-Standortsklassen anhand der Wasserverfügbarkeit. Für die Temperaturstufe von 6,5 – 8,0°C lagen jedoch nicht genügend Daten vor, um eine entsprechende Korrelation darzustellen. Deshalb wurden, wie in Tabelle 9 aufgezeigt, die Kurzumtrieb-Standortsklassen im Vergleich zur Temperaturstufe über 8°C um jeweils eine Klasse verschoben um den Einfluss der geringeren Wärmeversorgung mit zu berücksichtigen. Die Standorte mit einer mittleren Jahrestemperatur von unter 6,5°C wurden entsprechend der Erläuterung im vorherigen Abschnitt als ungeeignet ausgewiesen.

Tab. 9: Einteilung der KUP-Standortsklassen anhand der Wasserverfügbarkeit und der Jahresdurchschnittstemperatur

Ø Jahres- temperatur	Wasserverfügbarkeitsstufen							
	< 0 mm	0 – 100 mm	100 – 200 mm	200 - 300 mm	> 300 mm	nass	teils staunass	staunass
<6,5°C	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet	ungeeignet
6,5 - 8,0°C	ungeeignet	ungeeignet	ungünstig	mittel	günstig	mittel	ungünstig	ungeeignet
> 8,0 °C	ungeeignet	ungünstig	mittel	günstig	sehr günstig	günstig	mittel	ungünstig

Zusammengefasst können demgemäß die fünf gebildeten Kurzumtrieb-Standortsklassen folgendermaßen beschrieben werden:

1. **Ungeeignete Standorte:** diese Flächen sind entweder zu trockene oder staunasse und/oder zu kalte Standorte und deshalb nicht für die Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignet. Der zu erwartende durchschnittliche Zuwachs liegt bei unter $3 t_{atro}$ pro Jahr und Hektar.
2. **Ungünstige Standorte:** diese Flächen sind entweder trockene, staunasse oder recht trockene und gleichzeitig kühlere Standorte und sind deshalb nur bedingt für den Kurzumtriebsanbau nutzbar. Der zu erwartende durchschnittliche Zuwachs liegt bei $3-5 t_{atro}$ pro Jahr und Hektar.
3. **Mittlere Standorte:** diese Standorte eignen sich für den Kurzumtriebsanbau, bringen jedoch nur geringe Zuwächse aufgrund mäßiger Wasserversorgung und/oder kühler Lagen. Der zu erwartende durchschnittliche Zuwachs liegt bei $5-8 t_{atro}$ pro Jahr und Hektar.
4. **Günstige Standorte:** Diese Flächen eignen sich gut für den Kurzumtriebsanbau aufgrund einer ausreichenden Wasserversorgung und einer milden bis warmen Temperatur in der Vegetationszeit. Der zu erwartende durchschnittliche Zuwachs liegt bei $8-12 t_{atro}$ pro Jahr und Hektar.
5. **Sehr günstige Standorte:** Diese Flächen bieten anhand der Parameter Wasserversorgung und Temperatur in der Vegetationszeit die idealen Standortsbedingungen für den Kurzumtriebsanbau. Der zu erwartende durchschnittliche Zuwachs liegt bei über $12 t_{atro}$ pro Jahr und Hektar.

3.1.5 Regionalisierung der KUP-Standortsklassen mittels GIS

Um abschätzen zu können, wie viel Biomasse auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg, unter Berücksichtigung der standörtlichen Gegebenheiten, produziert werden könnte, fand eine Regionalisierung der KUP-Standortsklassen mittels des Geographischen Informationssystems ArcGIS 9 von ESRI statt. Für die Potentialabschätzung auf Gemeindeebene wurden hierzu vier Gemeinden ausgewählt, die gewissermaßen die standörtlichen Gegebenheiten von vier Wuchsgebieten in Baden-Württemberg widerspiegeln (Oberrheinisches Tiefland, Schwarzwald, Schwäbische Alb und Neckarland). Weitere Voraussetzung für die Auswahl war das Vorhandensein der Bodenübersichtskarte 1:50.000, die bislang noch nicht landesweit verfügbar ist. Die Wahl fiel somit auf die Gemeinden Zaberfeld, Hügelsheim, Sankt Peter, und Bingen. Die geographische Lage der Gemeinden sowie der Wuchsgebiete sind in Abb. 16 dargestellt.

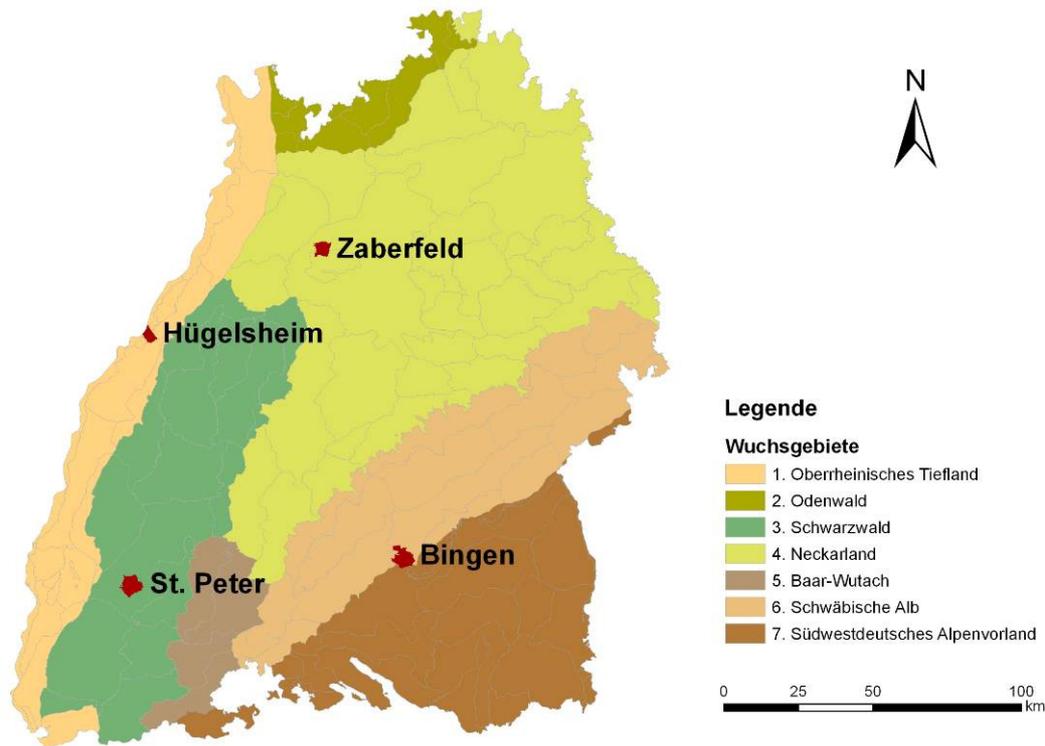


Abb. 16: Lage der ausgewählten Gemeinden zur KUP-Potentialabschätzung

Die Selektion der Acker- und Grünlandflächen war für die bundesweite Analyse dadurch gegeben, dass die genutzte Bodenübersichtskarte für Deutschland (BÜK 1000 N 2.3) nur diese beiden Landnutzungsformen erfasst. Für Baden-Württemberg sowie bei den vier Gemeinden erfolgte die Selektion der Acker- und Grünlandflächen mittels der aktuellen digitalen Landnutzungskarte „GISELa“, die alle landwirtschaftlichen Flächen auf Flurstücksbasis darstellt.

Die Klimatische Wasserbilanz wurde vom Deutschen Wetterdienst als bundesweite Rasterdatei mit einer Auflösung von 1 km² zur Verfügung gestellt. Sie ist als langjähriges Mittel von 1961-1990, für die Vegetationsperiode von Mai-Oktober, zur Berechnung der Wasserverfügbarkeit eingeflossen. Um die reliefabhängigen Zu- und Abschläge der KWB zuteilen zu können, wurden die Exposition und die Hangneigung direkt aus digitalen Höhenmodellen abgeleitet. Hierzu standen für Deutschland die frei verfügbaren Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Daten in einer Rasterauflösung von 90 m zur Verfügung. Für Baden-Württemberg und die Gemeinden konnte das aktuelle digitale Geländemodell (DGM) mit einer Rasterauflösung von 25 m (B-W) und 5 m (Gemeinden) genutzt werden. Um die Zu- und Abschläge anhand der Reliefpositionen (Kuppe, Hang, Mulde, etc.) berechnen zu können, wurde mittels der Erweiterung *Topographic Position Index* (TPI) für das Programm ESRI Arc View GIS 3.3 die Reliefpositionen konform der Tabelle 6 berechnet. Die Zu- und Abschläge wurden anschließend über mehrere

Berechnungsschritte auf Rasterbasis der klimatischen Wasserbilanz zugeteilt. Die Berechnung der reliefabhängigen Klimatischen Wasserbilanz fand dabei für Deutschland im 100 m Raster, für Baden-Württemberg im 50 m und für die Gemeinden im 5 m Raster statt. Die Abbildung 17 stellt die reliefabhängige klimatische Wasserbilanz für Deutschland und Baden-Württemberg kartographisch dar.

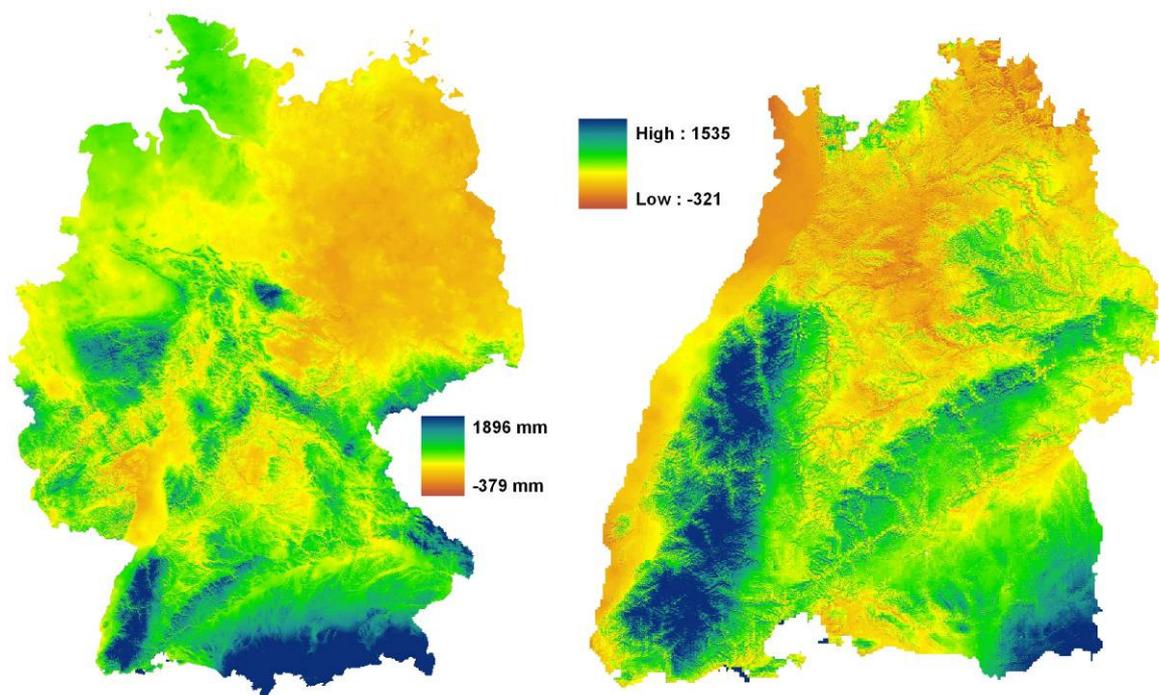


Abb. 17: Darstellung der reliefabhängigen mittleren klimatischen Wasserbilanz von Mai-Okt. für die Referenzperiode 1961-1990 in Deutschland und Baden-Württemberg (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS, LGL)

Zur Erfassung der nutzbaren Feldkapazität wurden auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene, aus unterschiedlichen Bodenkarten (BÜK 1000 N 2.3, BÜK 200 und BK 50), die nutzbaren Feldkapazitäten (nFK) der landwirtschaftlichen Böden entnommen und in Rasterdaten umgewandelt. Da für die Bodenkarten BÜK 200 und BK 50 keine Angaben zur effektiv nutzbaren Feldkapazität enthalten sind und Kurzumtriebshölzer über 3 m tief wurzeln können (HEILMANN et al. 1994, CROW & HOUSTON 2004), wurde die nFK jeweils auf 1 Meter Bodentiefe berechnet. Bei inkonstanten nutzbaren Feldkapazitäten innerhalb einer Bodengesellschaft sind in den Bodenkarten Bereichswerte (z.B. von 50-140 mm nFK) angegeben. Um nachfolgend klar abgegrenzte Standortklassen bilden zu können, wurden in diesen Fällen die gewichteten Mittelwerte der nFK pro Bodengesellschaft errechnet, um sie anschließend mit den Werten der reliefabhängigen Klimatischen Wasserbilanz addieren zu können.

Durch die unterschiedlichen Kartiereinheiten der Bodengesellschaften bei den Bodenübersichtskarten ergibt sich eine ungleich detaillierte Grundlage zur Berechnung der Wasserverfügbarkeit auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene. Dies ist beispielhaft an einem Ausschnitt der Gemeinde Zaberfeld in Abbildung 18 dargestellt.

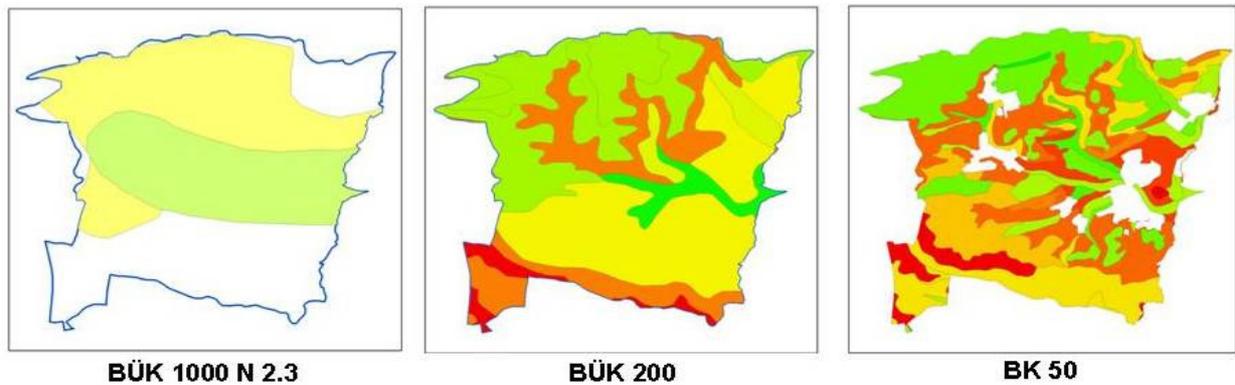


Abb. 18: Unterschied der räumlichen Auflösung der nFK bei verschiedenen Bodenkarten

Mittels einer Verschneidung der nutzbaren Feldkapazität mit der reliefabhängigen Klimatischen Wasserbilanz wurden für die nicht-hydromorphen Böden (ohne bzw. mit nur geringem Grund- oder Stauwassereinfluß) die Wasserverfügbarkeit auf Acker und Dauergrünlandflächen in mm erfasst und in fünf gleichmäßige Wasserverfügbarkeitsstufen (< 0 mm, 0 – 100 mm, 100 – 200 mm, 200 – 300 mm, > 300 mm) eingeteilt.

Da jedoch einzelne Wurzelaufläufer der Kurzumtriebshölzer hoch anstehende Grundwasser erreichen können, wurden mittels der Grundwasserflurabstandswerte in den Bodenkarten alle Flächen selektiert, die einen mittleren Grundwassertiefstand (MNGW) von maximal 20 dm haben. Diesen Flächen wurde, aufgrund der beständig guten Wasserversorgung für den Energieholzanbau, die höchste Wasserverfügbarkeitsstufe (> 300 mm) zugeordnet. Ebenfalls wurden anhand der Bodenkarten die vernässenden und staunassen Standorte selektiert und den Wasserverfügbarkeitsstufen „vernässend“ und „staunass“ zugeordnet. In der Abbildung 19 ist die Verteilung der Wasserverfügbarkeitsstufen auf den Acker- und Grünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg graphisch dargestellt. Im Anhang VIII – XI finden sich die Grafiken für die vier Gemeinden.

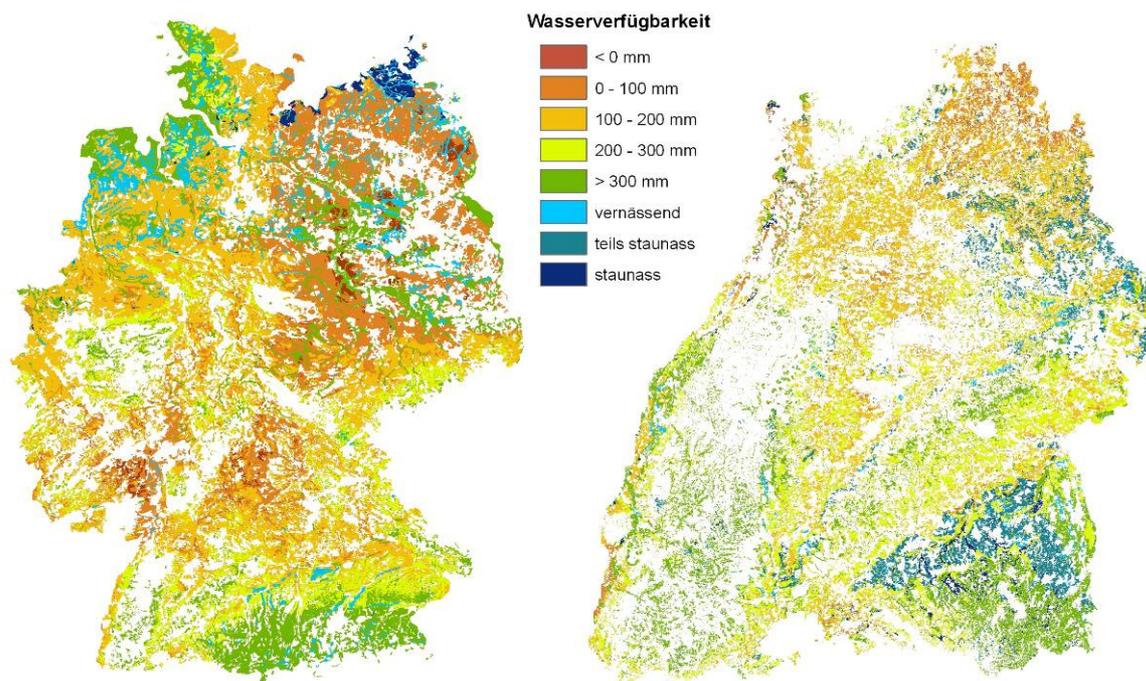


Abb. 19: Darstellung der Wasserverfügbarkeit von Mai-Okt. auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS, LGL, BGR, LGRB)

Um die KUP-Standortsklassen erstellen zu können, wurden die Rasterdaten der Wasserverfügbarkeitsstufen mit denen der Jahresdurchschnittstemperatur verschnitten. Als Datengrundlage stand hierzu die langjährige mittlere Jahreslufttemperatur, in zwei Meter über Boden für die Referenzperiode von 1961-1990, als Rasterdatei des Deutschen Wetterdienstes mit einer Auflösung von 1 km², zur Verfügung (siehe Abbildung 20).

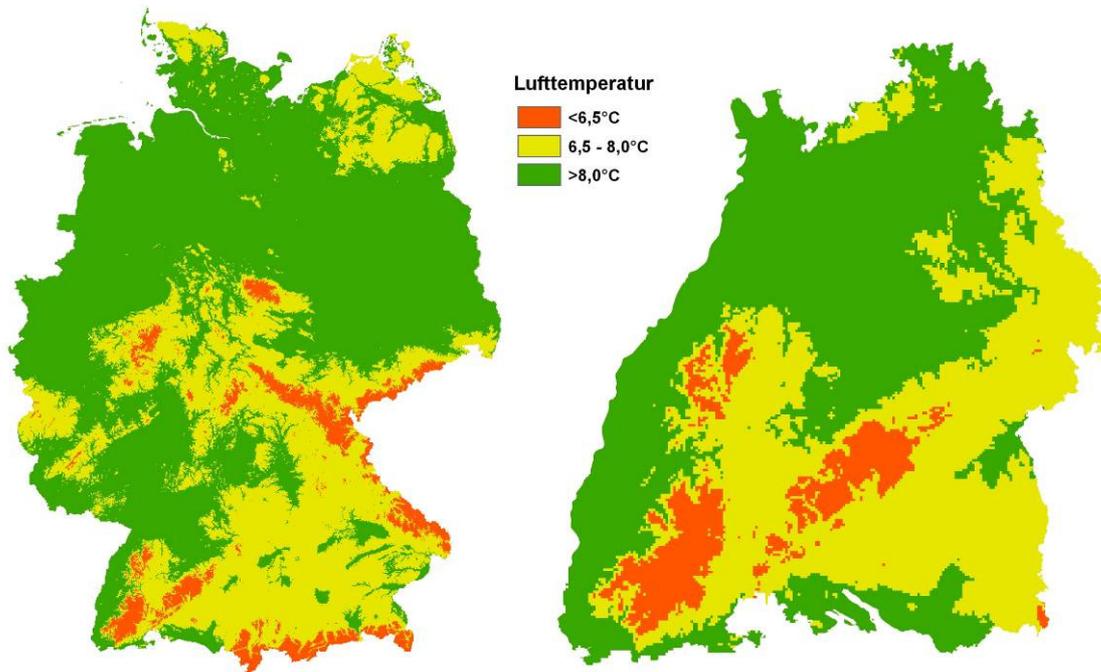


Abb. 20: Einteilung der Jahresdurchschnittstemperatur der Luft in Deutschland und Baden-Württemberg in drei Stufen (Quelle: DWD)

Die so erzeugten Rasterdaten wurden entsprechend der Tabelle 9 in die Kurzumtriebs-Standortsklassen reklassifiziert und ausgewertet. Wie vorherig erläutert, ergibt sich aufgrund der unterschiedlichen Bodenkarten eine ungleiche Detaillierung auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene. Die Darstellung der KUP-Standortsklassen erfolgt für Deutschland im 100 m Raster und für Baden-Württemberg im 50 m Raster. Für die vier Gemeinden erfolgte zuerst die Berechnung mit einer Auflösung von 5 m Rasterweite. Anschließend wurde für jedes Flurstück mit Acker- bzw. Dauergrünlandnutzung die mittlere KUP-Standortsklasse berechnet. Im folgenden Kapitel sind die Ergebnisse dargestellt.

3.2 Ergebnisse der standörtlichen Potentialabschätzung

3.2.1 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für Deutschland

In Deutschland wurden 2010 insgesamt etwa 16,72 Mio. Hektar landwirtschaftlich genutzt, wovon 98,8 % auf Acker- und Dauergrünland (11,87 Mio. ha / 4,64 Mio. ha) entfielen (STATISTISCHES BUNDESAMT 2012). Die restlichen 1,2 % wurden vorwiegend für den Anbau von Dauerkulturen wie Baum- und Beerenobst oder Weintrauben genutzt.

Für den Kurzumtrieb sehr günstig und günstig geeignet sind bei den **Ackerflächen** jedoch nur 8,8 % und 8,9 %, da vorwiegend nur auf den grundwasserbeeinflussten und niederschlagsreichen Standorten der hohe Wasserbedarf der Pappeln und Weiden ausreichend gedeckt werden kann. Die Temperatur spielt dagegen nur eine untergeordnete Rolle als Ausschlusskriterium, da über 70 % der Ackerstandorte in Deutschland eine Jahresmitteltemperatur von über 8° Grad aufweisen. Ungeeignete Standortsbedingungen aufgrund einer Temperatur von unter 6,5° Grad treffen dagegen nur bei knapp 1 % der Ackerflächen zu. Nimmt man die günstigen und sehr günstigen Ackerstandorte zusammen, so sind es etwa 2,1 Mio. Hektar Ackerland, die für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb standörtlich gut bis optimal geeignet sind. Würde man diese Fläche komplett für den Kurzumtriebsanbau nutzen, ließen sich darauf im dreijährigen Umtrieb schätzungsweise 17 Millionen Tonnen Trockenmasse pro Jahr erzeugen. Mittlere und ungünstige Standorte sind dagegen mit 36,1 % bzw. 34,9 % auf einem deutlich größeren Anteil der Ackerflächen vorzufinden. Dies sind insbesondere die gering wasserversorgten Flächen der Wasserverfügbarkeitsstufen 2 und 3 (0 – 200 mm) die mit knapp 70 % (31,2 % und 38,7 %) den Großteil der Standortsbedingungen darstellen. Standorte, die sich für den Kurzumtriebsanbau absolut nicht eignen, sind indessen auf nur etwa einem Zehntel (11,4 %) der Ackerflächen vorhanden und liegen überwiegend in den niederschlagsärmeren und kühleren Lagen der Mittelgebirge und im nordöstlichen Teil der Bundesrepublik.

Betrachtet man die Anteile der Kurzumtrieb-Standortsklassen auf den Ackerflächen für die einzelnen Bundesländer, so zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Verhältnis der Standortsklassen. So haben z.B. die Bundesländer Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg einen recht hohen Anteil an sehr günstigen Standorten mit einer guten Wasserverfügbarkeit. Bei den südlichen Bundesländern sind dagegen sehr günstige Standorte kaum vorhanden und auch günstige nur gering vertreten. Da manche Bundesländer einen sehr hohen Anteil an Ackerflächen im Vergleich zur Landesfläche haben und andere nicht, sagen die

Anteile der KUP-Standortsklassen innerhalb der Ackerfläche jedoch nur bedingt was über das KUP-Flächenpotential für das jeweilige Bundesland aus. Um einen Vergleich zu schaffen, wurden deshalb die Anteile der günstigen bis sehr günstigen Kurzumtrieb-Standortsklassen für jedes einzelne Bundesland addiert und anschließend der jeweiligen Landesfläche gegenüber gestellt. So zeigt sich, dass bei den südlichen Bundesländern der Anteil, der für den Kurzumtrieb standörtlich gut geeigneten landwirtschaftlichen Flächen, an der Landesfläche bei unter 5 % liegt, während er in Niedersachsen bei 11 % und in Brandenburg und Sachsen-Anhalt bei 16 bzw. 19 % liegt. Zusammenfassend lässt sich insofern festhalten, dass zwar einige Ackerflächen in Deutschland standörtlich gut für den Anbau von Pappeln und Weiden geeignet wären, die Verteilung dieser Flächen jedoch sehr ungleichmäßig zwischen den Bundesländern ist. Dies ist in der Abbildung 21 durch die unterschiedliche Farbhinterlegung der Länder illustriert.

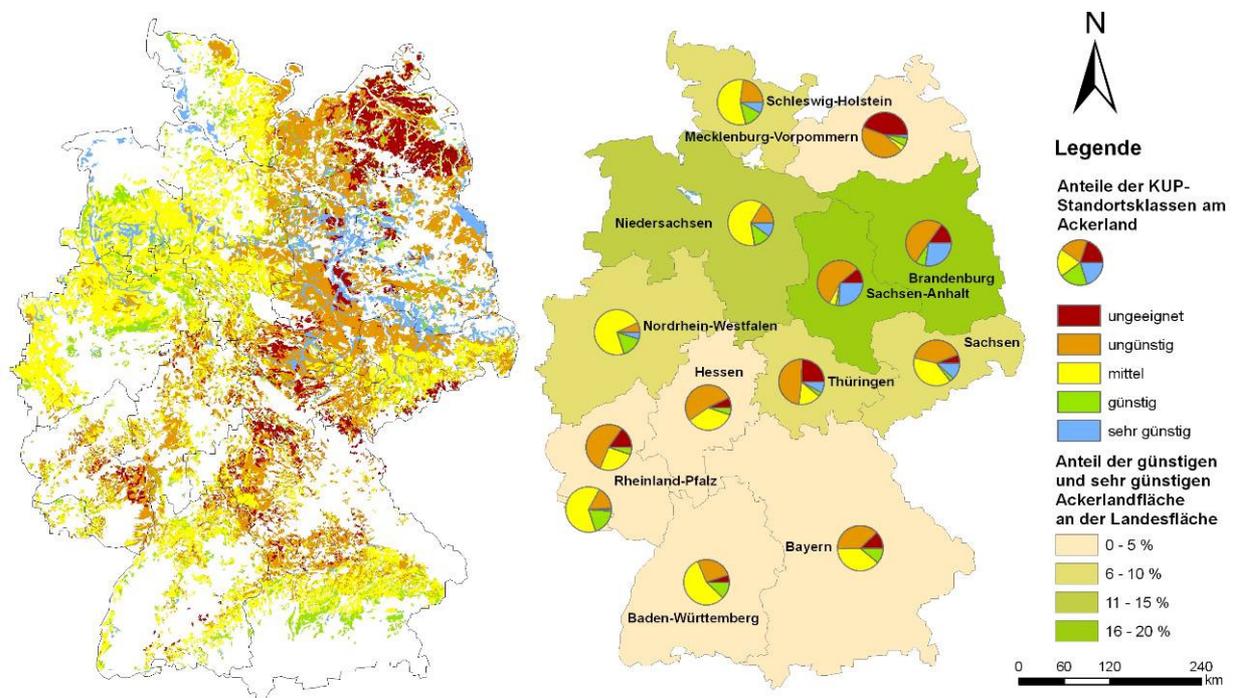


Abb. 21: Standörtliche Eignung des Ackerlands für KUP in Deutschland (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS und BGR)

Beim **Dauergrünland**, welches sich vor allem in den höheren Lagen der Mittelgebirge und im Nordwesten Deutschlands befindet, ist der Einfluss der Jahresmitteltemperatur auf die Standortklassifizierung deutlich stärker. Hier fallen 51 % in die Stufe mit einer Durchschnittstemperatur von über 8 Grad Celsius, 5 % in die Stufe unter 6,5° C und 44 % liegen dazwischen. Durch die zumeist höheren Niederschlagsmengen in den Mittelgebirgslagen verschieben sich dennoch die Flächenanteile der Kurzumtrieb-Standortsklassen mehr in Richtung der günstigen bis sehr günstigen Standorte. 18 % der Dauergrünlandflächen weisen sehr günstige

und 35,6 % günstige Wuchsbedingungen, in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit und die Temperatur, auf. Bezieht man diese Prozentwerte auf die in 2010 vorhandene Dauergrünlandfläche, wäre der Anbau von schnellwachsenden Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf etwa 2,5 Mio. Hektar Dauergrünlandflächen, rein standörtlich gesehen, gut möglich. Die mittleren und ungünstigen Standorte mit 23,8 % und 12,9 % Flächenanteil am Dauergrünland sind dagegen hauptsächlich durch die niedrigeren Temperaturen bedingt. Ungeeignete Standorte sind beim Dauergrünland, wie auch bei den Ackerflächen, auf nur knapp 1/10 der Flächen zu finden.

Betrachtet man die Anteile der für den Kurzumtrieb günstigen und sehr günstigen Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Bundeslandfläche, so zeigt sich, wie bei den Ackerflächen, ebenfalls eine sehr ungleiche Verteilung zwischen den Ländern. Die höchsten Anteile an standörtlich gut geeignetem Dauergrünland haben mit 17 % und 22 % Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Ebenfalls hohe Flächenpotentiale finden sich auch in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg mit 13 % und 12 % Anteil. In den übrigen Bundesländern ist der Flächenanteil der guten Dauergrünlandstandorte an der jeweiligen Landesfläche mit unter 10 % jedoch geringer.

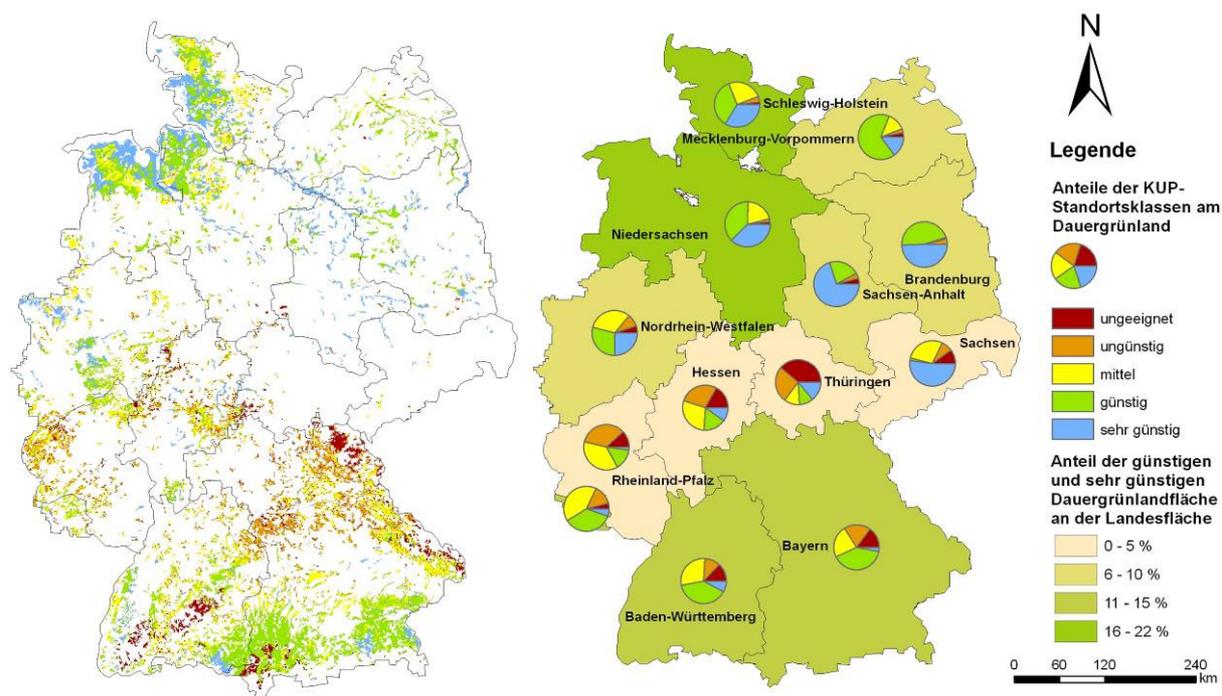


Abb. 22: Standörtliche Eignung des Dauergrünlands für KUP in Deutschland (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS und BGR)

In folgender Tabelle (Tab. 10) sind die wesentlichen Ergebnisse des standörtlichen Potentials in Prozent, Hektar und theoretisch produzierbarer Biomasse in Tonne atro aufgeführt. Nicht

berücksichtigt sind dabei jedoch Abzüge aufgrund von Abstandsregelungen zu benachbarten Flächen sowie den notwendigen Vorgewenden zur maschinellen Beerntung, welche die tatsächlich nutzbare Fläche weiter reduzieren.

Tab. 10: Flächenanteile der KUP-Standortsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland, sowie der darauf theoretisch erzielbaren Trockenbiomasse pro Jahr

KUP-Stkl.	Acker			Dauergrünland		
	Anteil in Prozent	Fläche in Mio. Hektar	Biomasse pro Jahr in Mio t_{atro}	Anteil in Prozent	Fläche in Mio. Hektar	Biomasse pro Jahr in Mio t_{atro}
ungeeignet	11,4	1,36	3,55	9,7	0,45	1,19
ungünstig	34,9	4,16	19,41	12,9	0,60	2,82
mittel	36,1	4,31	32,50	23,8	1,12	8,41
günstig	8,9	1,06	12,04	35,6	1,66	18,96
sehr günstig	8,8	1,06	17,25	18,0	0,84	13,74

3.2.2 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für Baden-Württemberg

Für Baden-Württemberg stellt sich für die Kurzumtrieb-Standortklassen auf den **Ackerflächen** ein anderes Bild wie für die deutschlandweite Abschätzung dar. Mit einem Anteil von 6,1 % weisen die sehr günstigen Standortsbedingungen zwar einen geringeren Anteil aus, dafür haben die günstigen Standorte mit 18,5 % aber einen höheren Anteil als bei der bundesweiten Verteilung. Insgesamt besitzen somit ca. 1/4 der Ackerflächen gute bis sehr gute standörtliche Bedingungen für den Anbau von Kurzumtriebshölzern. Das entspricht umgerechnet auf die Gesamtackerfläche im Jahr 2011 (831.600 ha) etwa 205.000 Hektar. Würde man diese Fläche komplett für den Kurzumtriebsanbau nutzen, ließen sich darauf ca. 2,5 Millionen Tonnen Trockenbiomasse pro Jahr im dreijährigen Umtrieb erzielen. Der Grossteil der Ackerflächen bietet jedoch nur mittlere Standorts- (43 %), bzw. ungünstige Standortsbedingungen (27 %). Dies ist zum einen durch niedrige Klimatische Wasserbilanzwerte im nördlichen Teil des Landes verursacht, sowie durch flachgründige Böden mit geringen nutzbaren Feldkapazitäten wie z.B. auf der Schwäbischen Alb. Durch den Schwarzwald und die Schwäbische Alb bedingt, liegen zudem 42 % der Ackerflächen in der Temperaturstufe zwischen 6,5 und 8,0 Grad Celsius. 2,4 % der Flächen liegen des Weiteren unter 6,5° C und sind somit als ungeeignet eingestuft. Unter Hinzufügung der staunassen und trockenen Standorte sind somit insgesamt 5 % der Ackerflächen als standörtlich nicht geeignet für den Anbau von Pappeln und Weiden anzusehen (siehe Abbildung 23).

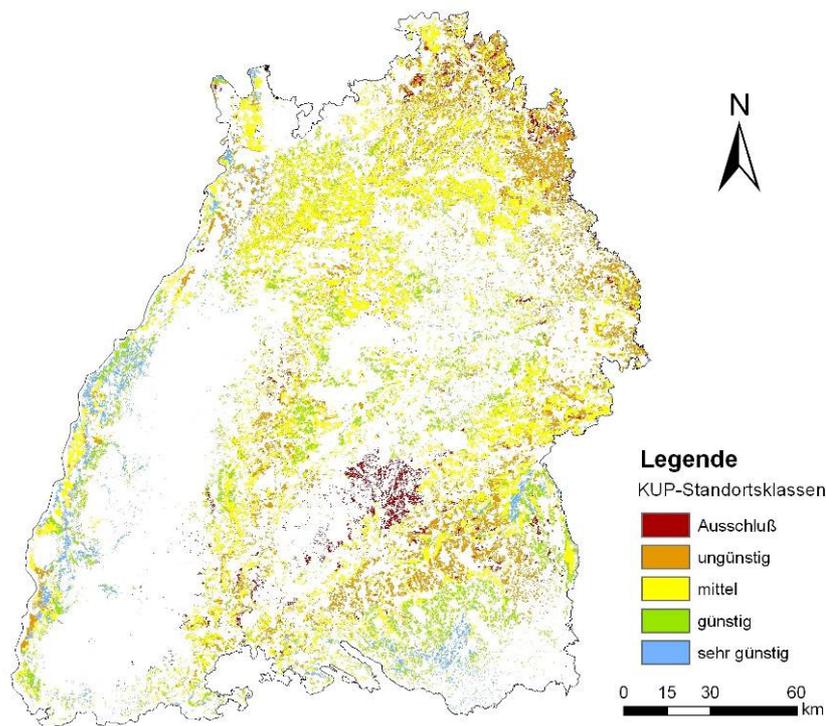


Abb. 23: Standörtliche Eignung des Ackerlands für KUP in Baden-Württemberg (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL und LGRB)

Die Verteilung der Kurzumtrieb-Standortsklassen auf den **Dauergrünlandflächen** in Baden-Württemberg verschiebt sich im Vergleich zum Ackerland mehr in Richtung der sehr günstigen und günstigen Standortbedingungen, welche mit 12 % und 30 % zusammen knapp die Hälfte ausmachen. Dies ist vor allem auf das stärkere Vorkommen des Dauergrünlands in den niederschlagsreichen Lagen des Schwarzwalds und des südwestdeutschen Alpenvorlandes zurückzuführen. Dadurch sind jedoch auch nur ca. ein Drittel der Dauergrünlandflächen in der Temperaturstufe über 8,0° C vorzufinden. Etwa 1/10 der Flächen haben dagegen eine Jahresmitteltemperatur von unter 6,5° C und etwas mehr als die Hälfte liegen in der mittleren Stufe.

Die kartographische Verteilung der standörtlichen Eignung des Dauergrünlands für den Kurzumtrieb in Baden-Württemberg ist in nachfolgender Abbildung (Abb. 24) dargestellt.

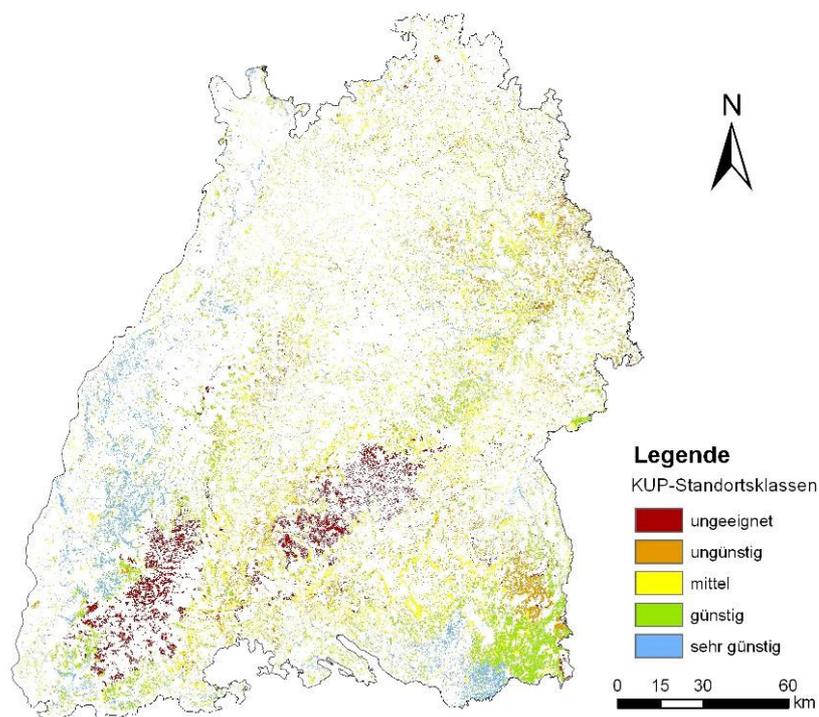


Abb. 24: Standortliche Eignung des Dauergrünlands für KUP in Baden-Württemberg (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL und LGRB)

In der Tabelle 11 sind die wesentlichen Ergebnisse des standörtlichen Potentials in Prozent, Hektar und theoretisch produzierbarer Biomasse in Tonne t_{atro} für Baden-Württemberg aufgeführt. Nicht berücksichtigt sind dabei jedoch Abzüge aufgrund von Abstandsregelungen zu benachbarten Flächen, sowie notwendigen Vorgewenden zur maschinellen Beerntung, welche die tatsächlich nutzbare Fläche weiter reduzieren würden.

Tab. 11: Verteilung der KUP-Standortsklassen auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg

KUP-Stkl.	Acker			Dauergrünland		
	Anteil in Prozent	Fläche in tausend Hektar	Biomasse pro Jahr in tausend t_{atro}	Anteil in Prozent	Fläche in tausend Hektar	Biomasse pro Jahr in tausend t_{atro}
ungeeignet	5,3	44,2	115	13,3	71,1	185
ungünstig	27,4	227,9	1.071	18,9	101,3	476
mittel	42,7	355,1	2.663	25,9	138,9	1.042
günstig	18,5	153,5	1.750	29,8	159,6	1.819
sehr günstig	6,1	50,9	830	12,1	64,8	1.056

3.2.3 Abschätzung des standörtlichen Biomassepotentials für die Gemeinden

Um die Potentiale der standörtlichen Abschätzung regional besser vergleichen zu können, ist anhand der Ergebnisse des standörtlichen Potentials in Baden-Württemberg für jede Gemeinde die prozentuale Verteilung KUP-Standortsklassen berechnet worden. In folgender Abbildung (Abb. 25) werden die Anteile der günstigen und sehr günstigen Ackerflächen an der jeweiligen Gemeindefläche dargestellt. Diese schwanken in einem großen Bereich von 0 bis 47 %. Die Gemeinden des Schwarzwald, der Schwäbischen Alb und des nördlichen Baden-Württembergs haben durch die kühleren Lagen oder einer geringen Wasserverfügbarkeit kein oder nur ein sehr geringes standörtliches Potential für den Kurzumtrieb vorzuweisen. Insbesondere bei den im Oberrheinischen Tiefland sowie im südwestdeutschen Alpenvorland liegenden Gemeinden sind jedoch durch Grundwasseranschluss oder hohe Niederschläge gute standörtliche Potentiale, in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit und die Lufttemperatur in der Vegetationszeit, gegeben.

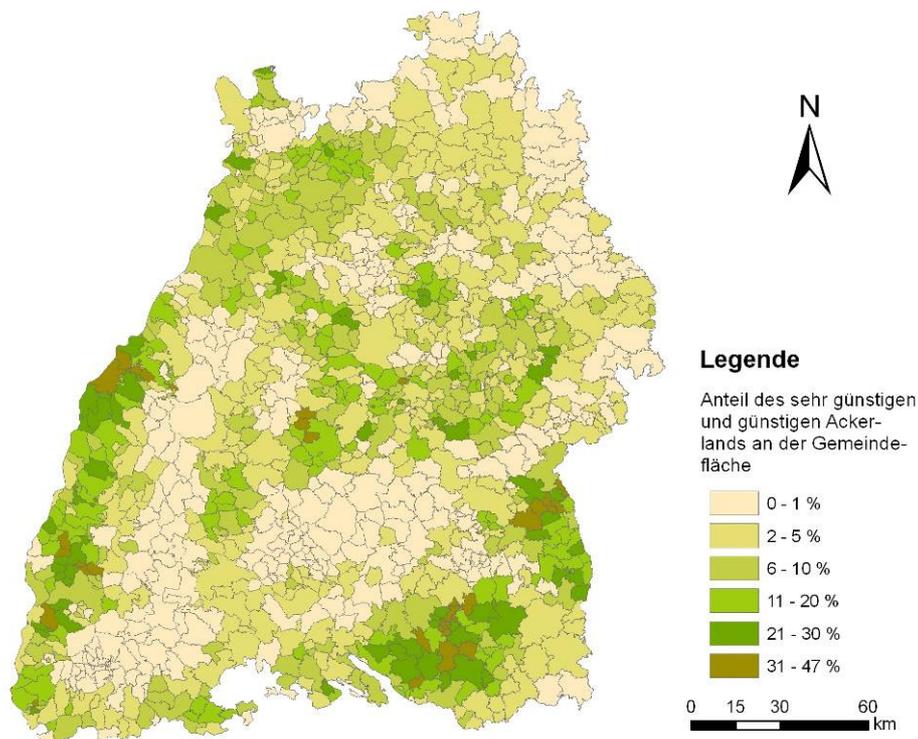


Abb. 25: Anteil der für KUP sehr günstigen und günstigen Ackerflächen an der jeweiligen Gemeindefläche (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL und LGRB)

Betrachtet man die räumliche Verteilung der Anteile der sehr günstigen und günstigen Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Gemeindefläche, so zeigt sich, dass insbesondere Gemeinden im Schwarzwald und im südwestdeutschen Alpenvorland hohe standörtliche Flächenpotentiale haben. Teilweise ist hier mehr als die Hälfte der Gemeindefläche mit Dauergrünland belegt, welches sich rein standörtlich gesehen gut für den Kurzumtrieb eignen

würde. Große Teile der Schwäbischen Alb und auch des Neckarlands besitzen jedoch nur einen geringen Anteil an für KUP sehr günstigem und günstigem Dauergrünland, von weniger als 5 % an der Gemeindefläche (siehe Abbildung 26).

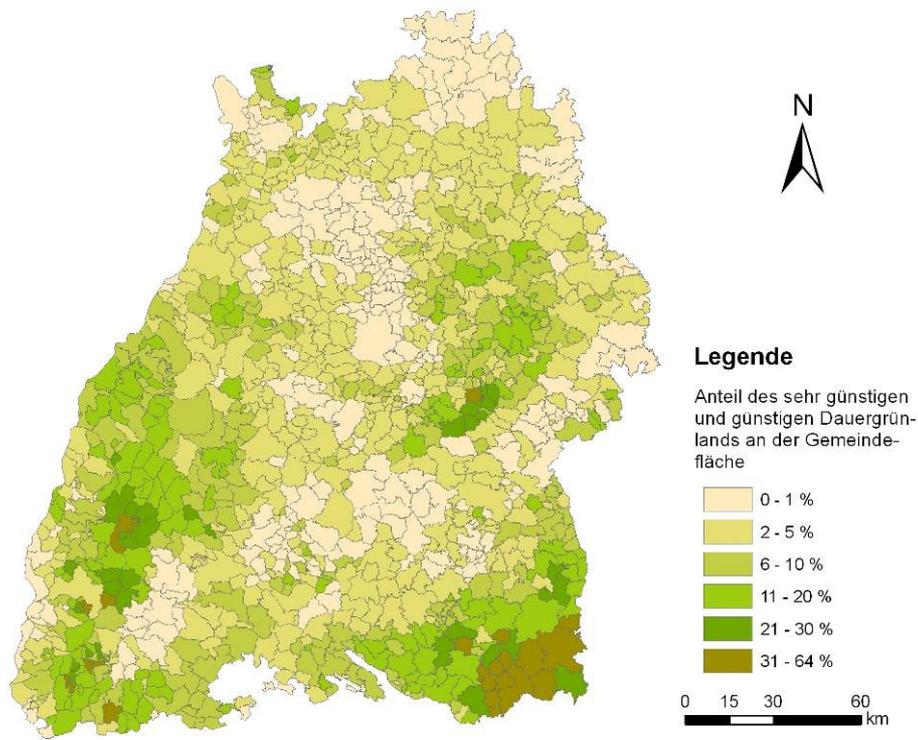


Abb. 26: Anteil der für KUP sehr günstigen und günstigen Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Gemeindefläche (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL und LGRB)

Für die vier Gemeinden Zaberfeld, Hügelsheim, St. Peter und Bingen wurden, entsprechend der beschriebenen Methode, die KUP-Standortsklassen mittels der Bodenkarte BK 50 etwas detaillierter erfasst. Anschließend wurde für jedes Acker- und Dauergrünland-Flurstück der vier Gemeinden die mittlere KUP-Standortsklasse bestimmt. Nachfolgend sind in den Tabellen 12 und 13 die prozentualen Anteile und die Flächen in ha im Vergleich dargestellt. Die wesentlichen Ergebnisse werden anschließend für jede Gemeinde erläutert. Die kartographischen Darstellungen der KUP-Standortsklassen für die Gemeinden sind in den Anhängen VIII - XI enthalten.

Tab. 12: Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Ackerflächen der vier Gemeinden

Gemeinde	Zaberfeld		Hügelsheim		St. Peter		Bingen	
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
KUP-Stkl.								
ungeeignet	0,8	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	62,0
ungünstig	25,1	191,8	8,9	20,7	0,0	0,0	27,1	219,8
mittel	68,0	519,4	42,3	98,6	0,0	0,0	63,4	513,8
günstig	6,2	47,1	5,5	12,9	100,0	13,0	1,9	15,4
sehr günstig	0,0	0,0	43,3	100,9	0,0	0,0	0,0	0,0

Insgesamt sind die Potentiale für günstige und sehr günstige Standorte, entsprechend auch der landesweiten Abschätzung, recht gering. Etwa die Hälfte der Flächen fällt dagegen in die mittlere Standortklasse. Beim Dauergrünland sind die guten Standorte etwas häufiger vertreten als beim Ackerland, was sich ebenfalls durch die meist etwas bessere Wasserverfügbarkeit aufgrund höherer Niederschläge erklärt.

Tab. 13: Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Dauergrünlandflächen der vier Gemeinden

Gemeinde	Zaberfeld		Hügelsheim		St. Peter		Bingen	
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
KUP-Stkl.								
ungeeignet	1,9	4,0	0,2	0,2	16,9	270,9	14,2	48,7
ungünstig	27,8	58,0	34,3	53,2	3,4	53,8	22,9	78,9
mittel	53,1	111,0	32,8	50,9	5,5	87,7	46,3	159,4
günstig	16,7	35,0	1,3	2,1	70,8	1133,2	16,6	57,1
sehr günstig	0,5	1,0	31,4	48,6	3,4	54,4	0,0	0,0

Zaberfeld

Die im Neckarland gelegene Gemeinde Zaberfeld hat insgesamt eine Gemeindefläche von 2220 Hektar. Davon werden etwa 764 Hektar als Ackerland und ca. 209 Hektar als Grünland bewirtschaftet. Trotz der auf den Acker- und Grünlandflächen vorherrschenden guten Braunerde-Böden mit recht hohen nutzbaren Feldkapazitäten sind, durch die vorwiegend negative Klimatische Wasserbilanz in Zaberfeld, überwiegend mittlere Standortbedingungen vorzufinden. Somit sind 519 ha Ackerland und 111 ha Dauergrünland für den Kurzumtrieb als standörtlich mittelmäßig geeignet anzusehen. Beim Ackerland sind lediglich 6 % als standörtlich günstig und keine Flächen als sehr günstig geeignet anzusehen. Beim Dauergrünland sind es etwas mehr, hier sind 17 % als günstig und 0,5 % als standörtlich sehr günstig für den Anbau von Kurzumtriebshölzern einzustufen. Würde man die günstigen und sehr günstigen Acker- und

Dauergrünlandflächen komplett für den Anbau von Pappeln und Weiden nutzen, so ließen sich darauf jährlich etwa 953 Tonnen Trockenbiomasse produzieren.

Hügelsheim

Die Gemeinde Hügelsheim liegt im Oberrheinischen Tiefland und grenzt nordwestlich direkt an den Rhein. Dadurch ergeben sich insbesondere auf den nordwestlich liegenden Acker- und Dauergrünlandflächen Grundwasserflurabstände von unter 2 m und damit eine gute Wasserverfügbarkeit für Pappeln und Weiden. Von den 233 ha Ackerland in Hügelsheim sind somit knapp die Hälfte (100 ha) standörtlich für den Kurzumtrieb sehr günstig. Auch die weiteren Flächen ohne Grundwasseranschluss sind aufgrund guter Böden zum Großteil noch mittelmäßig geeignet (42 %). Ähnlich sieht es beim Dauergrünland aus, hier ist, ebenfalls maßgeblich durch den Grundwasseranschluss beeinflusst, etwa ein Drittel der insgesamt 155 ha standörtlich sehr gut geeignet. Würde man diese sehr günstigen Acker- und Dauergrünlandstandorte komplett für den Kurzumtrieb nutzen, so ließen sich darauf rund 2607 Tonnen Trockenbiomasse pro Jahr erzielen.

Sankt Peter

Die im südwestlichen Schwarzwald gelegene Gemeinde St. Peter hat insgesamt eine Gemeindefläche von 3594 Hektar. Diese Fläche erstreckt sich über eine Höhenlage von 490 m bis 1230 m über N.N., wodurch sich deutliche Temperaturunterschiede bei den landwirtschaftlichen Flächen, je nach Lage ergeben. Diese Unterschiede spiegeln sich auch in der Zuweisung der KUP-Standortsklassen wieder, wie es in Anhang X zu sehen ist. Dabei ist die Landwirtschaft in St. Peter fast ausschließlich durch Dauergrünlandflächen geprägt. Lediglich im südlichen tiefer gelegenen Bereich gibt es ein paar wenige Äcker mit einer Gesamtfläche von 13 ha. Diese 13 ha sind standörtlich günstig für die Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignet. Beim Dauergrünland sind es von den 1608 Hektar insgesamt ca. 70 % die in die günstige Standortklasse fallen. Dies liegt vor allem an den hohen Niederschlägen die dort vorhanden sind. Nur etwa 20 % des Dauergrünlands fallen hingegen in die KUP-Standortsklassen „ungeeignet“ und „ungünstig“. Würde man die für KUP günstigen Flächen, sowie die etwa 50 Hektar mit sehr günstiger Eignung komplett für den Kurzumtriebsanbau nutzen, so ließen sich darauf ca. 14.000 Tonnen Trockenmasse pro Jahr erzielen.

Bingen

Die auf der schwäbischen Alb gelegene Gemeinde Bingen liegt im Mittel auf 670 ü. N.N. und hat eine mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 6,9° C. Dadurch bedingt fällt der Großteil der Acker- und Dauergrünlandflächen in die Temperaturstufe von 6,5-8,0° C. In Verbindung mit einer relativ niedrigen klimatischen Wasserbilanz und recht flachgründigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität erklärt sich, dass 63 % des Ackerlands und 46 % des Grünlands in die mittlere Standortklasse fallen. Für den Kurzumtrieb sehr günstige Standorte gibt es hingegen keine. Als günstig einzustufen sind, von insgesamt 811 ha Ackerland in Bingen, nur lediglich 15 ha (2 %). Beim Dauergrünland sind mit 57 ha (17 %) von insgesamt 311 ha etwas mehr Flächen als günstig einzustufen. Würde man die insgesamt 72 Hektar des sehr günstigen und günstigen Acker- und Dauergrünlands komplett für den Anbau von Pappeln und Weiden nutzen, so ließen sich darauf ca. 826 Tonnen Trockenmasse jährlich erzielen.

4 Berücksichtigung technischer, ethischer und ökologischer Restriktionen bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen

4.1 Material und Methoden

4.1.1 Erfassung der technischen Einschränkungen zur Flächennutzbarkeit

Die bisherige Abschätzung zeigt auf, welches Ertragspotential mit Kurzumtriebsplantagen auf Acker- und Dauergrünlandflächen unter Berücksichtigung der standörtlichen Gegebenheiten erzielbar wäre. Es geht jedoch nicht daraus hervor, ob der Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf diesen Flächen auch technisch realisierbar ist. Zum Beispiel kann es bei einer zu starken Hangneigung sein, dass eine mechanisierte Bewirtschaftung technisch nicht realisierbar ist, oder durch einen zu hohen Arbeitsaufwand zumindest wirtschaftlich unrentabel wird. Die Anlage einer Kurzumtriebsplantage, sowie deren Pflege und Ernte, kann dabei mittels unterschiedlicher Methoden erfolgen, von der händischen Pflanzung und der motormanuellen Ernte bis zur komplett vollmechanisierten Bewirtschaftung. Um Kurzumtriebsplantagen in größerem Maße wirtschaftlich rentabel bewirtschaften zu können ist es jedoch notwendig, den Energieholzanzbau möglichst vollmechanisiert durchzuführen. Hierzu stehen inzwischen einige auf den Kurzumtriebsanbau spezialisierte Pflanz- und Erntemaschinen zu Verfügung. Die weiteren notwendigen Arbeiten, wie Bodenvorbereitung und Unkrautbekämpfung, werden dagegen in der Regel mit gängigen landwirtschaftlichen Schleppern durchgeführt. Für einen solchen Maschineneinsatz können allerdings bereits Hangneigungen über 10 %, je nach Bodenbeschaffenheit und Witterung, eine deutliche Beeinträchtigungen bedeuten. Ab 14 % kann sie selbst bei in Richtung des Gefälles angelegten Reihen mit den gängigen selbstfahrenden Gehölz-Mähhäckslern unmöglich werden. Forstliche Erntemaschinen wie z.B. Fäller-Bündler sind, aufgrund der unbefestigten und im Winter meist feuchten Bodenverhältnissen, ebenfalls meist nur bis zu einer Steigung von 20 % einsatzfähig (TEXTOR 2003, HEINRICH 2007, BECKER und WOLF 2009). Gerade in den Mittelgebirgen sind solche steileren landwirtschaftlichen Flächen jedoch häufig.

Eine weitere technische Restriktion für die maschinelle Befahrbarkeit ist bei vernässenden Flächen durch die verminderte Bodentragfähigkeit gegeben. Insbesondere bei der Befahrung mit schweren Erntemaschinen kann es dadurch zu Behinderungen kommen. Sind die Böden im

Winter jedoch ausreichend gefroren, so lassen sich diese auch mit schweren Maschinen befahren. Somit ist bei vernässenden Flächen nur eine zeitliche Einschränkung für die Ernte gegeben. Als Ausschlusskriterium für KUP kann sie aber nicht angesehen werden. Deshalb wurde dies bei der Abschätzung des technischen Potentials nicht mit berücksichtigt. Um die Einschränkungen einer mechanisierten Bewirtschaftung durch eine zu starke Neigung zu erfassen, erfolgte eine Klassifizierung der Hangneigung in Anlehnung an die zitierten Werte der Literatur in folgende drei Klassen der Tabelle 14.

Tab. 14: Einteilung der technischen Flächeneignung für KUP

Klasse	Beschreibung	Hangneigung
1	für KUP bevorzugt	< 10 %
2	für KUP bedingt möglich	10 – 20 %
3	für KUP ausgeschlossen	> 20 %

Mittels digitaler Höhenmodelle für Baden-Württemberg (DGM 10 m) und Deutschland (SRTM 90 m) wurden für die Acker- und Dauergrünlandflächen die jeweiligen Hangneigungen im 50 und 100 Meter Raster berechnet und in die drei Klassen eingeteilt (Abb. 27). Anschließend wurden die Raster mit den Flächendaten des standörtlichen Potentials verschnitten, um die Einschränkung durch die Hangneigung einbeziehen zu können.

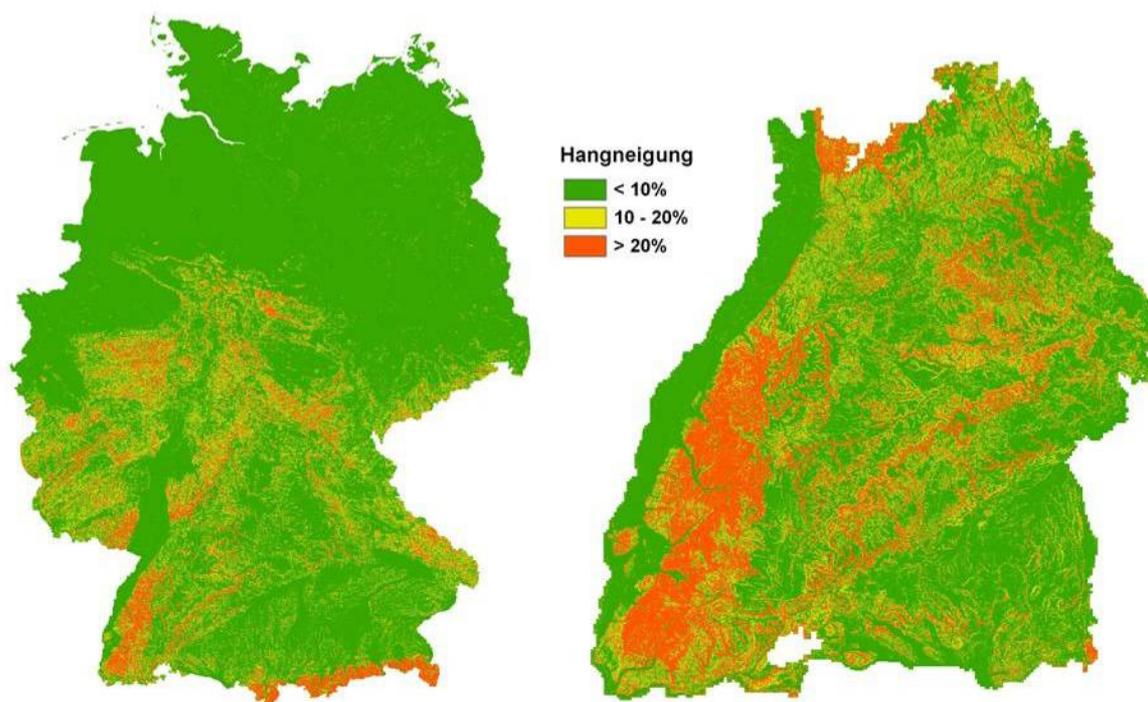


Abb. 27: Darstellung der Hangneigung in drei Klassen für Deutschland und Baden-Württemberg (eigene Darstellung auf Basis von Daten des USGS und LGL)

4.1.2 Erfassung der KUP- Flächenpotentiale auf Ackerflächen unter Berücksichtigung des Vorrangs der Nahrungs- und Futtermittelproduktion

Aufgrund der festgelegten klimapolitischen Ziele der Bundesrepublik, sowie der Länder, wird der Ausbau regenerativer Energiequellen verstärkt finanziell unterstützt. Dadurch gewinnt auch der Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen immer mehr an Bedeutung und hat sich seit 1998 mehr als vervierfacht (FNR 2011). Infolgedessen kommt es inzwischen immer mehr zu Diskussionen, ob der verstärkte Energiepflanzenanbau die Flächen für die Nahrungsmittelproduktion signifikant verknappt und so zu einer Steigerung der Nahrungsmittelpreise beiträgt. Um einen ausgewogenen Kompromiss zwischen der Sicherstellung einer ausreichenden Nahrungsmittelproduktion und einer verstärkten Bioenergieproduktion zu finden, bedarf es daher durchdachter Landnutzungskonzepte, um somit das vorhandene Flächenpotential optimal ausnutzen zu können. Deshalb wurden im Rahmen dieser Arbeit solche Ackerflächen ermittelt, die sich gut für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb eignen, jedoch nur bedingt für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion geeignet sind. Solche Grenzertragsböden sind Böden von meist geringer natürlicher Ertragskraft, auf denen durch Wirtschafterschwernisse, insbesondere durch einen hohen Arbeitsaufwand, die finanziellen Erträge der landwirtschaftlichen Produktion so niedrig sind, dass sie die Produktionskosten nicht oder nur geringfügig überschreiten (NIGGEMANN 1972). Die Nutzung solcher Grenzertragsböden kommt für den herkömmlichen Ackerbau, in Abhängigkeit von den Produktionskosten und Erzeugerpreisen, dementsprechend nur bedingt in Frage. In der landwirtschaftlichen Praxis wird die natürliche Ertragsfähigkeit von Böden häufig durch die „Ackerzahl“ ausgedrückt. Als Ackerzahl (AZ) wird dabei ein Zahlenwert bezeichnet, der die Qualität einer Ackerfläche kennzeichnet. Sie wird, ausgehend von der Bodenzahl, durch Zu- und Abschläge von zusätzlichen Faktoren wie Klima, Geländeverhältnisse, Waldschatten, Bodenverdichtung, etc. ermittelt. Die Skala möglicher Werte reicht von 7 (sehr schlecht) bis 100 (sehr gut), wobei eine Ackerzahl von 50 bedeutet, dass dieser Boden ungefähr die Hälfte des Reinertrages eines optimalen Bodens bringt (AD-HOC-AG BODEN 2005).

Kurzumtriebsfähige Baumarten wie Pappeln, Weiden oder Robinien können dagegen durch ihren geringeren Nährstoffbedarf, ihrer extensiven Bewirtschaftung und den tiefer reichenden Wurzeln jedoch auch auf Flächen mit geringer Bodengüte, aber mit einer ausreichenden Wasserversorgung, noch sehr hohe Biomassezuwächse (MURACH et al., 2009; Petzold et al., 2010) und damit positive Deckungsbeiträge bringen. So haben Untersuchungen im abgeschlossenen Projekt DENDROM gezeigt, dass selbst auf sandigen Böden mit Ackerzahlen unter 23, die aber

z.B. durch Grundwasserbeeinflussung gut wasserversorgt sind, noch Zuwächse über 10 t_{atro} pro Jahr und Hektar erreicht werden können (KNUR et al. 2008).

Um die landwirtschaftlichen Flächen selektieren zu können, die vorrangig der herkömmlichen Nutzung zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion vorbehalten bleiben sollen, wurde auf die digitale Flächenbilanz von Baden-Württemberg zurückgegriffen. Diese teilt die Ackerflächen, anhand der Ackerzahl (AZ) des Automatisierten Liegenschaftsbuch, in Vorrang- und Grenzflächen für die Landwirtschaft ein. Dabei unterscheidet sie vier Klassen: Vorrangflächen Stufe I (AZ ≥ 60), Vorrangflächen Stufe II (AZ 35-59), Grenzflächen (AZ 25-34) und Untergrenzflächen (AZ ≤ 24). Diese Auswertung beinhaltet die Abgrenzung von Vorrangfluren, die langfristig in der Landbewirtschaftung verbleiben müssen und von Grenz- und Untergrenzfluren, die als landbauproblematisch oder nicht landbauwürdig anzusehen sind (KREBS 2008).

Somit können die Grenz- oder Untergrenzflächen mit Ackerzahlen unter 34, die sich nur bedingt für die herkömmliche Landwirtschaft eignen, bevorzugte Flächen für die Kurzumtriebsbewirtschaftung darstellen, sofern sie entsprechend der vorhergegangenen standörtlichen Bewertung als geeignet eingestuft worden sind. Die guten landwirtschaftlichen Vorrangflächen mit den hohen Ackerzahlen sollten dagegen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion vorbehalten bleiben. Daher wurden für die weitere Auswertung, die Flächenbilanzkarte der Ackerflächen in folgende drei Stufen klassifiziert:

Tab. 15: Bevorzugung der Ackerflächen für KUP anhand der digitalen Flächenbilanz für Baden-Württemberg

KUP- Stufe Acker	Beschreibung	Einteilung der digitalen Flächenbilanz	Ackerzahl
1	für KUP bevorzugt	Grenz- und Untergrenzflächen	< 35
2	für KUP bedingt möglich	Vorrangflächen Stufe II	35 - 59
3	für KUP ausgeschlossen	Vorrangflächen Stufe I	> 59

Da es für Deutschland keine bundesweite digitale Flächenbilanz gibt, musste für diesen Selektionsprozess erst eine vergleichbare Datengrundlage erstellt werden. Auf digitales Kartenmaterial zur Bodengüte der einzelnen Bundesländer konnte hierbei nicht zurückgegriffen werden, da diese zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht flächendeckend für alle Bundesländer vorhanden waren. Vom Geologischen Dienst in Nordrhein-Westfalen wurden jedoch eine analoge Karte von 1958 für die BRD zur Verfügung gestellt, welche die Bodengüte

mittels der Ackerzahl auf Gemeindeebene darstellt. Diese Karte wurde eingescannt und anschließend mit der Verwaltungsgebietskarte (VG250) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie georeferenziert. So konnten alle etwa 12.000 Gemeinden der Bundesrepublik mit ihrer durchschnittlichen Ackerzahl attribuiert werden. Anschließend erfolgte ebenfalls eine Einteilung der Ackerzahl in drei Klassen. Da die analoge Karte für Deutschland jedoch eine andere Abstufung der Ackerzahl wie die digitale Flächenbilanzkarte für Baden-Württemberg vorweist, sind geringe Differenzen zwischen der Einteilung der jeweils drei Ackerzahl-Klassen für die Bundesrepublik und Baden-Württemberg gegeben. Für Deutschland ergibt sich somit eine Abstufung der Ackerzahl in <33, 33-63 und >63 und für Baden-Württemberg in <35, 35-59 und >59 (siehe Abbildung 28).

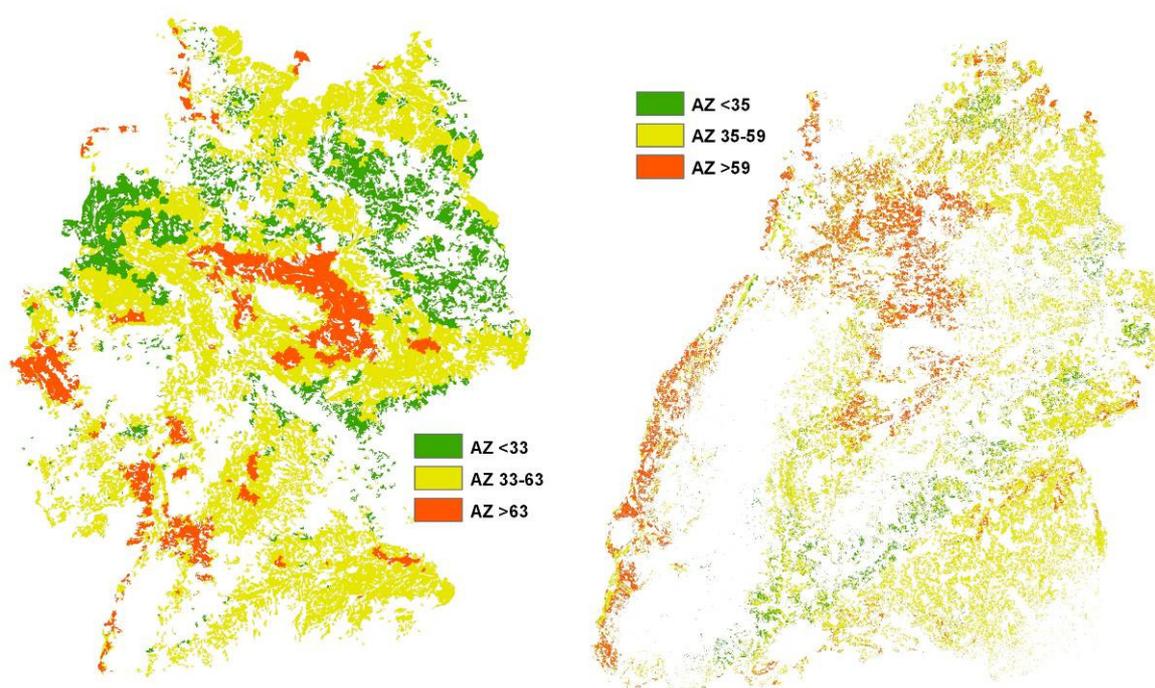


Abb. 28: Einstufung der Ackerflächen in drei Klassen nach der Ackerzahl in Deutschland und Baden-Württemberg (eigene Darstellung auf Basis von Daten des GD-NRW und des LEL)

Da diese Einteilung der landwirtschaftlichen Bodengüte jedoch nicht widerspiegelt ob die landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorte für KUP auch standörtlich gut geeignet sind, wurden die im Kapitel 3.1.5 erstellte Karte der Kurzumtrieb-Standortsklassen mit der Ackerzahlkarte verschnitten. Somit ließen sich die Flächen selektieren, die sich standörtlich für KUP gut eignen und deren Nutzung für die herkömmliche Nahrungsmittelproduktion weniger sinnvoll ist.

4.1.3 Erfassung ökologischer Restriktionen auf Dauergrünlandflächen

Beim Dauergrünland spielt die Konkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion eine untergeordnete Rolle, da der Umbruch von Dauergrünland und damit auch die Anlage von KUP ohnehin gesetzlich eingeschränkt ist. Die Möglichkeit eines Grünlandumbruches zur Kurzumtriebsbewirtschaftung ist hierbei maßgeblich vom Gebot zum Erhalt des Dauergrünlandanteils, gemäß der EG-Verordnung Nr. 1782/2003, beeinflusst. Dieses besagt, dass maximal eine Reduzierung des Dauergrünlandes um 10 % im Vergleich zum Verhältnis des Dauergrünlands zur gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche im Referenzjahr 2003 zulässig ist. Ab einer Reduzierung von 8 % besteht die Option, dass Grünlandumwandlungen nur mit der Verpflichtung zur Schaffung von Neuanlagen genehmigt werden. Bis zu einer Abnahme von 5 % gegenüber dem Referenzjahr in einem Bundesland haben die Landwirte in Deutschland jedoch keine weiteren Verpflichtungen einzuhalten. Hat sich hingegen der jeweils jahresaktuell ermittelte Dauergrünlandanteil gegenüber dem Basiswert um mehr als 5% verringert, ist das betreffende Land verpflichtet eine Verordnung zu erlassen, nach der der Umbruch von Dauergrünland einer vorherigen Genehmigung bedarf (BFN 2009). Inzwischen gibt es zudem einige landespezifische Regelungen, die den Umbruch von Dauergrünland unterschiedlich stark einschränken. So gilt in Baden-Württemberg mit der Novellierung des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes (LLG) vom 17.12.2011 rückwirkend zum 01.07.2011 ein generelles Umwandlungsverbot für Dauergrünland (LLG 2012). In anderen Bundesländern, wie zum Beispiel in Brandenburg, ist hingegen der Umbruch von Dauergrünland auf erosionsgefährdeten Hängen, Überschwemmungsgebieten, Mooren oder Flächen mit hohem Grundwasserstand unzulässig (KNUR & MURACH 2008).

Ein weiterer Punkt, weshalb Dauergrünland nur bedingt für die Kurzumtriebsbewirtschaftung genutzt werden kann, ist der vielfach hohe landschaftsökologische Wert des Grünlandes und die daher häufige Belegung von Dauergrünland mit Schutzzonen. Grünland beherbergt zum Beispiel mehr als 2000 höhere Pflanzenarten, was 52 % des Artenbestandes in Deutschland entspricht (SUKOPP 1981). Es dient weiterhin vielfach dem Trinkwasserschutz und trägt durch ein offenes Landschaftsbild zur Erholung für die Bevölkerung bei. Aus diesen Gründen haben besonders wertvolle Dauergrünlandflächen häufig einen Schutzgebietsstatus. Hierzu zählen z.B. Natura 2000, Natur-, Landschafts- und Wasserschutzgebiete. Je nach Schutzgebietscharakter ist deshalb, je nach örtlich geltender Schutzgebietsverordnung, der Umbruch von Grünland zur Etablierung von Kurzumtriebsplantagen nur eingeschränkt zulässig oder vollständig ausgeschlossen. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit geprüft, inwieweit die allgemein gültigen Regelungen für die unterschiedlichen Schutzgebietsarten den Anbau von Energieholz auf Dauergrünland

ausschließen oder unter Umständen zulassen. Demgemäß wurden in Tabelle 16 die Schutzgebietsarten in drei Klassen eingeteilt.

Tab. 16: Einteilung von KUP-Vorrangstufen für Dauergrünland anhand der Schutzgebietscharakter

Klasse	Beschreibung	Vorkommende Schutzgebiete
1	für KUP bevorzugt	Keine Belegung mit Schutzgebieten
2	für KUP bedingt möglich	Naturpark, Landschaftsschutz- und Natura 2000 (FFH & Vogelschutz) Gebiete
3	für KUP ausgeschlossen	Natur- und Wasserschutzgebiete oder gleichzeitige Belegung mit zwei oder mehreren Schutzgebieten auf derselben Fläche

Die geographische Lage der natur- und landschaftsschutzbezogenen Schutzgebiete in Deutschland liegt in digitaler Form vor und wurde vom Bundesamt für Naturschutz in Bonn für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Da es jedoch kein bundesweit einheitliches digitales Kartenmaterial für die Wasserschutzgebiete gibt, konnten Wasserschutzgebiete nur bei der Potentialabschätzung für Baden-Württemberg berücksichtigt werden. Mittels einer Verschneidung der Schutzgebietsflächen mit den KUP-Standortsklassen konnten Dauergrünlandflächen selektiert werden, die sich standörtlich und ohne Einschränkung durch Schutzgebiete für den Anbau von Energieholz eignen. Ob ein Umbruch auf diesen selektierten Dauergrünlandflächen tatsächlich realisiert werden kann, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst werden. Dies hängt von weiteren naturschutzfachlichen Beurteilungen vor Ort ab und muss jeweils im Einzelfall von den zuständigen Behörden geprüft werden. Die Ergebnisse stellen somit nur die erläuterten Einschränkungen durch Schutzgebiete für die Anlage von KUP auf Dauergrünland dar. Einschränkungen durch die Umbruchsregelung der EG-Verordnung 1782/2003 und landesspezifischer Regelungen werden dabei nicht berücksichtigt.

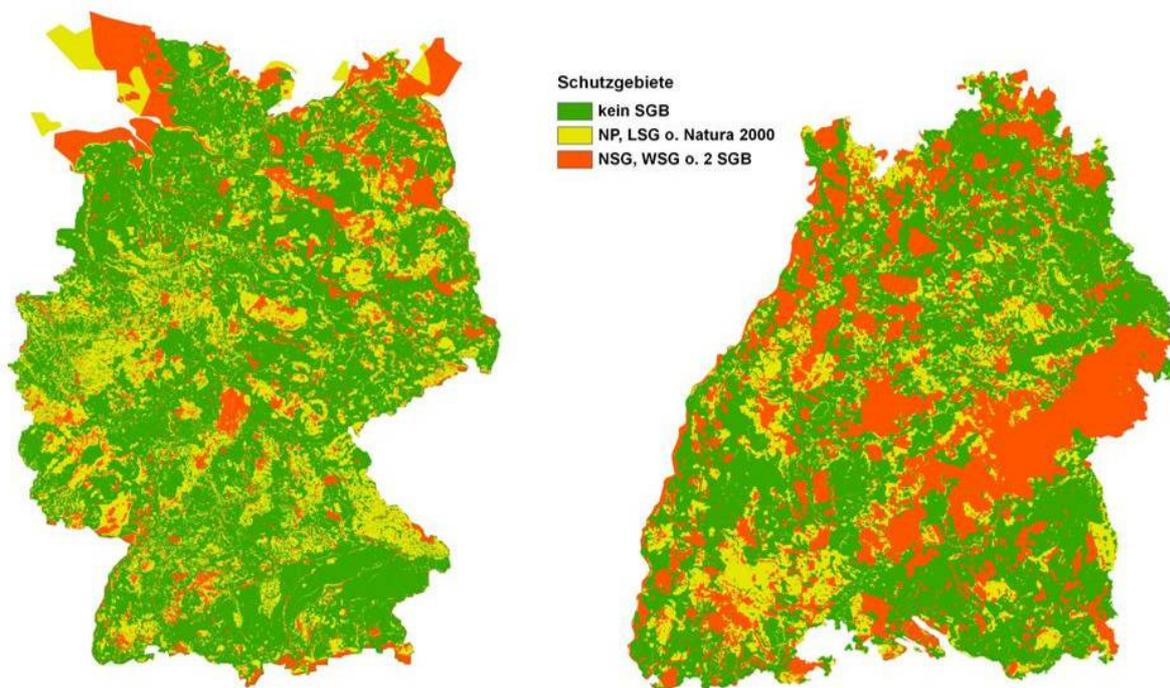


Abb. 29: Darstellung der räumlichen Verteilung von Schutzgebieten in Deutschland (ohne Wasserschutzgebiete) und in Baden-Württemberg (eigene Darstellung auf Basis von Daten des BfN und LUBW)

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für Deutschland

Mittels einer Verschneidung des standörtlichen Ertragspotentials mit den angenommenen technischen Einschränkungen durch die Hangneigung, den ökologischen Restriktionen durch Schutzgebiete auf Dauergrünland und unter der Berücksichtigung der vorrangigen Nutzung des Ackerlands für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion, lässt sich das technisch-ethisch-ökologische KUP-Potential abschätzen und darstellen. Der Einfluss dieser möglichen Einschränkungen auf das KUP-Potential auf Acker- und Dauergrünland in Deutschland werden im folgenden Abschnitt aufgeführt und in Tabelle 17 dargestellt.

So zeigt sich, dass die Hangneigung auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland nur einen geringen Einfluss auf die technische Nutzbarkeit von Kurzumtriebsplantagen hat. Lediglich knapp 7 % des Ackerlands sind stärker geneigt als 10 % und nur etwa 1 % der Flächen haben eine Neigung über 20 %. Da Grünland häufig in den Mittelgebirgslagen und an Talhängen vorzufinden ist, sind hier etwa 14 % der Flächen steiler als 10 % und 4 % der Flächen weisen eine Hangneigung über 20 % auf. Somit ließe sich ein Großteil der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland, in Bezug auf die Hangneigung gesehen, maschinell gut für den Kurzumtrieb nutzen.

Sollen indessen nur die Ackerflächen genutzt werden, die mit einer Ackerzahl von unter 35 als Grenzertragsstandort eingestuft werden können, so reduziert sich das Flächenpotential deutlich. Nur etwa 1/5 der Ackerflächen in Deutschland weisen eine geringe Bodengüte mit einer Ackerzahl unter 35 auf. Der mit 65 % größere Anteil liegt in der mittleren Klasse mit Ackerzahlen zwischen 34 und 60. Weitere 14 % sind mit einer sehr guten Ackerzahl von über 60 eingestuft und sollten deshalb ebenfalls in erster Linie der Nahrungsmittelproduktion vorbehalten sein.

Die Berücksichtigung von Schutzgebieten reduziert das Flächenpotential auf Dauergrünland deutschlandweit um etwa ein Drittel, da auf diesen Flächen die Anlage von Kurzumtriebsplantagen ausgeschlossen oder nur stark eingeschränkt möglich ist. Zwei Drittel des Dauergrünlands sind jedoch nicht mit Schutzgebieten belegt. Die Wasserschutzgebiete sind hierbei allerdings, wie erläutert, nicht enthalten. In Baden-Württemberg belegen diese etwa 1/4 der Dauergrünlandflächen. Davon ist wiederum etwas mehr als die Hälfte nicht mit anderen

Schutzgebieten ausgewiesen (ca. 15 % der Gesamt-Dauergrünlandfläche). Somit kann davon ausgegangen werden, dass weitere 10-20 % des Dauergrünlands in Deutschland ebenfalls als Ausschlußflächen für KUP, aufgrund ihrer Belegung als Wasserschutzgebiet, anzusehen sind. Ob auf dem Dauergrünland ohne Schutzgebietsstatus ein Umbruch tatsächlich möglich ist, muss im Einzelfall vor Ort geklärt werden, da neben der Umbruchsregelung nach der EG-Verordnung Nr. 1782/2003 weitere lokale naturschutzfachliche Belange und Regelungen berücksichtigt werden müssen.

Tab. 17: Technische, ethische und ökologische Restriktionen und ihre prozentualen Anteile bezüglich der Nutzbarkeit für KUP auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland

Ackerland				Dauergrünland			
Hangneigung	Anteil	Ackerzahl	Anteil	Hangneigung	Anteil	Schutzgebiete	Anteil
< 10 %	92,1 %	< 33	21,3 %	< 10 %	82,2 %	kein SGB	66,5 %
10-20 %	6,6 %	33-63	64,5 %	10-20 %	13,8 %	möglich	23,8 %
> 20 %	1,3 %	> 63	14,2 %	> 20 %	4,1 %	Ausschluss	9,6 %

Bezieht man bei den für KUP standörtlich sehr günstigen und günstigen Flächen des Kapitels 3 die aufgeführten technischen, ethischen und ökologischen Einschränkungen mit ein, so reduziert sich das Flächenpotential erheblich. So können beim Ackerland nur noch knapp 6 % als für KUP gut geeignet angesehen werden. Diese Flächen sind sowohl standörtlich gut geeignet, zählen zu den landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten mit einer Ackerzahl unter 33 und haben eine Hangneigung von unter 10 %. Das entspricht einer Fläche von knapp 700.000 ha Ackerland. Würde man diese Flächen mit Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb bestocken könnte darauf, aufgrund der guten standörtlichen Eignung, ein Zuwachs von ca. 9,6 Millionen Tonnen Trockenbiomasse pro Jahr erzielt werden. Der Grossteil des Ackerlands mit fast 70 % fällt jedoch in die KUP-Nutzungsklasse „bedingt geeignet“. Hier sind teilweise Einschränkungen durch ungünstige und mittlere Standortbedingungen gegeben. Vor allem werden diese Flächen allerdings als nur bedingt geeignet für KUP angesehen, weil sie keine landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorte sind (Ackerzahl über 33) und somit der Nahrungsmittelproduktion vorbehalten bleiben sollten. Ein Viertel der Ackerflächen in Deutschland ist hingegen nicht für die Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignet, aufgrund zu niedriger Zuwächse, zu steiler Lagen und vorwiegend dadurch, dass die Flächen eine sehr hohe Bodengüte haben und deshalb vorrangig zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden sollten. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Einflüsse der einzelnen Restriktionen auf das KUP-Flächenpotential beim Ackerland findet sich in Anhang II.

Beim Dauergrünland ist mit einem Drittel ein deutlich höherer Flächenanteil für die Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignet. Diese sind für KUP standörtlich sehr günstig und günstig, unter 10 % geneigt und haben auch keinen Schutzgebietsstatus. Theoretisch ließen sich auf diesen etwa 1,5 Millionen ha Dauergrünland jährlich ca. 19 Millionen Tonnen Trockenbiomasse produzieren (siehe Tabelle 18). Tatsächlich ist das Potential für Kurzumtriebsplantagen auf Dauergrünland aber durch die EG-Verordnung Nr. 1782/2003 stark eingeschränkt. Laut den Zahlen von 2010 sank der Dauergrünlandanteil an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland um 3,8 % gegenüber dem Referenzjahr 2003 (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2012). In einigen Bundesländern wurde die 5 % Grenze im Jahr 2008 bereits überschritten und inzwischen ist dies sicherlich bei weiteren Bundesländern der Fall. Dementsprechend ist das KUP-Potential auf Dauergrünland faktisch sehr gering, sofern keine Ausnahmeregelungen verfasst werden.

Tab. 18: Zur Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignete Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland unter Berücksichtigung der standörtlichen, technischen, ethischen und ökologischen Restriktionen

KUP-Nutzungs-kategorie	Ackerland			Dauergrünland		
	Anteil	Tausend ha	Mio. t _{atro} *	Anteil	Tausend ha	Mio. t _{atro} *
gut geeignet	5,7 %	676	9,6	33,0 %	1.534	20,0
bedingt geeignet	68,8 %	8.193	58,8	45,9 %	2.133	17,7
nicht geeignet	25,5 %	3.041	16,1	21,1 %	978	7,0

*mögliche jährlich erzielbare Trockenbiomasse ohne Berücksichtigung von maschinell und nachbarschaftsrechtlich notwendigen Randstreifen und unter Nicht-Berücksichtigung der Grünland-Umbruchsregelung

Betrachtet man die geographische Verteilung der KUP- Nutzungsklassen auf dem **Ackerland** in Deutschland (Abb. 30), so fällt auf, dass der überwiegende Teil der gut geeigneten Flächen in den Bundesländern Brandenburg und Niedersachsen liegt. Dies sind in Brandenburg insbesondere Ackerflächen mit einer geringen Bodengüte, aber mit einer Grundwassertiefe von unter zwei Metern. Dieses können herkömmliche Ackerkulturen nicht nutzen, Kurzumtriebsgehölze durch ihre tiefer reichenden Wurzeln jedoch schon. In Niedersachsen sind es häufig vernässende Standorte, die sich für die herkömmliche Landwirtschaft nur bedingt eignen, auf denen zum Beispiel mit Weiden im Kurzumtrieb jedoch noch gute Erträge erzielt werden können.

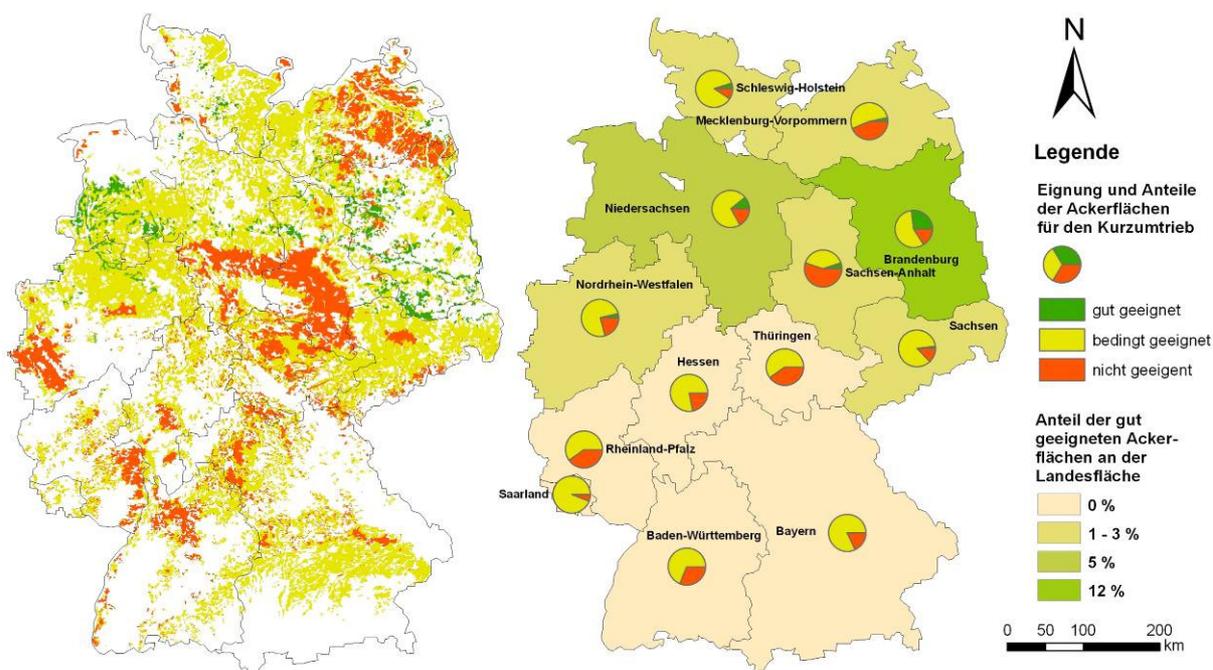


Abb. 30: Eignung der Ackerflächen in Deutschland zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ethischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS, BGR und GD-NRW)

Beim **Dauergrünland** verteilen sich die für den Kurzumtrieb gut geeigneten Flächen vor allem auf die Bundesländer Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Bayern und Baden-Württemberg. Dies ist insbesondere durch die guten standörtlichen Verhältnisse aufgrund hoher Niederschläge und Grundwasseranschluss auf diesen Flächen gegeben (siehe Kapitel 3.2.1). Etwa ein Fünftel der Dauergrünlandflächen ist für den Kurzumtrieb nicht geeignet, was sich zum größeren Teil durch die Belegung von Schutzgebieten ergibt die einen Umbruch ausschließen, gefolgt von standörtlich ungünstigen Bedingungen und zu steilen Lagen. Wie erläutert, konnten bei der bundesweiten Potentialabschätzung die Wasserschutzgebiete nicht berücksichtigt werden, weshalb dieser Anteil unterschätzt ist. Fast die Hälfte des Dauergrünlands könnte hingegen als bedingt geeignet für den Kurzumtrieb angesehen werden. Dies ist vorwiegend aufgrund ihrer mittelmäßigen bis ungünstigen standörtlichen Eignung für KUP gegeben. Zum anderen sind diese Flächen teilweise mit Schutzgebieten belegt, die den Kurzumtrieb zwar nicht ausschließen, je nach den örtlichen Gegebenheiten aber auch nur bedingt zulassen.

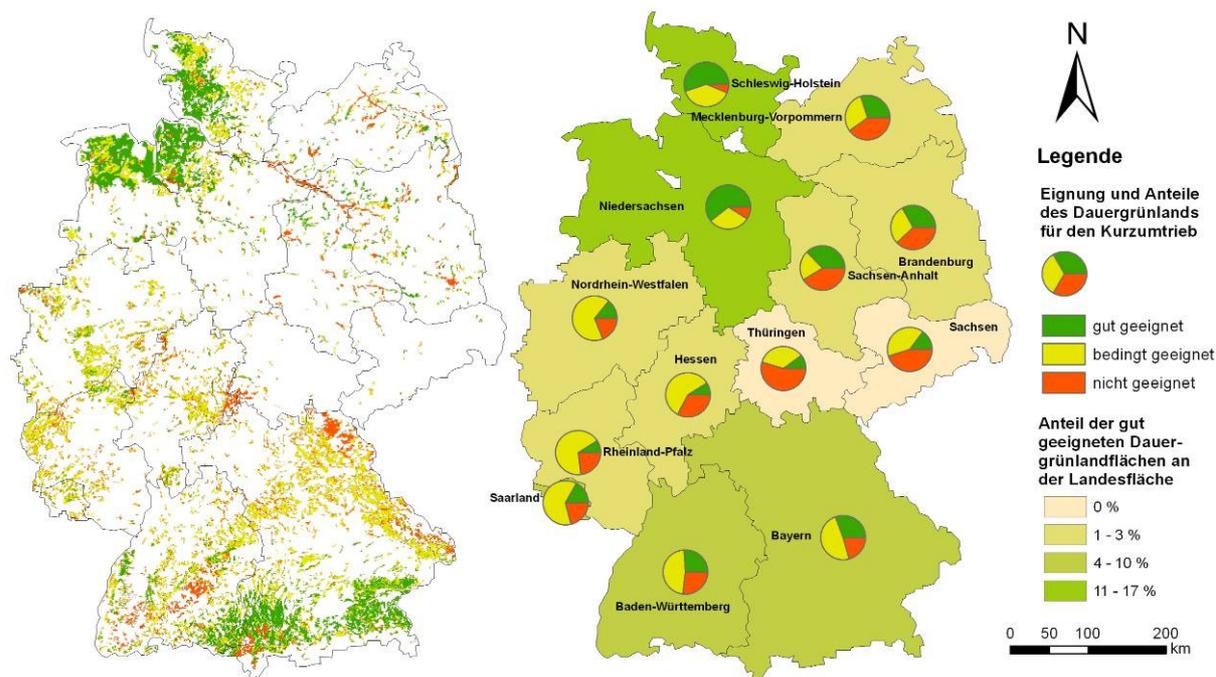


Abb. 31: Eignung der Dauergrünlandflächen in Deutschland zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, USGS, BGR und BfN)

4.2.2 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für Baden-Württemberg

Betrachtet man die technischen Begrenzungen der Kurzumtriebsbewirtschaftung aufgrund der Hangneigung, so fällt auf, dass in Baden-Württemberg durch die Mittelgebirge eine deutlich höhere Einschränkung durch die Hangneigung gegeben ist, als im Vergleich zur Bundesrepublik insgesamt. Beim Ackerland überwiegen mit 86 % zwar die nahezu ebenen Flächen eindeutig, beim Dauergrünland sind es jedoch etwa 40 % der Flächen die aufgrund einer Neigung von über 10 % nur eingeschränkt oder nicht vollmechanisiert bewirtschaftet werden können.

Möchte man sich für die Kurzumtriebsbewirtschaftung in Baden-Württemberg auf die Ackerflächen beschränken, die nur eine geringe Bodengüte vorweisen, so reduziert sich das Potential dagegen erheblich. Nur ca. 9 % des Ackerlands werden als Grenzertragsflächen eingestuft, der Rest ist mit Ackerzahlen über 34 als Vorrangflächen für die Landwirtschaft eingeordnet.

Bei der ökologischen Potentialabschätzung für das Dauergrünland kommen insbesondere die Wasserschutzgebiete zu tragen, die etwa $\frac{1}{4}$ der Dauergrünlandfläche in Baden-Württemberg belegen. Sie wurden bei der Abschätzung für Baden-Württemberg mit berücksichtigt, da auf diesen ein Grünlandumbruch in der Regel nicht gestattet ist. Unter Beachtung weiterer Schutzgebiete sind somit etwa 30 % der Dauergrünlandflächen für den Kurzumtrieb auszuschließen (siehe Tabelle 19). Knapp die Hälfte der Flächen ist hingegen nicht mit Schutzgebieten belegt und wäre Angesichts dessen zum Teil für den Kurzumtrieb geeignet. Jedoch kommt hier in Baden-Württemberg das seit 2011 geltende Grünlandumbruchsverbot zu tragen, wodurch faktisch so gut wie kein nutzbares Potential für KUP auf Dauergrünland vorhanden ist.

Tab. 19: Technische, ethische und ökologische Restriktionen und ihre prozentualen Anteile bezüglich der Nutzbarkeit für KUP auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg

Ackerland				Dauergrünland			
Hangneigung	Anteil	Ackerzahl	Anteil	Hangneigung	Anteil	Schutzgebiete	Anteil
< 10 %	86,0 %	< 35	9,4 %	< 10 %	61,8 %	kein SGB	49,6 %
10-20 %	13,0 %	35-59	65,4%	10-20 %	23,8 %	möglich	20,1 %
> 20 %	1,0 %	> 59	25,2 %	> 20 %	14,4 %	Ausschluss	30,2 %

Unter Einbezug der angegebenen Restriktionen reduziert sich das nutzbare KUP-Potential auf den Ackerflächen erheblich. Lediglich noch ca. 0,6 % der Ackerflächen in Baden-Württemberg sind als Grenzertragsstandorte eingestuft, unter 10 % geneigt und bieten günstige und sehr günstige Standortsbedingungen für den Kurzumtrieb. Das entspricht in etwa einer Fläche von 5000 Hektar. Der Grossteil des Ackerlands fällt in die KUP-Nutzungsklasse „bedingt geeignet“, da die meisten Ackerflächen in Baden-Württemberg Ackerzahlen von über 34 haben und/oder standörtlich für KUP nur mittelmäßig bis ungünstig geeignet sind. Etwa ein Drittel des Ackerlands sollte nicht für den Anbau von Pappeln oder Weiden genutzt werden, da es entweder zu steil, standörtlich für KUP nicht geeignet oder eine zu hohe Bodengüte besitzt.

Beim Dauergrünland in Baden-Württemberg sind es etwa 13 % die standörtlich gut geeignet, nicht mit Schutzgebieten belegt und nicht zu steil sind (siehe Tabelle 20). Dies entspricht in etwa einer Fläche von 70.000 ha. Der größere Anteil des Dauergrünlands mit ca. 40 % fällt jedoch in die Klasse „bedingt geeignet“, was vor allem durch die mittleren und ungünstigen Standortsverhältnisse gegeben ist, gefolgt von den zu steilen Hanglagen und den Einschränkungen durch Schutzgebiete (siehe Anhang III). Knapp die Hälfte des Dauergrünlands

ist zudem zu steil, standörtlich ungeeignet oder mit Schutzgebieten belegt und schließt deshalb eine Kurzumtriebsbewirtschaftung aus.

Tab. 20: Eignung von Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung unter Berücksichtigung der standörtlichen, technischen, ethischen und ökologischen Restriktionen

KUP- Nutzungs-kategorie	Ackerland			Dauergrünland		
	Anteil	Tausend ha	Tausend t*	Anteil	Tausend ha	Tausend t*
gut geeignet	0,6 %	5	59	12,8 %	69	878
bedingt geeignet	68,7 %	572	4373	40,2 %	215	1756
nicht geeignet	30,7 %	255	2073	47,0 %	252	1943

*mögliche jährlich erzielbare Trockenbiomasse ohne Berücksichtigung von maschinell und nachbarschaftsrechtlich notwendigen Randstreifen und unter Nicht-Berücksichtigung der Grünland-Umbruchsregelung

Betrachtet man in Abbildung 32 die geographische Verteilung der ca. 5000 ha Ackerland, die in die KUP-Nutzungs-kategorie „gut geeignet“ fallen, so finden sich davon nur im südlichen Schwarzwald und im nordöstlichen Bereich der Schwäbischen Alb gewisse sichtbare Konzentrationen. Der Grossteil der Ackerflächen, insbesondere im östlichen Teil Baden-Württembergs, ist hingegen nur bedingt für KUP geeignet. Die Ackerflächen im westlichen Teil sind, aufgrund ihrer zumeist guten Bodengüte, vorwiegend als Ausschlußflächen für KUP anzusehen. Würde man die etwa 5000 Hektar gut geeigneter Flächen für KUP nutzen, ließen sich damit ca. 59.000 Tonnen Trockenmasse jährlich erzielen. Nutzt man ebenfalls die für KUP standörtlich mittelmäßig geeigneten Flächen, auf Ackerflächen mit einer Ackerzahl unter 35, ließe sich das Potential um weitere ca. 22.500 ha erweitern. Darauf wären jährlich weitere etwa 170.000 Tonnen Trockenmasse erzielbar. Ebenfalls erhöht sich das Potential erheblich, wenn Ackerflächen mit einer Ackerzahl über 35 einbezogen werden (siehe Anhang IV).

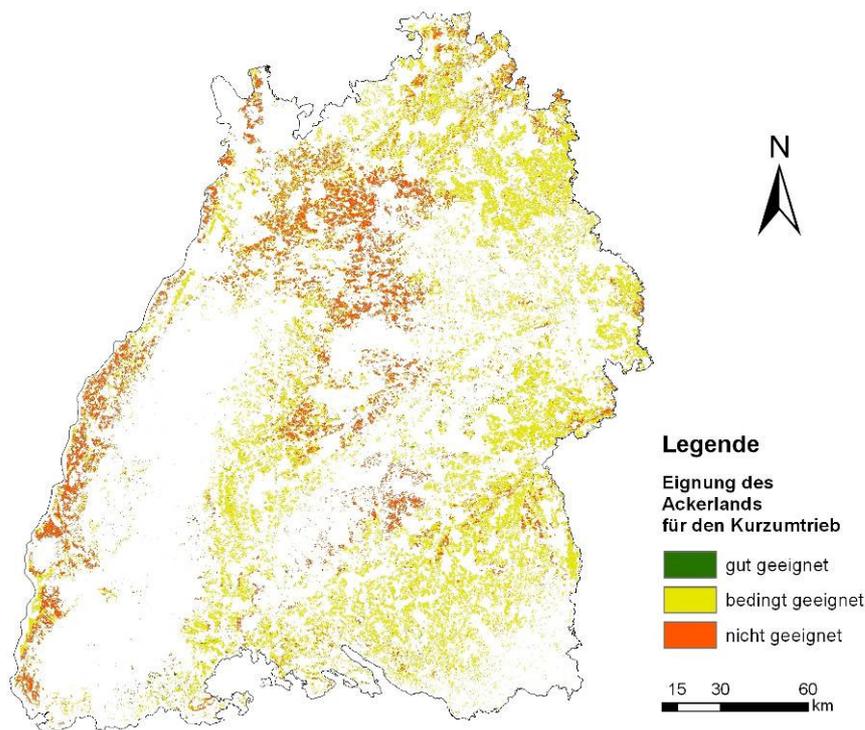


Abb. 32: Eignung der Ackerlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ethischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL, LGRB und LEL)

Der Anteil der für KUP gut geeigneten Dauergrünlandflächen ist im Vergleich zu den gut geeigneten Ackerflächen deutlich höher, wie es in Tabelle 20 ersichtlich ist. Sie verteilen sich zudem mehr in Baden-Württemberg (siehe Abbildung 33). Der Großteil des Dauergrünlands welches in die KUP-Nutzungsclassen „gut geeignet“ fällt, liegt dabei im südöstlichen Bereich des Südwestdeutschen Alpenvorlands. Dies liegt insbesondere an den günstigen standörtlichen Bedingungen, bedingt durch die hohen Niederschläge in dieser Region, wie es im Kapitel 3.2.2 Abbildung 24 dargestellt ist. Aber auch im Schwarzwald sind teils hohe KUP-Potentiale auf den Dauergrünlandflächen gegeben, unter Einbezug der erläuterten standörtlichen, technischen und ökologischen Restriktionen. Das seit 2011 in Baden-Württemberg geltende Grünlandumbruchverbot ist wie erwähnt, dabei jedoch nicht berücksichtigt. Durch diese Gesetzesänderung ist entsprechend faktisch nahezu kein nutzbares KUP-Potential auf Dauergrünland in Baden-Württemberg vorhanden.

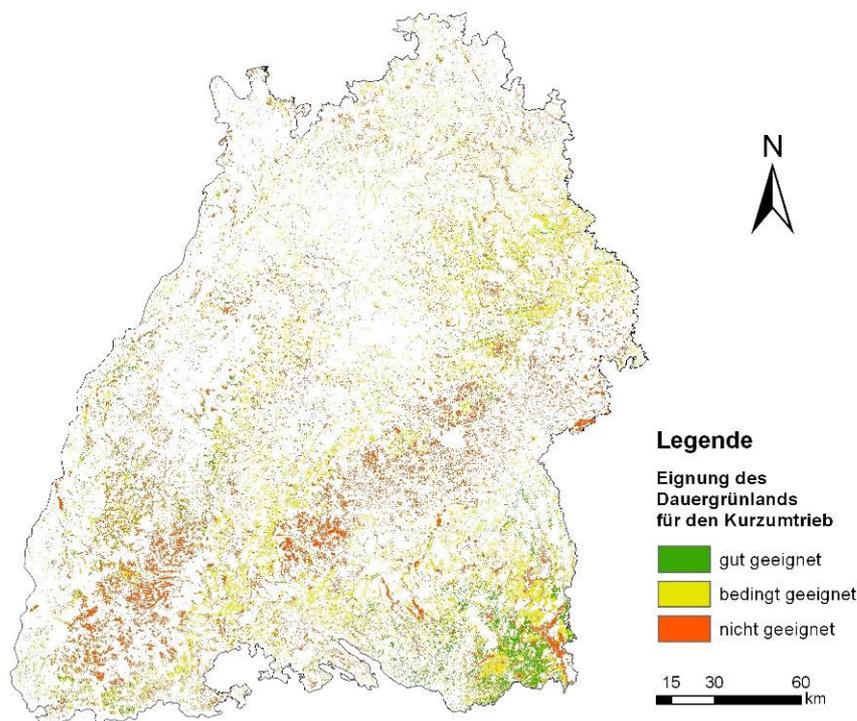


Abb. 33: Eignung der Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL, LGRB und LUBW)

4.2.2 Darstellung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für die Gemeinden

Wie beim standörtlichen Potential wurden die Ergebnisse der landesweiten Abschätzung des technisch-ethisch-ökologischen Potentials für Baden-Württemberg ebenfalls auf Gemeindeebene heruntergebrochen. Dazu wurde für jede Gemeinde der Anteil der für KUP gut geeigneten Acker- und Dauergrünlandfläche an der jeweiligen Gemeindefläche berechnet. Damit zeigt sich, welche Gemeinden, unabhängig von der Größe ihrer Gemeindefläche und unter Berücksichtigung der einbezogenen Restriktionen, prozentual ein hohes KUP-Potential haben.

Auf Ackerflächen ist für den Großteil der Gemeinden in Baden-Württemberg, bei Berücksichtigung der standörtlichen, technischen und ethischen Restriktionen, kein oder nur ein sehr geringes Flächenpotential für die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen gegeben (siehe Abb. 34). Nur bei wenigen Gemeinden im Südschwarzwald und im Norden der Schwäbischen Alb ist ein Flächenpotential von über hundert Hektar je Gemeinde vorhanden.

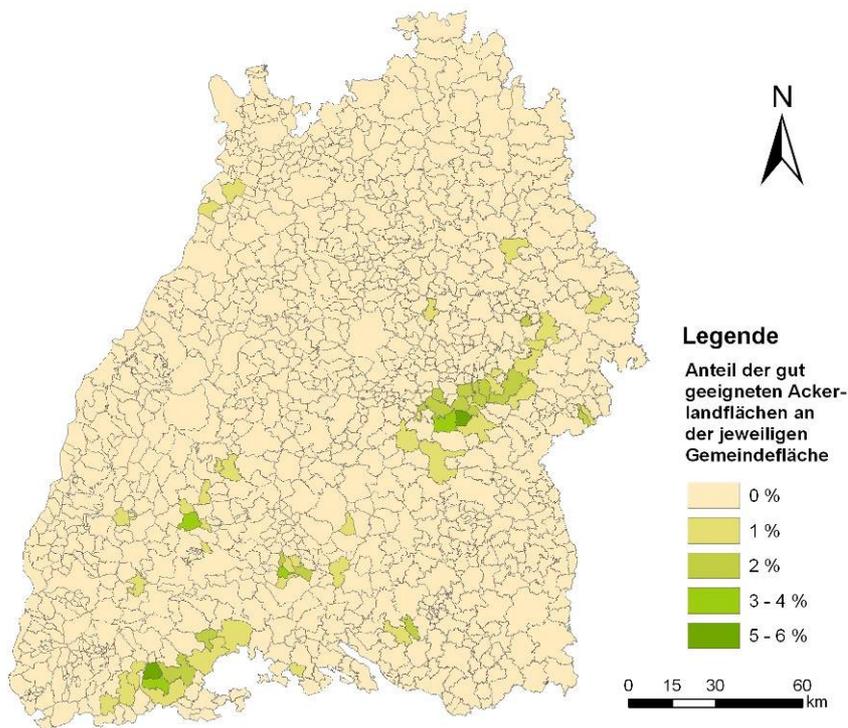


Abb. 34: Anteil der für KUP gut geeigneten Ackerflächen an der jeweiligen Gemeindefläche, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL, LGRB und LEL)

Auf Dauergrünland weisen einige Gemeinden hingegen ein Potential an für KUP gut geeigneten Flächen von bis zu 40 % der Gemeindefläche auf. Diese liegen vor allem im Südwestdeutschen Alpenvorland. Aber auch im Oberrheinischen Tiefland, im Schwarzwald und im Neckarland sind, unter Betrachtung der aufgeführten Restriktionen, teilweise hohe Potentiale für den Anbau von Kurzumtriebsplantagen vorhanden. Der Großteil der Gemeinden in Baden-Württemberg weist allerdings, wie beim Ackerland, kein oder ein nur sehr geringes Potential von unter einem Prozent der Gemeindefläche an gut geeigneten Dauergrünlandflächen für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf (siehe Abb. 35).

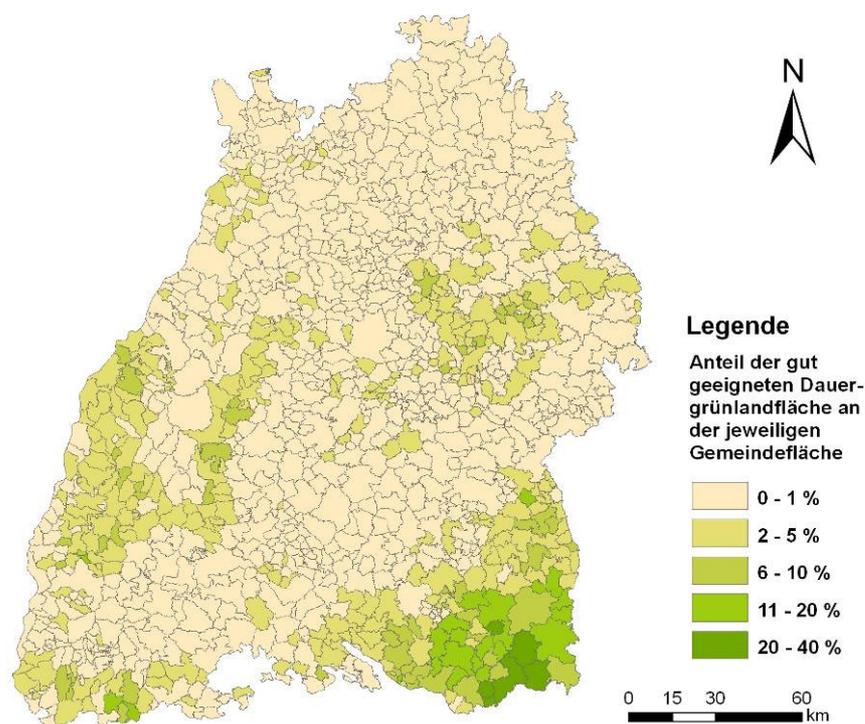


Abb. 35: Anteil der für KUP gut geeigneten Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Gemeindefläche, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, LGL, LGRB und LUBW)

Bei den vier Gemeinden Zaberfeld, Hügelsheim, St. Peter und Bingen, für die eine detailliertere Abschätzung auf Basis der BK 50 durchgeführt wurde, stellt sich ein recht unterschiedliches Bild über die KUP-Potentiale dar. So greifen die beschriebenen technischen, ökologischen und ethischen Einschränkungen dort unterschiedlich stark. So ist zum Beispiel eine Begrenzung der maschinellen Bewirtschaftung, aufgrund zu starker Hangneigung, nur in St. Peter im größeren Maße gegeben. Die Ackerflächen der anderen Gemeinden sind hingegen nahezu eben und können mit gängigen Erntemaschinen gut bewirtschaftet werden. Möchte man jedoch nur jene Ackerflächen nutzen, die mit einer Ackerzahl von unter 35 als landwirtschaftliche Grenzertragsstandorte angesehen werden können, so reduziert sich das nutzbare Potential erheblich, da solche Flächen nur in Hügelsheim und St. Peter im größeren Umfang vorhanden sind. Zum Großteil sind diese Grenzertragsflächen allerdings standörtlich nicht für den Anbau von Pappeln und Weiden geeignet, weshalb auch hier, bis auf einen geringen Anteil in Hügelsheim, keine für den Kurzumtrieb gut geeigneten Ackerflächen mehr übrig bleiben. Die jeweiligen Einschränkungen durch die Hangneigung und die Ackerzahl, sowie die Einteilung der Ackerflächen der Gemeinden in die KUP-Nutzungsklassen, ist in Tabelle 21 ersichtlich.

Tab. 21: Technische und ethische Einschränkungen auf den Ackerflächen der Gemeinden, sowie ihre Eignung für die Kurzumtriebsbewirtschaftung (mit Berücksichtigung der standörtlichen Eignung)

Gemeinde	Hangneigung			Ackerzahl			Eignung für KUP		
	< 10 %	10-20 %	> 20 %	< 35	35-59	> 59	gut	bedingt	nicht
Zaberfeld	93 %	7 %	0 %	3 %	51 %	46 %	0 %	53 %	47 %
Hügelsheim	100 %	0 %	0 %	47 %	36 %	16 %	2 %	82 %	16 %
St. Peter	39 %	31 %	30 %	100 %	0 %	0 %	38 %	32 %	30 %
Bingen	93 %	7 %	0 %	16 %	83 %	1 %	0 %	91 %	9 %

Beim Dauergrünland spielt die Hangneigung eine größere Rolle als beim Ackerland. Dass sie das Potential für Kurzumtriebsplantagen erheblich beeinflusst, ist jedoch auch nur in der Schwarzwaldgemeinde St. Peter der Fall. Deutlich mehr ins Gewicht fällt bei den Gemeinden, wie auch in der landesweiten Betrachtung, die Einschränkung durch vorhandene Schutzgebiete auf Dauergrünland. Aufgrund dessen reduziert sich der Anteil der Flächen, die in die KUP-Nutzungsgruppe „gut geeignet“ fallen, beträchtlich. Nur in Hügelsheim bleibt ein nennenswerter Anteil von 15 % an für KUP gut geeigneten Flächen übrig (siehe Tabelle 22). Die Einzelwerte der Potentialabschätzung in Hektar und Prozent unter Berücksichtigung der standörtlichen, technischen, ethischen und ökologischen Einschränkungen sind für die vier Gemeinden im Anhang VI & VII ersichtlich.

Tab. 22: Technische und ökologische Einschränkungen auf dem Dauergrünland der Gemeinden, sowie dessen Eignung für die Kurzumtriebsbewirtschaftung (mit Berücksichtigung der standörtlichen Eignung)

Gemeinde	Hangneigung			Einschränkung durch Schutzgebiete			Eignung für KUP		
	< 10 %	10-20 %	> 20 %	keine	teils	hoch	gut	bedingt	nicht
Zaberfeld	61 %	34 %	5 %	25 %	25 %	50 %	3 %	43 %	54 %
Hügelsheim	100 %	0 %	0 %	46 %	1 %	53 %	15 %	32 %	53 %
St. Peter	14 %	32 %	54 %	1 %	92 %	7 %	0 %	31 %	69 %
Bingen	82 %	16 %	1 %	37 %	13 %	50 %	1 %	35 %	64 %

Zaberfeld

Auf dem Großteil (93 %) der Ackerflächen in Zaberfeld stellt die Hangneigung keine technische Einschränkung für die Kurzumtriebsbewirtschaftung dar. Bedingt durch die vorwiegend guten Böden mit einer Ackerzahl von über 35 fällt das Ackerland in Zaberfeld allerdings zum Großteil in die Vorrangflächen I und II der digitalen Flächenbilanz von Baden-Württemberg. Somit können nur drei Prozent des Ackerlands als Grenzertragsflächen für die herkömmliche Landwirtschaft angesehen werden. Da diese jedoch von den standörtlichen Gegebenheiten her nur mittelmäßig bis ungünstig für KUP geeignet sind, bleibt kein Potential für die Kurzumtriebsbewirtschaftung auf Ackerflächen in Zaberfeld übrig. Würde man allerdings von

den Ackerflächen, die eine Ackerzahl zwischen 35 und 59 haben, die standörtlich gut geeigneten für den Kurzumtrieb nutzen, so wäre ein Potential für KUP von ca. 24 ha vorhanden. Beim Dauergrünland schränken hingegen insbesondere die Schutzgebiete das KUP-Potential ein. So haben 50 % des Dauergrünlands einen Schutzgebietsstatus, der eine Nutzung für den Kurzumtrieb ausschließt. Auf weiteren 25 % ist die Anlage von KUP nur bedingt möglich. Insgesamt sind es etwa 6 Hektar (3 %) Dauergrünland die, unter Einbezug der standörtlichen, technischen und ökologischen Restriktionen, als gut geeignet für KUP eingestuft werden können.

Hügelsheim

In Hügelsheim sind alle Acker- und Dauergrünlandflächen unter 10 Prozent geneigt, weshalb keine technischen Einschränkungen der Bewirtschaftung durch die Hangneigung gegeben sind. Zudem ist fast die Hälfte der Ackerflächen mit einer Ackerzahl von unter 35 als Grenzertragsfläche für die herkömmliche Landwirtschaft anzusehen. Allerdings ist von diesen Flächen wiederum nur ein geringer Teil standörtlich gut für den Kurzumtrieb geeignet, weshalb nur etwa zwei Prozent (4,4 ha) des Ackerlands in die KUP-Nutzungsstufe „gut geeignet“ fallen. Würde man jedoch auch die für KUP standörtlich sehr günstigen Flächen mit einer Ackerzahl zwischen 35-59 für den Kurzumtrieb nutzen, so würde das Potential um ca. 70 Hektar ansteigen, was etwa 1/3 der Ackerfläche von Hügelsheim entspricht. Beim Dauergrünland liegt knapp die Hälfte der Flächen in keinem Schutzgebiet. Somit ist in Hügelsheim, im Vergleich zu den anderen drei Gemeinden, die Einschränkung durch Schutzgebiete am geringsten. Bezieht man hier die standörtlichen Einschränkungen mit ein, so fallen ca. 23 ha (15 %) des Dauergrünlands in die KUP-Nutzungsstufe „gut geeignet“.

St. Peter

Die potentielle Nutzung der Acker- und Dauergrünlandflächen in St. Peter wird vor allem durch die Hangneigung beeinflusst. So sind beim Ackerland etwa 46 % stärker als 10 % geneigt. Dementsprechend sind auch nur 5 von 13 ha der Ackerflächen als für KUP gut geeignet einzustufen. Das Potential auf Ackerland in St. Peter ist folglich sehr gering. Beim Dauergrünland ist ebenfalls eine starke Beeinträchtigung der Kurzumtriebsbewirtschaftung durch die Hangneigung gegeben. Nur 14 Prozent der Dauergrünlandflächen sind unter 10 % geneigt. Zudem ist nur ein Prozent des Dauergrünlands nicht mit Schutzgebieten belegt, da der Grossteil von St. Peter in einem Landschaftsschutzgebiet liegt. Somit fällt keine Dauergrünlandfläche in die gut geeignete KUP-Nutzungsstufe. Auch wenn man die ebenen und standörtlich mittelmäßig geeigneten Dauergrünlandflächen ohne Schutzgebietsbelegung für den Kurzumtrieb in Betracht würde, wäre nur eine Fläche von ca. drei Hektar als Potential vorhanden.

Bingen

In Bingen haben 93 % der Ackerflächen eine Hangneigung von unter 10 %. Somit stellt die Hangneigung hier kaum eine Einschränkung für KUP dar. Allerdings weisen mit 83 % auch die meisten Ackerflächen eine Ackerzahl zwischen 35 und 59 auf und sollten deshalb vorrangig der Nahrungs- und Futtermittelproduktion vorbehalten bleiben. Insgesamt sind somit 91 % des Ackerlands nur als bedingt geeignet für KUP anzusehen. Aufgrund der vorwiegend mittleren standörtlichen Eignung der Ackerflächen können auch keine Ackerflächen mit der KUP-Nutzungsklasse „gut geeignet“ ausgewiesen werden. Nutzt man jedoch die mittelmäßigen Ackerflächen mit einer Ackerzahl unter 35 und einer Hangneigung unter 10 %, so wären etwa 35 ha Potential in Bingen vorhanden (siehe Anhang VI). Beim Dauergrünland ist das Potential ebenfalls sehr gering, da die ebenen Flächen, die nicht mit Schutzgebieten belegt sind, standörtlich nur mittelmäßig bis ungünstig für KUP geeignet sind. Deshalb fallen hier lediglich knapp 3 ha (1 %) in die KUP-Nutzungsklasse „gut geeignet“.

5 Darstellung von ökonomischen Restriktionen für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen

Die Entscheidung darüber, ob ein landwirtschaftlicher Betrieb eine Kurzumtriebsplantage anlegt, kann aus unterschiedlichen Gründen erfolgen und muss nicht immer wirtschaftlich orientiert sein. Damit Kurzumtriebsplantagen in der Zukunft jedoch einen höheren Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzung ausmachen, muss deren Bewirtschaftung in der Regel ökonomisch rentabel sein und darf kein Verlustgeschäft darstellen. Da die Bewirtschaftung einer KUP zudem nur finanziell einträglich ist, wenn sie über mehrere Jahre betrieben wird, kann nicht wie bei annuellen Kulturen relativ kurzfristig auf Marktsituationen reagiert werden. Infolgedessen werden Kurzumtriebsplantagen im größeren Stil sicherlich nur etabliert werden, sofern sie mit der Rentabilität von herkömmlichen landwirtschaftlichen Kulturen mithalten können. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel erläutert, welche Faktoren die Wirtschaftlichkeit von KUP beeinflussen und in welcher Form ein Gewinn ermittelt werden kann. Anhand von beispielhaften Kalkulationen wird dabei dargestellt, wie hoch der Biomassezuwachs unter gängigen Bewirtschaftungskosten sein muss, damit eine Kurzumtriebsplantage wirtschaftlich betrieben werden kann. Des Weiteren soll ein Vergleich zur Wirtschaftlichkeit von herkömmlichen annuellen Kulturen dargestellt und somit die Ackerflächen aufgezeigt werden, die als Vorzugsflächen für den Anbau von Pappeln und Weiden anzusehen sind. Für KUP auf Dauergrünlandflächen wird dieser Vergleich nicht durchgeführt, da die KUP-Potentiale hier stark durch Grünlandumbruchsregelungen bzw. -verbote stark eingeschränkt sind, und die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von KUP zur herkömmlichen Dauergrünlandnutzung weniger eine Rolle spielt. Die folgenden Betrachtungen zu den Kostenfaktoren, sowie den erzielbaren Annuitäten von KUP, gelten jedoch auch für Dauergrünland.

5.1 Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit einer KUP

Je nach Zielsetzung, können die Art der Anlage und der Bewirtschaftung einer Kurzumtriebsplantage stark variieren und beeinflussen damit erheblich die über den Produktionszeitraum anfallenden Kosten. So muss sich der Landwirt zum Beispiel im Voraus überlegen, ob er die anfallende Biomasse energetisch oder industriell verwerten lassen möchte. Davon abhängig sind zum einen die Wahl der Baumart, der Pflanzverband, die Umtriebszeit und somit auch die Art der Erntetechnik. Auch bei einer rein energetischen Nutzung der Biomasse,

mit Umtriebszeiten von in der Regel 3 – 5 Jahren, besteht eine breite Variation von möglichen nutzbaren Sorten, Pflanzverbänden und Ernteverfahren.

Ein wesentlicher Faktor, der die Wirtschaftlichkeit von KUP beeinflusst, ist die **Ertragsfähigkeit eines Standorts** für den Anbau von schnellwachsenden Baumarten. Je nach Wasserverfügbarkeit kann, wie in Kapitel 3 dargestellt ist, der Zuwachs von Pappeln und Weiden von unter 3 bis über 15 Tonnen Trockenmasse pro Jahr und Hektar variieren. Dementsprechend wirken sich die Wasserverfügbarkeit sowie die durchschnittliche Lufttemperatur eines Standortes deutlich auf die Rentabilität einer KUP aus. Dass die Gewinnbeiträge von KUP mit verbesserter Wasserverfügbarkeit deutlich steigen, wurde auch von GRUNDMANN & EBERTS (2008), im Rahmen des abgeschlossenen DENDROM Projektes, aufgezeigt. Diese geben ein Transpirationswasserangebot von mindestens 300 mm als eine Voraussetzung für einen hinreichend ertragsfähigen und damit wirtschaftlich erfolgreichen Anbau von Energieholz auf landwirtschaftlichen Flächen an.

Des Weiteren stellt insbesondere die periodisch stattfindende **Ernte** mit den größten Kostenfaktor für die Kurzumtriebsbewirtschaftung dar. Dies ist unter anderem auch dadurch bedingt, dass die speziellen Erntevorsätze und -maschinen in Deutschland bislang nicht flächig vorhanden sind und deshalb häufig über große Entfernungen transportiert werden müssen. Des Weiteren sind die Stundensätze dieser speziellen Erntemaschinen verhältnismäßig teuer, weshalb ein reibungsloser, gut koordinierter Ablauf der Ernte notwendig ist, um möglichst günstige Erntekosten pro Tonne Erntegut erzielen zu können. Durch ungünstige standörtliche Gegebenheiten oder Witterungsverhältnisse kann es dennoch zu Beeinträchtigungen bei der Ernte kommen, die den kalkulierten Gewinnbeitrag deutlich reduzieren können. Eine Möglichkeit die Erntekosten zu minimieren ist die Wahl von längeren Umtriebszeiten. Dadurch sind weniger Ernteeinsätze über die gesamte Nutzungsdauer notwendig. Auf wüchsigen Standorten kann jedoch bei den Bäumen recht schnell der maximal mögliche Durchmesser den eine Erntemaschine aufnehmen kann erreicht werden. Dadurch kann eine Einschränkung von längeren Umtriebszeiten gegeben sein und muss auch nach der verfügbaren Erntetechnik ausgerichtet werden.

Des Weiteren fallen beim zerkleinern des Erntegutes große Volumen von Hackschnitzeln mit einem relativ geringen Heizwert je Volumeneinheit an. Ein langer **Transport** der Hackschnitzel von der Fläche bis zur Abnahmestelle kann infolgedessen die Bewirtschaftung einer KUP schnell ökonomisch unrentabel machen. So geben SCHOLZ et al. (2008) bei einer Erhöhung der

Transportentfernung von 10 auf 20 km eine Steigerung der Transportkosten von etwa 8,- auf 11,- Euro pro t_{atro} an. KRÖBER et al. (2006) geben für die gleichen Entfernungen sogar eine Steigerung für die Transportkosten von ca. 11,- auf 20,- Euro/ t_{atro} an. Für Entfernungen über 20 km empfehlen SCHOLZ et al. (2008) deshalb einen Transport der Hackschnitzel mittels LKW-Sattelzug, wodurch der Kostenanstieg jedoch allenfalls gedämpft werden kann.

Ein Faktor, der die Wirtschaftlichkeit von KUP naturgemäß ebenfalls erheblich beeinflusst, ist der **Preis**, der für die produzierten **Holzhackschnitzel** erzielt werden kann. Diese können von Region zu Region, aber auch von Abnehmer zu Abnehmer, deutlich schwanken. In der Literatur finden sich zumeist Preisangaben zwischen 75,- und 110,- Euro pro t_{atro} (siehe Tabelle 23). Das Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.) gibt für das 3. Quartal 2011 einen Preis von 91,59 Euro für die Tonne Holzhackschnitzel bei einem Wassergehalt von 35 % an. Das entspricht einem Erlös pro MWh von 30,43 Euro, bzw. einem t_{atro} Preis von etwa 150,- Euro. Verglichen mit den Preisen, die 2003 gezahlt wurden, ergibt dies eine jährliche Preissteigerung von über 7 % über die letzten neun Jahre (siehe Abbildung 36).



Abb. 36: Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas von 2003–2011 (verändert nach C.A.R.M.E.N. 2011)

Im Normalfall wird eine KUP über einen Zeitraum von 20-30 Jahren genutzt, bevor eine Rekultivierung oder Neuanpflanzung auf der Fläche stattfindet (BOELCKE 2006, UNSELD 2010). Ein kompletter Zusammenbruch des Baumbestandes durch das Auftreten von pilzlichen Schaderregern oder Insekten, meist in Verbindung mit extremen Witterungsereignissen, ist im

ungünstigen Fall aber möglich (KRÖBER et al. 2010). Dadurch kann ein vorzeitiger Umbruch der Plantage erforderlich werden. Aufgrund der hohen Anlagekosten im ersten Jahr (siehe Tabelle 23) kann ein solches Schadereignis nach nur wenigen Umtrieben die Rentabilität einer KUP zunichte machen und somit ein Verlustgeschäft bedeuten. Dieses Risiko ist bei der Anlage einer KUP zu beachten und sollte z.B. durch den Anbau verschiedener Sorten soweit wie möglich minimiert werden.

Ein positiver Effekt auf die Wirtschaftlichkeit von KUP ließe sich dagegen mit einer staatlichen **Förderung** von zum Beispiel den Anlagekosten erzielen. Dadurch würde sich die Annuität pro Hektar und Jahr deutlich erhöhen (KRÖBER et al. 2010). Ebenso lässt sich bei der Kalkulation der Wirtschaftlichkeit durch die verwendeten **Zinssätze** einer alternativen Geldanlage die Annuität erheblich variieren. Je niedriger dieser Vergleichszins liegt, umso höher ist die kalkulierte Annuität der KUP. In der Landwirtschaft übliche Werte liegen laut KRÖBER et al. (2010) bei 5-6 Prozent.

In der folgenden Tabelle (Tab. 23) sind gängige Kosten und Erlöse einer KUP im dreijährigen Umtrieb, basierend auf der Literaturrecherche von WAGNER et al. (2009), dargestellt.

Tab. 23: Kosten und Produktpreise des Energieholzanbaus (aus WAGNER et al. 2009)

Variable	n ^{a)}	Einheit	Minimum	Maximum	Mittelwert
Unkrautbekämpfung	1	€/ha	36,00	40,00	37,60
Pflügen	1	€/ha	72,00	114,00	90,38
Sattbettbereitung	1	€/ha	20,00	59,00	37,13
Pflanzgut	1	€/ha	800,00	2700,00	1827,27
Pflanzung	1	€/ha	180,00	500,00	326,00
Pflege	1	€/ha	44,00	179,00	109,23
Ernte	7	€/t atro	10,23	17,33	13,32
Transport	7	€/t atro	10,00	15,62	12,53
Rückwandlung	1	€/ha	269,00	2550,00	1262,89
Flächenkosten	21	€/ha	175,00	180,00	178,00
Gemeinkosten	21	€/ha	133,00	179,00	155,33
Hackschnitzelpreis	1	€/t atro	75,00	110,00	93,00

a) Häufigkeit bei einer 21-jährigen Nutzungsdauer und 3-jähriger Rotation

5.2 Ökonomische Bewertung von Kurzumtriebsplantagen

5.2.1 Grundlagen und Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Will man erfassen, welchen finanziellen Ertrag man von Kurzumtriebsplantagen über die gesamte Nutzungsdauer erwarten kann und ob sich die relativ hohe Anfangsinvestition lohnt, ist die Kalkulation von Deckungsbeiträgen kein geeignetes Mittel. Hiermit lässt sich zwar feststellen, welchen Beitrag ein Produkt zur Deckung der Produktionskosten leisten kann, die Rentabilität der Investition, die bei einer KUP für einen relativ langen Zeitraum von 20 Jahren und mehr getätigt werden muss, lässt sich damit allerdings nicht beschreiben (WAGNER et al. 2009). Diese kann mittels der Annuitätenmethode erfasst werden. Dabei wird der kalkulierte Kapitalwert einer Investition unter Verrechnung von Zinsen und Zinseszinsen gleichmäßig auf die gesamte Nutzungsdauer der Investition verteilt. Man erhält einen durchschnittlichen jährlichen Unternehmervergewinn, der mit dem einer annuellen Nutzung verglichen werden kann. Eine Möglichkeit, die Annuität einer Kurzumtriebsanlage zu berechnen, stellt der KUP-Rechner der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und ländliche Räume (LEL 2011a) dar. Dieser wurde nachfolgend zur Berechnung der Gewinnbeiträge einer modellhaften Kurzumtriebsanlage genutzt.

Um eine möglichst pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit von KUP in Abhängigkeit vom Zuwachs treffen zu können, wurden die durchschnittlichen Bewirtschaftungskosten der Tabelle 23 für die Kalkulation genutzt. Diese entsprechen gängigen Kosten in der Praxis. Da sich die Bewirtschaftungs- als auch die Erntekosten zwischen Pappel- und Weidenkurzumtriebsplantagen bei gleicher Umtriebszeit nicht wesentlich unterscheiden, wurden die Baumarten nicht getrennt betrachtet.

Zur Kalkulation der Erntekosten wurde das in der Praxis übliche und am meisten verbreitete System der Gehölmähhäcksler, mit direkter Hackung und parallel fahrenden Transportwagen, verwendet. Die Erntegeschwindigkeit ist dabei, bis zu systemabhängigen Obergrenzen, relativ unabhängig von der aufstockenden Biomasse auf der zu beerntenden Fläche. Als Kosten wurden in Anlehnung an die Erhebungen von NAHM (2011) 395,- Euro pro Hektar angenommen. Je nachdem, wie viele Tonnen Biomasse pro ha geerntet werden, variieren somit die Erntekosten umgerechnet auf die Tonne aber jedoch erheblich. Dies wurde bei der Kalkulation mit berücksichtigt. Die Einzelwerte dazu sind im Anhang XIII aufgeführt. Für den Transport der Maschine wurde eine Entfernung von 100 km angenommen und hierfür, ebenfalls in Anlehnung

an die Angaben von NAHM (2011), Transportkosten von 531,- Euro veranschlagt. Unter Berücksichtigung einer kleinräumigen Struktur der landwirtschaftlichen Flächen, wie sie zum Beispiel in Baden-Württemberg vorhanden ist, wurde eine Flächengröße von 3 Hektar gewählt. Somit gehen Transportkosten für die Erntemaschine von 177,- Euro pro Hektar in die Kalkulation mit ein.

Für die anschließende Vermarktung des Erntegutes stehen zumeist verschiedene Abnehmer zur Verfügung, die je nach Anlage unterschiedliche Anforderungen an das Hackgut haben. So gibt es mittelgroße Strom- und Wärmeversorger im Bereich von 1-5 MW Feuerungswärmeleistung mit einer geringen Anforderung an die Brennstoffqualität. Diese können Hackgut mit höherem Wassergehalt direkt verwerten. Die Berücksichtigung des Wassergehaltes bzw. Heizwertes erfolgt dabei über die Abrechnung (SCHULTZE et al. 2009). Kleine Wärmeversorger, wie z.B. kommunale Einrichtungen, die einen saisonal ausgeprägten Wärmebedarf im Bereich von 100-500 kW Feuerungswärmeleistung haben, benötigen dagegen eine möglichst konstante Hackschnitzelqualität mit niedrigem Wassergehalt, einheitlicher Partikelgröße und geringem Störstoffanteil. Hierzu empfiehlt sich häufig die Vorratslagerung und Trocknung des Erntegutes an regionalen Biomassehöfen (SCHULTZE et al. 2009). Um diese beiden Vermarktungslinien zu erfassen, wurden die Gewinnbeiträge für beide Varianten ermittelt und dargestellt.

Die erste Variante geht von einem mittelgroßen Wärmeversorger als Abnehmer aus. Da die Hackschnitzel mittels Vorschubrostfeuerung verbrannt werden, ist eine Lagerung zur Trocknung nicht notwendig (SCHOLZ et al. 2008). Vergütet werden die Hackschnitzel in Abhängigkeit von ihrem Heizwert mit umgerechnet 22,- Euro pro MWh. Aufgrund des höheren Wasser-, Rinden- und Feinanteils von Kurzumtriebshackschnitzeln im Vergleich zu Waldhackschnitzeln liegt dieser Preis um ca. 25 % unter dem aktuellen Preis von C.A.R.M.E.N. für Waldhackschnitzel mit 35 % Wassergehalt. Der Preis pro Tonne atro entspricht somit 110,- Euro. Da mittelgroße Abnehmer nicht so zahlreich verbreitet sind wie kleine Wärmeversorger, wurde mit einer Transportentfernung von 50 km kalkuliert. Bei einer solchen Transportentfernung ist es sinnvoll, die Hackschnitzel mittels Rad- oder Teleskopladern auf einem Umschlagplatz auf einen LKW-Sattelzug umzuladen (SCHULTZE et al. 2009, SCHOLZ et al. 2008). Für den Transport vom Umschlagplatz bis zu einem Abnehmer in 50 km Entfernung, inklusive Be- und Abladen, gibt SCHOLZ et al. (2008) Kosten von 13,69 Euro/ t_{turo} an.

Bei der zweiten Variante wurde von einem kleinen Wärmeversorger ausgegangen. Da dieser Hackschnitzel mit einem geringen Wassergehalt und bestimmter Partikelgröße benötigt, wird das

Erntegut an einen lokal ansässigen Biomassehof geliefert und dort entsprechend aufbereitet. Aufgrund der anfallenden Kosten für den Biomassehof zur Aufbereitung der Hackschnitzel fällt der Preis für das Erntegut niedriger aus und beträgt 90,- Euro pro Tonne atro. Die Transportentfernung für das Erntegut vom Acker zum Biomassehof liegt bei nur 4 km. Der Transport kann deshalb von Schleppern mit Anhängern, in die das Hackgut von der Erntemaschine direkt eingeblasen wird, durchgeführt werden. Die Kosten hierfür liegen nach SCHOLZ et al. (2008) bei 4,25 Euro pro Tonne Hackschnitzel (atro).

Einen erheblichen Einfluss auf die Annuität einer Kurzumtriebsplantage hat die zu veranschlagende Inflation für die Hackschnitzelpreise als auch für die Kosten für Ernte und Transport. Wie man in Abbildung 36 erkennen kann, sind die Preise für Waldhackschnitzel in den letzten Jahren kontinuierlich um ca. 7 % pro Jahr angestiegen. Da jedoch nicht abgesehen werden kann, ob sich dieser Trend in den nächsten Jahren so fortsetzen wird, wurde vorsichtig mit einem niedrigeren Preissteigerungswert von 3 % gerechnet.

Hackschnitzel aus Weiden- oder Pappelkurzumtriebsplantagen haben erntefrisch meist einen Wassergehalt zwischen 50-60 % (UNSELD 2010). Infolgedessen wurde bei der Kalkulation mit einem Wassergehalt von 55 % gerechnet. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt jedoch der Energiegehalt je Volumeneinheit ab, da das im Holz enthaltene Wasser bei der Verbrennung verdampft werden muss. So reduziert sich der Heizwert bei Pappelhackschnitzeln mit einem Wassergehalt von 55 % von 5000 kWh pro Tonne atro auf 1880 kWh pro Tonne (TEXTOR et al. 2008). In folgender Abbildung (Abb. 37) ist der Preis pro Tonne Hackschnitzel in Abhängigkeit vom Wassergehalt, ausgehend von 110,- und 90,- Euro pro Tonne atro, dargestellt.

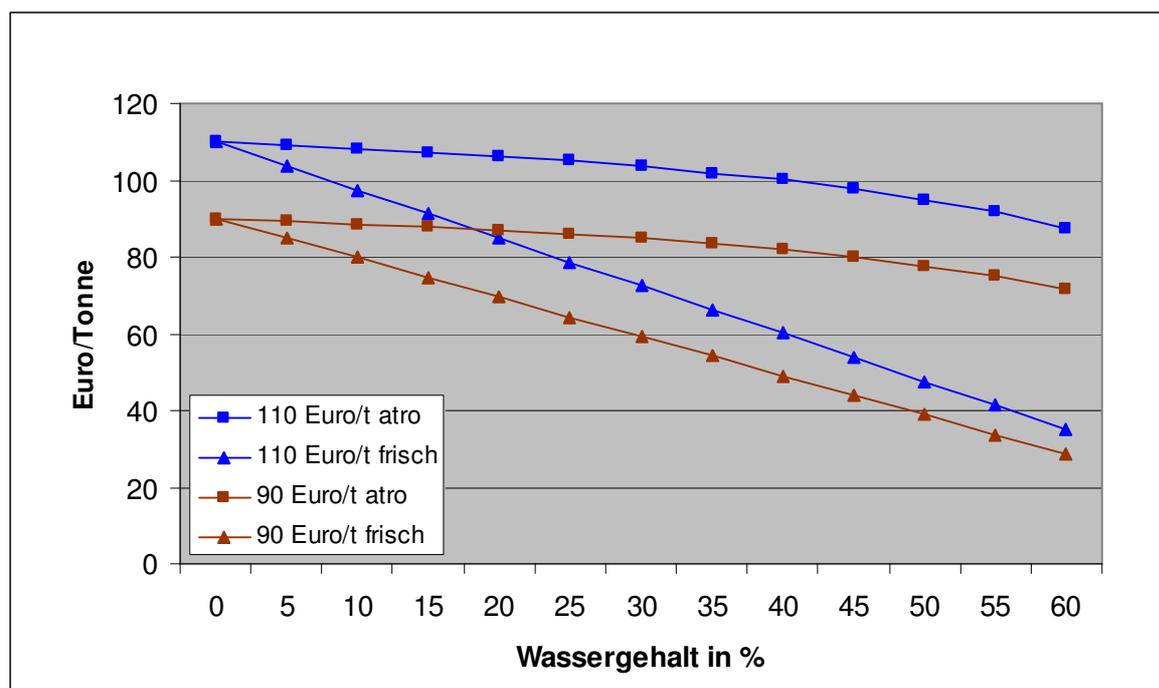


Abb. 37: Preis pro Tonne Pappel-Hackschnitzel in Abhängigkeit vom Wassergehalt und Ausgangspreis pro Tonne atro (Datengrundlage aus TEXTOR et al. 2008).

5.2.2 Wirtschaftlichkeit von KUP in Abhängigkeit vom Biomasseertrag

Anhand der aufgeführten Kostensätze wurde mithilfe des KUP-Rechners des LEL eine Kalkulation der Annuitäten für eine Kurzumtriebsplantage im dreijährigen Umtrieb und einer Nutzungsdauer von 21 Jahren durchgeführt. Dabei wurden für den jährlichen Biomassezuwachs pro Hektar Werte von 5-15 Tonnen atro zu Grunde gelegt. Für die Inflation der Pacht- und Gemeinkosten wurden 2 % je Jahr veranschlagt. Für die Inflation der Ernte- und Transportkosten wurden, wie bei den Hackschnitzelpreisen, 3 % angesetzt. Betriebsprämien im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) wurden nicht berücksichtigt, da die Prämien seit 2005 weitestgehend unabhängig von der angebauten Kultur ausbezahlt werden (EG-Verordnung Nr. 1782/2003). Die Eingabemaske des KUP-Rechners sowie die Einzelergebnisse sind im Anhang XIII aufgeführt.

In folgender Abbildung (Abb. 38) sind die Annuitäten in Abhängigkeit vom jährlichen Biomassezuwachs pro Hektar für die Variante 1 (mittelgroßer Abnehmer, 110,- Euro/t_{atro}, 50 km Transportentfernung) und Variante 2 (Biomassehof, 90,- Euro/t_{atro}, 4 km Transportentfernung) dargestellt.

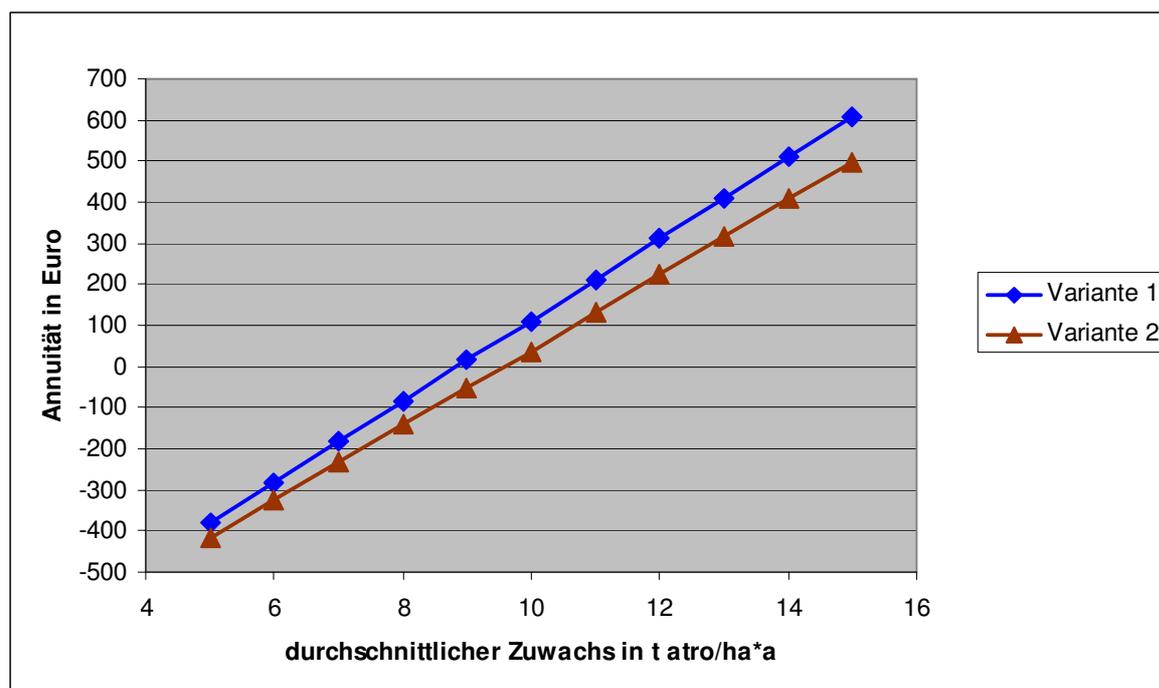


Abb. 38: Annuität von KUP in Abhängigkeit vom Zuwachs und der Vermarktung

Wie in Abbildung 38 ersichtlich ist, wird bei beiden Varianten eine positive Annuität erst ab einem durchschnittlichen Biomassezuwachs von 9 bzw. 10 Tonnen atro pro Jahr und Hektar erreicht. Unterhalb dieses Zuwachses ist, unter den aufgeführten Annahmen, eine Kurzumtriebsbewirtschaftung wirtschaftlich nicht rentabel. Positive Deckungsbeiträge, bei denen die reinen Kosten den Erlösen gegenübergestellt werden, können dagegen mit jeweils einer Tonne weniger Zuwachs pro Jahr und Hektar erreicht werden. Diese liegen bei Variante 1 bei einem Zuwachs von 8 t_{atro} pro Hektar und Jahr bei etwa 25,- Euro/ha*a und bei Variante 2 bei 9 t_{atro} Zuwachs pro Hektar und Jahr bei etwa 63,- Euro/ha*a. Es zeigt sich somit, dass bei den angenommenen Kosten der längere Transport bei Variante 1 durch den höheren Hackschnitzelpreis ausgeglichen wird. Der Gewinnbeitrag liegt in diesem Fall etwas höher als bei der lokalen Vermarktung mit einem niedrigeren Erlös für die Hackschnitzel bei der Variante 2.

Die aufgeführten Schwellenwerte zu einem wirtschaftlich rentablen Zuwachs stellen allerdings nur Annäherungswerte dar. Die tatsächliche Schwelle zur positiven Annuität wird darüber hinaus von weiteren Gegebenheiten wie z.B. der Flächengröße oder der regionalen Verfügbarkeit von Erntemaschinen stark beeinflusst. So kann bei kleinen Flächeneinheiten mit einem sehr hohen Zuwachs, allein aufgrund der hohen Transportkosten der Erntemaschine, die Kurzumtriebsbewirtschaftung aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten heraus nicht sinnvoll sein. Die Abbildung 38 zeigt dennoch deutlich den starken Zusammenhang zwischen dem jährlichen Biomassezuwachs und der Annuität einer Kurzumtriebsanlage. Dementsprechend hat die

standörtliche Eignung und hierbei insbesondere die Wasserverfügbarkeit einer Fläche, eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit einer KUP. Dass für eine wirtschaftlich rentable Bewirtschaftung von KUP ein gewisser Schwellenwert an Biomassezuwachs erreicht werden muss beschreiben auch KRÖBER et al. (2010) im Rahmen des AGROWOOD Projektes. Dazu wurden mittels einer Monte-Carlo-Simulation für einen untersuchten Standort in Mittelsachsen insgesamt 8.000 Simulationsläufe durchgeführt. Als Ergebnis geben sie an, dass die mittlere Gewinnschwelle bei einem jährlichen Ertrag von $12 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha}$ und einem Hackschnitzelerlös von 80,- Euro je t_{atro} liegt. Für eine Pappel-Kurzumtriebsplantage im dreijährigen Umtrieb und einer Nutzungsdauer von 21 Jahren haben KIESEWALTER & RÖHRICHT (2008) ebenfalls mehrere Szenarien zur Wirtschaftlichkeit durchkalkuliert. Sie geben, bei einem Hackschnitzelpreis von 86,- Euro/ t_{atro} und bei einem Verkauf ab Feld, als Schwellenwert einen Zuwachs von mindestens $10 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ für eine positive Annuität an. HOFMANN (2010) gibt ebenfalls als notwendiges Ertragsniveau $10 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ für einen positiven Deckungsbeitrag bei einem Hackschnitzelpreis von 65 Euro/ t_{atro} , an. BURGER (2011) kommt bei Wirtschaftlichkeits-berechnungen für Kurzumtriebsflächen in Bayern, unter Einbezug mehrerer Ernteverfahren, zu durchweg negativen Deckungsbeiträgen bis zu einem durchschnittlichen Zuwachs von $8 \text{ t}_{\text{atro}}$ pro Jahr und Hektar. Erst bei höheren Zuwächsen wurden positive Beiträge erzielt.

5.3 Vorzugsflächen für Kurzumtriebsplantagen unter ökonomischen Gesichtspunkten

Anhand der vorangegangenen Kalkulationen und Literaturangaben wird deutlich, dass für eine Kurzumtriebsbewirtschaftung mit positivem Gewinnbeitrag ein durchschnittlicher Biomassezuwachs von mindestens $8 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ über die gesamte Nutzungsdauer als erforderlich angenommen werden kann. Ein solcher Zuwachs kann im Mittel nur auf für Kurzumtriebsplantagen standörtlich günstigen und sehr günstigen Flächen erreicht werden. Das sind Flächen, auf denen die reliefabhängige Klimatische Wasserbilanz und die nutzbare Feldkapazität zusammen eine Wasserverfügbarkeit von mindestens 200 mm in der Vegetationszeit ergeben. Dazu sollte die Lufttemperatur bei über 8°C im Jahresdurchschnitt liegen bzw. bei einer sehr guten Wasserverfügbarkeit von über 300 mm mindestens $6,5^\circ\text{C}$ betragen (vergl. Kapitel 3.1.4). Auf diesen Flächen kann, bei gängigen Bewirtschaftungskosten, von einer positiven Annuität beim Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb ausgegangen werden.

Neben den Zuwachs beeinflussenden Faktoren der Wasserverfügbarkeit und der Lufttemperatur bestimmen weitere Eigenschaften der Fläche wie z.B. Größe oder Gefälle, ob die Bewirtschaftung einer KUP wirtschaftlich rentabel ist. Die durch das Gefälle einer Fläche gegebenen Einschränkungen für die maschinelle Bewirtschaftung wurden in Kapitel 4.1.1 beschrieben, sowie der Einfluss der Hangneigung auf das technisch nutzbare Flächenpotential, im Kapitel 4.2 dargestellt. Zur Frage, wie groß eine Kurzumtriebsplantage sein muss, damit sie einen positiven Gewinnbeitrag erzielen kann, gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. GRUNDMANN & EBERTS (2008) geben für Flächen mit geringer Bodenwertzahl, aber guter Wasserverfügbarkeit, eine notwendige Flächengröße von mindestens 20 ha an. VETTER et al. (2000) nennen dagegen eine Mindestgröße von 5 ha für eine ökonomisch tragfähige Kurzumtriebsbewirtschaftung. Für den lohnenswerten Einsatz von hochmechanisierten Pflanz- und Ernteverfahren geben UNSELD et al. (2011) eine Flächengröße von mindestens 2-3 ha an. Abhängig von weiteren Faktoren wie Zuwachs, Transportentfernung, Hackschnitzelpreis kann jedoch die wirtschaftlich notwendige Mindestgröße einer Kurzumtriebsplantage stark variieren. So kann zum Beispiel bei einer Koordination von Maschineneinsätzen auf mehreren nah beieinander liegenden Flächen eventuell auch eine kleine Fläche ökonomisch rentabel betrieben werden. Eine Abschätzung der Einschränkung des wirtschaftlichen Potentials anhand der Flächengröße ist zudem kartographisch nicht darstellbar, da die effektive Flächengröße

betriebsindividuell festgelegt wird. So können z.B. mehrere Schläge durch Pacht oder Flächentausch zusammengelegt werden, um eine größere Fläche für die Etablierung einer Kurzumtriebsplantage nutzen zu können. Aus diesen Gründen wurde die Flächengröße als Einschränkung des wirtschaftlichen Potentials hier nicht berücksichtigt.

5.3.1 Konkurrenzfähigkeit von KUP gegenüber herkömmlichen Ackerkulturen

Dass die Bewirtschaftung einer Kurzumtriebsplantage positive Gewinnbeiträge abwirft, sagt jedoch noch nichts darüber aus, ob sie wirtschaftlich konkurrenzfähig zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen ist. So kann der Anbau, zum Beispiel von annuellen Kulturen, für den Betrieb einen höheren Beitrag zum Unternehmensgewinn liefern, so dass sich der Landwirt deshalb weiterhin für diesen Anbau entscheidet. Aufgrund begrenzt vorhandener landwirtschaftlicher Produktionsflächen wird der Anbau von schnellwachsenden Baumarten zur Energieholzproduktion folglich nur dann signifikant ansteigen, wenn er gegenüber anderen landwirtschaftlichen Kulturen wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Um die Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen mit herkömmlichen Kulturen vergleichen zu können, stellten KRÖBER et al. (2010) die Annuitäten von KUP mit denen der Winterfuttergerste in der Region Mittelsachsen für die Jahre 2005-2008 gegenüber. So konnte dargestellt werden, dass im Durchschnitt der Anbau von Energieholz zwar etwas höhere Gewinnbeiträge einbrachte, in Jahren mit hohen Erzeugerpreisen bei der Wintergerste aber auch deutlich unterlegen war. Anhand der Ergebnisse wurde ersichtlich, dass eine pauschale Beurteilung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit einer KUP gegenüber anderen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, aufgrund der hohen Volatilität der Agrarpreise, nicht möglich ist. Der Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb leistet jedoch relativ konstante Gewinnbeiträge und kann somit auf den standörtlich gut geeigneten Flächen eine interessante Alternative darstellen.

5.3.2 Vorzugsflächen für Kurzumtriebsplantagen

Während der Ertrag von herkömmlichen annuellen Kulturen vorwiegend von der Ackerzahl abhängt, wird der Ertrag von KUP vorwiegend von der Wasserverfügbarkeit beeinflusst (WIRKNER 2010, VETTER et al. 2000). So konnten im Rahmen vom DENDROM Projekt von GRUNDMANN & EBERTS (2008) aufgezeigt werden, dass ab einem Transpirationswasserangebot von etwa 400 mm die Weide gegenüber der Kultur Winterweizen konkurrenzfähig ist. Als günstigste Flächen für den Anbau von Energieholz im Kurzumtrieb werden deshalb Flächen mit einer schlechten ackerbaulichen Eignung (geringer Bodengüte bzw. Ackerzahl), bei gleichzeitig

gutem Wasserangebot für Pappeln und Weiden angesehen. Dies können z.B. sandige Standorte mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität und Nährstoffversorgung sein, bei denen aber ein Grundwasserstand gegeben ist, den Pappeln oder Weiden mit ihren tiefer reichenden Wurzeln noch erreichen können.

Auf solchen landwirtschaftlichen Flächen mit geringer Bodengüte fallen die Gewinnbeiträge von gängigen Kulturen wie Winterweizen oder Wintergerste in der Regel gering aus. Wie im Kapitel 4.1.2 beschrieben, gelten diese Flächen mit einem niedrigen Leistungsniveau im Rahmen der digitalen Flurbilanz von Baden-Württemberg als Grenz- und Untergrenzflächen und sind als landbauproblematisch anzusehen. Sie sind durch ihre geringe Bodengüte und somit niedrigen Ackerzahlen unter 35 nur bedingt für den herkömmlichen Ackerbau geeignet bzw. häufig wirtschaftlich nicht rentabel. Dies lässt sich anhand der durchschnittlich erzielten Deckungsbeiträge von Winterweizen und Wintergerste, in Abhängigkeit vom Leistungsniveau der Ackerflächen in Baden-Württemberg aufzeigen (siehe Abbildung 39).

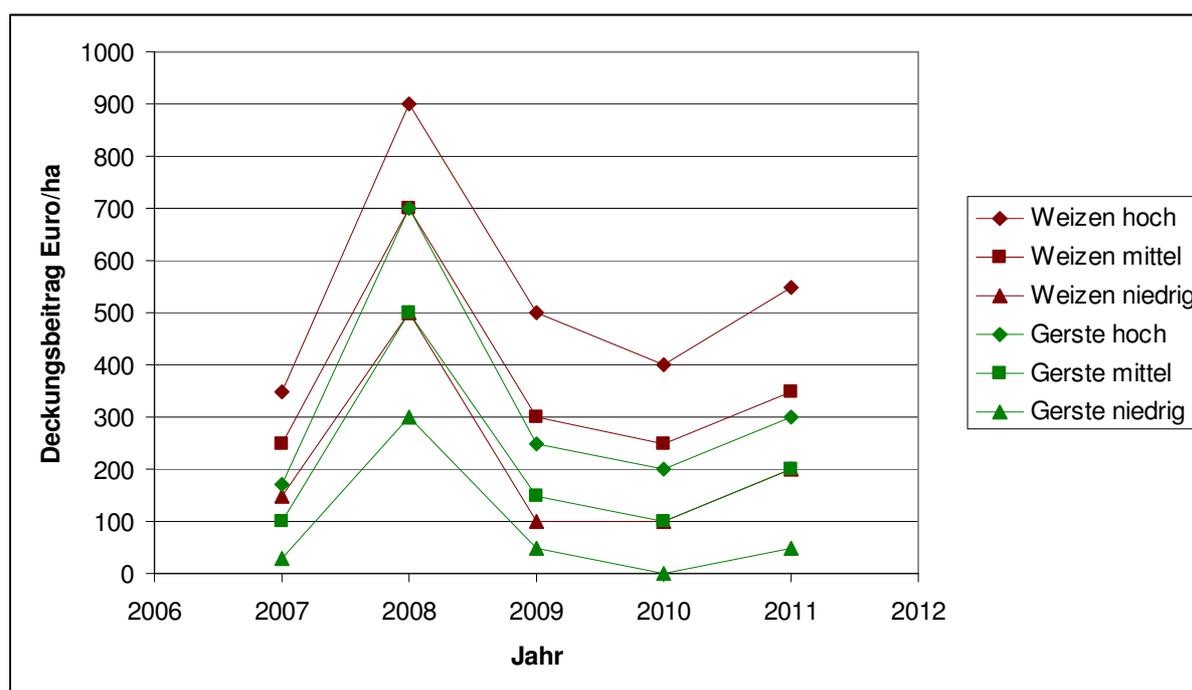


Abb. 39: Durchschnittliche Deckungsbeiträge von Winterweizen und Wintergerste von 2007-2011 auf niedrigem, mittlerem und hohem Leistungsniveau von Ackerflächen in Baden-Württemberg (Datenquelle: LEL 2011b)

Sofern auf diesen Flächen mit niedrigem Leistungsniveau eine gute Wasserverfügbarkeit, durch zum Beispiel Grundwasseranschluss oder hohe Niederschläge gegeben ist, sind mittels der Kurzumtriebsbewirtschaftung hohe Biomasserträge und somit häufig höhere Annuitäten als mit

herkömmlichen Ackerkulturen erzielbar. Als Vorzugsflächen für die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen, unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, können folglich die in Kapitel 4 selektierten Flächen des „technisch-ethischen Potentials“ angesehen werden. Diese weisen Ackerzahlen von unter 35 auf, haben dennoch eine gute Wasserverfügbarkeit und können, aufgrund von Hangneigungen unter 10%, mit hochmechanisierten Pflanz- und Erntemaschinen bewirtschaftet werden. Sie bieten somit für Kurzumtriebsplantagen gute standörtliche Voraussetzungen für einen langjährig hohen Biomasseertrag. Da sie für herkömmliche Ackerkulturen, aufgrund geringer Erträge, jedoch nur bedingt geeignet sind, sind sie sowohl unter wirtschaftlichen als auch ethischen Gesichtspunkten als Vorzugsflächen für KUP anzusehen. Das wirtschaftliche Flächenpotential für die Ackerflächen in Deutschland und Baden-Württemberg entspricht somit den im Kapitel 4.2 aufgeführten gut geeigneten Flächen. Die Hektarwerte hierzu und die auf diesen Flächen erzielbare Biomasse pro Jahr sind in den Tabellen 18 und 20 im Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 aufgeführt.

6 Auswirkungen des Klimawandels auf das Standortpotential für Kurzumtriebsplantagen in Deutschland

6.1 Beschreibung der Klimamodelle und -szenarien

„Unter Klima versteht man die durchschnittlichen Zustände der Atmosphäre an einem Punkt der Erde sowie die möglichen Schwankungen um diese Durchschnittswerte, die typische Aufeinanderfolge dieser Wettererscheinungen und ihre tages- bzw. jahreszeitlichen Schwankungen“ (ROCK et al. 2009, 19). Unabhängig von menschlichen Aktivitäten kann es dabei durch externe Faktoren, wie zum Beispiel die Veränderung der Sonnenintensität oder Vulkanausbrüche zu einer Änderung des Klimas kommen. Hauptsächlich durch die Emission sogenannter Treibhausgase verursacht der Mensch jedoch seit der Industrialisierung eine globale Erderwärmung mit noch ungewissem zukünftigem Ausmaß. Um abschätzen zu können, wie sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten verändern und welche Auswirkungen dies auf den Naturhaushalt haben wird, wurden vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verschiedene Szenarien für einen möglichen Verlauf der zukünftigen Treibhausgasemissionen erstellt. Diese sogenannten SRES Szenarien sind im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, IPCC 2000) beschrieben und kurzgefasst folgendermaßen definiert (entnommen aus IPCC 2008):

Die SRES-Szenarien sind in vier Szenarien-Familien zusammengefasst (A1, A2, B1 und B2), die alternative Entwicklungspfade untersuchen, wobei eine große Bandbreite an demographischen, wirtschaftlichen und technologischen Antriebskräften und den sich daraus ergebenden THG-Emissionen abgedeckt wird. Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen über die jetzigen hinaus. Die Emissionsprojektionen werden für Abschätzungen zukünftigen Klimawandels intensiv genutzt, und ihre zugrundeliegenden Annahmen bezüglich sozioökonomischen, demographischen und technologischen Wandels dienen als Ausgangsmaterial für viele neuere Abschätzungen von Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel und von Auswirkungen.

Die A1-Modellgeschichte geht aus von einer Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer in der Mitte des Jahrhunderts den Höchststand erreichenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. A1 teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen des

Technologiewandels beschreiben: fossil- intensiv (A1FI), nicht fossile Energieträger (A1T) und eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B). B1 beschreibt eine sich näher kommende (konvergente) Welt mit der gleichen Weltbevölkerung wie in A1, jedoch mit rascheren Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft. B2 beschreibt eine Welt mit Bevölkerung und Wirtschaftswachstum mittlerer Größe, mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. A2 beschreibt eine sehr heterogene Welt mit hohem Bevölkerungswachstum, langsamer wirtschaftlicher Entwicklung und langsamem Technologiewandel. Keinem der SRES-Szenarien wurden Wahrscheinlichkeiten zugeordnet.

Diese Szenarien sind die Grundlage zur Modellierung möglicher zukünftiger Klimaentwicklungen. Anhand solcher Klimamodelle sollen die Risiken der Klimaänderungen und die damit notwendigen Anpassungsmaßnahmen erfasst und bewertet werden. Vor dem Hintergrund aktueller Trends wird dabei vielfach angenommen, dass die wahrscheinlichste Entwicklung etwa entlang des A1-Unterszenarios A1B verlaufen wird (vgl. ROCK et al. 2009).

Inzwischen gibt es eine ganze Reihe verschiedener regionaler Klimamodelle, die das mögliche zukünftige Klima bestimmter Gebiete simulieren können. Ein für Deutschland häufig genutztes Klimamodell ist dabei das Modell WETTREG (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode) der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC). WETTREG arbeitet mit Stationsdaten und liefert für diejenigen Stationen Ergebnisse, an denen Messreihen zur Verfügung stehen. Eingangsdaten für das Modell sind hierbei die meteorologischen Daten von 282 Klimastationen und 1695 Niederschlagsstationen in ganz Deutschland. Die globalen Klimasimulationen, auf denen WETTREG aufbaut, wurden mit dem am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg vorhandenen Globalmodell ECHAM5/MPI-OM gerechnet. Mit den im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) berechneten Klimaprojektionen lässt sich somit einschätzen, wie sich der Klimawandel in Deutschland regional auswirken kann und welche Regionen besonders betroffen sein könnten (UBA 2007).

Um abschätzen zu können, wie der zukünftige Klimawandel das KUP-Potential in Deutschland beeinflusst, wurden im Rahmen dieser Arbeit die WETTREG-Modellierungen auf Basis des IPCC SRES-Szenarios A1B genutzt. Als Zeiträume wurden dabei die Klimaperioden von jeweils 30 Jahren von 2021-2050 und von 2071-2100 im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-1990 gewählt.

6.2 Einfluss des Klimawandels auf das Wachstum von KUP

„Die maßgeblichen Klimafaktoren, die sich voraussichtlich ändern werden und die direkt auf das Wachstum der Pflanzen einwirken, sind die Temperatur, der Niederschlag und die Konzentration von Kohlendioxid und Ozon in der Luft, sowie die jahreszeitliche Veränderung dieser Faktoren“ (ROCK et al. 2009, 20). Im Folgenden wird dargestellt, wie sich die modellierten Klimaänderungen bis 2100 auf das Flächenpotential von KUP auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland auswirken. Dies erfolgt in Anlehnung an die Abschätzung des aktuellen KUP-Flächenpotentials in Kapitel 3, unter Berücksichtigung der sich unter dem Klimawandel ändernden Standortfaktoren Wasserverfügbarkeit und Lufttemperatur. Der Einfluss einer erhöhten Kohlendioxid- und Ozonkonzentration in der Luft auf das Potential von KUP wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

6.2.1 Einfluss der Niederschlagsänderung auf die Wasserverfügbarkeit für KUP

Die für die Abschätzung des standörtlichen Potentials definierte Wasserverfügbarkeit setzt sich, wie im Kapitel 3 erläutert, aus der reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz von Mai-Oktober und der nutzbaren Feldkapazität des Bodens bis 1 Meter Tiefe zusammen. Die verwendete klimatische Wasserbilanz zeigt dabei den Niederschlag minus die ortsabhängige potentielle Verdunstung nach Penman-Wendling auf. Die potentielle Verdunstung nach Penman-Wendling setzt sich wiederum aus verschiedenen Parametern wie der Verdunstungswärme, Windgeschwindigkeit, Strahlungsterm, etc. zusammen. Da die zukünftige Entwicklung dieser Parameter mit Klimamodellen nicht erfasst werden kann, ist eine langfristige Modellierung der Veränderung der Klimatischen Wasserbilanz nicht durchführbar. Somit kann eine Abschätzung der Wasserverfügbarkeit auf den Acker- und Dauergrünlandflächen bis 2100 nur anhand der Modellierungen der Niederschlagsänderungen stattfinden. Es wird dementsprechend bei den folgenden Berechnungen angenommen, dass die potentielle Verdunstung in den Perioden 2021-2050 und 2071-2100 die der Referenzperiode von 1961-1990 weiterhin entspricht und sich nur die langjährigen durchschnittlichen Niederschlagssummen von Mai-Oktober ändern. Die Modellierungen der Änderung der durchschnittlichen Niederschlagssummen für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 wurden vom Deutschen Wetterdienst mittels des WETTREG-Modells und auf Basis des A1B Szenarios erstellt und im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

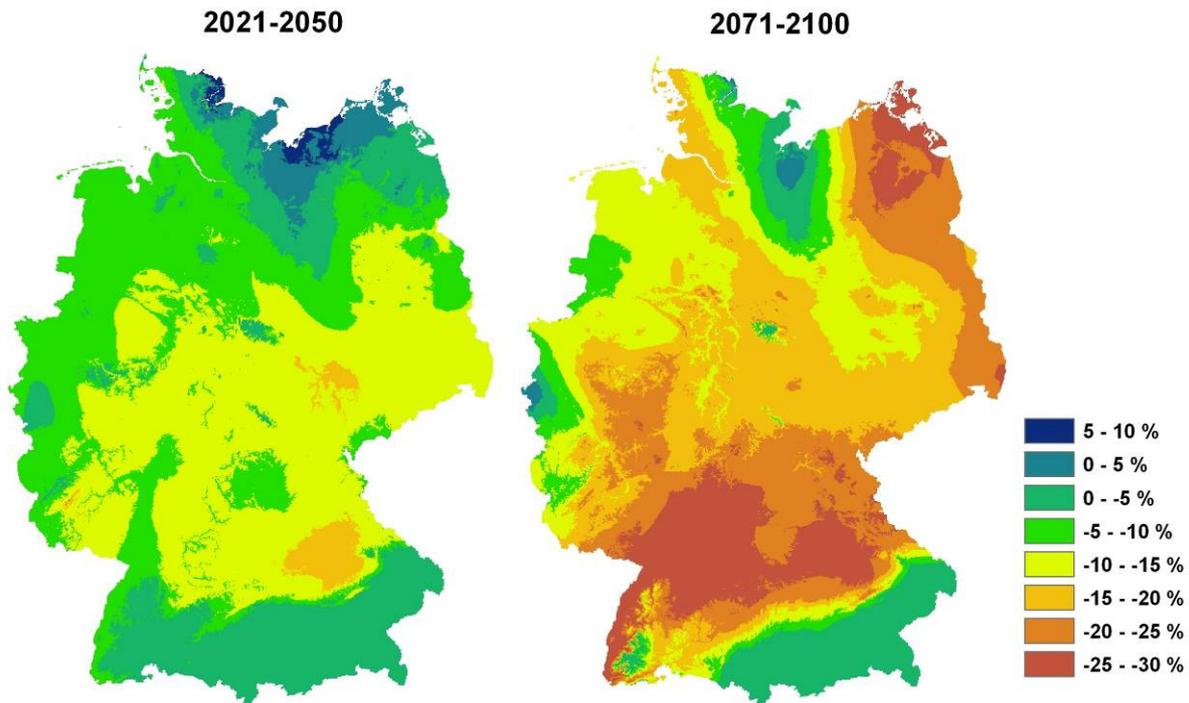


Abb. 40: Modellerte prozentuale Änderung der durchschnittlichen Niederschlagssumme von Mai-Oktober im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-90 anhand des WETTREG-Modells auf Basis des IPCC Szenarios A1B (eigene Darstellung auf Datenbasis des DWD)

Wie aus der Abbildung 40 ersichtlich ist, sind insbesondere die mittleren und nordöstlichen Regionen Deutschland von einem deutlichen Rückgang des Niederschlags in der Vegetationszeit (Mai-Okt.) betroffen. Hier werden Rückgänge von bis zu 20 % in der Periode 2021-2050 und bis 30 % in der Periode 2071-2100 im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-1990 modelliert. Bundesweit ist ein durchschnittlicher Niederschlagsrückgang in der Vegetationszeit von etwa 7 % bis 2050 und von etwa 16 % bis 2100, auf Basis des WETTREG Modells und des A1B Szenarios, zu erwarten.

6.2.2 Einfluss des Temperaturanstiegs auf KUP

Die Lufttemperatur beeinflusst wesentlich die Länge der Vegetationszeit (FRÖHLICH et al. 1973) und damit die erzielbaren Zuwächse einer Kurzumtriebsplantage. Wie im Kapitel 3.1.3 erläutert, ist für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb eine Jahresdurchschnittstemperatur von mindestens 6,5°C notwendig. Durch den mit dem Klimawandel einhergehenden Anstieg der Lufttemperatur kann es zu einer Verschiebung dieser Temperaturgrenze kommen. Dadurch können auch höhere Mittelgebirgslagen für die Kurzumtriebsbewirtschaftung interessant werden. Die WETTREG-Modellierungen auf Basis des IPCC Szenarios A1B geben für Deutschland eine langjährige durchschnittliche

Temperaturerhöhung von ca. 1°C für die Periode 2021-2050 und von ca. 2,3°C für die Periode 2071-2100 im Verhältnis zur Referenzperiode von 1961-1990 an. Insbesondere in den Mittelgebirgslagen wie zum Beispiel dem Schwarzwald oder dem Voralpenland können die Temperaturen um bis zu 35 % im Vergleich zur Referenzperiode zunehmen (siehe Abbildung 41).

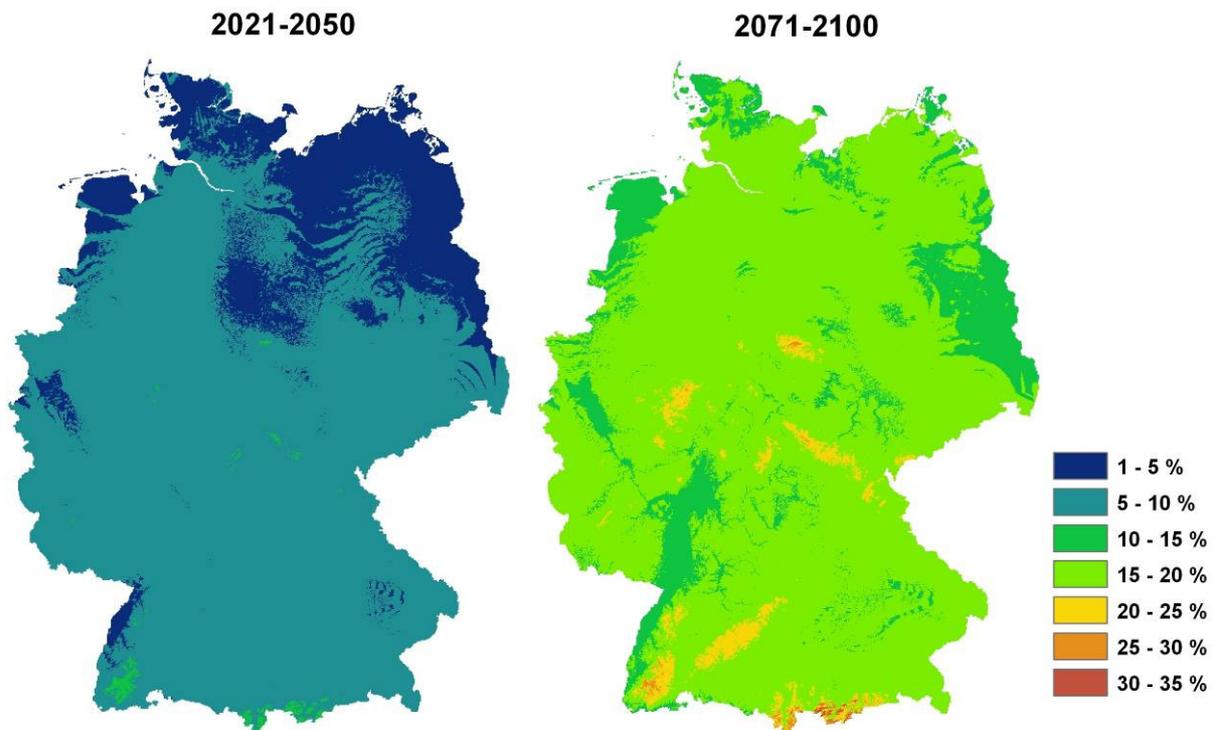


Abb. 41: Modellerte prozentuale Änderung der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-90 anhand des WETTREG-Modells auf Basis des IPCC Szenarios A1B (eigene Darstellung auf Basis von Daten des DWD)

6.3 Abschätzung des KUP-Potentials bis 2100

6.3.1 Methode der Abschätzung

Auf Basis der WETTREG-Daten für die zukünftigen Niederschlagsänderungen wurden für die Rasterdaten der reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz von 1961-90 die gleiche prozentuale Änderung vorgenommen, wie sie für den Niederschlag für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 modelliert ist. Anschließend erfolgte wie im Kapitel 3 beschrieben die Verschneidung der modellierten reliefabhängigen Klimatischen Wasserbilanz mit den aktuellen Daten der nutzbaren Feldkapazität der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 N2.3 des BGR. Ebenso wurden, analog wie in Kapitel 3, die grundwassernahen, vernässenden und staunassen Standorte selektiert, um somit die sieben Klassen der Wasserverfügbarkeit für die Acker- und Dauergrünlandflächen in

Deutschland zu erhalten. Ob sich die Vorkommen von vernässenden, staunassen und grundwassernahen Standorten durch den aufgezeigten Niederschlagsrückgang ändern werden, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst werden. Ihre aktuelle Flächenausdehnung wurde für die Zukunftsszenarien übernommen. Die Rasterdaten der Wasserverfügbarkeit wurden anschließend mit den modellierten Temperaturdaten der Perioden 2021-205 und 2071-2100 verschnitten. Hierzu wurden die Temperaturdaten des WETTREG-Modells in die gleichen drei Klassen wie in Kapitel 3.1.3 eingeteilt ($<6,5^{\circ}\text{C}$, $6,5-8,0^{\circ}\text{C}$, $>8,0^{\circ}\text{C}$). Durch die Verschneidung konnten somit die KUP-Standortsklassen konform der Tabelle 9 in Kapitel 3.1.4 gebildet werden.

6.3.2 Darstellung des KUP-Potentials bis 2100

Vergleicht man die Wasserverfügbarkeit der Perioden 2021-2050 und 2071-2100 (Abb. 42) mit der von 1961-1990 in Kapitel 3.1.5 (Abb. 18) so ist ersichtlich, dass die Wasserverfügbarkeit bis 2100 deutlich abnimmt. So erhöht sich der Anteil der Flächen mit einer geringen Wasserverfügbarkeit von unter 100 mm in den nächsten Jahrzehnten deutlich, sowohl beim Acker- als auch beim Dauergrünland. Der Anteil der Flächen mit einer mittleren bis guten Wasserverfügbarkeit von 100 mm bis 300 mm nimmt indessen beim Ackerland erheblich ab. In der WVS-Stufe über 300 mm reduziert sich der Flächenanteil beim Ackerland kaum aufgrund der grundwassernahen Standorte, die ebenfalls in dieser Stufe enthalten sind (vgl. Tab. 24). Dies sind vorwiegend Flächen im nordöstlichen und –westlichen Teil Deutschlands mit einem Grundwasserflurabstand von unter zwei Metern.

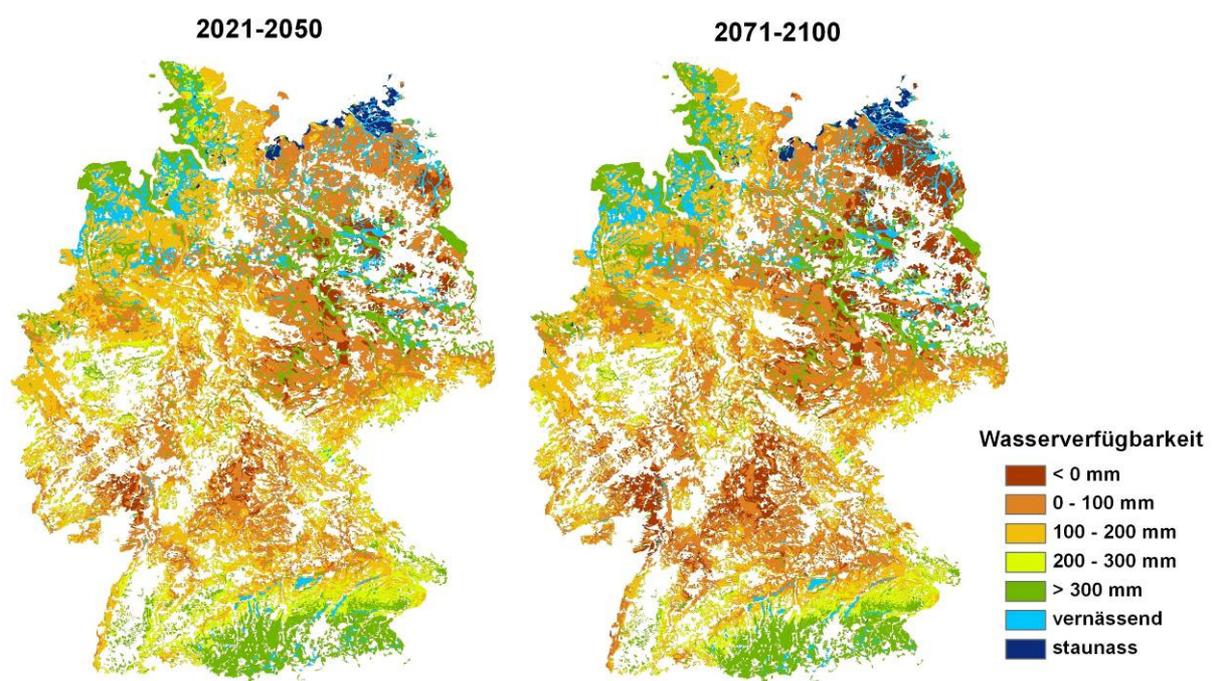


Abb. 42: Wasserverfügbarkeit auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, BGR und USGS)

Beim Dauergrünland sind es vor allem Flächen mit einer Wasserverfügbarkeit von über 200 mm, deren Anteil deutlich abnimmt (siehe Tabelle 24). Die Anteile der Flächen mit einer geringen Wasserverfügbarkeit von unter 100 mm nehmen indessen zu. Die Flächenanteile der vernässenden und staunassen Standorte verändern sich hingegen nicht, da auf Grundlage der Niederschlagsmodellierungen nicht abgeschätzt wurde, wie sich diese ändern werden.

Tab. 24: Prozentuale Anteile der Wasserverfügbarkeitsstufen (WVS) auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland in Abhängigkeit von der Zeitperiode

WVS	Ackerland			Dauergrünland		
	1961-90	2021-50	2071-00	1961-90	2021-50	2071-00
< 0 mm	2,8 %	6,6 %	14,9 %	2,1 %	3,1 %	4,7 %
0 - 100 mm	31,3 %	37,7 %	39,4 %	5,4 %	8,5 %	13,5 %
100 - 200 mm	39,0 %	33,1 %	26,4 %	21,2 %	23,3 %	23,3 %
200 - 300 mm	10,8 %	6,8 %	4,2 %	18,3 %	13,9 %	10,4 %
> 300 mm	11,2 %	10,7 %	10,1 %	39,0 %	37,2 %	34,1 %
vernässend	3,7 %	3,7 %	3,7 %	13,7 %	13,7 %	13,7 %
staunass	1,3 %	1,3 %	1,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %

Betrachtet man hingegen den Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur in Deutschland aufgrund der globalen Erwärmung so zeigt sich, dass bis 2100 nahezu das gesamte Bundesgebiet in der Temperaturstufe über 8,0°C liegt (siehe Abb. 43). Für den Kurzumtrieb ungeeignete Flächen mit einer durchschnittlichen Temperatur von unter 6,5°C im Jahr sind dann vorwiegend nur noch in höheren Voralpenlagen vorhanden. Auch bei der Klassifizierung der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur für die Periode 2021-2050 zeigt sich, dass der Flächenanteil der Temperaturstufe über 8,0°C im Vergleich zur Periode von 1961-1990 (siehe Abb. 20, Kapitel 3.1.5) deutlich ansteigt. Somit nimmt die potentiell nutzbare Fläche für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland, unter dem Aspekt der Temperatur gesehen, in den nächsten Jahrzehnten zu.

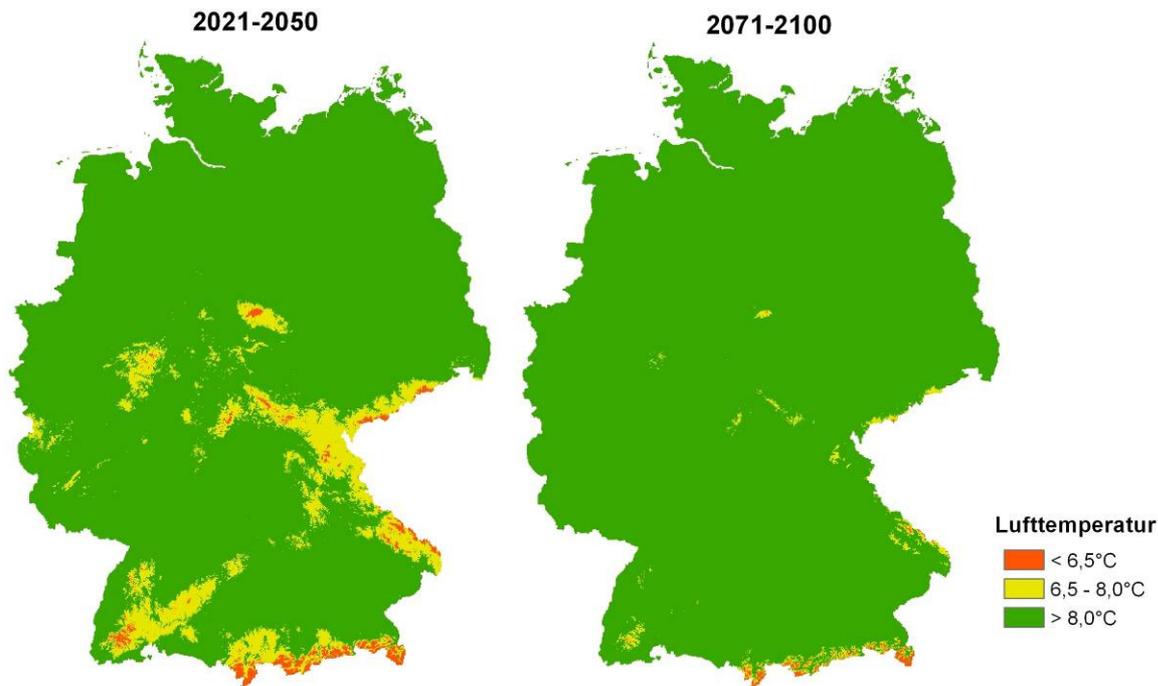


Abb. 43: Einteilung der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 in ihre Eignung für KUP (eigene Darstellung auf Basis von WETTREG-Daten des DWD)

Mittels der Verschneidung der Rasterdaten der Wasserverfügbarkeitsstufen mit den Rasterdaten der Temperaturstufen wurden die KUP-Standortsklassen gebildet. Diese zeigen, unter den beiden berücksichtigten Standortfaktoren, die Eignung der Acker- und Dauergrünlandflächen für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb bis 2100 auf. So zeigt sich im Vergleich mit der aktuellen Verteilung der KUP-Standortsklassen, dass der Anteil der sehr günstigen Standortsklasse in den nächsten Jahrzehnten weiter zunimmt (siehe Tabelle 25). So steigt er beim Ackerland zwar nur geringfügig an, beim Dauergrünland verdoppelt er sich jedoch nahezu im Vergleich von der Periode 1961-1990 zur Periode 2071-2100. Dies erklärt sich insbesondere dadurch, dass die niederschlagsreichen Mittelgebirgslagen, vor allem in der Voralpenregion, durch den Temperaturanstieg in die Temperaturstufe über 8,0°C und damit in die sehr günstige Standortsklasse fallen.

Tab. 25: Prozentuale Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland in Abhängigkeit von der Klimaperiode

KUP-Stkl.	Ackerland			Dauergrünland		
	1961-90	2021-50	2071-00	1961-90	2021-50	2071-00
ungeeignet	11,4 %	7,0 %	14,9 %	9,7 %	3,9 %	4,7 %
ungünstig	34,9 %	39,9 %	40,8 %	12,9 %	10,8 %	13,9 %
mittel	36,1 %	32,8 %	26,4 %	23,8 %	24,2 %	23,3 %
günstig	8,9 %	9,9 %	7,9 %	35,6 %	30,3 %	24,2 %
sehr günstig	8,8 %	10,4 %	10,1 %	18,0 %	30,8 %	33,9 %

Beim Ackerland reduziert sich jedoch insgesamt das standörtliche Potential für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb. So nimmt der prozentuale Flächenanteil der günstigen und mittleren KUP-Standortsklassen bis 2100 deutlich ab, während die Flächenanteile der ungünstigen und ungeeigneten Standortsklassen zunehmen. Wie in Abbildung 44 ersichtlich ist, sind es insbesondere die im Nordosten Deutschlands liegenden niederschlagsarmen Gebiete, in denen durch den zukünftigen Niederschlagsrückgang die Wasserverfügbarkeit weiter abnimmt. Aufgrund der hierauf zu erwartenden niedrigen Biomassezuwächse eignen sich diese Flächen nur noch bedingt für die Kurzumtriebsbewirtschaftung. Somit wird sich, unter Annahme der aufgeführten Klimaänderungen, das Potential für Kurzumtriebsplantagen auf Ackerflächen vorwiegend in Richtung der Voralpenregion in Bayern verschieben, aufgrund der dort nach wie vor vorhandenen hohen Niederschläge, begleitet von zunehmenden Temperaturen. Hinzu kommen die Standorte, auf denen der geringe Grundwasserflurabstand weiterhin eine ständige Wasserverfügbarkeit für Pappel- und Weidenkurzumtriebsplantagen gewährleistet, wie sie überwiegend in Brandenburg vorzufinden sind. Ob sich der Grundwasserflurabstand aufgrund des Rückgangs der Niederschläge und steigender Temperaturen ändern wird, konnte ihm Rahmen der Arbeit nicht beurteilt werden.

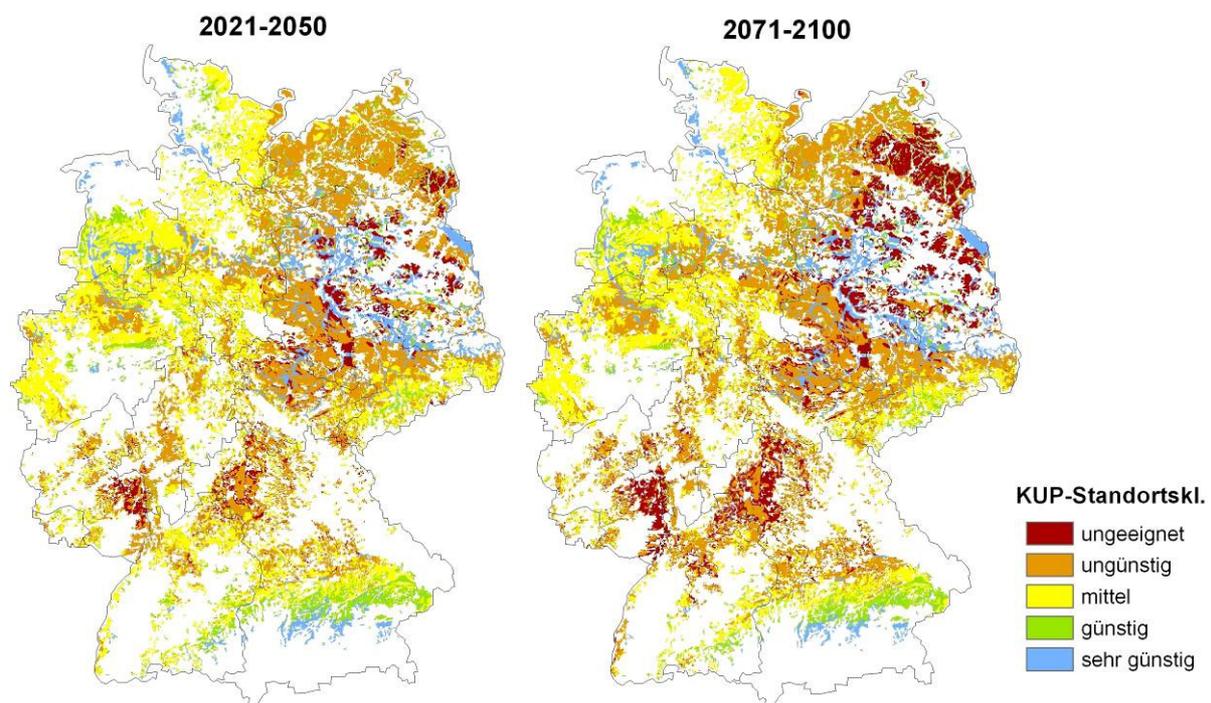


Abb. 44: Standörtliche Eignung der Ackerflächen in Deutschland für KUP unter Beachtung des Klimawandels für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, BGR und USGS)

Da sich Dauergrünland vorwiegend in den höheren Lagen der Mittelgebirge befindet, nimmt das standörtliche KUP-Potential durch die ansteigenden Temperaturen bis 2100 zu. Daraus ergibt

sich eine Verschiebung der Flächenanteile der günstigen Standorte zugunsten der sehr günstigen Standorte in den nächsten Jahrzehnten (siehe Abbildung 45). Dies begründet sich vor allem dadurch, dass die niederschlagsreichen Flächen der Voralpenregion zukünftig in die Temperaturstufe über $8,0^{\circ}\text{C}$ fallen werden und demzufolge dann sehr günstige Standortsbedingungen vorweisen. Die Flächenanteile der mittleren und ungünstigen Standorte bleiben dagegen im Verlauf bis 2100 kaum verändert, während sich die Anteile der ungeeigneten Flächen etwa halbieren. Die größten Potentiale für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Dauergrünland werden sich deshalb, aus standörtlicher Sicht und unter den erläuterten Annahmen der Klimaänderung, zukünftig im südlichen Bayern sowie auf den grundwassernahen Standorten im Nordwesten Deutschlands befinden.

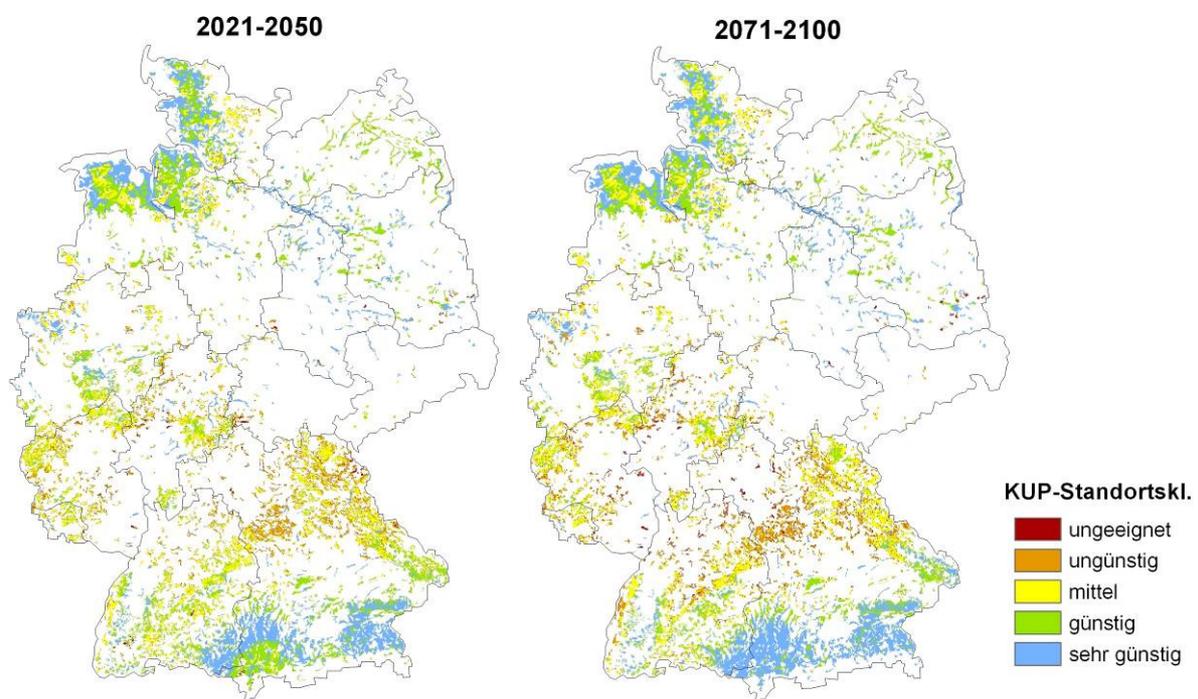


Abb. 45: Standörtliche Eignung des Dauergrünlands in Deutschland für KUP unter Beachtung des Klimawandels für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 (eigene Berechnung auf Basis von Daten des DWD, BGR und USGS)

7 Diskussion

7.1 Methodenkritik

7.1.1 Ertragsmodell

Um eine bundesweite KUP-Potentialabschätzung durchführen zu können, ist ein Ertragsmodell notwendig, das den Biomassezuwachs anhand von Standortfaktoren abschätzt welche in geographischen Daten enthalten und für ganz Deutschland verfügbar sind. Da zudem das Biomassepotential von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb abgeschätzt werden sollte, konnte nicht auf das bestehende Ertragsmodell von ALI (2007, 2009) für Sachsen zurückgegriffen werden (siehe Kap. 2.1), da sich dieses nur auf Pappeln bezieht. Das einzige vorliegende Modell, welches auf Messdaten von Kurzumtriebsflächen in Deutschland basiert und die zu erwartenden Erträge von Pappel und Weide anhand weniger Standortfaktoren abschätzt, ist das Modell von MURACH et al. (2008, 2009). Dieses stellt, mittels der Boundary-Line Methode, die maximal zu erwartenden Biomassezuwächse von Pappeln und Weiden in Abhängigkeit vom Transpirationswasserangebot (TWA) und der Pflanzdichte dar (siehe Kap. 2.2). Durch die Verwendung der Boundary-Line-Methode erreichen die potentiellen Massenerträge der Pappel allerdings schon bei einem TWA von 350 mm nahezu die Maximalwerte und steigen mit Zunahme des TWA kaum noch an (Abb. 5, Kap. 2). Berechnet man das TWA für die Ackerflächen in Deutschland anhand der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 N2.3 und den langjährigen Niederschlagssummen von Mai-Oktober der Periode 1961-90 so zeigt sich, dass auf ca. 98 % der Ackerflächen in Deutschland ein TWA von 350 mm erreicht wird. Das heißt, dass unter Verwendung dieses Modells auf fast allen Ackerflächen in Deutschland, je nach Pflanzdichte, Biomasserträge von über 17 t_{atro} pro Jahr und Hektar möglich wären. MURACH et al. (2009) deuten jedoch darauf hin, dass die Zuwachswerte der Ertragsmodelle in der Praxis nur bei optimaler Pflege und Nährstoffversorgung erreicht werden und nur für die Klone und Standortbedingungen gelten, die in die Untersuchung mit eingingen. Im Rahmen der vorliegenden Potentialabschätzung sollen jedoch die mittleren zu erwartenden Biomassezuwächse in Abhängigkeit von der Wasserversorgung dargestellt werden. Dadurch soll realistisch abgeschätzt werden, wie viel Biomasse bundesweit als auch regional bei gängiger Praxis der Bewirtschaftung von KUP durchschnittlich erzeugt werden könnte. Da zudem die Komponente Niederschlag nur begrenzt zur Darstellung der Wasserverfügbarkeit eines Standorts geeignet ist (siehe Kap. 2) wurde ein Modell erstellt, welches anstelle des Niederschlages die Klimatische Wasserbilanz zur Bestimmung der Wasserverfügbarkeit nutzt.

Als Basis für das Ertragsmodell standen Daten aus 62 Praxis- und Versuchsflächen mit Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb zur Verfügung. Ein Nachteil dieser Ertragsmodellierung auf Basis dieser Flächen ist, dass diese unterschiedlich bewirtschaftet werden. So unterscheiden sie sich hinsichtlich der angepflanzten Klone, der Pflanzverbände sowie der durchgeführten Flächenvorbereitung und der Bekämpfung von Beikräutern. Des Weiteren fließen Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Klimatischen Wasserbilanz mit in das Ertragsmodell ein, da die KWB nicht direkt auf den jeweiligen Kurzumtriebsflächen erfasst werden konnte, sondern anhand der nächstgelegenen Wetterstationen des DWD ermittelt wurde. Auch ergeben sich über die Methode der Ableitung der nutzbaren Feldkapazität über die Pedotransferfunktionen der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) Ungenauigkeiten gegenüber einer Bestimmung der nFK im Labor. Die Streuung der Höhenwerte bei gegebener Wasserverfügbarkeit (vergl. Abbildungen 9 und 10 in Kap. 3.1.2.4) wird durch diese unterschiedlichen Klone, Pflanzverbände, Bewirtschaftungsformen und weiteren Standortfaktoren mit beeinflusst. Trotz der Heterogenität der aufgenommenen Flächen zeigt die statistische Auswertung, dass eine Korrelation zwischen dem Höhenzuwachs und der Wasserverfügbarkeit besteht und mit den dargestellten Trendlinien aufgezeigt werden kann. Das Ertragsmodell gibt somit einen Anhaltswert für die durchschnittlich erzielbaren Zuwächse für den ersten dreijährigen Umtrieb, in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit und unter Beachtung der eingegangenen Standortbedingungen und Klone. Die tatsächlich erzielbaren Zuwächse einer Fläche können jedoch, je nach Einfluss weiterer Standortfaktoren sowie der Art der Bewirtschaftung, von den Modellwerten deutlich abweichen. Die Ergebnisse des Modells sind des Weiteren vorwiegend für die standörtlichen Verhältnisse in Baden-Württemberg repräsentativ, da hier die meisten der Kurzumtriebsflächen liegen, deren Daten in das Modell eingegangen sind. Für die bundesweite Potentialabschätzung kann das Ertragsmodell dementsprechend nur Anhaltswerte für das Biomassepotential geben. Für eine genauere Abschätzung müssten weitere Daten von Flächen in ganz Deutschland mit einbezogen werden.

Für das Ertragsmodell konnten nur die Zuwächse der Flächen im Alter von 3 Jahren verglichen werden, da ein Grossteil der Flächen erst im Jahr 2009 etabliert wurde (siehe Anhang I). Für die Kurzumtriebsbewirtschaftung mit Weiden ist dies eine gängige Umtriebszeit. Für die Pappel sind teilweise aber auch längere Umtriebszeiten sinnvoll, da der laufende Zuwachs bei der Pappel (je nach Sorte und Standort) nicht vor dem Alter 10 kulminiert (SCHIRMER 2010). So zeigen Versuche von GURGEL (2011) über 18 Jahre mit verschiedenen Pappelsorten, dass der Zuwachs bei den 6-jährigen Umtrieben im Durchschnitt um knapp 20 % höher liegt als beim 3-jährigen Umtrieb. Deshalb werden für die Pappel Umtriebszeiten von mindestens 5 Jahren empfohlen

(SCHIRMER 2010). Für die Weide werden dagegen Umtriebe von 3 Jahren empfohlen um Zuwachsverluste zu vermeiden (GURGEL 2011, SCHIRMER 2010). Dementsprechend können die in der vorliegenden Abschätzung dargestellten Ertragspotentiale eventuell durch eine längere Umtriebszeit bei der Pappel gesteigert werden. Aus diesem Grund sollten für eine genauere Abschätzung des möglichen Zuwachsverlaufes über mehrere Umtriebe die Zuwächse auf den genutzten 62 Kurzumtriebsflächen weiterhin erfasst werden. Unter Nutzung langjähriger Messreihen dieser und weiterer Flächen könnte dann das Modell weiter optimiert und validiert werden.

7.1.2 Standörtliche Potentialabschätzung

Für die standörtliche Potentialabschätzung wurden, mittels verschiedener Klima- und Bodendaten, die Wasserverfügbarkeiten auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland erfasst. Hierzu wurden die Werte der nutzbaren Feldkapazität aus den Bodenübersichtskarten BÜK 1000 N2.3, BÜK 200 und BK 50 für die Acker- und Dauergrünlandflächen übernommen. Da Böden kleinräumig sehr unterschiedlich sein können, werden in den Bodenübersichtskarten sogenannte Kartiereinheiten gebildet, die anhand von Referenzprofilen die Leitbodenform wiedergeben. Je nach Maßstab der Karten werden diese unterschiedlich detailliert dargestellt (siehe Abb. 17, Kap. 3.1.5). Die differenzierteste Darstellung ist dabei bei der BK 50 mit einem Maßstab von 1: 50.000 gegeben. Die generelle Verwendung der BK 50 war jedoch nicht möglich, da diese weder bundes- noch landesweit vorliegt. Deshalb wurden die KUP-Potentiale auf den drei geographischen Ebenen Deutschland, Baden-Württemberg und Gemeindegebiet berechnet, um den Einfluss der jeweils verfügbaren Bodenkarten auf die Genauigkeit der Abschätzung darstellen zu können. Des Weiteren geben die Kartiereinheiten der Bodenkarten keinen Einzelwert der nFK sondern den Bereich an, in dem diese schwankt. Um die nFK mit der KWB summieren und anschließend Klassen bilden zu können, mussten deshalb jeweils die Mittelwerte der angegebenen nFK-Bereiche gebildet werden. Dadurch ergibt sich eine Generalisierung der Bodendaten, die den natürlichen engräumigen Wechsel der nFK nicht genau wiedergibt, sondern nur eine Annäherung an die natürlichen Verhältnisse darstellt.

Für den Einbezug der Klimatischen Wasserbilanz zur Bestimmung der Wasserverfügbarkeit standen die langjährigen Daten des DWD für die Zeitperiode 1961-1990 zur Verfügung. Diese bundesweite Rasterdatei mit einer Auflösung von 1 km² wird vom DWD über eine Interpolation der gemessenen Stationswerte erstellt. Flächenspezifische Aussagen sind somit nur eingeschränkt

möglich. Das gleiche gilt für die langjährigen Daten der Lufttemperatur des DWD, die ebenfalls in einer Rastergröße von 1 km² vorliegen. Aufgrund dieser Datenbasis kann bei der Abschätzung des Biomassepotentials für Deutschland und Baden-Württemberg nur ein genereller Überblick über die möglichen Flächenpotentiale und erzielbaren Erträge, aber keine Aussage über das Ertragspotential von Einzelgrundstücken, abgeleitet werden. Für die Potentialabschätzung auf Gemeindeebene sind die Daten der nFK deutlich detaillierter. Durch kleinräumige Bodenunterschiede und den Abweichungen der interpolierten KWB-Werte des DWD zur tatsächlichen KWB, kann sich das reale Ertragspotential der Flächen dennoch deutlich von der Abschätzung unterscheiden. Die Aussagegenauigkeit zur standörtlichen Eignung der Acker- und Dauergrünlandflächen auf Flurstücksebene bei der Gemeindepotentialabschätzung ist somit eingeschränkt. Ihre Bedeutung für die Arbeit liegt vorwiegend in der Unterscheidung der Genauigkeit der Abschätzungen auf den unterschiedlichen geographischen Ebenen.

Ein weiterer Standortfaktor, der die Wasserverfügbarkeit von Kurzumtriebsplantagen beeinflusst und im Rahmen der Potentialabschätzung berücksichtigt wurde, ist der Grundwasserflurabstand. Hierbei wurde angenommen, dass auf Flächen mit einem Grundwasserflurabstand von unter zwei Metern, eine ständige Wasserverfügbarkeit für KUP gegeben ist. In den ersten Jahren der Bestandesetablierung, in denen die Wurzeln der Kurzumtriebsgehölze das Grundwasser noch nicht erreichen, kann es auch auf diesen Flächen zu Wassermangel kommen. Die Folge können hohe Ausfallraten oder Zuwachseinbußen sein. Dies ist bei Interpretation der Ergebnisse der standörtlichen Potentialabschätzung mit zu beachten. Auch stellen die Angaben zu den Grundwasserflurabständen in Bodenübersichtskarten nur Annäherungswerte an die realen Gegebenheiten dar. Aktuelle und flächendeckende Grundwasserflurabstandskarten für Deutschland sind jedoch nicht verfügbar, so dass auf die Angaben in der BÜK 1000 N2.3 und der BÜK 200 zurückgegriffen werden musste. Um Angaben über die tatsächlichen Grundwasserflurabstände einer Fläche zu erhalten, müssen Erhebungen vor Ort durchgeführt werden.

Der Einbezug von Hangneigung, Exposition und der Reliefposition einer Fläche zur Bestimmung ihrer Wasserverfügbarkeit für KUP, kann ebenfalls nur als eine Annäherung an die tatsächlichen Werte vor Ort angesehen werden. Der Einfluss der Zu- und Abflüsse des Bodenwassers auf die Wasserverfügbarkeit kann, insbesondere in gebirgigen Gegenden, jedoch erheblich sein und wurde deshalb im Rahmen der Arbeit mit erfasst. Da es keine für Kurzumtrieb spezifischen Erhebungen zu den lagebedingten Zu- und Abflüssen des Bodenwassers gibt, wurde auf die Werte von HAUFFE et al. (1998) zurückgegriffen (siehe Tab. 6,

Kap. 3.1.2.1). Dadurch konnten die Einflüsse der Hangneigung, Exposition und Reliefposition auf die Wasserverfügbarkeit annähernd erfasst werden.

Um die standörtliche Eignung der Acker- und Dauergrünlandflächen für den Kurzumtrieb besser visualisieren zu können wurden KUP-Standortsklassen gebildet. Dafür mussten für jede Klasse der Wasserverfügbarkeit und der Lufttemperatur Grenzwerte festgelegt werden (siehe Tab. 9, Kap. 3.1.4). Für die Bestimmung dieser Grenzen sind keine natürlichen Anhaltspunkte vorhanden. Wie in den Abbildungen 13 & 14 (Kapitel 3.1.2.4.) ersichtlich ist, nimmt der Zuwachs in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit nahezu linear zu. Dadurch können die Zuwächse von Flächen, die im Bereich der Klassengrenzen liegen, über- oder unterschätzt sein. Auch die Klassifizierung der Lufttemperatur in drei Klassen und die darauf aufbauende Einteilung der KUP-Standortsklassen entspricht nicht den fließenden Übergängen in der Natur. Betrachtet man die Angaben von FEGER et al. (2009), so nimmt das Wachstum von Kurzumtriebsplantagen bis 6,5° C nur allmählich ab, reduziert sich dann aber erheblich mit weiter sinkender Jahresmitteltemperatur. Bis 6,5° C geben die Autoren einen Zuwachs bis zu 75 % der potentiellen Ertragsleistung an. Demnach ist eine Reduktion des Zuwachses um eine KUP-Standortsklasse, wie sie in Kap. 3.1.4 durchgeführt wurde, als etwas zu hoch einzustufen. Das bedeutet, dass die tatsächlich durchschnittlich erzielbaren Zuwächse auf den Flächen, die in der Temperaturstufe von 6,5 – 8,0° C liegen, vermutlich etwas höher sind, als in der vorliegenden Potentialabschätzung dargestellt werden.

Neben den für die Ertragsmodellierungen einbezogenen Baumarten Pappel und Weide sind auch weitere wiederausschlagsfähige Baumarten für den Kurzumtrieb geeignet. Hierzu zählen insbesondere Erlen (*Alnus spp.*) und Robinien (*Robinia pseudoacacia L.*). Auf den meisten landwirtschaftlichen Flächen sind diese ertragsmäßig den Pappeln und Weiden unterlegen. Auf Extremstandorten können sie aber ein deutlich besseres Wachstum zeigen (UNSELD et al. 2010). Hierzu zählen bei der Robinie insbesondere warme Regionen mit überdurchschnittlichen Temperaturen und längeren Trockenzeiten. Auf solchen Standorten mit zum Beispiel sandigen, nährstoffarmen oder schweren Böden kann der Zuwachs von Robinien denen von Pappeln und Weiden überlegen sein. Das gleiche gilt für die Grau- und Schwarzerle auf staunassen, sauerstoffarmen Standorten, sowie für die Grauerle auch auf flachgründigen, mäßig frischen Standorten mit unterdurchschnittlicher Temperatur (UNSELD 1999, UNSELD et al. 2010). Dementsprechend können bei einer Nutzung dieser Baumarten die tatsächlich erzielbaren Zuwächse, insbesondere auf den für KUP ungünstig ausgewiesenen Flächen, höher sein als sie in der vorliegenden Arbeit abgeschätzt werden. Wie hoch die Erträge dieser Baumarten auf solchen

Extremstandorten sein können und ob ihre Nutzung im Kurzumtrieb dabei wirtschaftlich rentabel ist, muss jedoch flächenindividuell geklärt werden und bedarf weiterer Forschung.

7.1.3 Technisch-ethisch-ökologische Potentialabschätzung

Für die technische Potentialabschätzung wurden jene standörtlichen Gegebenheiten einer Fläche mit einbezogen, die die maschinelle Bewirtschaftung einschränken oder verhindern und somit auf das Flächenpotential Einfluss haben. Den wesentlichsten Einfluss auf die maschinelle Bewirtschaftung einer Kurzumtriebsfläche hat dabei die Hangneigung einer Fläche. Deshalb wurde die mittlere Hangneigung je Raster (BRD 100m, B-W 50m) über digitale Geländemodelle hergeleitet und in drei Klassen eingeteilt (siehe Kap. 4.1). Durch die hohe Auflösung der digitalen Geländemodelle von 90m (SRTM) und 10m (DGM) kann von einer ausreichenden Genauigkeit für die Darstellung der Hangneigung auf Bundes- und Landesebene ausgegangen werden. Bei der Potentialabschätzung auf Gemeindeebene wurden jeweils Mittelwerte für die Flurstücke gebildet. Landwirtschaftliche Flurstücke oder Schläge können jedoch unterschiedliche Hangneigungen innerhalb der Fläche aufweisen. Somit kann auf einer Fläche teilweise eine Einschränkung der Befahrbarkeit durch die Hangneigung vorhanden sein, auch wenn die durchschnittliche Hangneigung der Fläche gering ist. Solche sehr kleinräumigen Unterschiede der Hangneigung konnten jedoch nicht berücksichtigt werden und müssen bei einer Etablierung von Kurzumtriebsplantagen vor Ort beachtet werden. Die Größe oder Form einer Fläche konnte ebenfalls nicht als Einschränkung zur maschinellen Bewirtschaftung einer Kurzumtriebsfläche in die Potentialabschätzung einbezogen werden, da hier keine landesweiten Daten verfügbar sind. Diese Faktoren können eventuell die Kosten eines Maschineneinsatzes deutlich erhöhen und dadurch die Etablierung einer Kurzumtriebsanlage hemmen bzw. ausschließen. Sie verhindern jedoch aus technischer Sicht nicht die maschinelle Bewirtschaftung. Vernässende Standorte können ebenfalls den Einsatz von Maschinen erschweren, bei geeigneter Witterung (Frost) ist ihr Einsatz auf vernässenden Flächen jedoch möglich, weshalb dieser Faktor bei der Potentialabschätzung nicht als einschränkend berücksichtigt wurde.

Eine weitere Einschränkung für das KUP-Flächenpotential, die in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt wurde, basiert auf einem ethischen Aspekt. Zu diesem Aspekt zählen unter anderem die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittelproduktion und Energieerzeugung, die Anlage von Monokulturen sowie die mögliche Verwendung gentechnisch veränderter Gehölze (PRETZSCH & SKODAWESSELY 2010). Die Frage, ob Monokulturen nicht weiter ausgebaut und gentechnisch veränderte Gehölze nicht angepflanzt werden sollen, kann unter

naturschutzfachlichen und ethischen Gesichtspunkten diskutiert werden. Ein möglicher Einfluss dieser Diskussionen auf das KUP-Flächenpotential in Deutschland wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Es wurde hingegen versucht abzuschätzen, welcher Anteil der Gesamt-Ackerfläche unter Berücksichtigung der Flächenkonkurrenz zwischen der Nahrungsmittelproduktion und der Energieerzeugung für Kurzumtriebsplantagen genutzt werden könnte. Dazu wurde der Ansatz des DENDROM Projektes weiter verfolgt. Dieser besagt, dass Ackerflächen mit geringer Bodengüte, aber guter Wasserverfügbarkeit, als Vorzugsstandorte für Kurzumtriebsplantagen anzusehen sind, da hier einjährige Kulturpflanzen, im Gegensatz zu KUP, meist nur geringe Erträge bringen (KNUR et al. 2008). Die Ackerflächen mit höherer Bodengüte sollten dagegen dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln vorbehalten bleiben. Um eine Einteilung der Ackerflächen anhand der Bodengüte vorzunehmen, konnte für Baden-Württemberg die digitale Flächenbilanz genutzt werden. Diese beinhaltet bereits eine Einteilung in Vorrangflächen und Grenzflächen für die Landwirtschaft, so dass diese für die Klassifizierung übernommen wurden. Für Deutschland konnte nur auf ältere analoge Karten, basierend auf der Reichsbodenschätzung, zurückgegriffen werden. Diese Karten sehen ebenfalls eine Einteilung nach der Bodengüte vor (siehe Kap. 4.1.2). Die Grenzwerte der drei Ackerzahlklassen unterscheiden sich demzufolge zwischen der Karte für Deutschland und Baden-Württemberg. Sie liegen jedoch sehr nah beieinander, so dass eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Allerdings sind bei den deutschlandweiten Daten nur die mittleren Ackerzahlen pro Gemeinde verfügbar, so dass hier keine flächenspezifischen Aussagen möglich sind. Für einen bundesweiten Überblick der Auswahl von KUP-Vorzugsflächen anhand der Ackerzahl genügt diese Datenbasis jedoch. Als Grenzwert für die Bodengüte, unterhalb derer die Fläche als Vorzugsfläche für KUP anzusehen ist, sofern eine gute Wasserverfügbarkeit gegeben ist, wurde die Ackerzahl 33 (BRD) bzw. 35 (BW) gewählt. Diese Einteilung erfolgte in Anlehnung an die digitale Flächenbilanz für Baden-Württemberg, welche Flächen mit einer AZ unter 35 als Grenz- bzw. Untergrenzfläche für die Landwirtschaft bezeichnen. Die Grenze, ab wann die Ertragskraft einer Fläche nicht mehr ausreicht, um sie mit herkömmlichen Kulturen noch rentabel bewirtschaften zu können, kann allerdings sehr schwanken. So ist bei hohen Erlösen auch eine Fläche mit niedriger Ackerzahl eventuell noch ökonomisch rentabel. Je nach Entwicklung der Erzeugerpreise für einjährige Kulturen, dem Bedarf an Nahrungs- und Futtermitteln, politischen Vorgaben und einigen weiteren Faktoren kann die Definition, welche Flächen für die Anlage von KUP vorrangig genutzt werden sollten, unterschiedlich ausfallen. Die durchgeführte Klassifizierung von Ackerflächen anhand der Bodengüte und Wasserverfügbarkeit stellt somit nur eine mögliche Vorgehensweise bei der Auswahl von KUP-Vorrangflächen dar.

Bei der ökologischen Potentialabschätzung wurde erfasst, inwieweit naturschutzfachliche Vorgaben das Flächenpotential von Kurzumtriebsplantagen auf Dauergrünland einschränken. Da aufgrund ihrer längeren Standzeit, der höheren Strukturvielfalt und der extensiven Bewirtschaftung Kurzumtriebsplantagen in der Regel naturschutzfachlich hochwertiger als intensiv genutzte Ackerflächen sind (SCHÖNE 2008), wurden die Ackerflächen nicht in die ökologische Potentialabschätzung miteinbezogen. Einschränkungen für den Anbau von Kurzumtriebsgehölzen auf Ackerflächen können sich dennoch aus landschaftsökologischer und naturschutzfachlicher Sicht ergeben. Dies kann z. B. durch Beeinträchtigungen von KUP auf das Landschaftsbild, den Grundwasserschutz oder den Vogelschutz in Offenlandgebieten bedingt sein und muss vor der Anlage von KUP auf Ackerflächen im Einzelfall vor Ort mit berücksichtigt werden. Dauergrünland hat gegenüber dem Ackerland jedoch meist einen sehr hohen naturschutzfachlichen Wert und ist daher häufig mit einem Schutzgebietsstatus belegt. In diesen Schutzgebieten kann die Anlage von KUP den jeweiligen Schutzzweck beeinträchtigen und dadurch im Einzelfall eine Ausschlusswirkung für die Anlage und die Bewirtschaftung von KUP bewirken (BfN 2010). Dadurch schränken die Schutzgebietsflächen die Nutzung von Dauergrünlandflächen für KUP ein und wurden infolgedessen bei der ökologischen Potentialabschätzung mit berücksichtigt (siehe Kap. 4.1.3). Dazu wurden die aktuellen Schutzgebietskarten des Bundesamts für Naturschutz (BfN) mit den Dauergrünlandflächen verschnitten. Für Baden-Württemberg wurden zudem die Wasserschutzgebiete mit einbezogen, da hier ebenfalls ein Umbruchverbot für Dauergrünland gilt. Bundesweite Karten über die Lage der Wasserschutzgebiete sind jedoch nicht verfügbar, weshalb diese Einschränkung bei der Potentialabschätzung für Deutschland nicht berücksichtigt werden konnte. Dadurch ergeben sich entsprechend Unterschiede bei der Interpretation der bundes- und landesweiten Ergebnisse.

Das Bundesamt für Naturschutz wie auch der Naturschutzbund Deutschland fordern jedoch auch außerhalb der Schutzgebiete, dass auf artenreichem Dauergrünland keine KUP angelegt werden (NABU 2008; BfN 2010). Eine Abgrenzung von artenreichem und weniger artenreichem Dauergrünland anhand digitaler bundesweiter Daten ist allerdings nicht möglich, weshalb nur Einschränkungen durch ausgewiesene Schutzgebiete auf das KUP-Potential berücksichtigt wurden. Das unter umfassend interpretierten ökologischen Aspekten real verfügbare KUP-Potential auf Dauergrünland weicht dementsprechend von den Ergebnissen der Potentialabschätzung nach unten ab. Zudem wird das Potential maßgeblich durch die Grünlandumbruchsregelung nach der EG-Verordnung Nr. 1782/2003 eingeschränkt, wie es im Kapitel 4 erläutert ist. In Baden-Württemberg ist zudem mit der Novellierung des Landwirtschafts- und Landeskulturgesetzes eine Neuanlage von KUP auf Dauergrünland

aufgrund des generellen Umbruchsverbotes nicht mehr möglich. Auch unter Berücksichtigung der wenigen Ausnahmeregelungen ist damit kaum noch KUP-Potential auf Dauergrünland in Baden-Württemberg vorhanden. Die vorliegende Abschätzung kann somit nur einen Überblick über die Einschränkung durch ausgewiesene Schutzgebiete wiedergeben. Die tatsächliche mögliche Nutzung einer Dauergrünlandfläche für die Kurzumtriebsbewirtschaftung muss jedoch immer im Einzelfall mit den zuständigen Behörden vor Ort überprüft werden und dürfte in der Regel eher schwierig durchsetzbar sein.

7.1.4 Wirtschaftliche Potentialabschätzung

Die Wirtschaftlichkeit einer Kurzumtriebsfläche hängt von vielen Faktoren ab. Die Wesentlichsten davon wurden im Kapitel 5 erläutert. Des Weiteren wurde aufgezeigt, ab welchem durchschnittlichen Ertrag eine Kurzumtriebsfläche mit gängigen Bewirtschaftungsmethoden wirtschaftlich betrieben werden kann. Aufgrund der vielen Einflussgrößen, regionalen und flächenspezifischen Unterschieden, ist eine allgemein gültige Angabe über einen wirtschaftlich notwendigen Mindestzuwachs für KUP jedoch nicht möglich. Da in der Literatur dennoch häufig ähnliche Werte angegeben werden, wird hier ein durchschnittlicher wirtschaftlicher Schwellenwert von mindestens $8 t_{\text{atro}}$ Zuwachs pro Jahr und Hektar angenommen (siehe Kap. 5.2.2). Zur Validierung und Differenzierung dieses Wertes sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Unter Beachtung dieses ökonomisch notwendigen Mindestzuwachses kann unterstellt werden, dass alle im Kapitel 3 als sehr günstig und günstig ausgewiesenen Flächen in Anbetracht ihrer standörtlichen Ertragseigenschaften wirtschaftlich rentabel bewirtschaftet werden könnten. Aussagen zu Einzelflächen können jedoch anhand der Potentialabschätzung nicht abgeleitet werden, da weitere regionale und flächenspezifische Faktoren, wie zum Beispiel die Verfügbarkeit von Erntemaschinen, Hackschnitzelpreise oder die Flächengröße, die Wirtschaftlichkeit flächenindividuell unterschiedlich stark beeinflussen können. Auch können Flächen, die aufgrund ihrer Einstufung in die mittlere Standortklasse in den Ergebnissen als nur bedingt geeignet ausgewiesen sind, trotz des meist geringeren Zuwachses, bei zum Beispiel hohen Hackschnitzelpreisen, wirtschaftlich rentabel sein. Der Bezug auf die sehr günstigen und günstigen KUP-Standortklassen stellt somit nur eine Annäherung an das tatsächliche wirtschaftliche KUP-Potential in Deutschland und Baden-Württemberg dar.

7.1.5 Potentialabschätzung bis 2100 unter Berücksichtigung des Klimawandels

In der Potentialabschätzung in Kapitel 6 wird erfasst, wie sich das standörtliche KUP-Potential auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland unter Berücksichtigung des Klimawandels in der Zukunft darstellen könnte. Dafür wurden die, mittels des WETTREG-Modells und auf Basis des IPCC Szenarios A1B erstellten, Niederschlags- und Lufttemperaturänderungen des DWD bis 2100 genutzt. Daten weiterer Klimamodelle und IPCC Szenarien wurden bei der Abschätzung nicht verwendet. Dementsprechend haben die Ergebnisse der KUP-Potentialabschätzung bis 2100 nur eine eingeschränkte Aussagefähigkeit, da die zukünftige Entwicklung des Klimas nicht prognostiziert, sondern lediglich mögliche Verläufe modelliert werden können. Sie stellt folglich nur eine denkbare Version der möglichen Änderungen der KUP-Potentiale auf Basis der WETTREG-Daten und der aktuellen standörtlichen Potentialabschätzung dar. Für eine breitere Abschätzung müssten mehrere Klimamodelle und Szenarien mit einbezogen werden. Da überdies keine Modelle zu Änderungen der Klimatischen Wasserbilanz, sondern nur Modellierungen der Niederschläge und der Lufttemperaturen verfügbar sind, musste für die Abschätzung der Wasserverfügbarkeit auf Niederschlagsdaten zurückgegriffen werden (siehe Kap. 6.2.1). Dadurch konnte eine mögliche Veränderung der potentiellen Verdunstung in den nächsten Jahrzehnten nicht mit eingebunden werden. Da davon auszugehen ist, dass diese mit zunehmenden Lufttemperaturen ebenfalls ansteigen wird, kann die Wasserverfügbarkeit noch weiter abnehmen als in der Abbildung 42 (Kap. 6.3.2) dargestellt ist. Dadurch könnten weitere landwirtschaftliche Flächen in der Zukunft für den Kurzumtrieb nicht mehr geeignet sein und sich das Flächenpotential weiter verringern, als es in dem vorliegenden Szenario der KUP-Potentialabschätzung bis 2100 aufgezeigt wird.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

7.2.1 Vergleich der Ergebnisse zwischen Bundes-, Landes- und Gemeindeebene

Die vorliegende Potentialabschätzung wurde auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene durchgeführt, um zum einen die Potentiale für die jeweilige Ebene detaillierter abschätzen zu können und um zum anderen die Genauigkeit der Abschätzung vergleichen zu können. Für alle Ebenen einheitlich wurden dabei die langjährigen Mittelwerte der Klimatischen Wasserbilanz und der Lufttemperatur des DWD genutzt, da keine höher aufgelösten Daten zur Verfügung standen. Der Einbezug der Klimatischen Wasserbilanz und der Lufttemperatur zur Erstellung der KUP-Standortsklassen basiert somit bei allen drei Ebenen auf der gleichen Datengrundlage. Unterschiede bei den KUP-Standortsklassen zwischen den Betrachtungsebenen ergeben sich jedoch bei der Bestimmung der Wasserverfügbarkeit. Die nutzbare Feldkapazität wurde hierfür aus verschiedenen Bodenkarten (BÜK 1000N2.3, BÜK 200, BK 50) abgeleitet. Des Weiteren wurden die Zu- und Abflüsse des Bodenwassers anhand unterschiedlich aufgelöster digitaler Geländemodelle (SRTM 90m, DGM 25m & 5m) abgeschätzt, wie es in Kapitel 3.1.5 erläutert ist. Somit war für die drei Ebenen eine unterschiedlich differenzierte Darstellung der Bodenwasserhaushalte möglich. Auch die Ermittlung der vernässenden und staunassen Standorte, sowie der Flächen mit Grundwasseranschluss, kann zwischen den drei Ebenen variieren, da die Angaben in den Bodenkarten hierzu unterschiedlich sind. Um die Unterschiede bei den Ergebnissen der verschiedenen Potentialabschätzungen aufzeigen zu können, werden die prozentualen Anteile der KUP-Standortsklassen auf den sich überschneidenden Flächeneinheiten in Tabelle 26 verglichen.

Tab. 26: Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg im Vergleich zwischen der Abschätzung auf Bundes- und Landesebene

Baden-Württemberg	Ackerland		Dauergrünland	
	Bundes-	Landes-	Bundes-	Landes-
ungeeignet	5 %	5 %	13 %	13 %
ungünstig	26 %	27 %	11 %	19 %
mittel	56 %	43 %	29 %	26 %
günstig	12 %	19 %	39 %	30 %
sehr günstig	1 %	6 %	8 %	12 %

Vergleicht man die Ergebnisse der bundes- und landesweiten Potentialabschätzung für Baden-Württemberg, so zeigt sich eine ähnliche Verteilung der KUP-Standortsklassen. Die größten Unterschiede sind bei den KUP-Standortsklassen „sehr günstig“ und „günstig“ vorzufinden. Deren Anteile sind bei der detaillierteren Abschätzung für Baden-Württemberg etwas höher als bei der bundesweiten Abschätzung. Eine Ausnahme bilden die günstigen Dauergrünlandflächen. Betrachtet man die Abbildungen 21 bis 24 im Kapitel 3.2 so zeigt sich, dass der Anteil der sehr günstigen Flächen vor allem im Oberrheintal zunimmt. Dies liegt vor allem an den genaueren Angaben zum Grundwasserflurabstand sowie der Erfassung kleinerer Flächeneinheiten der BÜK 200 gegenüber der BÜK 1000N2.3, da diese stark generalisiert ist (Mindestgröße einer Fläche = 4 km²).

Vergleicht man die Ergebnisse der Potentialabschätzung auf Gemeindeebene mit der auf Baden-Württembergischer Ebene (siehe Tab. 27 & 28), so zeigt sich für die Gemeinden Zaberfeld und Bingen eine ähnliche Verteilung der KUP-Standortsklassen auf Landes- und auf Gemeindeebene. Die geringen Unterschiede sind dabei vor allem durch die genauere Differenzierung der Bodenkundlichen Kartiereinheiten bei der BK 50 gegenüber der BÜK 200 bedingt. Größere Unterschiede zwischen den beiden Abschätzungen sind dagegen bei den Gemeinden Hügelsheim und Sankt Peter vorzufinden. In Hügelsheim liegt das daran, dass bei der Potentialabschätzung auf Gemeindeebene auf Grundwasserflurabstandskarten der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) zugegriffen werden konnte. Diese Karten liegen jedoch nur für wenige Gebiete Baden-Württembergs vor, weshalb sie bei der landesweiten Potentialabschätzung nicht verwendet werden konnten. Durch die Lage von Hügelsheim nahe am Rhein haben mehr Ackerflächen einen Grundwasserflurabstand von unter zwei Metern als aus der BÜK 200 zu entnehmen ist. Dadurch liegt der Anteil von sehr günstigen Ackerflächen für KUP in Hügelsheim bei der Gemeindepotentialabschätzung deutlich höher, als die landesweite Potentialabschätzung für Hügelsheim wiedergibt. Beim Dauergrünland in Hügelsheim werden dagegen die nach der BÜK 200 als vernässend eingestuft Standorte in der BK 50 für Hügelsheim als staunass eingestuft, weshalb die Anteile der sehr günstigen und günstigen KUP-Standortsklasse auf Gemeindeebene niedriger sind. Bei Sankt Peter sind die Unterschiede der prozentualen Anteile der KUP-Standortsklassen auf Ackerland zwischen den Potentialabschätzungen auf Landes- und Gemeindeebene (siehe Tabelle 27) ebenfalls auf unterschiedliche Angaben zu den staunassen Standorten zwischen den Bodenkarten BÜK 200 und BK 50 zurückzuführen.

Tab. 27: Vergleich der Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Ackerflächen der Gemeinden zwischen der Potentialabschätzung auf Landes- und Gemeindeebene

Gemeinde	Zaberfeld		Hügelsheim		St. Peter		Bingen	
	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-
ungeeignet	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	8 %	8 %
ungünstig	12 %	25 %	0 %	9 %	65 %	0 %	47 %	27 %
mittel	78 %	68 %	62 %	42 %	18 %	0 %	44 %	63 %
günstig	8 %	6 %	35 %	6 %	16 %	100 %	1 %	2 %
sehr günstig	0 %	0 %	3 %	43 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tab. 28: Vergleich der Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Dauergrünlandflächen der Gemeinden zwischen der Potentialabschätzung auf Landes- und Gemeindeebene

Gemeinde	Zaberfeld		Hügelsheim		St. Peter		Bingen	
	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-	Landes-	Gem.-
ungeeignet	1 %	2 %	0 %	0 %	20 %	17 %	13 %	14 %
ungünstig	11 %	28 %	0 %	34 %	19 %	3 %	36 %	23 %
mittel	56 %	53 %	2 %	33 %	2 %	5 %	31 %	46 %
günstig	29 %	17 %	36 %	1 %	56 %	71 %	19 %	17 %
sehr günstig	3 %	1 %	63 %	31 %	3 %	3 %	0 %	0 %

Der Vergleich der Ergebnisse der Potentialabschätzungen auf den drei Ebenen zeigt, dass die bundesweite Potentialabschätzung einen guten Überblick über die standörtlichen KUP-Potentiale der einzelnen Bundesländer wiedergibt. Eine detailliertere kleinmaßstäbliche Aussage zu den KUP-Potentialen, zum Beispiel auf Landkreisebene, ist auf Grundlage der Bundesdaten jedoch nicht zweckmäßig wegen der starken Generalisierung der BÜK 1000N2.3. Hierfür liefert die auf Landesebene durchgeführte Abschätzung der KUP-Potentiale auf Basis der BÜK 200 eine deutlich feinere Darstellung der möglichen standörtlichen Eignung der Acker- und Dauergrünlandflächen für KUP. Aber auch hier zeigen sich Schwächen im Vergleich mit der noch detaillierteren Potentialabschätzung auf Gemeindeebene. Wie erläutert, kommt es insbesondere bei der Klassifizierung der hydromorphen Böden zu deutlichen Unterschieden, was zu einer voneinander abweichenden Einschätzung der standörtlichen Eignung für KUP führen kann. Die standörtliche Bewertung von Einzelflächen und kleinräumiger Gebiete für die Anlage von KUP ist dementsprechend mittels der Potentialabschätzung auf Landesebene nicht sinnvoll.

Bei Einbeziehung der technischen, ethischen und ökologischen Restriktionen ergibt sich dagegen nur ein geringer Unterschied zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Ebenen. Beim

Ackerland decken sich die Anteile der KUP-Nutzungsklassen in Baden-Württemberg in der bundesweiten und in der landesweiten Potentialabschätzung (siehe Tab. 29). Es wurden hierbei zwar unterschiedliche Daten für die Klassifizierung der Ackerzahl und der Berechnung der Hangneigung genutzt, bei der prozentualen Verteilung der KUP-Nutzungsklassen scheint dies jedoch kaum eine Rolle zu spielen. Bei Betrachtung der Abbildungen 30 und 32 in Kapitel 4.2 sieht man ebenfalls, dass die Verteilung der KUP-Nutzungsklassen ähnlich ist. Die Potentialabschätzung auf Landesebene stellt die Eignung der Ackerflächen in Baden-Württemberg jedoch deutlich detaillierter dar. Das gleiche gilt für die Dauergrünlandflächen. Hier ergibt sich jedoch auch eine Abweichung der prozentualen Anteile der KUP-Nutzungsklassen zwischen der Potentialabschätzung auf Bundes- und Landesebene. Diese erklärt sich dadurch, dass bei der Abschätzung für Baden-Württemberg die Wasserschutzgebiete mit einbezogen wurden, welche für die bundesweite Abschätzung nicht verfügbar waren. In Baden-Württemberg liegen etwa ein Viertel der Dauergrünlandflächen in Wasserschutzgebieten und etwa ein weiteres Viertel ist mit anderen Schutzgebieten (Natura 2000, Landschafts-, Naturschutzgebiet, etc.) belegt. Somit haben von den Schutzgebieten die Wasserschutzgebiete den flächenmäßig größten Einfluss bei der Einschränkung von Dauergrünlandflächen zur Nutzung von KUP. Dadurch fällt bei der landesweiten Potentialabschätzung ein deutlich höherer Anteil der Dauergrünlandflächen von Baden-Württemberg in die KUP-Nutzungsklasse „nicht geeignet“. Für die bundesweite Abschätzung bedeutet dies, dass die Einschränkung von Schutzgebieten auf Dauergrünlandflächen unterschätzt wird. Bei einer Berücksichtigung der Wasserschutzgebiete würden demzufolge deutlich mehr Flächen als nicht geeignet für KUP eingestuft werden. Die Ergebnisse wären dann vergleichbar mit denen auf Landesebene.

Tab. 29: Anteile der KUP-Nutzungsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg im Vergleich zwischen der Abschätzung auf Bundes- und Landesebene

Baden-Württemberg	Ackerland		Dauergrünland	
	Bundes-	Landes-	Bundes-	Landes-
gut geeignet	1 %	1 %	26 %	13 %
bedingt geeignet	69 %	69 %	48 %	40 %
nicht geeignet	31 %	31 %	27 %	47 %

Bei der Potentialabschätzung auf Landes- und Gemeindeebene wurde für die Berücksichtigung der technischen, ethischen und ökologischen Einschränkungen größtenteils die gleiche Datengrundlage verwendet. So wurde zur Klassifizierung der Ackerflächen anhand der Ackerzahl in den vier Gemeindegebieten, ebenfalls die digitale Flurbilanz von Baden-Württemberg verwendet. Auch für die Berücksichtigung der Schutzgebiete wurden bei den vier Gemeinden die

gleichen Daten genutzt wie bei der Potentialabschätzung für Baden-Württemberg. Lediglich bei der Einstufung der Flächen zur maschinellen Befahrbarkeit anhand der Hangneigung wurde auf unterschiedlich größer aufgelöste digitale Geländemodelle (DGM 25m & 5m) zurückgegriffen. Die Unterschiede bei der prozentualen Verteilung der KUP-Nutzungsklassen, zwischen der Potentialabschätzung auf Landes- und Gemeindeebene, ergeben sich daher im Wesentlichen durch die Unterschiede bei der Beurteilung der standörtlichen Eignung (siehe vorherige Tabellen 27 und 28).

7.2.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Potentialabschätzungen

In den Bundesländern Brandenburg und Sachsen wurden von verschiedenen Autoren ebenfalls Abschätzungen über das KUP-Potential auf landwirtschaftlichen Flächen durchgeführt, wie in Kapitel 2 näher beschrieben wird. Im Projekt DENDROM wurde dabei eine vergleichbare Vorgehensweise genutzt wie in der vorliegenden Arbeit. Darin wird in verschiedenen Szenarien dargestellt, wie hoch das KUP-Flächenpotential auf Ackerflächen in Brandenburg eingeschätzt werden kann. Im Energie Szenario wurden dabei jene Ackerflächen selektiert, die ein Transpirationswasserangebot von mindestens 500 mm und eine Ackerzahl von unter 35 aufweisen. Diesen Kriterien entsprechen nach DENDROM etwa 34 % der Gesamtackerfläche in Brandenburg, was einem Flächenpotential von ca. 350.000 Hektar ergibt (KNUR et al. 2008). Die in der vorliegenden Arbeit im Kapitel 4 durchgeführte Selektion der gut wasserversorgten Ackerflächen mit einer Ackerzahl von unter 35 kommt in Brandenburg zu einem vergleichbaren Ergebnis von 27 %, die als gut geeignet für den Kurzumtrieb eingestuft werden. Die Differenzen ergeben sich dabei insbesondere durch die verschiedenen verwendeten Boden- und Klimadaten sowie einer unterschiedlichen Definition der Wasserverfügbarkeit. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt dennoch, dass die vorliegende Potentialabschätzung einen guten Überblick über die KUP-Flächenpotentiale auf Bundesebene geben kann.

Ein Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit weiteren Potentialabschätzungen, die in Kapitel 2 genannt wurden, ist nur bedingt sinnvoll, da hier entweder andere Bezugsräume als in dieser Arbeit verwendet wurden oder keine Flächenpotentiale dargestellt wurden. So beziehen sich die Potentialabschätzungen von PETZOLD et al. (2006) und LANDGRAF et al. (2009) auf Bezugsräume (Region Freiberg und Südbrandenburg), die in der vorliegenden Arbeit nicht abgegrenzt wurden. Die Arbeiten von ALI (2007, 2009) und KOLLAS et al. (2009) geben wiederum an, wie hoch die Zuwächse von KUP in Abhängigkeit von verschiedenen Standortfaktoren auf Ackerflächen sein können. Dabei werden jedoch größtenteils andere

Standortparameter und Umtriebszeiten als in dieser Arbeit verwendet, weshalb die Ergebnisse nicht vergleichbar sind.

7.2.3 Sensitivitätsanalyse

Standörtliches Potential: Wie in Kapitel 3 erläutert, wird in der vorliegenden Arbeit der durchschnittliche Trockenmassezuwachs einer Kurzumtriebsfläche pro Jahr und Hektar in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit dargestellt. Das Modell basiert dabei auf der Korrelation zwischen dem Höhenzuwachs und der Wasserverfügbarkeit von mehreren erfassten Pappel- und Weidenflächen. Wie in den Abbildungen 9 und 10 im Kapitel 3.1.2.4 ersichtlich ist, wurde anhand dieser Korrelation jeweils ein linearer Trend aufgezeigt, der die durchschnittliche Bestandesmittelhöhe in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit aufzeigt. Wie die Streuung der gemessenen Werte zeigt, können die tatsächlichen Bestandesmittelhöhen deutlich von der Trendlinie abweichen. Dementsprechend können sich auch die tatsächlichen Trockenmassezuwächse einer Kurzumtriebsfläche deutlich von den durchschnittlichen Werten des Ertragsmodells unterscheiden. So können die Zuwächse einer KUP bei guter Pflege und sonstigen optimalen standörtlichen Gegebenheiten um einiges höher ausfallen, wie die einzelnen Punkte der Abbildungen 9 und 10 (Kapitel 3.1.2.4) wiedergeben. Die maximal erzielbaren Biomassepotentiale liegen demzufolge höher als die in der Arbeit aufgezeigten. Eine Möglichkeit dies darzustellen ist die Verwendung der Boundary-Line Methode. Dazu nutzt man jeweils die höchsten gemessenen Bestandesmittelhöhen, um die maximal erzielbaren Zuwächse in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit zu bestimmen. Legt man diese maximalen Bestandesmittelhöhen für die Berechnung der Trockenmassezuwächse pro Jahr und Hektar zugrunde, so ergeben sich schon bei einer Wasserverfügbarkeit ab etwa 50 mm Zuwächse bei der Pappel und Weide von über $10 t_{\text{atro}}$ pro Jahr und Hektar. Wie in der Abbildung 19 ersichtlich ist, ist eine Wasserverfügbarkeit von über 50 mm auf dem Grossteil der Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg gegeben. Berücksichtigt man des Weiteren einen geringeren Zuwachs von bis zu 25 %, wie er von FEGER et al. (2009) auf den Flächen mit einer Jahresmitteltemperatur zwischen 6,5 und 8,0° C gegenüber denen mit einer Temperatur von über 8,0° C angegeben wird, so wäre unter den erläuterten Annahmen auf etwa 80 % der Acker- und 70 % der Dauergrünlandflächen noch ein Zuwachs von über $10 t_{\text{atro}}$ pro Jahr und Hektar theoretisch möglich. Da diese Annahme jedoch auf wenigen gemessenen Maximalwerten beruht, die zudem gewissen Messunsicherheiten bei der Bestimmung der Wasserverfügbarkeit unterliegen, sind diese Werte als nicht realistisch anzusehen. Sie zeigen

allerdings die Bandbreite auf, in denen die tatsächlichen KUP-Biomassepotentiale auf den Acker- und Dauergrünlandflächen schwanken können.

Technisches Potential: Wie in Kapitel 4.1.1 erläutert, wurde eine Einschränkung der maschinellen Befahrbarkeit von landwirtschaftlichen Flächen durch Grenzwerte für die Hangneigung von 10 und 20 % berücksichtigt. Diese Werte wurden der zitierten Literatur entnommen. Durch technische Innovationen an den Maschinen und bei geeigneten Bodenverhältnissen (z.B. Frost) können gegebenenfalls aber auch steilere Flächen maschinell beerntet werden. Dadurch würde sich die Einschränkung der Kurzumtriebsbewirtschaftung durch die Hangneigung verringern und sich folglich das Flächenpotential gegenüber den, im Kapitel 4.2 in den Tabellen 17 und 19, angegebenen Werten erhöhen. Den möglichen Effekt einer Erhöhung der zulässigen Grenzwerte der Hangneigung auf 15 bzw. 30 % stellt die Tabelle 30 dar.

Tab. 30: Anteile der Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg bei Grenzwerten der Hangneigung von 15 und 30 %.

Hangneigung	Deutschland		Baden-Württemberg	
	Acker	Grünland	Acker	Grünland
< 15 %	96,9 %	91,6 %	94,9 %	74,0 %
15 - 30 %	2,8 %	7,5 %	4,7 %	18,5 %
> 30 %	0,2 %	0,9 %	0,4 %	7,6 %

Ethisches Potential: Um die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln auf Ackerflächen in Deutschland und Baden-Württemberg nicht zu beeinträchtigen, wurden im Rahmen dieser Arbeit landwirtschaftliche Grenzertragsflächen selektiert, welche sich nur bedingt für diese Nutzung eignen, jedoch gut für den Kurzumtrieb geeignet sind. Dies erfolgte anhand einer Klassifizierung und Verschneidung der Ackerzahlkarten mit den KUP-Standortsklassen, wie im Kapitel 4.1.2 dargestellt ist. Als Vorrangflächen für KUP wurden dabei jene Ackerflächen definiert, die eine Ackerzahl unter 33 (BRD) bzw. 35 (BW) und gleichzeitig die KUP-Standortsklasse sehr günstig oder günstig aufweisen. Setzt man als Grenzwert eine höhere oder niedrigere Ackerzahl an, würde sich das Flächenpotential dementsprechend erhöhen oder verringern. Da jedoch für Deutschland die analoge Datengrundlage (Ackerzahlkarte) nur die drei benutzten Klassen der Ackerzahlen, nicht aber eine feinere Unterteilung enthält, ist eine Darstellung der Unterschiede der Flächenpotentiale durch Verschieben der Grenzwerte der Ackerzahl nicht möglich. Für Baden-Württemberg ist bei der hier vorliegenden und verwendeten digitalen Flächenbilanz eine weitere Unterteilung der Grenzflächen in Untergrenzflächen, mit einer Ackerzahl von unter 25,

vorhanden (KREBS 2008). Bezieht man nur diese Untergrenzflächen, sofern sie eine sehr günstige oder günstige standörtliche Eignung für KUP vorweisen, ein, dann reduziert sich das KUP-Flächenpotential in Baden-Württemberg von 0,6 auf 0,17 % der Ackerfläche. Nutzt man jedoch andererseits die Vorrangflächen II des Ackerlands, die eine Ackerzahl zwischen 35 und 59 aufweisen, erhöht sich das Flächenpotential deutlich. Es ließe sich ebenfalls erheblich erhöhen, wenn man Flächen mit einer mittleren KUP-Standortsklasse ins Flächenpotential einbezieht, wie es im vorherigen Abschnitt „standörtliches Potential“ erläutert wurde. Die einzelnen Ergebnisse der Modellberechnungen können den Anhängen II und IV entnommen werden.

Ökologisches Potential: Das ökologische Potential berücksichtigt die Einschränkungen auf Dauergrünlandflächen durch bestehende Schutzgebiete. Auf diesen, in Kapitel 4 als Ausschlußflächen ausgewiesenen Flächen ist ein genehmigter Umbruch von Dauergrünland sehr unwahrscheinlich. Auf den Flächen, der Klasse „bedingt möglich“ kann, je nach der örtlich geltenden Schutzgebietsverordnung, ein Umbruch eventuell möglich sein. Dies hängt von den örtlichen Gegebenheiten und Bestimmungen ab und muss im Einzelfall von den zuständigen Behörden vor Ort geprüft werden. Das gleiche gilt auch für Dauergrünlandflächen, die nicht im Schutzgebiet liegen, weshalb eine pauschale bundes- oder landesweite Aussage welche Dauergrünlandflächen für KUP genutzt werden können, nicht möglich ist. Des Weiteren ist durch die EU-Verordnung Nr. 1782/2003 zum Dauergrünlandumbruch sowie landesspezifischer Regelungen der tatsächlich nutzbare Anteil von Dauergrünland für KUP regional sehr unterschiedlich. Eine Darstellung minimaler und maximaler KUP-Flächenpotentiale anhand der Schutzgebiete ist somit aufgrund der aufgeführten stärkeren Restriktionen nicht zweckmäßig.

Wirtschaftliches Potential: Wie im Kapitel 5 aufgezeigt wird, hängt die Wirtschaftlichkeit einer KUP von vielen Faktoren ab. Ein wesentlicher ist dabei der Biomassezuwachs. Dieser muss in der Regel bei über 8-10 t_{atro} pro Jahr und Hektar liegen, damit eine positive Annuität erzielt werden kann (siehe Kapitel 5.2.2). Den Ertragsmodellierungen in dieser Arbeit zufolge werden Zuwächse in dieser Höhe im Durchschnitt nur auf Standorten mit einer Wasserverfügbarkeit von über 200 mm erzielt. Bei guter Pflege, der Nutzung von ertragsstarken Sorten und sonstigen guten Standortbedingungen kann aber auch auf Flächen mit einer geringeren Wasserverfügbarkeit ein Zuwachs von über 10 t_{atro} pro Jahr und Hektar erreicht werden, wie es im vorherigen Abschnitt „standörtliches Potential“ erläutert wurde. Folglich könnten auch Flächen der mittleren KUP-Standortsklasse, bei entsprechenden Rahmenbedingungen, wirtschaftlich rentabel bewirtschaftet werden. Addiert man diese Flächen mit einer mittleren standörtlichen Eignung zum Flächenpotential hinzu, so vergrößert sich, auch unter

Berücksichtigung der Einschränkungen durch die Flächenkonkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie der Hangneigung, das Potential erheblich. Deutschlandweit erhöht es sich von 5,7 auf 11,7 Prozent und in Baden-Württemberg von 0,6 auf 2,7 Prozent der Ackerflächen. Ebenfalls erhöht sich das Flächenpotential deutlich, wenn auch Flächen mit einer besseren Bodengüte, das heißt nicht nur die landwirtschaftlichen Grenzertragsflächen, für die Anlage von KUP genutzt würden. Die Kalkulationen hierzu sind in den Anhängen II bis V dargestellt. Da die Wirtschaftlichkeit von KUP, wie erwähnt, jedoch von vielen Faktoren abhängt, die zudem lokal sehr unterschiedlich sein können, ist eine summarische Abgrenzung des wirtschaftlichen Flächenpotentials nicht möglich. Die durchgeführte Abschätzung anhand der Ertragsmodellierungen kann dementsprechend nur Annäherungswerte an das tatsächliche wirtschaftliche Potential liefern.

Potentialabschätzung bis 2100: Die Abschätzung des KUP-Potentials bis ins Jahr 2100 basiert auf den WETTREG Modellierungen der Niederschlags- und Temperaturänderungen des DWD. Da hierfür die Mittelwerte des langjährigen Niederschlags in der Vegetationsperiode (Mai-Oktober) benötigt wurden, konnte auf keine Daten anderer Klimamodelle und Szenarien zurückgegriffen werden. Dementsprechend ist eine Grenzbetrachtung der Ergebnisse anhand weiterer Klimadaten nicht möglich. Es könnten lediglich die Klassifizierungen der Wasserverfügbarkeit und der Lufttemperatur, entsprechend der gegenwärtigen standörtlichen Potentialabschätzung in Kapitel 3, verändert werden. Dies wurde im Rahmen der Arbeit jedoch nicht durchgeführt.

7.2.4 Aussagefähigkeit der Ergebnisse

Wie in den vorherigen Kapiteln aufgezeigt wurde, kann die vorliegende Abschätzung unter Berücksichtigung der verwendeten Parameter, nur einen Überblick über die möglichen Potentiale von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und Baden-Württemberg geben. Aufgrund der Generalisierung und Interpolation der Boden- und Klimadaten, sowie der Klassifizierung der Daten, können die Ergebnisse deshalb nur Annäherungswerte an die tatsächlich realisierbaren Potentiale auf Acker- und Dauergrünlandflächen darstellen. Ob eine bestimmte Fläche für die Bewirtschaftung von Pappeln oder Weiden im Kurzumtrieb geeignet ist, kann nicht aus der vorliegenden Potentialabschätzung abgeleitet werden, sondern muss jeweils im Einzelfall vor Ort überprüft werden. So ergaben zum Beispiel die durchgeführten Zuwachsmessungen auf einer Pappel-Kurzumtriebsplantage bei Bingen einen durchschnittlichen Zuwachs von ca. $7 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ im ersten dreijährigen Umtrieb bei der Sorte Max 4. Die Potentialabschätzung für die Gemeinde

Bingen stellt diese ehemalige Ackerfläche jedoch als standörtlich ungünstig dar. Der Abschätzung nach würde das durchschnittliche Ertragspotential somit bei nur etwa $2,4 t_{\text{atro}}/\text{ha} \cdot \text{a}$ für den ersten dreijährigen Umtrieb liegen. Die Unterschiede ergeben sich dabei insbesondere durch die Einstufung der Wasserverfügbarkeit. So gibt die Bodenkarte (BK 50), aufgrund der starken Heterogenität der Fläche, eine mittlere nFK von 130 mm an und das Raster der Klimatischen Wasserbilanz des DWD einen Wert von 55 mm. Dies ergibt eine Wasserverfügbarkeit von 185 mm. Aufgrund der langjährigen durchschnittlichen Jahrestemperatur von $7,2^{\circ}\text{C}$ fällt die Fläche entsprechend der Tabelle 9 in Kapitel 3.1.4 in die KUP-Standortsklasse „ungünstig“. Die tatsächlich vor Ort erhobene mittlere Wasserverfügbarkeit für den ersten dreijährigen Umtrieb liegt jedoch bei ca. 240 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur der drei Jahre lag bei $8,1^{\circ}\text{C}$. Das Beispiel zeigt, dass insbesondere bei großen Abweichungen der tatsächlichen Wetter-Messwerte zu den langjährigen Mittelwerten oder bei sehr heterogenen Böden erhebliche Unterschiede zwischen der Einstufung der Abschätzung und den real erzielbaren Zuwächsen liegen können.

Für eine regionale, landes- oder bundesweite Abschätzung und Darstellung der KUP-Potentiale bietet die Arbeit jedoch eine gute Grundlage. Wie auch die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Potentialabschätzung auf der Bundes-, der Landes- und der Gemeindeebene zeigt, sind die Anteile und die geographische Verteilung der KUP-Standortsklassen vergleichbar. Somit ergibt sich für jede Ebene ein guter Überblick, welche landwirtschaftlichen Gebiete sich standörtlich und unter Berücksichtigung der weiteren einbezogenen Restriktionen für KUP eignen. Die Herleitung der erzielbaren Trockenmassezuwächse über das erstellte Ertragsmodell liefert für Baden-Württemberg ebenfalls plausible Ergebnisse. Da das Modell hauptsächlich auf Erhebungen in KUP in Südwestdeutschland beruht, ist seine Aussagefähigkeit für eine bundesweite Abschätzung jedoch eingeschränkt. Des Weiteren gibt es, in der Potentialabschätzung nicht berücksichtigte, positive und negative Aspekte, die das tatsächliche KUP-Potential ebenfalls beeinflussen können. Einige davon wurden in der Diplomarbeit von Arnold Renner (RENNER 2008) anhand einer Umfrage bei 35 Kommunen und 36 landwirtschaftlichen Betrieben in Baden-Württemberg herausgearbeitet. Als wichtigste Hinderungsgründe nennt er bei Landwirten die fehlende Fachkenntnis und die ungesicherte Rentabilität. Ein gesicherter Absatz des Erntegutes sowie höhere Deckungsbeiträge als bei konventionellen Kulturen werden entsprechend als häufigste notwendige Voraussetzung genannt. Dieselben Gründe, sowie eine lange Flächenbindung, geringe Anpassungsflexibilität an die Marktentwicklung sowie hohe Kosten für die Anlage, Ernte und Flächenrückwandlung nennt auch WAGNER (2009) als Hemmnisse für die Etablierung von KUP. Dementsprechend zeigt sich,

dass für die Akteure und Entscheidungsträger die Wirtschaftlichkeit den größten Einfluss hat und sich KUP im größeren Umfang nur auf Flächen etablieren werden, auf denen sie wirtschaftlich rentabel bzw. konkurrenzfähig sind. Die Arbeit von RENNER (2008), wie auch eine Umfrage von WEINREICH et al. (2012) bei 135 Landwirten, zeigen aber auch, dass Landwirte KUP vorwiegend auf Flächen anlegen würden, die für die konventionelle landwirtschaftliche Nutzung problematisch sind. Dies sind hauptsächlich vernässende Standorte, Böden mit geringer Bodengüte, kleinparzellige und weit vom Hof entfernt liegende Flächen. Welche Flächen als Grenzertragsstandorte angesehen werden können und welche nicht, kann jedoch örtlich wie auch zeitlich stark variieren. So können auf der einen Seite durch einen wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln die Erzeugerpreise steigen, auf der anderen Seite können aber auch durch steigende Rohöl- und Düngemittelpreise die Bewirtschaftungskosten ansteigen. Somit wird ein Landwirt immer im Einzelfall, unter Beachtung der aktuellen Rahmenbedingungen, abwägen, in welcher Art er seine Flächen nutzt. Dennoch stellt die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Selektion von Ackerflächen mit geringer Bodengüte aber mit guter Wasserverfügbarkeit einen guten Ansatz dar, wo mögliche Vorzugsstandorte für die Anlage von KUP in Deutschland und Baden-Württemberg gegeben sind.

Neben den dargestellten KUP-Potentialen auf Acker- und Dauergrünlandflächen gibt es noch weitere Flächen, die sich für die Anlage von KUP eignen könnten. Hierzu zählen insbesondere Bergbaufolgelandschaften, Rieselfelder, Müll- und Industriebalden (LANDGRAF & BÖCKER 2010) oder auch aufgegebenes militärisches Übungsgelände. Ebenso könnten teilweise die zu Bundesstrassen und Autobahnen zugehörigen Randflächen für KUP genutzt werden, wie Wissenschaftler der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft aufzeigen (FAL 2008). Über die Nutzung solcher Sonderstandorte könnte das Flächenpotential von KUP auf landwirtschaftlichen Flächen ergänzt werden, ohne dass dafür Flächen der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln entzogen werden. Inwieweit diese genannten Sonderstandorte tatsächlich zur Deckung des Energieholzbedarfs beitragen können, muss allerdings erst noch erfasst werden, da auch auf diesen Flächen Einschränkungen durch zum Beispiel den Naturschutz oder die Wirtschaftlichkeit gegeben sein können.

Das größte Flächenpotential für KUP ist aber wie erläutert auf den Ackerflächen vorhanden. Auch bei einer Beschränkung auf die Flächen, die in der vorliegenden Potentialabschätzung als „gut geeignet“ für KUP eingestuft worden sind, wären dies bundesweit knapp 680.000 Hektar Flächenpotential. Würde man diese Flächen für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb nutzen, so ließen sich darauf, unter Annahme der Ergebnisse des Ertragsmodells,

etwa 9,6 Millionen Tonnen Trockenmassenzuwachs jährlich erzielen. Bei einem Heizwert von etwa $4200 \text{ kWh/t}_{\text{atro}}$ bei einer Verbrennung im erntefrischen Zustand mit einem Wassergehalt von 55 % (TEXTOR et al. 2008) wären dies umgerechnet ca. 40.320 GWh Wärmeenergie. Das entspricht etwa 2,9 % des Gesamtwärmebedarfs in Deutschland bzw. etwa einem Viertel des 2010 bereitgestellten Beitrags der erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung in Deutschland (BMU 2011). Auch ließe sich damit knapp die Hälfte der von THRÄN et al. (2009) prognostizierten Deckungslücke von ca. 290 Petajoule zwischen Holzbedarf und Holzaufkommen im Jahr 2020 decken. Allerdings ist zu bedenken, dass ein Teil der knapp 680.000 Hektar Ackerfläche sicherlich schon gegenwärtig für den Anbau von Energiepflanzen genutzt wird. Somit könnte eine Nutzung der Flächen für KUP nicht im aufgeführten Maße zur Erhöhung der Energiebereitstellung beitragen, da die eventuell aktuell auf der Fläche erzeugte Bioenergie abgezogen werden muss. Die Nutzung dieser gut wasserversorgten Ackerflächen mit geringer Bodengüte für KUP anstelle von herkömmlichen einjährigen Energiepflanzen hätte jedoch einige ökologische als auch klimatologische Vorteile. Diese liegen zum Beispiel bei einer Wärmeenergieerzeugung über KUP gegenüber der Biogaseinspeisung auf der Basis von Mais, in der deutlich höheren $\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Vermeidungsleistung je Hektar und geringeren $\text{CO}_{2\text{aq}}$ -Vermeidungskosten bei KUP (WBA 2007). Weitere Vorteile von KUP gegenüber einjährigen Energiepflanzen können die ökologische und optische Aufwertung ausgeräumter Agrarlandschaften sowie die Reduktion von Bodenerosionen durch Wind und Wasser sein (WAGNER 2009).

Wie die Ergebnisse der Potentialabschätzung aber auch zeigen, sind die als „gut geeignet“ eingestuften Ackerflächen sehr ungleichmäßig in Deutschland verteilt. So haben die nördlichen Bundesländer teilweise recht hohe Potentiale, während die südlichen Bundesländer, wie zum Beispiel Baden-Württemberg, nur ein sehr geringes Potential für KUP aufweisen (siehe Abbildung 21, Kapitel 3.2.1). Nutzt man jedoch auch Ackerflächen mit einer höheren Bodengüte (Ackerzahl > 33) oder einer mittleren standörtlichen Eignung für die Anlage von KUP, so ergeben sich auch in den südlichen Bundesländern deutlich höhere Flächenpotentiale, da hier häufig hohe Bodengüten auf den Ackerflächen vorhanden sind (siehe Anhang II). Des Weiteren gibt es zum Beispiel in Baden-Württemberg über 22.000 landwirtschaftliche Betriebe, die neben der landwirtschaftlichen Fläche auch eigene Waldflächen bewirtschaften (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2007). Bei einer gemeinsamen Nutzung von Waldenergieholz und Hackschnitzeln aus KUP ließen sich gegebenenfalls auch weitere kleine private oder kommunale Holzheizkraftwerke versorgen und wirtschaftlich betreiben. Mit der Neuregelung des EEG zum 01.01.2012 steigt zudem die Vergütung von kleinen Biomasseanlagen

sowie für Holz aus „naturverträglichen“ KUP (WERNSMANN 2011). Auch dadurch wird die Anlage von kleinen dezentralen Biomassekraftwerken interessanter. Ergeben sich in diesem Kontext kürzere Transportwege, könnten auch kleine und vom Hof abgelegene Flächen, wie sie in Baden-Württemberg häufig zu finden sind, für die Kurzumtriebsbewirtschaftung genutzt werden. Inwieweit der Anbau von Kurzumtriebsgehölzen auf Ackerflächen in der Zukunft tatsächlich zunehmen wird, ist nach wie vor überwiegend von der ökonomischen Rentabilität von KUP sowie von der Verfügbarkeit von Erntemaschinen und einer gesicherten Abnahme des KUP-Erntematerials abhängig. Da der Bedarf an Energieholz in Zukunft, und damit verbunden auch die Preise für Hackschnitzel, sicherlich weiter steigen werden, könnte das Interesse an der Etablierung von KUP auf landwirtschaftlichen Flächen allerdings weiter zunehmen. Studien zeigen, dass bis 2020 insgesamt ca. 3,7 Millionen Hektar Ackerland zum Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen sollen (AEE 2009). Würde man davon knapp ein 1/5, sprich die in dieser Arbeit dargestellten 680.000 Hektar „gut geeigneter“ Flächen, für KUP nutzen, so ließe sich ein signifikanter Anteil des Energieholzbedarfs durch KUP decken. Auch im Vergleich zur aktuellen Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für nachwachsende Rohstoffe ist ein solches Flächenpotential denkbar. So wurden im Jahr 2011 schätzungsweise 2.282.500 ha für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt (FNR 2012). Davon fällt der Großteil auf den Anbau von Pflanzen für die Biogasproduktion (800.000 ha) und den Rapsanbau für Biodiesel und Pflanzenöl (910.000 ha). In Anbetracht der ökologischen Vorteile von KUP, gegenüber den einjährigen Energiepflanzen, wäre eine verstärkte Nutzung dieser Flächen zugunsten von KUP folgerichtig.

Das KUP-Potential auf Dauergrünlandflächen ist dagegen, wie erläutert durch die EG-Verordnung zum Dauergrünlandumbruch wie auch durch landesspezifische Regulierungen, deutlich eingeschränkt und nicht in dem Umfang realisierbar, wie es in dieser Arbeit unter den angeführten Restriktionen dargestellt ist. So gehen zwar Studien von einem Überschuss bei der Dauergrünlandfläche von ca. 25 % in Baden-Württemberg im Jahr 2015 aus (RÖSCH 2010). Durch die Neureglung des LLG ist jedoch ein weiterer Umbruch ausgeschlossen (LLG 2012). Dementsprechend werden auch bei einem steigenden Interesse an der Etablierung von KUP die Potentiale auf Dauergrünland, im Vergleich zum Ackerland, als nur sehr gering angesehen. Betrachtet man die Abnahme des Dauergrünlandanteils von 2003 bis 2010, so liegt diese bereits bei 3,8 % (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN 2012). Dies bedeutet, dass unter bundesweiter Berücksichtigung der Flächenzahlen von 2010, nur noch ca. 80.000 Hektar Dauergrünland bis zum Erreichen der 5 % Stufe der EG-Verordnung 1782/2003 umgebrochen werden dürfen. Würde man von den insgesamt ca. 840.000 Hektar Dauergrünland, die in dieser Arbeit als

standörtlich sehr günstig für KUP identifiziert wurden, 80.000 Hektar für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb nutzen, so ließen sich darauf etwa 1,3 Millionen Tonnen Trockenmasse pro Jahr produzieren. Zusammen mit den auf Ackerland identifizierten 680.000 Hektar KUP-Vorzugsflächen ergäbe dies ein gemeinsames jährliches Biomassepotential von ca. 10,9 Millionen Tonnen Trockenmasse.

7.2.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Anhand dieser Arbeit können folgende **Schlussfolgerungen** zusammengefasst werden:

- Die vorliegende Potentialabschätzung kann nur einen Überblick mit Näherungswerten über die möglichen Flächen- und Biomassepotentiale von KUP mit Pappeln und Weiden auf Acker- und Dauergrünlandflächen wiedergeben. Für die Erhebung der tatsächlich für KUP geeigneten Flächen und der darauf erzielbaren Biomassezuwächse muss eine Prüfung vor Ort stattfinden.
- Um die erzielbaren Biomassezuwächse von KUP in Abhängigkeit von verschiedenen Standortsfaktoren genauer abschätzen zu können, bedarf es eines Ertragsmodells welches auf umfangreichen und langjährigen Messreihen von KUP basiert. Das vorliegende Modell kann hierzu einen ersten Ansatz liefern.
- Wie auch andere Literaturquellen angeben (z.B. PETZOLD 2006, MURACH et al. 2008), beeinflusst die Wasserverfügbarkeit wesentlich den Zuwachs einer KUP und stellt den bedeutendsten Einflussfaktor für die standörtliche Eignung von Acker- und Dauergrünlandflächen für KUP in Deutschland dar.
- Dagegen ist eine wesentliche Einschränkung der Zuwächse aufgrund der durchschnittlichen Lufttemperatur beim Großteil der Ackerflächen nicht gegeben, da über 70 % der Ackerflächen eine Jahresmitteltemperatur von über 8°C und somit gute Wachstumsbedingungen aufweisen. Bei einer Nutzung von Dauergrünland kann es, aufgrund des häufigen Vorkommens in höheren Lagen, jedoch eher zu Zuwachsminderungen aufgrund niedrigerer Lufttemperaturen kommen.

- Die durchschnittliche Lufttemperatur in der Vegetationszeit könnte den Einfluss der Temperatur auf das Wachstum von KUP noch besser darstellen. Bislang sind hierzu jedoch keine umfassenden Erhebungen verfügbar.
- Wie detailliert eine Aussage über die erzielbaren Biomassezuwächse einer Fläche anhand von geographischen Daten möglich ist, hängt maßgeblich von deren Genauigkeit ab. Je genauer die standörtlichen Gegebenheiten einer Fläche in Form von Karten wiedergegeben werden, desto detaillierter kann eine Abschätzung des KUP-Ertragspotentials mit der vorliegenden Methode erfolgen.
- Auf ca. 2,1 Mio. ha Ackerfläche (17,7 % der Gesamtackerfläche) in Deutschland sind für KUP standörtlich sehr günstige und günstige Bedingungen vorhanden, so dass hier ein durchschnittlicher Zuwachs von über 10 t_{atro} pro Jahr und Hektar erwartet werden kann. Von den bundesweiten Dauergrünlandflächen wären etwa 2,5 Mio. ha (53,6 %) standörtlich sehr günstig und günstig für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb geeignet.
- Wie die geographische Darstellung der standörtlichen Eignung der Acker- und Dauergrünlandflächen für KUP zeigt, sind die Ertragspotentiale regional sehr unterschiedlich und können zwischen einzelnen Gemeinden, als auch Bundesländern, erheblich variieren. Die größten KUP-Potentiale auf Ackerland weisen die Bundesländer Brandenburg und Sachsen-Anhalt auf.
- Der Vergleich der Ergebnisse zwischen Bundes-, Landes- und Gemeindeebene zeigt im Wesentlichen eine gute Übereinstimmung. Die Ergebnisse geben somit einen guten Gesamtüberblick über die KUP-Potentiale der jeweiligen Ebene wieder.
- Eine Einschränkung der maschinellen Befahrbarkeit ist auf nur einem geringen Anteil der Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland gegeben (7,9 bzw. 17,9 %).
- Räumt man der Nahrungs- und Futtermittelproduktion auf den guten Ackerflächen Vorrang ein und beschränkt sich mit der Etablierung von KUP auf landwirtschaftliche Grenzertragsflächen mit guter Wasserverfügbarkeit, so reduziert sich das KUP-Potential auf Ackerland auf ca. 680.000 ha (5,7 % der Gesamtackerfläche) in Deutschland.

-
- Einschränkungen für KUP auf Dauergrünland durch Schutzgebiete sind in Deutschland, ohne Berücksichtigung der Wasserschutzgebiete, auf etwa einem Drittel der Flächen gegeben. Legt man die für Baden-Württemberg verfügbaren Angaben über den Anteil der Wasserschutzgebiete auf Dauergrünland zugrunde (ca. 25 %), so lässt sich annehmen das in Deutschland ca. die Hälfte der Dauergrünlandflächen einen Schutzgebietsstatus aufweist.
 - Faktisch ist das KUP-Potential auf Dauergrünland durch die EG-Verordnung 1782/2003 und landesspezifische Regelungen jedoch stark eingeschränkt. Berücksichtigt man die Regelung zum Erhalt des Dauergrünlandes der EU, so ergeben sich rechnerisch, anhand der Zahlen von 2010 und bis die 5 % Stufe der EG-Verordnung 1782/2003 erreicht ist, noch ca. 80.000 ha Dauergrünlandflächen die theoretisch für KUP nutzbar wären.
 - Würde man die ca. 680.000 Hektar „für KUP gut geeigneten“ Ackerflächen und weitere 80.000 Hektar Dauergrünlandflächen mit standörtlich günstiger Eignung für den Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb nutzen, so ließen sich darauf jährlich ca. 11 Millionen Tonnen Trockenmasse produzieren. Damit könnte etwa. ein Sechstel des für 2020 prognostizierten Energieholzbedarfes für Deutschland von insgesamt 850 PJ (THRÄN et al. 2009) gedeckt werden.
 - Durch längere Umtriebszeiten bei der Pappel ließen sich die Zuwächse weiter steigern (GURGEL 2011, SCHIRMER 2010) als sie in der vorliegenden Arbeit für den dreijährigen Umtrieb dargestellt sind. Aufgrund der verfügbaren Daten von vorwiegend dreijährigen Flächen konnte dies im Ertragsmodell jedoch nicht erfasst werden.
 - Bezieht man die standörtlich mittelmäßig geeigneten Flächen oder die etwas besseren Ackerflächen mit einer Ackerzahl zwischen 33-63 in das geeignete Flächenpotential in Deutschland mit ein, so erhöht sich dieses um etwa weitere 700.000 ha (6 %) bzw. 1 Mio. ha (9 %).
 - Die wirtschaftliche Rentabilität stellt eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Etablierung von KUP dar. Bei Unterstellung von gängigen Bewirtschaftungskosten ist der für eine positive Annuität erforderliche Mindestzuwachs von KUP, zumeist nur auf gut wasserversorgten Flächen gegeben.

-
- Ein Szenario in Hinblick auf den Klimawandel zeigt, dass in Anbetracht steigender Temperaturen und sinkender Niederschläge im Sommerhalbjahr sich das KUP-Potential mehr in Richtung höherer Gebirgslagen verschieben wird, da hier noch ausreichend Niederschläge vorhanden sind. In den Niederungen werden vorwiegend Flächen mit geringem Grundwasserflurabstand für KUP geeignet bleiben.

Empfehlungen, die anhand der Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieser Arbeit abgeleitet werden können:

- Bei einer weiteren Etablierung von KUP sollten vorrangig die in dieser Arbeit als „gut geeignet“ aufgeführten Ackerflächen für KUP genutzt werden, da hier hinreichend hohe Erträge erwartet werden können und zum Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln die geringste Konkurrenz besteht.
- Aufgrund der ökologischen Vorteile von KUP gegenüber intensiv bewirtschafteten einjährigen Energiepflanzen sollte auf diesen Flächen der Anbau von Kurzumtriebsgehölzen bevorzugt werden, wenn nicht zum Beispiel landschaftsästhetische Gründe dagegen sprechen.
- Auch andere, aus standörtlichen und strukturellen Gründen, als Grenzstandort anzusehende Ackerflächen (z.B. vernässende, kleine oder vom Hof entfernt liegende Flächen) sollten aus den genannten Gründen für KUP genutzt werden, sofern sie ökonomisch rentabel zu bewirtschaften sind. Dadurch könnte der steigende Energieholzbedarf weiter gedeckt werden.
- Zur weiteren Etablierung von KUP kann die in der vorliegenden Arbeit entwickelte Vorgehensweise, insbesondere in Baden-Württemberg, zur generellen Planung angewendet werden. Eine Überprüfung der Flächeneignung vor Ort ist dabei jedoch immer notwendig.
- Die Datengrundlage, auf der das Ertragsmodell basiert, sollte weiter ausgebaut werden. So sollten die Zuwächse mehrerer Umtriebe als auch Flächen anderer Bundesländer mit einbezogen werden, um die Ergebnisse weiter zu validieren und um die möglichen erzielbaren Zuwächse einer Fläche besser abschätzen zu können.

Zusammenfassung

Durch die Klimaerwärmung und die Verknappung fossiler Energieträger ist in den letzten Jahren die Nachfrage nach regenerativen Energiequellen stark angestiegen. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich dabei bis 2020 als Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch auf 18 % zu steigern (BMELV & BMU 2009). Biomasse deckt hierbei momentan (2010 = 72 %) den größten Anteil der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien ab und wird nach Meinung von Experten auch in überschaubarer Zukunft ein wichtiger erneuerbarer Energieträger sein (BMU 2011, WBGU 2003). Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Holz geht eine Abschätzung von THRÄN (2009) davon aus, dass bis 2020 für die Holzversorgung in Deutschland eine Deckungslücke von etwa 30 Mio. Festmeter entstehen wird. Eine Möglichkeit, einen Teil davon zu kompensieren, wird in dem verstärkten Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf landwirtschaftlichen Flächen gesehen. Eine Abschätzung, wie viel Biomasse über KUP in Deutschland, unter Berücksichtigung verschiedener Restriktionen, bereitgestellt werden könnte, wurde jedoch bis heute noch nicht vorgenommen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb eine Methode entwickelt, mit der auf Grundlage verfügbarer Informationen abgeschätzt werden kann, wie viel Biomassepotential durch Pappel- und Weidenkurzumtriebsplantagen auf Acker- und Dauergrünlandflächen bereitgestellt werden könnte. Dabei wurde angenommen, dass verschiedene standörtliche, technische, ethische, ökologische und ökonomische Restriktionen das KUP-Potential beeinflussen. Im Methodenteil wurden jeweils die mit diesen Begriffen assoziierten Einschränkungen definiert und ihr Einfluss auf die mögliche Etablierung von KUP erfasst. Anschließend wurde im Ergebnisteil dargestellt, wie viel Flächen- und Biomassepotential, unter Berücksichtigung dieser angenommenen Einschränkungen, realisierbar wäre.

Im ersten Schritt wurden Einschränkungen erfasst, welche sich durch standörtliche Gegebenheiten (Boden-, Relief- und Klimaverhältnisse) auf den Acker- und Dauergrünlandflächen ergeben. In Anlehnung an die Literatur (PETZOLD 2006, MURACH et al. 2008) wurde hierbei angenommen, dass die Wasserverfügbarkeit eines Standortes als wesentlichster Einflussfaktor auf das Wachstum von KUP anzusehen ist. Um das Ertragspotential von Pappel- und Weidenkurzumtriebsplantagen in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit abschätzen zu können, wurde ein Ertragsmodell auf Basis von 62 mindestens dreijährigen KUP-Praxis- und Versuchsflächen erstellt. Fünfzig dieser Flächen liegen

im Südwestdeutschen Raum (Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz), zwölf weitere im nördlichen Teil Frankreichs. Anhand der erhobenen Daten wurden die Abhängigkeit des Höhenwachstums von der Wasserverfügbarkeit des jeweiligen Standortes sowie die Korrelation der Triebhöhe zum Triebgewicht bestimmt. Darauf aufbauend konnte der durchschnittliche Trockenmassezuwachs pro Jahr und Hektar für den ersten 3-jährigen Umtrieb in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit dargestellt werden. Die Wasserverfügbarkeit wird dabei mittels der reliefabhängigen klimatischen Wasserbilanz und der nutzbaren Feldkapazität beschrieben. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden fünf KUP-Standortsklassen gebildet, die das Ertragspotential eines Standortes wiedergeben. Dabei wurden auch Reduktionen des Zuwachses durch niedrigere Jahresmitteltemperaturen berücksichtigt, wie sie zum Beispiel in höheren Lagen gegeben sind.

Auf Basis der Ergebnisse des Ertragsmodells wurde nachfolgend die geographische Verteilung der KUP-Standortsklassen auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene erfasst. Dies fand auf Grundlage bundes- und landesweit (B-W) verfügbarer Bodenübersichtskarten, langjähriger Klimadaten und digitaler Höhenmodelle statt. Über eine räumliche Verschneidung dieser Daten mittels ArcGIS wurde im ersten Schritt die Wasserverfügbarkeit auf den Acker- und Dauergrünlandflächen, je nach geographischer Betrachtungsebene in unterschiedlicher Detailliertheit, abgeschätzt. Mittels einer weiteren Verschneidung mit der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur konnte so anschließend auf Bundes-, Landes- (BW) und exemplarisch auf Gemeindeebene dargestellt werden, wie hoch das Ertragspotential von KUP in Abhängigkeit von den einbezogenen Standortfaktoren ist. Die Analyse dieses standörtlichen KUP-Potentials zeigt, dass mehr Dauergrünlandflächen als standörtlich für KUP sehr günstig und günstig anzusehen sind als Ackerlandflächen. In Deutschland sind dies beim Dauergrünland ca. 2,5 Mio. ha (54 %) und in Baden-Württemberg ca. 224.000 ha (42 %). Beim Ackerland sind in Deutschland etwa 2,1 Mio. ha (18 %), in Baden-Württemberg etwa 204.000 ha (25 %) standörtlich sehr gut für KUP geeignet.

Als technische Einschränkungen wurde erfasst, welche Flächen aufgrund ihrer Hangneigung nur bedingt oder gar nicht maschinell befahrbar sind. Laut den Angaben in der Literatur und nach eigenen Erfahrungen ist ab einer Hangneigung von über 10 % eine Fläche nur noch begrenzt maschinell befahrbar. Bei über 20 % Neigung ist eine Befahrung mit gängigen KUP-Erntemaschinen in der Regel nicht mehr möglich (TEXTOR 2003, HEINRICH 2007, BECKER & WOLF 2009). Mittels digitaler Höhenmodelle erfolgte dementsprechend eine Einstufung der Acker- und Dauergrünlandflächen in drei Hangneigungsklassen (<10 %/ 10-20 %/ >30 %). Es

zeigt sich, dass der Großteil der Ackerflächen eine Hangneigung von unter 10 % aufweist (BRD = 92 %, B-W = 86 %). Auch Dauergrünlandflächen sind zum überwiegenden Teil weniger als 10 % geneigt (BRD = 82 %, B-W = 62 %).

Als Einschränkung des KUP-Flächenpotentials unter ethischen Aspekten wurde berücksichtigt, dass auf Ackerflächen mit hoher Bodengüte der Nahrungs- und Futtermittelanbau gegenüber der Anlage von KUP Vorrang hat. Da hingegen auf Flächen mit geringer Bodengüte, aber gleichzeitig guter Wasserverfügbarkeit, mit KUP hohe Erträge erzielt werden können, werden solche Flächen als Vorzugsstandorte für KUP angesehen (MURACH et al. 2009, PETZOLD et al. 2010). Anhand der Ackerzahlen erfolgte eine Beurteilung der Bodengüte und die Einteilung der Ackerflächen in drei Ackerzahlklassen (BRD = <33/33-63/>63, B-W = <35/35-59/>59). In Deutschland weisen danach ca. 21 % der Ackerflächen eine Ackerzahl von unter 33 auf. In Baden-Württemberg sind allerdings Ackerzahlen von unter 35 nur auf ca. 9 % der Ackerflächen vorzufinden.

Als ökologische Einschränkung des KUP Anbaus wurden auf Dauergrünland bestehende Schutzgebiete identifiziert. Dazu wurde anhand der jeweiligen Regelungen in den Schutzgebietsverordnungen zum Grünlandumbruch eine Einteilung vorgenommen, in welchen Schutzgebieten eine Nutzung von Dauergrünlandflächen für KUP bedingt möglich bzw. ausgeschlossen ist. Anschließend wurde die geographische Verteilung der Schutzgebiete in Deutschland und in Baden-Württemberg mit dem Dauergrünland verschnitten. Dabei zeigte sich, dass in Deutschland insgesamt ca. 66,5 % der Dauergrünlandflächen nicht mit einem Schutzgebietsstatus belegt sind. Allerdings liegen auf Bundesebene keine flächendeckenden Informationen über die Lage der Wasserschutzgebiete vor und konnten deshalb nicht berücksichtigt werden. In Baden-Württemberg konnten jedoch auch die Wasserschutzgebiete erfasst werden. Hier ist etwa die Hälfte des Dauergrünlands durch Schutzgebietsausweisungen betroffen. Darüber hinaus ist das KUP-Potential auf Dauergrünland insbesondere durch die Grünlandumbruchsregelung der EG-Verordnung 1782/2003 sowie durch landespezifische Umbruchsregelungen bzw. -verbote eingeschränkt

Verschneidet man die aufgeführten, eingangs dargestellten, technischen, ethischen und ökologischen Einschränkungen für KUP mit dem standörtlichen Flächenpotential, lässt sich darstellen, welche Acker- und Dauergrünlandflächen gut, bedingt oder gar nicht für KUP geeignet sind. Unter Anwendung der aufgeführten Kriterien können ca. 5,7 % (680.000 ha) der Ackerflächen in Deutschland und ca. 0,6 % (5.000 ha) der Ackerflächen in Baden-Württemberg

für KUP als gut geeignet angesehen werden. Auf Dauergrünland sind die KUP-Flächenpotentiale, unter Berücksichtigung der erfassten Einschränkungen durch Schutzgebiete, deutlich höher (BRD = 33 %/ 1,5 Mio. ha, B-W = 13 %/ 70.000 ha).

Ob eine Kurzumtriebsplantage wirtschaftlich betrieben werden kann hängt, neben weiteren Faktoren, vom erzielbaren Biomassertrag einer Fläche ab. Anhand von zwei berechneten Szenarien und nach Angaben aus der Literatur kann davon ausgegangen werden, dass für das Erreichen einer positiven Annuität in der Regel ein Zuwachs von mindestens 8 t atro pro Jahr und Hektar notwendig ist. Nach den Ergebnissen der hier vorgenommenen Ertragsmodellierungen können Zuwächse in dieser Höhe vorwiegend nur auf gut wasserversorgten Flächen mit ausreichender Jahresmitteltemperatur erreicht werden. Auf solchen für KUP standörtlich gut geeigneten Flächen, die zudem eine geringe Bodengüte aufweisen (Ackerzahl unter 33 bzw. 35), sind KUP gegenüber einjährigen Kulturen auch wirtschaftlich konkurrenzfähig. Dementsprechend können diese Flächen als wirtschaftliches KUP-Potential angesehen werden.

Unter Berücksichtigung des Klimawandels wurde mit modellierten Niederschlags- und Temperaturänderungen, auf Basis des WETTREG Modells und des IPCC A1B Szenarios, das standörtliche KUP-Potential für die Zeitperioden 2021-2050 und 2071-2100 abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Potentiale voraussichtlich mehr in Richtung der höheren Lagen der Mittelgebirge verschieben werden. Dies liegt vor allem an den dort vorhandenen höheren Niederschlägen bei gleichzeitig höheren und damit günstigeren Lufttemperaturen.

Der Vergleich der Ergebnisse zwischen Bundes-, Landes- und Gemeindeebene sowie zu anderen Potentialstudien zeigt, dass die in dieser Arbeit verwendeten Methoden und Ansätze konsistente Aussagen über die Flächen- und Biomassepotentiale der jeweiligen Ebene ermöglichen. Urteile über die Eignung von Einzelflächen zur Kurzumtriebsbewirtschaftung können daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Würden die bundesweit aufgezeigten ca. 680.000 Hektar gut geeigneter Ackerflächen für die Anlage von KUP mit Pappeln und Weiden genutzt, ließen sich darauf jährlich etwa 10 Mio. Tonnen Trockenmasse erzielen. Es zeigt sich aber auch, dass sich das KUP-Potential auf Ackerflächen deutlich erhöhen würde, wenn z.B. auch Flächen mit mittelmäßiger Wasserverfügbarkeit und mit Ackerzahlen über 33 bzw. 35 einbezogen würden. Auf Dauergrünland sind die Potentiale für KUP unter Einbezug der aufgeführten standörtlichen, technischen und ökologischen Restriktionen höher als beim Ackerland. Das tatsächlich nutzbare

KUP-Potential auf Dauergrünland ist jedoch durch administrative Rahmenbedingungen, wie z.B. der EG-Verordnung 1782/2003 oder landespezifischer Umbruchsverbote, stark eingeschränkt.

Summary

Due to global warming and the shortage of fossil fuels, the demand for renewable energy sources has increased significantly in the last few years. The Federal Republic of Germany has set themselves a goal of increasing the share of renewable energy in the final energy consumption to 18 % in 2020 (BMELV & BMU 2009). Biomass currently covers the largest share of final energy supply from renewable energy sources (2010 = 72 %) and will be, according to experts, the most important renewable energy source in the future (BMU 2011, WBGU 2003). Due to the increasing demand for wood, an assessment of THRÄN (2009) assumes that there will be a shortfall in demand for wood in Germany of about 30 Mio. cubic meters in 2020. One way to offset a part of this shortfall is seen in the increased cultivation of short rotation coppice on agriculture land. An assessment on how much biomass SRC could provide in Germany in consideration of certain constrains is so far not elevated.

Within the framework of this thesis, a method was developed, to assess the biomass potential of poplar and willow short rotation coppice on arable and permanent grassland on the basis of available geographical information. It was assumed, that various site conditions and technical, ethical, environmental and economical restrictions affect the SRC potential. In the methods section, the restrictions associated with these terms were defined and their influences on the possible establishment of SRC were determined. Afterwards the results section showed how much land and biomass potential is available in consideration of the assumed constrains.

First, the limitations were determined which are given by local conditions (soil, topography and climate conditions) on arable and permanent grassland. Based on the literature (PETZOLD 2006, MURACH et al. 2008) it was assumed, that the water availability of a site can be regarded as the most important factor influencing the growth of SRC. To estimate the yield potential of poplar and willow short rotation coppice in dependence of the water availability, a yield model was created. It is based on 62 at least three year old SRC practice an experimental plots.. Fifty of these plots are located in South-West-Germany (Baden-Wuerttemberg and Rheinland-Pfalz), the other twelve are in the northern part of France. On the Basis of the collected data the dependence of the height growth on the water availability of each site as well as the correlation between the shoot length and the shoot weight was determined. Based on that, the average dry mass growth rate per year and hectare for the first 3 year rotation in dependence of the water availability could be shown. The water availability is described by the relief related climatic water balance and the available water capacity. Based on these results, five SRC-site classes were formed that reflect the

potential yield of a site. Also the reduction of the yield due to lower annual mean temperatures as given for example in higher elevations was accounted.

On the basis of the results of the yield model the distribution of the SRC-site classes at federal, national, and communal level was determined. This was done by using available federal and national (BW) soil survey maps, long term climate data and digital elevation models. Using spatial intersection in ArcGIS in a first step the water availability of the arable and permanent grassland was estimated in different resolutions depending on the geographical level. Using another intersection with the average annual mean temperature it was possible to show on federal, national (BW), and exemplarily on communal level how high the yield potential of SRC in dependence of the included site factors is. The analysis of the SRC-site potential shows that more permanent grassland can be regarded as very good and good suited than arable land. For the permanent grassland in Germany these are approx. 2,5 Mio. ha and in Baden-Wuerttemberg approx. 224.000 ha (42%). For the arable land in Germany this are round about 2,1 Mio. ha (18%), in Baden-Wuerttemberg round about 204.000 ha (25%) which are good suited for SRC.

As technical limitation it was determined which site due to its slope is partial or not accessible by machines. According to the literature and own experience a site with a slope of over 10 % is only partly navigable by machines. With a slope over 20 % a navigation with a normal SRC harvester is no longer practicable (TEXTOR 2003, HEINRICH 2007, BECKER & WOLF 2009). Therefore the arable land and the permanent grassland were classified in three classes according to their slope (<10 %/ 10-20 %/ >30 %) using digital elevation models. It turned out, that most of the arable land has a slope less than 10 % (BRD = 92 %, B-W = 86%). Also the biggest part of the permanent grassland has a slope under 10 % (BRD = 82 %, B-W = 62 %).

As a limitation of the SRC potential under ethical aspects it was taken in account that on arable land with a high soil quality the food and forage production has priority adverse to the establishment of SRC. Since SRC has a high yield on sites with a low soil quality but with a good water availability, these areas are regarded as preferential sites for SRC (MURACH et al. 2009, PETZOLD et al. 2010). Based on an evaluation of the soil quality by the soil productivity index the arable land was divided into three soil index classes (BRD = <33/ 33-63/ > 63; BW = <35/ 35-59/ > 59). In Germany approximately 21% of the arable land has a soil productivity index lower than 33. In Baden-Wuerttemberg only 9 % has a soil productivity index lower than 35.

As an ecological restriction for the establishment of SRC on permanent grassland the existing nature protection areas have been identified. There has been a classification according to the nature protection area regulations, in which areas the use of permanent grassland for SRC is partially possible or excluded. Afterwards the geographical distribution of the protected nature areas in Germany and Baden-Wuerttemberg was intersected with the permanent grassland area. The result was, that in Germany 66.5 % of the permanent grass land is situated outside of protected areas. However the water conservation areas could not be considered for Germany, thru the lack of data. In Baden-Wuerttemberg the water conservation areas are documented and considered. Half of the permanent grassland in Baden-Wuerttemberg is located in protected areas. Never the less the SRC-potential on permanent grassland is strongly limited by the EG-Regulation 1782/2003 and country specific regulations and prohibitions for the conversion of grassland.

If the mentioned technical, ethical and ecological restrictions for SRC are intersected with the site potential, it can be illustrated which arable and permanent grass land is good, limited or not suitable for SRC. As well suitable classified are approximately 5.7 % (680,000 ha) of the arable land in Germany and 0.6 % (5,000 ha) of the arable land in Baden-Wuerttemberg. On permanent grassland, considering the specified restrictions, the SRC-potential is significantly higher (BRD = 33 % / 1.5 million hectares, BW = 13 % / 70,000 ha).

Whether a short rotation coppice can be operated economically depends, among other factors, strongly upon the yield of the plantation. On the basis of two calculated scenarios and data from the literature, it can be assumed, that an average yield of 8 t_{atro} per year and hectare is essential to achieve a positive annuity. Regarding the results from the yield model, these growth rates can only be achieved on well water supplied areas with a sufficient annual mean temperature. If these for SRC suitable sites have in addition a low soil quality (soil quality index under 33 or 35) SRC is compared to annual crops economically competitive on these sites. Accordingly these areas can be considered as economical SRC potential.

Taking into account climate changes with modeled precipitation and temperature changes, based on the WETTREG model and the IPCC A1B scenario, the SRC site potential for the periods 2021-2050 and 2071-2100 was estimated. The results show that the potentials are more likely to move toward the elevated areas of the mountains. This is mainly due to the higher precipitation and in the same time higher and therefore more favorable air temperatures in these regions.

The comparison of the results between the federal, national and communal level as well as to other potential studies shows, that the methods and approaches used in this thesis give consistent predications over the possible SRC land and biomass potential for each level. However statements about the suitability of individual fields for short-rotation can not be derived. If the identified 680.000 hectare of arable land which are good suited for SRC in Germany used for SRC with poplar and willow, there could be a annually yield of around 10 Mio. tons of dry matter. It also shows that the potential on arable land can be increased significantly if the areas with medium water availability and a soil productivity index higher than 33 or 35 are included. On permanent grassland, the potential for SRC under the mentioned local, technical and environmental constrains are higher than on arable land. But the actual usable SRC potential on permanent grassland is highly restricted by administrative frameworks like the EG-Regulation 1782/2003 and country specific regulations and prohibitions for the conversion of grassland.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010	2
Abb. 2: 2-jährige Weidenkurzumtriebsfläche	9
Abb. 3: Abstufung der Potentialabschätzungen.....	5
Abb. 4: Boundary-Line: Darstellung des Einflusses des TWA auf die Triebhöhe im Alter 5/5 für die Pappelklone im 5-jährigen Kurzumtrieb	10
Abb. 5: Potentielle Massenerträge von Pappeln im Kurzumtrieb (5 Jahre) in Abhängigkeit von dem Transpirationswasserangebot und den Pflanzzahlen.....	11
Abb. 6: Einflussfaktoren auf das Wachstum von Kurzumtriebsplantagen.....	16
Abb. 7 : Lage der erfassten Kurzumtriebsplantagen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz (links) und Frankreich (rechts).....	20
Abb. 8: Bodenprofile der Kurzumtriebsflächen in Espasingen, Dußlingen, Aulendorf, Rheinstetten und Forchheim (von links nach rechts).....	21
Abb. 9: Korrelation der Wasserverfügbarkeit mit der Bestandesmittelhöhe der Pappelkurzumtriebsflächen im Alter von 3 Jahren im 1. Umtrieb	23
Abb. 10: Korrelation der Wasserverfügbarkeit mit der Bestandesmittelhöhe der Weidenkurzumtriebsflächen im Alter von 3 Jahren im 1. Umtrieb	24
Abb. 11: Korrelation der Triebgewichte mit der Trieblänge bei der Pappel.....	25
Abb. 12: Korrelation der Triebgewichte mit der Trieblänge bei der Weide	25
Abb. 13: Biomassezuwachs in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit bei der Pappel im ersten 3-jährigen Umtrieb und bei einer Triebdichte von 7300 Stk./ha.....	27
Abb. 14: Biomassezuwachs in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit bei der Weide im ersten 3-jährigen Umtrieb und bei einer Triebdichte von 20.100 Stk./ha.....	27
Abb. 15: Bestandesmittelhöhen der Pappel- und Weidenflächen im 3. Jahr auf nassen und staunassen Standorten...28	
Abb. 16: Lage der ausgewählten Gemeinden zur KUP-Potentialabschätzung.....	32
Abb. 17: Darstellung der reliefabhängigen mittleren klimatischen Wasserbilanz von Mai-Okt. für die Referenzperiode 1961-1990 in Deutschland und Baden-Württemberg	33
Abb. 18: Unterschied der räumlichen Auflösung der nFK bei verschiedenen Bodenkarten.....	34
Abb. 19: Darstellung der Wasserverfügbarkeit von Mai-Okt. auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland und Baden-Württemberg	35
Abb. 20: Einteilung der Jahresdurchschnittstemperatur der Luft in Deutschland und Baden-Württemberg in drei Stufen	36
Abb. 21: Standörtliche Eignung des Ackerlands für KUP in Deutschland	38
Abb. 22: Standörtliche Eignung des Dauergrünlands für KUP in Deutschland.....	39
Abb. 23: Standörtliche Eignung des Ackerlands für KUP in Baden-Württemberg	41
Abb. 24: Standörtliche Eignung des Dauergrünlands für KUP in Baden-Württemberg.....	42
Abb. 25: Anteil der für KUP sehr günstigen und günstigen Ackerflächen an der jeweiligen Gemeindefläche	43
Abb. 26: Anteil der für KUP sehr günstigen und günstigen Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Gemeindefläche	44
Abb. 27: Darstellung der Hangneigung in drei Klassen für Deutschland und Baden-Württemberg	49

Abb. 28: Einstufung der Ackerflächen in drei Klassen nach der Ackerzahl in Deutschland und Baden-Württemberg	52
Abb. 29: Darstellung der räumlichen Verteilung von Schutzgebieten in Deutschland (ohne Wasserschutzgebiete) und in Baden-Württemberg	55
Abb. 30: Eignung der Ackerflächen in Deutschland zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ethischer Restriktionen.....	59
Abb. 31: Eignung der Dauergrünlandflächen in Deutschland zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen.....	60
Abb. 32: Eignung der Ackerlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ethischer Restriktionen.....	63
Abb. 33: Eignung der Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen.....	64
Abb. 34: Anteil der für KUP gut geeigneten Ackerflächen an der jeweiligen Gemeindefläche, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen	65
Abb. 35: Anteil der für KUP gut geeigneten Dauergrünlandflächen an der jeweiligen Gemeindefläche, unter Berücksichtigung standörtlicher, technischer und ökologischer Restriktionen.....	66
Abb. 36: Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln, Holzpellets, Heizöl und Erdgas von 2003–2011	72
Abb. 37: Preis pro Tonne Pappel-Hackschnitzel in Abhängigkeit vom Wassergehalt und Ausgangspreis pro Tonne atro.....	77
Abb. 38: Annuität von KUP in Abhängigkeit vom Zuwachs und der Vermarktung.....	78
Abb. 39: Durchschnittliche Deckungsbeiträge von Winterweizen und Wintergerste von 2007-2011 auf niedrigen, mittleren und hohen Leistungsniveau von Ackerflächen in Baden-Württemberg	82
Abb. 40: Modellierte prozentuale Änderung der durchschnittlichen Niederschlagssumme von Mai-Oktober im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-90 anhand des WETTREG-Modells auf Basis des IPCC Szenarios A1B....	87
Abb. 41: Modellierte prozentuale Änderung der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-90 anhand des WETTREG-Modells auf Basis des IPCC Szenarios A1B.....	88
Abb. 42: Wasserverfügbarkeit auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100.....	89
Abb. 43: Einteilung der langjährigen Jahresdurchschnittstemperatur für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100 in ihre Eignung für KUP	91
Abb. 44: Standörtliche Eignung der Ackerflächen in Deutschland für KUP unter Beachtung des Klimawandels für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100	92
Abb. 45: Standörtliche Eignung des Dauergrünlands in Deutschland für KUP unter Beachtung des Klimawandels für die Perioden 2021-2050 und 2071-2100	93

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ziele der Bundesrepublik Deutschland zum Ausbau der Erneuerbaren Energien bis 2020	1
Tab. 2: Anbaufläche von Festbrennstoffen in Deutschland 2009 und 2010	7
Tab. 3: Bewertungsschema des Standorts für KUP auf Grundlage von Ableitungen aus der Bodenkonzeptkarte	8
Tab. 4: Modell für die Prognose von Oberhöhe (h_{dom}) und Biomasse (BM) von Pappelklonen in Sachsen	9
Tab. 5: Standortstypen für den Pappelanbau in Südbrandenburg	12
Tab. 6: Reliefabhängige Ab- und Zuschläge zur Klimatischen Wasserbilanz.....	19
Tab. 7: Ergebnisse der statistischen Analyse	24
Tab. 8: Einteilung der Biomasserträge in 5 KUP-Standortsklassen in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit ..	29
Tab. 9: Einteilung der KUP-Standortsklassen anhand der Wasserverfügbarkeit und der Jahresdurchschnittstemperatur.....	30
Tab. 10: Flächenanteile der KUP-Standortsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland, sowie der darauf theoretisch erzielbaren Trockenbiomasse pro Jahr	40
Tab. 11: Verteilung der KUP-Standortsklassen auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg.....	42
Tab. 12: Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Ackerflächen der vier Gemeinden.....	45
Tab. 13: Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Dauergrünlandflächen der vier Gemeinden.....	45
Tab. 14: Einteilung der technischen Flächeneignung für KUP.....	49
Tab. 15: Bevorzugung der Ackerflächen für KUP anhand der digitalen Flächenbilanz für Baden-Württemberg	51
Tab. 16: Einteilung von KUP-Vorrangstufen für Dauergrünland anhand der Schutzgebietscharakter	54
Tab. 17: Technische, ethische und ökologische Restriktionen und ihre prozentualen Anteile bezüglich der Nutzbarkeit für KUP auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland	57
Tab. 18: Zur Kurzumtriebsbewirtschaftung geeignete Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland unter Berücksichtigung der standörtlichen, technischen, ethischen und ökologischen Restriktionen	58
Tab. 19: Technische, ethische und ökologische Restriktionen und ihre prozentualen Anteile bezüglich der Nutzbarkeit für KUP auf Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg	61
Tab. 20: Eignung von Acker- und Dauergrünlandflächen in Baden-Württemberg zur Kurzumtriebsbewirtschaftung unter Berücksichtigung der standörtlichen, technischen, ethischen und ökologischen Restriktionen.....	62
Tab. 21: Technische und ethische Einschränkungen auf den Ackerflächen der Gemeinden, sowie ihre Eignung für die Kurzumtriebsbewirtschaftung.....	67
Tab. 22: Technische und ökologische Einschränkungen auf dem Dauergrünland der Gemeinden, sowie dessen Eignung für die Kurzumtriebsbewirtschaftung.....	67
Tab. 23: Kosten und Produktpreise des Energieholzanbaus	73
Tab. 24: Prozentuale Anteile der Wasserverfügbarkeitsstufen (WVS) auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland in Abhängigkeit von der Zeitperiode	90
Tab. 25: Prozentuale Anteile der KUP-Standortsklassen auf den Acker- und Dauergrünlandflächen in Deutschland in Abhängigkeit von der Klimaperiode	91

Literaturverzeichnis

- AD –HOC- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg). 5. Auflage. Hannover
- AEE Agentur für erneuerbare Energien e.V. (2009): Erneuerbare Energien 2020 – Potenzialatlas Deutschland. Sonderausgabe Bioenergie. Berlin (www.unendlich-viel-energie.de 26.05.2011)
- ALI, W. (2005): Assessment of Growth and Biomass Production in Short Rotation Stands of Poplar in Saxony. MSc thesis, TU Dresden, Tharandt, Institute of forest growth and computer science in forestry.
- ALI, W. (2007): Estimation of Production Potential of Short Rotation Forestry on Agricultural Land of Saxony. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde, Tagungsband S.101-105. Alsfeld-Eudorf
- ALI, W. (2009): Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation on Agricultural Lands of Saxony, Germany. Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden.
- ARETZ, A.; HIRSCHL, B. (2007): Biomassepotentiale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. DENDROM Diskussionspapier Nr. 1, Fachhochschule Eberswalde
- AYLOTT, M. J.; CASELLA, E.; TUBBY, I.; STREET, N. R.; SMITH, P.; TAYLOR, G. (2008): Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist* 178, 358-370
- AYLOT, M.; TAYLOR, G.; CASELLA, E.; SMITH, P. (2009): TSEC-Biosys: Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short rotation coppice in the UK. Vortrag bei der Tagung: Biomass role in the UK energy futures. The Royal Society, London: 28th & 29th July 2009
- BALDWIN, M.; HENSHALL, P.; MATTHEWS, R.; MORGAN, G.; POOLE, J.; TAYLOR, P.; TUBBY, I. (2009): Yield models for energy coppice of poplar and willow - Volume A Empirical models. Report to DTI (B/W2/00624/00/00 URN). Ed: I Tubby and J Poole. 91pp
- BECKER, R.; WOLF, H.(2009): Acker, Plantage, Acker – eine wechselseitige Nutzung. *AFZ - Der Wald* 64, 530-531
- BfN (2009): Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Where have all the flowers gone, Grünland im Umbruch. Hintergrundpapier und Empfehlungen des BfN, aktualisierte Fassung Bonn Bad Godesberg,
- BfN (2010): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen - Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbau- und Handlungsempfehlungen des Bundesamtes für Naturschutz. Leipzig.

- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2006): Anleitung zur zweiten deutschen Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Berlin.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2008): Nachwachsende Rohstoffe. Berlin.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2009): Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung. Berlin
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2011): Entwicklung der erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2010 – Grafiken und Tabellen unter Verwendung der aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Stand 23. März 2011, Berlin. (http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf)
- BOELCKE, B. (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen – Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei, Schwerin.
- BOELCKE, B. (2007): Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden (Salix) in Kurzumtriebsplantagen. Hrsg: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. (http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/index.jsp?&artikel=3123)
- BURGER, F. (2010): Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. Dissertation an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik.
- BURGER, F. (2011): Kurzumtriebsplantagen – Verfahren, Potenziale, Wirtschaftlichkeit. Vortrag am 19. Januar 2011 bei den Landwirtschaftlichen Lehranstalten des Bezirks Oberfranken. (http://www.la-bayreuth.de/files/4_Bezirkslehrgut/Kurzumtriebsplantagen_Burger.pdf 16.12.2011)
- BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2012): Grünlandfläche nimmt in Deutschland weiter ab. Pressemitteilung vom 24.02.2011 (http://www.gruene-bundestag.de/cms/agrar/dok/372/372303.gruenlandflaeche_nimmt_in_deutschland_we.html)
- BWALDG (Bundeswaldgesetz) (2010): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (<http://www.gesetze-im-internet.de/bwaldg/BJNR010370975.html> 23.12.2011)
- C.A.R.M.E.N. (2011): Energieholz-Index Grafiken des Centralen Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (http://www.carmen-ev.de/dt/energie/hackschnitzel/hackschnitzelpreis_grafiken.html)

- CROW, P.; HOUSTON, T.J. (2004): The influence of soil and coppice cycle on the rooting habit of short rotation poplar and willow coppice. *Biomass and Bioenergy* 26 (2004) 497 – 505
- DEHMER, D. (2010): Tank oder Teller. Zeitungsartikel in der Zeit-Online vom 29.12.2010 (<http://www.zeit.de/politik/deutschland/2010-12/klimawandel-biosprit-biomasse> 23.12.2011)
- DEPV (2008): Deutscher Energie Pellet Verband, Präsentation „Zukunft der Energieholzproduktion“ zur NABU Fachtagung Kurzumtriebsplantagen am 12.11.2008 in Berlin, (<http://www.nabu.de/themen/landwirtschaft/biomasse/10268.html>)
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (DIN) (1994): DIN 4049 Teil 3; Hydrologie, Begriffe der quantitativen Hydrologie. DIN-Normenausschuss Wasserwesen. Beuth Verlag. Berlin
- DIETRICH, J.; SCHÖNIGER, M. (2009): Hydrologie (http://www.hydroskript.de/html/_index.html 03.01.2012)
- DVWK, (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Merkblatt 238. Hrsg.: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). Bearbeitet vom DVWK-Fachausschuss „Verdunstung“; Bonn: Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser.
- FAL Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2008): Pressemitteilung vom 04.06.2007. Braunschweig. (<http://www.innovatives.niedersachsen.de>)
- FEGER, K.H.; PETZOLD, R.; SCHMIDT, P.A.; GLASER, T.; SCHROIFF, A.; DÖRING, N.; FELDWISCH, N.; FRIEDRICH, C.; PETERS, W.; SCHMELTER, H. (2009): Biomasse-Dauerkulturen – Natur- und Bodenschutz. Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (Hrsg.). Dresden.
- FELL, H.-J., (2007): Anmerkungen zur weltweiten Verknappung fossiler und atomarer Rohstoffe. Jahrestagung FVS 2007. (http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/tmp_vortraege_jt2007/th2007_24_fell.pdf 09.11.2011)
- FNR (FACHAGENTUR FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE), (2011): Grafik „Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland 2011“ vorläufige Abschätzung (<http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/?spalte=3> 07.02.2012)
- FRÖHLICH, H.J.; GROSSCURTH, W. (1973): Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung. Band 10. Frankfurt
- FUNK, M.(2010): Partnerschaft auf Augenhöhe? Das Cluster Forst und Holz und die Energiewirtschaft im Dialog. Vortrag auf dem 30. Freiburger Winterkolloquium Forst und Holz am 28.01.2010
- GRUNDMANN, P.; EBERTS, J. (2008): Betriebliche und regionale Entscheidungsmodelle. Endbericht DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse, Eberswalde, Berlin, Cottbus, 217-236

- GRÜNEWALD, H. (2005): Anbau schnellwachsender Gehölze für die energetische Verwendung in einem Alley-Cropping-System auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere, Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung 28
- GURGEL, A. (2011): Ergebnisse der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten nach 18 Jahren Bewirtschaftung in Gülzow. Hrsg: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. (http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/index.jsp?artikel=4285)
- HALL, R. (2003): Short rotation coppice for energy production – hydrological guidelines. Report of the DTI New and Renewable Energy Programme, Centre for Ecology and Hydrology
- HAUFFE, H.- K.; AUGENSTEIN, I. (1996): Standortkundliche Eichung der Bewertungsverfahren in Heft 31 der Schriftenreihe Luft, Boden, Abfall des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Bodenfunktionen „Standort für die natürliche Vegetation“ und „Standort für Kulturpflanzen“. - 39 S., LfU-Werkvertrag Nr. 113322/51, Nürtingen, [unveröff.].
- HAUFFE, H.- K.; AUGENSTEIN, I.; VOGELSANG, W. & LEHLE, M. (1998): Bewertung von Böden als „Standort für die natürliche Vegetation“. Vorschlag zur Ermittlung des Standort-Wasserhaushaltes. - Naturschutz und Landschaftsplanung, 30, (7), S. 214-219.
- HAUK, J. (2007): Cross Compliance im Kontext der Vereinfachung der Gemeinsamen Agrarpolitik. Präsentation des Ministerialdirigenten des MLR Baden-Württemberg in Brüssel am 08. Mai 2007
- HEILMANN, P.E.; EKUAN, G.; FOGLE, D. (1994): Above- and below-ground biomass and fine roots of 4-year-old hybrids of *Populus trichocarpa* × *Populus deltoides* and parental species in short-rotation culture. Can. J. For. Res. 24(6): 1186–1192 (1994)
- HEINRICH, N. (2007): Ernte und Logistik von Holz aus Kurzumtriebsplantagen – Verfahrenstechnische Optimierungsansätze. Diplomarbeit Technische Universität Dresden, Fakultät Forst- Geo- und Hydrowissenschaften
- HOFMANN, M. (2010): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Hrsg. FNR (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe). 4. überarbeitete Auflage. Gülzow
- HOFMANN, M.; AMTHAUER GALLARDO, D.; SIEBERT, C. (2011): Klon-Standort Wechselwirkung bei Pappel und Weide. Beitrag zum Tagungsband der Veranstaltung „Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung“ am 21/22.09.2011 in Hann. Münden
- IPCC Intergovernmental Panel on Global Change (2000). IPCC Special Report – Emissions Scenarios – Summary for Policymakers. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> (15.12.2011)
- IPCC Intergovernmental Panel on Global Change (2008). Klimaänderung 2007 Synthesebericht. Deutsche Übersetzung des Climate Change 2007 Synthesis Report. Deutsche IPCC Koordinierungsstelle (Hrsg.) Berlin

- JUG, A. (1998): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushalts, Dissertation LMU München, Hieronymus München.
- KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. (2001). Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. 1 Aufl. Berlin: Springer, 2001.
- KALTSCHMITT, M.; EDEL, M. (2010): Holz als Energieträger – sinnvoll und notwendig? Vortrag auf dem 30. Freiburger Winterkolloquium Forst und Holz am 28.01.2010
- KERN, J.; HELLEBRAND, H.; SCHOLZ, V.; BALASUS, A. (2009): Klimarelevanter Anbau von Energiepflanzen. In: Forschungsreport Nr. 1, 8-11.
- KIESEWALTER, S.; ROHRICHT, C. (2008): Nutzung von kontaminierten Böden. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen. Heft 30, 2008
- KNUR, L.; MURN, Y.; MURACH, D. (2008): Potentiale zur energetischen Nutzung von Agrarholz. In Endbericht DENDROM Zukunftsrohstoff Dendromasse. Eberswalde
- KNUR, L.; MURACH, D. (2008): Agrarholzproduktion in der Landwirtschaft: Der rechtliche Weg ebnet sich. Forst und Holz 63, Heft 5.
- KNUST, C. (2009): Kurzumtriebsplantagen – Stand des Wissens. In REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D.; SPIEKER, H. (Hrsg.) Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag Weinheim 2009
- KOLLAS, C.; LASCH, R.; ROCK, J.; SUCKOW, F. (2009): Bioenergy potential in Germany – assessing spatial patterns of biomass production with aspen short-rotation coppice. Int. Agrophysics, 2009, 23, 342-352
- KOPETZ, H. (2007): Pressemitteilung Österreichischer Biomasseverband, 13.09.2007, (<http://www.biomasseverband.at/biomasse/?cid=28226>)
- KREBS, S.; BECK, H. (2008): Von der analogen zur digitalen Flurbilanz –eine Methodenbeschreibung. Landinfo 2/2008. Infodienst Landwirtschaft-Ernährung-Ländlicher Raum des MLR Baden-Württemberg
- KRÖBER, M.; HEINRICH, J.; WAGNER, P. (2008): Energieholzanbau aus der Sicht des Landwirts – dafür oder dagegen? Einflüsse betrieblicher und regionaler Rahmenbedingungen auf die Entscheidung zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen. Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung 6
- KRÖBER, M.; HEINRICH, J.; WAGNER, P.; SCHWEINLE, J. (2010): Ökonomische Bewertung und Einordnung von Kurzumtriebsplantagen in die gesamtbetriebliche Anbaustruktur. In Bemann; A.; Knust, C. (Hrsg.) AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin.

- KUNZMANN, G.. (1989): Der Ökologische Feuchtegrad als Kriterium zur Beurteilung von Grünlandstandorten. Ein Vergleich bodenkundlicher und vegetationskundlicher Standortmerkmale. - Diss. Bot. 134. Cramer Verlag, Stuttgart.
- LANDGRAF, D.; JOHNE, A.; RÖHLE, H.(2009): Ertragspotential von Pappeln im Kurzumtrieb – Studie auf landwirtschaftlichen Flächen Südbrandenburgs. AFZ- Der Wald, 22/2009 S. 1203-1205
- LANDGRAF, D.; BÖCKER, L. (2010): Kurzumtriebsplantagen auf Sonderstandorten. In Bemann; A.; Knust, C. (Hrsg.) AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee Verlag, Berlin.
- LEL – Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd (2011a): KUP-Rechner Version 1.0 des LEL, LTZ und FVA (<http://www.bioenergieportal.info/baden-wuerttemberg/kup-rechner/> 06.12.2011)
- LEL – Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd (2011b): Deckungsbeiträge der wichtigsten landwirtschaftlichen Betriebszweige. E-Mail vom 25.02.2011 der Abt.2
- LINDROTH, A.; CIENCIALA, E. (1996): Water use efficiency of short rotation *Salix viminalis* at leaf, tree and stand level. Tree Physiol. 126, 257-262
- LINDROTH, A.; BATH, A. 1999: Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. Forest Ecology and Management, 121 (1-2): 57-65.
- LLG (2012): Landwirtschafts- und Landeskultugesetz vom 14. März 1974. Novelliert am 17.12.2011. Stuttgart (www.landesrecht-bw.de 17.02.2012).
- MANTAU, U. et al. (2010): EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg
- MLR (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum) (2007): Cross Compliance im Kontext der Vereinfachung der Gemeinsamen Agrarpolitik. Präsentation von Ministerialdirigent Joachim Hauck. Brüssel 08. Mai 2007. (http://www.europarl.europa.eu/hearings/20070508/agri/hauck_de.pdf 21.10.2010)
- MURACH, D.; MURN, Y.; HARTMANN, H. (2008a): Ertragsermittlung und Potentiale von Agrarholz. Forst und Holz 63. Heft 6 (2008), 18-23
- MURACH, D.; HARTMANN, H.; WALOTEK, P. (2008b). Ertragsmodelle für landwirtschaftliche Dendromasse. Endbericht DENDROM – Zukunftsrohstoff Dendromasse, Eberswalde, Berlin, Cottbus, 146-149
- MURACH, D.; HARTMANN, H.; MURN, Y.; SCHULTZE, M.; ALI, W.; RÜHLE, H. (2009): Standortbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: Reeg, T. (Hrsg.) (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 29-40.

- MURN, Y. (2007): Modelling potentials of short rotation coppice systems in Brandenburg with GIS. Master thesis at the University of applied sciences Eberswalde.
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. Berlin, November 2008
- NAHM, M. (2011): Erhebungen zu Ernte- und Transportkosten im Rahmen des ERA-NET CREFF Projektes. Mündliche Mitteilung vom 10.11.2011. FVA Freiburg
- NIGGEMANN, J. (1972): Das Problem der landwirtschaftlichen Grenzertragsböden. In: Berichte über Landwirtschaft. Band XLIX, Heft 3. S. 473 – 549. Hamburg und Berlin
- PETERS, K.; BILKE, G.; STROHBACH, B. (2007): Ertragsleistung sechsjähriger Robinien (*Robinia pseudoacacia*) auf vier ehemaligen Ackerstandorten unterschiedlicher Bodengüte in Brandenburg. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 41, S. 26-29
- PETZOLD, R.; FEGER, K.- H.; SIEMER, B. (2006): Standörtliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. AFZ – der Wald, 16/2006, 855-857
- PETZOLD, R.; FEGER, K.- H.; RÖHLE, H. (2010): Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In BEMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.) 2010: AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven –Weißensee Verlag, Berlin.
- PRETZSCH, J.; SKODAWESSELY, C. (2010): Sozio-ökonomische und ethische Aspekte der Kurzumtriebswirtschaft. In BEMANN, A.; KNUST, C. (Hrsg.) 2010: AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven –Weißensee Verlag, Berlin.
- REHFUESS, K. E. (1995): Standortansprüche und Nährstoffbedarf schnellwachsender Baumarten in Kurzumtriebswirtschaft. In: FNR (Hrsg.), Statusseminar Schnellwachsende Baumarten. Tagungsband, 1995, S. 10-14.
- RENNER, A. (2008): Untersuchung möglicher Potenziale zur Anlage von Kurzumtriebsplantagen - Interessen, Motivationen und Hintergründe verschiedener Kollektive. Diplomarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg 2008.
- ROCK, J.; LASCH, P.; KOLLAS, C. (2009): Auswirkungen von absehbarem Klimawandel auf Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T. (Hrsg.) (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 19-28.
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.- U.; STEINKE, C. (2006): Ertragsschätzung in Kurzumtriebsbeständen. In Tagungsband 1. Fachtagung Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Tharandt/Sachsen. S. 57-64.
- RÖHLE, H. (2009): Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen. DVFFA – Sektion Ertragskunde, Tagungsband 2009, 220-226

- RÖSCH, C. (2010): Nachhaltiges Flächenmanagement in Baden-Württemberg – wie mit einem Grünland-Überschuss umgehen? Vortrag auf der bio.net 2010 am 09.06.2010 in Stuttgart. (<http://www.bionet-online.de/bionet-symposien/bionet-symposien.html>)
- RWE AG (2008): RWE Innogy legt Energieholzplantagen an. Pressemitteilung (<http://www.rwe.com/web/cms/de/106446/rwe/verantwortung/> 23.12.2011)
- SCHELLINGER KG (2008): Energiewald für Pelletproduktion gepflanzt. Pressemitteilung vom 17.04.2008 in [agrarheute.com](http://www.agrarheute.com) (<http://www.agrarheute.com/energiewald-fuer-pelletproduktion-gepflanzt> 23.12.2011)
- SCHIRMER, R. (2010): 2. Energiewaldumtrieb: Geprüfte Pappelsorten steigern Ertrag erheblich. AFZ-Der Wald, 22/2010 S. 29-31
- SCHOLZ, V.; BOELCKE, B.; BURGER, F.; HOFMANN, M.; HOHM, C.; LORBACHER, F.-R.; VETTER, A.; WERNER, A. (2008): Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL-Heft 79, Darmstadt.
- SCHÖNE, F. (2008): Akzeptanz und Anforderungen an KUP aus Sicht von Naturschutzverbänden. Vortrag auf der Fachveranstaltung des BfN „Energieholz auf dem Acker – zwischen Eingriff und Ausgleich“. 1.- 4.09.2008 Insel Vilm
- SCHULTZE, M.; FIEDLER, P.; BRÄKOW, D. (2009): Logistische Bereitstellung von Agrarholz für regionale Nutzungen am Beispiel von Brandenburg. In: REEG, T. (Hrsg.) (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 113-124
- SCHÜTTE, A. (2011): Forschungsförderung zu Agrarholzproduktion. Vortrag beim 2. Forum Agroforstsysteme im Rahmen „100 Jahre Forschungsstandort Dornburg“ am 20/21. Juni 2011 in Dornburg (<http://www.tll.de/ainfo/html/afs.htm> 21.09.2011)
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2012): Tabelle: Landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Hauptnutzungsarten. (www.destatis.de 17.02.2012), Wiesbaden
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2007): Statistische Berichte Baden-Württemberg – Agrarwirtschaft. Artikel-Nr. 3465 07001. Stuttgart
- STEPHENS, W.; HESS, T.; KNOX, J. (2001): Review of the effects of energy crops on Hydrology. NF0416, Report to MAFF by Institute of Water and the Environment, Cranfield University, Silsoe.
- TEXTOR, B.; WILWERDING, A. (2003): Anbau, Bereitstellung und energetische Nutzung holzartiger Biomasse. Praxisversuch Energieproduktion und Verwertung. Versuchsbericht 3/2003, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- TEXTOR, B.; SAUTER, U.-H.; DEINES, T. (2008): Qualitätsmanagement Holzheizwerke – Standard für die professionelle Energieholznutzung. AFZ – Der Wald, 2008. S. 977-982
- THRÄN, D.; EDEL, M.; SEIDENBERGER, T. (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren

- Ausbau der energetischen Biomassenutzung. Kurztitel Biomassekonkurrenzen. 1. Zwischenbericht/1.Teilbericht des DBFZ. Leipzig
- UBA Umweltbundesamt (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimamodellen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier. Dessau.
- UNSELD, R. (1999): Kurzumtriebsbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden: Biomasseproduktion und bodenökologische Auswirkungen verschiedener Baumarten. Dissertation. Shaker Verlag Aachen
- UNSELD, R., MÖNDEL, A., TEXTOR, B., SEIDL, F., STEINFATT, K., KAISER, S., THIEL, M., KAROPKA, M., NAHM, M. (2010): Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsflächen in Baden-Württemberg – Eine praxisorientierte Handreichung. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ). 3. Auflage
- VETTER, A.; WERNER, A.; REINHOLD, G. (2000): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Jena.
- VISSMANN (2008): „Erneuerbare“ fest im Blick. Pressemitteilung vom 01.02.2008 (http://www.viessmann.de/etc/medialib/internet-global/pdf_documents/pressespiegel.Par.94695.File.File.tmp/Viessmann_DKZ_010208.pdf 23.12.2011)
- WABOA (2007): Wasser und Bodenatlas für Baden-Württemberg. Umweltministerium Baden-Württemberg. Stuttgart.
- WAGNER, P. (2009): Wirtschaftlichkeit des Energieholzanbaus in Kurzumtriebsplantagen. Präsentation auf dem KoNaRo Fachgespräch am 23.02.2009 in Bernburg
- WAGNER, P.; HEINRICH, J.; KRÖBER, M.; SCHWEINLE, J.; GROBE, W. (2009): Ökonomische Bewertung von Kurzumtriebsplantagen und Einordnung der Holzerzeugung in die Anbaustruktur landwirtschaftlicher Unternehmen. In: Reeg, T. (Hrsg.) (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S. 135-145
- WALDMANN, F.; WEINZIERL, W. (2008): Standortbewertung Kurzumtriebsfläche in Baden-Württemberg. Auftragsstudie des LGRB Freiburg. AZ 4765/08 6178 (unveröff.)
- WALWORTH, J.L.; LETZSCH, W.S.; SUMMER, M.E. (1986): Use of the boundary lines in establishing diagnostic norms. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 123-128.
- WBA, Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik.
- WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2003): Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond. Berlin, ISBN 3-936191-04-2.
- WEBB, R. A. (1972): Use of the Boundary Line in the analysis of biological data. J.Hort. Sci. 47, 309-319.

- WEINREICH, A.; HAID, S.; VAN DEN KERCHOVE, L.; ASEN, M.; HÄRDTLEIN, M.; ELTROP, L. (2012): Chancen und Hindernisse von Kurzumtriebsplantagen aus Sicht der Landwirte - Umfrageergebnisse einer Untersuchung im Rahmen des CREFF-Projektes. DLZ Agrarmagazin (im Druck)
- WELLER, F. (1987): Die Beurteilung des Wasserhaushalts bei der landbaulichen Standortkartierung in Baden-Württemberg. – Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde u. Forstpflanzenzüchtung, 33, 41-48, Stuttgart.
- WELLER, F. & DURWEN, K.-J. (1994): Standort und Landschaftsplanung. Ökologische Standortskarten als Grundlage der Landschaftsplanung. Landsberg (ecomel).
- WELLER, F.; VOGELANG, W. ; DURWEN, K.-J.; HAUFFE, H.- K. & KLEIN, S. (1996): Kartieranleitung „Agrarökologische Standortskartierung“. - Anlage 3 zum Abschlußbericht „Aufbau eines Agrarökologischen Informations-System auf der Basis der Standortskartierung“. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- WERNSMANN, P. (2011): EEcompact – EEG 2012 im Überblick. Hrsg.: ip inside partner. Legden
- WIRKNER, R. (2010): Energieholzproduktion im Kurzumtrieb – Chancen und Probleme bei ihrer Umsetzung. Dissertation an der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik. BTU Cottbus.

Quellenverzeichnis der verwendeten Karten

- BGR [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe] (2010): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3). Hannover
- BfN [Bundesamt für Naturschutz] (2010): Geofachdaten nach Angaben der Länder über die bundesweiten Schutzgebiete (Naturparke 2009, Nationalparke 2009, Biosphären-reservate 2009, Landschafts- und Naturschutzgebiete 2007, Natura2000 Gebiete 2009). Bonn
- BKG [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie] (2010): Verwaltungsgrenzen der Bundesrepublik Deutschland (ATKIS©VG250). Frankfurt am Main
- DWD [Deutscher Wetterdienst] (2010): Klimatische Wasserbilanz für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai-Okt.) als langjähriges Mittel (1961-1990); Jahresmittel der Lufttemperatur als langjähriges Mittel (1961-1990); WETTREG modellierte Niederschläge (Mai-Okt.) und Jahresmitteltemperaturen für die Zeiträume 1961-90, 2021-50, 2071-2100. 1 km Rasterdateien (ASCII) für die Bundesrepublik Deutschland. Offenbach und Braunschweig
- GD-NRW [Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen] (2010): Bodengütekarte im Maßstab 1:1.000.000 der landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Bundesrepublik Deutschland von 1958. Krefeld
- LEL [Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume BW] (2009): digitale Flächenbilanzkarte für Baden-Württemberg. In Bearbeitung Stand Dezember 2009. Schwäbisch Gmünd
- LGRB [Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau BW] (2010): Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1:200.000 (BÜK 200); Ausschnitte der Bodenkarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1:50.000 (BK 50). Freiburg
- LGL [Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung BW] (2010): Digitales Geländemodell für Baden-Württemberg mit einer Rasterweite von 5, 10 und 25 m. Stuttgart
- LIEDTKE, H. (2002): Generalisierte bundesweite Karte der Ertragsmesszahlen (3 Gütestufen) von 1937 auf Grundlage der Gemeindegrenzen. Entnommen aus LIEDTKE & MARCINEK (2002) Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage. Stuttgart

LUBW [Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz BW] (2010): Karte der
Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg; Karte der Grundwasserflurabstände für Teilgebiete
von Baden-Württemberg. Karlsruhe

USGS [United States Geological Survey] (2010): Digitales Geländemodell der Shuttle Radar Topographie
Mission (SRTM) für die Bundesrepublik Deutschland. Rasterweite ca. 90m. Reston USA

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
atro	absolut trocken
AZ	Ackerzahl
BHD	Brusthöhdurchmesser
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BW	Baden-Württemberg
fm	Festmeter
cm	Zentimeter
g	Gramm
GWh	Gigawattstunde
GIS	Geographische Informationssysteme
ha	Hektar
KUP	Kurzumtriebsplantage
kWh	Kilowattstunde
KWB	Klimatische Wasserbilanz
MWh	Megawattstunde
lutro	Lufttrocken, hier mit 25 % Wassergehalt
m	Meter
nFK	nutzbare Feldkapazität
PJ	Petajoule
R	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
rm	Raummeter
Srm	Schüttraumeter
t	Tonne
WVS	Wasserverfügbarkeitsstufe

Umrechnungszahlen

1 fm Holz = 1,43 rm = 2,5 Srm	(Quelle: HOFMANN 2010)
1 t Pappelholz atro = 7,1 Srm	(Quelle: UNSELD et al. 2010)
1 kg Pappelholz atro = 5 kWh	(Quelle: TEXTOR et al. 2008)
1 GWh = 1000 MWh = 1 Mio. kWh	(Quelle: BMU 2009)
1 kWh = 3,6 Megajoule	(Quelle: BMU 2009)

Anhang

- I Übersicht der zur Datenerhebung genutzten Praxis- und Versuchsflächen
- II Einzelergebnisse Deutschland Ackerland
- III Einzelergebnisse Deutschland Dauergrünland
- IV Einzelergebnisse Baden-Württemberg Ackerland
- V Einzelergebnisse Baden-Württemberg Dauergrünland
- VI Einzelergebnisse Gemeinden Ackerland
- VII Einzelergebnisse Gemeinden Dauergrünland
- VIII KUP-Flächenpotential in Zaberfeld
- IX KUP-Flächenpotential in Hügelsheim
- X KUP-Flächenpotential in St. Peter
- XI KUP-Flächenpotential in Bingen
- XII Prozentuale Anteile der KUP-Standorts- und Nutzklassen je Bundesland
- XIII Einzelergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anhang I: Übersicht der zur Datenerhebung genutzten Praxis- und Versuchsfelder

Nr.	Ort	Fläche	Baumart (Anzahl Sorten)	Pflanzjahr	Pflanzdichte Pappel / Weide	nFK mm/1m	KWB Mai- Okt.	Höhe (m ü. NN)	Ø Jahres- temperatur
1	Biederbach	Finsterbach	Pappel (2), Weide (2)	2009	5556 / 13793	193	-8	550	9,8
2	Biederbach	Elzach	Pappel (1)	2009	9328	151	-6,8	300	8,8
3	Gengenbach	Bollach	Pappel (1)	2009	5714	182	-29	174	11,1
4	Gengenbach	Schwaibachtal 1	Weide (1)	2009	11848	218	-30	175	11,1
5	Gengenbach	Schwaibachtal 2	Weide (1)	2009	11848	131	-30	220	11,1
6	Rheinmünster	Leiberstung	Pappel (1), Weide (1)	2009	4938 / 4938	198	-18	125	11,2
7	Upstadt-Weiher	Im Spermel 1	Pappel (1)	2009	10000	239	-84	170	11,5
8	Upstadt-Weiher	Im Spermel 2	Pappel (1)	2009	10000	81	-84	217	11,5
9	Upstadt-Weiher	Schweißenberg	Pappel (1)	2009	10000	294	-84	187	11,5
10	Neckargerach		Pappel (1)	2008	4000	143	-215	351	9,7
11	Rittersbach		Pappel (1)	2008		164	-215	338	9,7
12	Mudau		Weide (1)	2008		126	-215	487	9,1
13	Höpfingen	Nr. 1	Pappel (1)	2008		192	-215	373	9,1
14	Höpfingen	Nr. 2	Pappel (2)	2008		161	-215	373	9,1
15	Schwäbisch Hall	Nr. 1	Weide (1)	2009	8929	171	-22	395	9,9
16	Schwäbisch Hall	Nr. 2	Pappel (1)	2009	6250	167	-22	395	9,9
17	Kirchheim Teck		Pappel (1)	2008	8000	182	-23	342	9,6
18	Bad Schussenried	Degerнау	Weide (1)	2008	14000	314	133	571	8,6
19	Bad Schussenried	Olzreuter Kreuzung	Weide (1)	2008	13860	203	133	578	8,6

Nr.	Ort	Fläche	Baumart (Anzahl Sorten)	Pflanzjahr	Pflanzdichte Pappel / Weide	nFK mm/1m	KWB Mai- Okt.	Höhe (m ü. NN)	Jahres- temperatur
20	Pfullendorf	Aach Linz	Weide (1)	2009	11123	320	64	625	9,3
21	Wald-Ruhestetten	Engelsholz 1	Pappel (2), Weide (2)	2009	5233 / 10929	188	-10	640	9,1
22	Wald-Ruhestetten	Engelsholz 2	Pappel (1), Weide (2)	2009	5915 / 10929	163	-10	640	9,1
23	Wald-Ruhestetten	Müllerzeil	Weide (3)	2009	10929	214	-10	640	9,1
24	Buggingen	B3	Weide (1)	2009	14800	142	-125	230	11,1
25	Bingen	Nr. 1	Pappel (1)	2009	6666	177	64,9	640	7,2
26	Bingen	Nr. 2	Pappel (1)	2009	6666	60	64,9	620	7,2
27	Mauenheim		Pappel (1), Weide (1)	2009		108	9	672	8,7
28	Welschingen		Pappel (1)	2008		96	9	484	9,0
29	Friedingen		Pappel (1)	2008		191	62	450	8,8
30	Espasingen	Nr. 1	Pappel (1)	2008	11300	191	62	404	8,9
31	Espasingen	Nr. 2	Pappel (1)	2009	11300	235	9	404	8,9
32	Oberdorf		Pappel (1)	2007		195	-9	417	10,4
33	Dußlingen	VFL1	Pappel (5)	2007	3333	216	-9	417	9,4
34	Dußlingen	VFL2	Pappel (4)	2008	7974	194	-9	417	9,3
35	Seewald	VFL4	Pappel (1), Weide (2)	2008	13093	215	-9	417	8,6
36	Emmendingen	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	233	-33	220	10,2
37	Liliental	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	250	-49	350	10,3
38	Kupferzell	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	191	-114	351	10,8
39	Kupferzell	Sortenversuch	Pappel (13), Weide (8)	2009	7143 / 10000	191	-110	351	10,8
40	Aulendorf	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	533	133	553	8,6
41	Aulendorf	Sortenversuch	Pappel (13), Weide (8)	2009	7143 / 10000	533	129	553	8,6

Nr.	Ort	Fläche	Baumart (Anzahl Sorten)	Pflanzjahr	Pflanzdichte Pappel / Weide	nFK mm/1m	KWB Mai- Okt.	Höhe (m ü. NN)	Jahres- temperatur
42	Marbach	Sortenversuch	Pappel (13), Weide (8)	2009	7143 / 10000	62	6	216	7,3
43	Rheinstetten	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	207	-189	117	11,1
44	Forchheim	Sortenversuch	Pappel (13), Weide (8)	2009	7143 / 10000	177	-207	116	11,1
45	Ladenburg	Proloc	Pappel (3), Weide (2)	2008	11111	165	-189	103	10,7
46	Echigey		Pappel (20)	2009	7500	140	-147	194	10,6
47	Attigey		Weide (4)	2009	12000	195	-57	84	9,5
48	Pleyber-Christ		Weide (3)	2002	11600	157	-87	130	11,3
49	Saint Sulpice		Weide (3)	2009	5000	237	-202	70	11,2
50	St Segal		Weide (3)	1998	11194	193	-87	108	11,3
51	Semuy		Weide (2)	2006		162	-399	89	10,1
52	Amange		Weide (2)	2008		176	-399	79	10,1
53	Ambly- Fleury		Weide (2)	2006		198	-399	77	10,1
54	La Brosse Mont.		Pappel (3)	2008	7200	247	-313	54	11
55	Asfeld		Weide (2)	2008		210	-399	63	11
56	Estrees-Mons		Pappel (4)	2007	10000	250	-399	88	10,1
57	Guemene		Pappel (1), Weide (6)	2009		175	-203	20	11,2
58	Speyer		Pappel (2)	2009	6700	191	-140	100	10,7
59	Krastel		Pappel (5)	2008	6450	134	-69	402	8,5
60	Fronhofen		Pappel (5)	2009		209	230	379	8,3
61	Reipoldtskirchen		Pappel (3)	2008		170	-66	216	9,5
62	Zweibrücken		Pappel (6)	2008		186	44	228	9,2

Standorts- klasse	Hang- neigung	Acker- zahl	Nutz- klasse	% Ackerfl.	Hektar	t atro
sehr günstig	<10%	<33	1	3,3	391.258	6.377.506
sehr günstig	<10%	33-63	2	4,0	479.305	7.812.672
sehr günstig	<10%	>63	3	1,2	145.174	2.366.332
sehr günstig	10-20%	<33	2	0,0	1.918	31.256
sehr günstig	10-20%	33-63	2	0,1	13.902	226.605
sehr günstig	10-20%	>63	3	0,0	3.116	50.791
sehr günstig	>20%	<33	3	0,0	160	2.605
sehr günstig	>20%	33-63	3	0,0	5.113	83.349
sehr günstig	>20%	>63	3	0,0	1.198	19.535
günstig	<10%	<33	1	2,4	284.595	3.244.381
günstig	<10%	33-63	2	4,8	566.633	6.459.616
günstig	<10%	>63	3	0,6	68.792	784.226
günstig	10-20%	<33	2	0,1	8.949	102.013
günstig	10-20%	33-63	2	0,6	72.467	826.124
günstig	10-20%	>63	3	0,1	7.590	86.529
günstig	>20%	<33	3	0,0	3.915	44.631
günstig	>20%	33-63	3	0,1	17.098	194.918
günstig	>20%	>63	3	0,0	1.758	20.038
mittel	<10%	<33	2	6,0	718.598	5.389.485
mittel	<10%	33-63	2	22,3	2.658.349	19.937.620
mittel	<10%	>63	3	5,4	647.889	4.859.166
mittel	10-20%	<33	2	0,2	24.369	182.766
mittel	10-20%	33-63	2	2,0	235.618	1.767.133
mittel	10-20%	>63	3	0,3	33.797	253.475
mittel	>20%	<33	3	0,0	4.394	32.958
mittel	>20%	33-63	3	0,3	40.987	307.406
mittel	>20%	>63	3	0,0	3.835	28.763
ungünstig	<10%	<33	2	6,5	776.124	3.647.784
ungünstig	<10%	33-63	2	20,1	2.393.249	11.248.272
ungünstig	<10%	>63	3	5,6	669.301	3.145.716
ungünstig	10-20%	<33	2	0,2	27.005	126.925
ungünstig	10-20%	33-63	2	1,8	216.442	1.017.279
ungünstig	10-20%	>63	3	0,2	23.330	109.651
ungünstig	>20%	<33	3	0,0	4.474	21.029
ungünstig	>20%	33-63	3	0,4	43.864	206.159
ungünstig	>20%	>63	3	0,0	4.314	20.278
Ausschluß	<10%	<33	3	2,1	253.275	658.515
Ausschluß	<10%	33-63	3	7,0	837.486	2.177.462
Ausschluß	<10%	>63	3	0,7	79.258	206.072
Ausschluß	10-20%	<33	3	0,2	28.843	74.992
Ausschluß	10-20%	33-63	3	0,7	81.336	211.473
Ausschluß	10-20%	>63	3	0,0	5.912	15.372
Ausschluß	>20%	<33	3	0,0	5.193	13.503
Ausschluß	>20%	33-63	3	0,2	17.977	46.740
Ausschluß	>20%	>63	3	0,0	1.438	3.739

Anhang II

Einzelergebnisse der Potentialabschätzung

Ackerland Deutschland

Hangneigung	%
<10%	92,10
10-20%	6,59
>20%	1,31

Ackerzahl	%
AZ <33	21,27
Az 33-63	64,48
AZ >63	14,25

Standortskl.	%
sehr günstig	8,8
günstig	8,9
mittel	36,1
ungünstig	34,9
ungeeignet	11,4

Nutzklasse

Klasse	Beschreibung	%	ha	t atro Mio.
1	gut geeignet	5,7	675.853	9,6
2	bed. geeignet	68,8	8.192.928	58,8
3	nicht geeignet	25,5	3.040.819	16,1

Ackerfläche 2011 in ha: 11.909.600

Quelle: Statistisches Bundesamt 2012

Standorts- klasse	Hang- neigung	Schutzgebiete	Nutz- klasse	% Grünland	Hektar	t atro
sehr günstig	<10%	keine	1	10,99	510.663	8.323.807
sehr günstig	<10%	mit einem bel.	2	3,01	139.845	2.279.474
sehr günstig	<10%	2 oder mehr	3	2,88	133.677	2.178.942
sehr günstig	10-20%	keine	2	0,45	20.998	342.260
sehr günstig	10-20%	mit einem bel.	2	0,25	11.504	187.509
sehr günstig	10-20%	2 oder mehr	3	0,05	2.495	40.665
sehr günstig	>20%	keine	3	0,18	8.593	140.067
sehr günstig	>20%	mit einem bel.	3	0,12	5.613	91.495
sehr günstig	>20%	2 oder mehr	3	0,03	1.455	23.721
günstig	<10%	keine	1	22,04	1.023.821	11.671.557
günstig	<10%	mit einem bel.	2	5,43	252.178	2.874.834
günstig	<10%	2 oder mehr	3	2,99	138.806	1.582.383
günstig	10-20%	keine	2	2,61	121.412	1.384.092
günstig	10-20%	mit einem bel.	2	1,21	56.132	639.905
günstig	10-20%	2 oder mehr	3	0,25	11.504	131.141
günstig	>20%	keine	3	0,54	25.294	288.352
günstig	>20%	mit einem bel.	3	0,37	17.325	197.502
günstig	>20%	2 oder mehr	3	0,12	5.752	65.571
mittel	<10%	keine	2	13,50	627.224	4.704.177
mittel	<10%	mit einem bel.	2	4,60	213.648	1.602.362
mittel	<10%	2 oder mehr	3	1,08	50.034	375.253
mittel	10-20%	keine	2	1,94	89.950	674.624
mittel	10-20%	mit einem bel.	2	1,50	69.784	523.379
mittel	10-20%	2 oder mehr	3	0,27	12.474	93.553
mittel	>20%	keine	3	0,38	17.740	133.054
mittel	>20%	mit einem bel.	3	0,42	19.404	145.528
mittel	>20%	2 oder mehr	3	0,15	6.861	51.454
ungünstig	<10%	keine	2	6,50	302.004	1.419.420
ungünstig	<10%	mit einem bel.	2	2,43	113.026	531.224
ungünstig	<10%	2 oder mehr	3	0,51	23.839	112.042
ungünstig	10-20%	keine	2	1,45	67.289	316.259
ungünstig	10-20%	mit einem bel.	2	1,03	47.678	224.085
ungünstig	10-20%	2 oder mehr	3	0,22	10.187	47.879
ungünstig	>20%	keine	3	0,34	15.800	74.261
ungünstig	>20%	mit einem bel.	3	0,32	14.830	69.701
ungünstig	>20%	2 oder mehr	3	0,10	4.851	22.799
Ausschluß	<10%	keine	3	3,89	180.523	469.361
Ausschluß	<10%	mit einem bel.	3	1,77	82.327	214.050
Ausschluß	<10%	2 oder mehr	3	0,53	24.740	64.323
Ausschluß	10-20%	keine	3	1,29	59.736	155.313
Ausschluß	10-20%	mit einem bel.	3	0,97	44.906	116.755
Ausschluß	10-20%	2 oder mehr	3	0,29	13.305	34.594
Ausschluß	>20%	keine	3	0,42	19.404	50.450
Ausschluß	>20%	mit einem bel.	3	0,40	18.641	48.468
Ausschluß	>20%	2 oder mehr	3	0,17	7.831	20.360

Anhang III

Einzelergebnisse der Potentialabschätzung

Dauergrünland Deutschland

Hangneigung	%
<10%	82,2
10-20%	13,8
>20%	4,1

Schutzgebiete	%
keine	66,5
mit einem bel.	23,8
2 oder mehr	9,6

Standortskl.	%
sehr günstig	18,0
günstig	35,6
mittel	23,8
ungünstig	12,9
ungeeignet	9,7

Nutzklasse

Klasse	Beschreibung	%	ha	tatro mio
1	gut geeignet	33,0	1.534.484	20,0
2	bed. geeignet	45,9	2.132.671	17,7
3	nicht geeignet	21,1	977.945	7,0

Dauergrünland 2011 in ha: 4.645.100

Quelle: Statistisches Bundesamt 2012

Standorts- klasse	Hang- neigung	Acker- zahl	Nutz- klasse	% Ackerfl.	Hektar	t atro
sehr günstig	<10%	<33	1	0,0	385	6.272
sehr günstig	<10%	33-63	2	3,1	25.569	416.772
sehr günstig	<10%	>63	3	2,7	22.647	369.144
sehr günstig	10-20%	<33	1	0,1	417	6.791
sehr günstig	10-20%	33-63	2	0,3	2.539	41.390
sehr günstig	10-20%	>63	3	0,0	400	6.527
sehr günstig	>20%	<33	1	0,1	474	7.726
sehr günstig	>20%	33-63	2	0,0	265	4.321
sehr günstig	>20%	>63	3	0,0	25	406
günstig	<10%	<33	1	0,6	4.617	52.633
günstig	<10%	33-63	2	10,2	84.495	963.242
günstig	<10%	>63	3	5,6	46.156	526.178
günstig	10-20%	<33	1	0,3	2.662	30.348
günstig	10-20%	33-63	2	2,0	16.488	187.963
günstig	10-20%	>63	3	0,5	3.970	45.261
günstig	>20%	<33	1	0,1	1.080	12.317
günstig	>20%	33-63	2	0,1	853	9.721
günstig	>20%	>63	3	0,0	91	1.034
mittel	<10%	<33	1	2,7	22.439	168.291
mittel	<10%	33-63	2	21,3	177.411	1.330.580
mittel	<10%	>63	3	13,1	109.060	817.951
mittel	10-20%	<33	1	0,7	6.053	45.394
mittel	10-20%	33-63	2	3,7	30.358	227.686
mittel	10-20%	>63	3	0,8	6.991	52.430
mittel	>20%	<33	1	0,2	1.375	10.311
mittel	>20%	33-63	2	0,1	1.209	9.070
mittel	>20%	>63	3	0,0	121	908
ungünstig	<10%	<33	1	2,3	19.487	91.588
ungünstig	<10%	33-63	2	18,6	154.666	726.930
ungünstig	<10%	>63	3	2,0	16.456	77.345
ungünstig	10-20%	<33	1	0,8	6.577	30.912
ungünstig	10-20%	33-63	2	2,7	22.370	105.141
ungünstig	10-20%	>63	3	0,2	1.907	8.962
ungünstig	>20%	<33	1	0,1	1.125	5.286
ungünstig	>20%	33-63	2	0,1	927	4.356
ungünstig	>20%	>63	3	0,0	55	257
Ausschluß	<10%	<33	1	1,0	8.511	22.129
Ausschluß	<10%	33-63	2	2,6	22.035	57.292
Ausschluß	<10%	>63	3	0,2	1.366	3.553
Ausschluß	10-20%	<33	1	0,3	2.269	5.901
Ausschluß	10-20%	33-63	2	0,5	4.480	11.649
Ausschluß	10-20%	>63	3	0,0	242	629
Ausschluß	>20%	<33	1	0,1	581	1.512
Ausschluß	>20%	33-63	2	0,0	380	988
Ausschluß	>20%	>63	3	0,0	16	41

Anhang IV

Einzelergebnisse der Potentialabschätzung

Ackerland Baden-Württemberg

Hangneigung	%
<10%	86,01
10-20%	12,95
>20%	1,03

Flurbilanz	%
AZ <35	9,39
Az 35-59	65,42
AZ >59	25,19

Standortskl.	%
Ausschluß	5,3
ungünstig	27,4
mittel	42,7
günstig	18,5
sehr günstig	6,1

Nutzklasse

Klasse	Beschreibung	%	ha	tatro 1000
1	gut geeignet	0,60	5.002	58,9
2	bedingt geeignet	68,73	571.530	4373,0
3	nicht geeignet	30,67	255.068	2073,2

Ackerfläche 2011 in ha: 831.600

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2011

Standorts- klasse	Hang- neigung	Schutzgebiete	Nutz- klasse	Grünland %	Hektar	t atro
sehr günstig	<10%	keine	1	3,56	19.054	310.574
sehr günstig	<10%	mit einem bel.	2	1,36	7.279	118.648
sehr günstig	<10%	2 oder mehr	3	2,07	11.074	180.498
sehr günstig	10-20%	keine	2	1,44	7.691	125.363
sehr günstig	10-20%	mit einem bel.	2	0,54	2.887	47.066
sehr günstig	10-20%	2 oder mehr	3	0,36	1.902	31.006
sehr günstig	>20%	keine	3	1,88	10.095	164.552
sehr günstig	>20%	mit einem bel.	3	0,63	3.363	54.813
sehr günstig	>20%	2 oder mehr	3	0,25	1.339	21.822
günstig	<10%	keine	1	9,29	49.748	567.129
günstig	<10%	mit einem bel.	2	3,20	17.116	195.120
günstig	<10%	2 oder mehr	3	5,38	28.819	328.538
günstig	10-20%	keine	2	3,57	19.145	218.250
günstig	10-20%	mit einem bel.	2	1,74	9.296	105.976
günstig	10-20%	2 oder mehr	3	1,75	9.387	107.014
günstig	>20%	keine	3	2,36	12.624	143.916
günstig	>20%	mit einem bel.	3	1,50	8.042	91.673
günstig	>20%	2 oder mehr	3	0,98	5.237	59.704
mittel	<10%	keine	2	8,27	44.287	332.154
mittel	<10%	mit einem bel.	2	2,87	15.376	115.320
mittel	<10%	2 oder mehr	3	6,21	33.242	249.318
mittel	10-20%	keine	2	2,84	15.191	113.931
mittel	10-20%	mit einem bel.	2	1,47	7.852	58.893
mittel	10-20%	2 oder mehr	3	1,96	10.489	78.670
mittel	>20%	keine	3	0,94	5.024	37.682
mittel	>20%	mit einem bel.	3	0,71	3.825	28.689
mittel	>20%	2 oder mehr	3	0,72	3.846	28.845
ungünstig	<10%	keine	2	8,39	44.954	211.282
ungünstig	<10%	mit einem bel.	2	1,37	7.314	34.374
ungünstig	<10%	2 oder mehr	3	3,34	17.870	83.991
ungünstig	10-20%	keine	2	2,28	12.235	57.505
ungünstig	10-20%	mit einem bel.	2	0,86	4.605	21.646
ungünstig	10-20%	2 oder mehr	3	1,22	6.539	30.735
ungünstig	>20%	keine	3	0,54	2.918	13.715
ungünstig	>20%	mit einem bel.	3	0,41	2.189	10.290
ungünstig	>20%	2 oder mehr	3	0,52	2.794	13.134
Ausschluß	<10%	keine	3	2,11	11.296	29.370
Ausschluß	<10%	mit einem bel.	3	1,22	6.510	16.925
Ausschluß	<10%	2 oder mehr	3	3,15	16.879	43.886
Ausschluß	10-20%	keine	3	1,20	6.453	16.778
Ausschluß	10-20%	mit einem bel.	3	1,22	6.552	17.036
Ausschluß	10-20%	2 oder mehr	3	1,35	7.214	18.756
Ausschluß	>20%	keine	3	0,97	5.209	13.545
Ausschluß	>20%	mit einem bel.	3	1,05	5.651	14.693
Ausschluß	>20%	2 oder mehr	3	0,99	5.285	13.740

Anhang V

Einzelergebnisse der Potentialabschätzung

Dauergrünland Baden-Württemberg

Hangneigung	%
<10%	61,8
10-20%	23,8
>20%	14,5

Schutzgebiete	%
keine	49,6
mit einem bel.	20,1
2 oder mehr	30,2

Standortskl.	%
Ausschluß	13,3
ungünstig	18,9
mittel	25,9
günstig	29,8
sehr günstig	12,1

Nutzklasse

tech. Klasse	Bes.	%	ha	tatro 1000
1	gut geeignet	12,8	68.802	877,7
2	bedingt geeignet	40,2	215.228	1755,5
3	nicht geeignet	47,0	251.670	1943,3

Dauergrünland 2011 in ha: **535.700**

Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2011

Anhang VI

Einzelerggebnisse Ackerland Gemeinden

Standorts- klasse	Hang- neigung	Acker- zahl	Nutzklasse	Bingen		St. Peter		Zaberfeld		Hügelsheim	
				%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
sehr günstig	< 10%	< 35	gut geeignet	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	4,2
sehr günstig	< 10%	35-59	bedingt geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	68,2
sehr günstig	< 10%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	29,7
sehr günstig	10-20%	< 35	bedingt geeignet	0,0	0,0	3,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	10-20%	35-59	bedingt geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	10-20%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	> 20%	< 35	nicht geeignet	0,0	0,0	10,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	> 20%	35-59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
günstig	< 10%	< 35	gut geeignet	0,0	0,0	38,1	5,0	0,0	0,3	0,4	0,2
günstig	< 10%	35-59	bedingt geeignet	1,7	13,9	0,0	0,0	3,1	23,5	1,4	1,4
günstig	< 10%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	21,0	3,8	7,7
günstig	10-20%	< 35	bedingt geeignet	0,0	0,0	27,6	3,6	0,0	0,2	0,0	0,0
günstig	10-20%	35-59	bedingt geeignet	0,2	1,4	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0
günstig	10-20%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	1,2	0,0	0,0
günstig	> 20%	< 35	nicht geeignet	0,0	0,0	17,0	2,2	0,0	0,1	0,0	0,0
günstig	> 20%	35-59	nicht geeignet	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
günstig	> 20%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
mittel	< 10%	< 35	bedingt geeignet	4,3	34,7	0,6	0,1	0,2	1,9	38,5	91,4
mittel	< 10%	35-59	bedingt geeignet	55,4	449,6	0,0	0,0	22,8	174,0	3,8	8,9
mittel	< 10%	> 59	nicht geeignet	0,9	7,0	0,0	0,0	41,1	314,4	0,1	0,1
mittel	10-20%	< 35	bedingt geeignet	0,2	1,7	0,8	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0
mittel	10-20%	35-59	bedingt geeignet	2,4	19,7	0,0	0,0	2,5	19,4	0,0	0,0
mittel	10-20%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	8,9	0,0	0,0
mittel	> 20%	< 35	nicht geeignet	0,1	0,9	2,1	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0
mittel	> 20%	35-59	nicht geeignet	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
ungünstig	< 10%	< 35	bedingt geeignet	5,9	48,0	0,0	0,0	1,5	11,7	6,8	16,1
ungünstig	< 10%	35-59	bedingt geeignet	17,5	141,6	0,0	0,0	19,7	150,8	2,0	4,8
ungünstig	< 10%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	8,0	0,0	0,0
ungünstig	10-20%	< 35	bedingt geeignet	1,2	9,5	0,0	0,0	0,6	4,4	0,0	0,0
ungünstig	10-20%	35-59	bedingt geeignet	2,5	20,0	0,0	0,0	1,9	14,4	0,0	0,0
ungünstig	10-20%	> 59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,2	0,0	0,0
ungünstig	> 20%	< 35	nicht geeignet	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
ungünstig	> 20%	35-59	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	< 10%	< 35	nicht geeignet	4,3	34,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	< 10%	35-59	nicht geeignet	2,7	22,3	0,0	0,0	0,4	3,1	0,0	0,0
Ausschluß	10-20%	< 35	nicht geeignet	0,3	2,2	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,0
Ausschluß	10-20%	35-59	nicht geeignet	0,3	2,2	0,0	0,0	0,2	1,8	0,0	0,0
Ausschluß	> 20%	< 35	nicht geeignet	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0

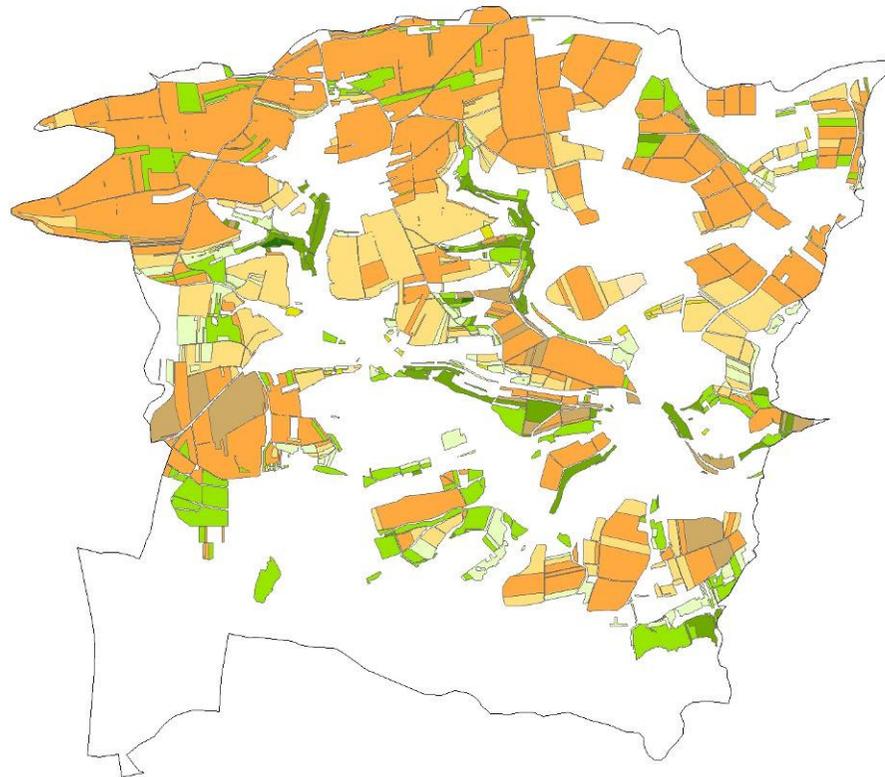
Anhang VII

Einzelergebnisse Dauergrünland

Standorts- klasse	Hang- neigung	Schutz- gebiete	Nutzklasse	Bingen		St. Peter		Zaberfeld		Hügelsheim	
				%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
sehr günstig	< 10%	keine SGB	gut geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	21,9
sehr günstig	< 10%	1 SGB	bedingt geeignet	0,0	0,0	0,6	9,9	0,0	0,0	0,3	0,5
sehr günstig	< 10%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	16,9	26,2
sehr günstig	10-20%	1 SGB	bedingt geeignet	0,0	0,0	1,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	10-20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,8	0,5	1,0	0,0	0,0
sehr günstig	> 20%	1 SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	1,8	29,7	0,0	0,0	0,0	0,0
sehr günstig	> 20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	0,1	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0
günstig	< 10%	keine SGB	gut geeignet	0,9	3,2	0,4	6,6	2,9	6,0	0,8	1,3
günstig	< 10%	1 SGB	bedingt geeignet	1,5	5,0	7,8	125,3	2,9	6,0	0,4	0,7
günstig	< 10%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	12,6	43,5	0,6	9,2	5,7	12,0	0,1	0,1
günstig	10-20%	keine SGB	bedingt geeignet	0,1	0,4	0,5	8,0	0,5	1,0	0,0	0,0
günstig	10-20%	1 SGB	bedingt geeignet	0,6	2,1	17,9	288,3	1,0	2,0	0,0	0,0
günstig	10-20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,6	1,9	0,8	13,4	2,4	5,0	0,0	0,0
günstig	> 20%	keine SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	0,2	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0
günstig	> 20%	1 SGB	nicht geeignet	0,1	0,3	38,0	611,7	0,5	1,0	0,0	0,0
günstig	> 20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,2	0,6	2,0	32,0	1,0	2,0	0,0	0,0
mittel	< 10%	keine SGB	bedingt geeignet	11,8	40,7	0,3	4,2	12,9	27,0	29,5	45,7
mittel	< 10%	1 SGB	bedingt geeignet	5,1	17,6	0,6	8,9	2,9	6,0	0,1	0,1
mittel	< 10%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	22,5	77,6	0,4	6,4	18,7	39,0	3,3	5,1
mittel	10-20%	keine SGB	bedingt geeignet	1,4	5,0	0,0	0,6	3,8	8,0	0,0	0,0
mittel	10-20%	1 SGB	bedingt geeignet	2,0	6,8	2,0	31,4	5,3	11,0	0,0	0,0
mittel	10-20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	2,6	8,8	0,7	11,3	8,1	17,0	0,0	0,0
mittel	> 20%	keine SGB	nicht geeignet	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
mittel	> 20%	1 SGB	nicht geeignet	0,4	1,5	3,5	56,5	1,0	2,0	0,0	0,0
mittel	> 20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,4	1,3	0,4	7,0	0,5	1,0	0,0	0,0
ungünstig	< 10%	keine SGB	bedingt geeignet	8,9	30,6	0,0	0,0	2,9	6,0	1,8	2,8
ungünstig	< 10%	1 SGB	bedingt geeignet	1,2	4,1	0,0	0,0	6,2	13,0	0,0	0,0
ungünstig	< 10%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	7,4	25,5	0,0	0,0	5,7	12,0	32,5	50,4
ungünstig	10-20%	keine SGB	bedingt geeignet	2,0	7,0	0,0	0,0	1,4	3,0	0,0	0,0
ungünstig	10-20%	1 SGB	bedingt geeignet	0,6	2,1	0,0	0,0	3,3	7,0	0,0	0,0
ungünstig	10-20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	2,7	9,3	0,0	0,0	7,2	15,0	0,0	0,0
ungünstig	> 20%	keine SGB	nicht geeignet	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ungünstig	> 20%	1 SGB	nicht geeignet	0,1	0,3	0,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ungünstig	> 20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0
Ausschluß	< 10%	keine SGB	nicht geeignet	8,6	29,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	< 10%	1 SGB	nicht geeignet	1,1	3,9	2,9	46,4	0,0	0,0	0,2	0,2
Ausschluß	< 10%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,7	2,3	0,2	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	10-20%	keine SGB	nicht geeignet	2,9	10,1	0,0	0,2	1,0	2,0	0,0	0,0
Ausschluß	10-20%	1 SGB	nicht geeignet	0,1	0,3	8,6	138,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	10-20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,6	2,2	0,5	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	> 20%	keine SGB	nicht geeignet	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausschluß	> 20%	1 SGB	nicht geeignet	0,0	0,0	7,0	112,5	1,0	2,0	0,0	0,0
Ausschluß	> 20%	2 o.m. SGB	nicht geeignet	0,0	0,1	0,8	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0

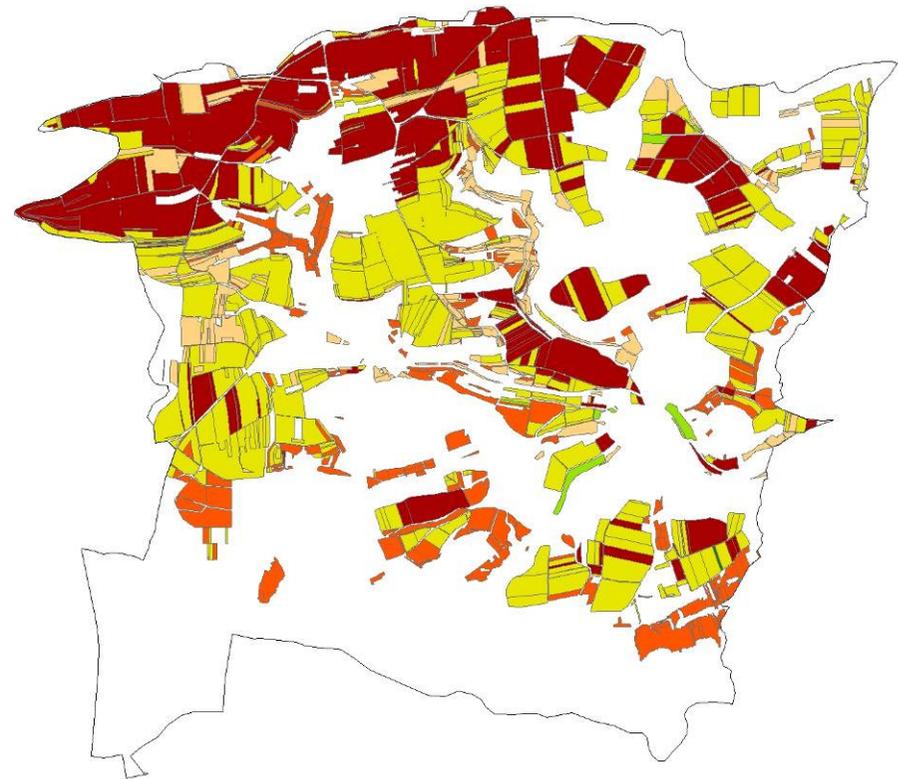
Anhang VIII: KUP-Flächenpotential in Zaberfeld

KUP-Standortsklassen

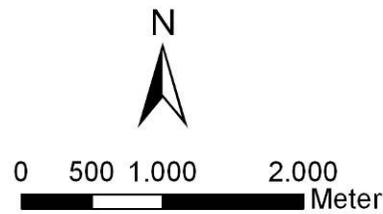


Ackerland	Grünland
ungeeignet	ungeeignet
ungünstig	ungünstig
mittel	mittel
günstig	günstig
sehr günstig	sehr günstig

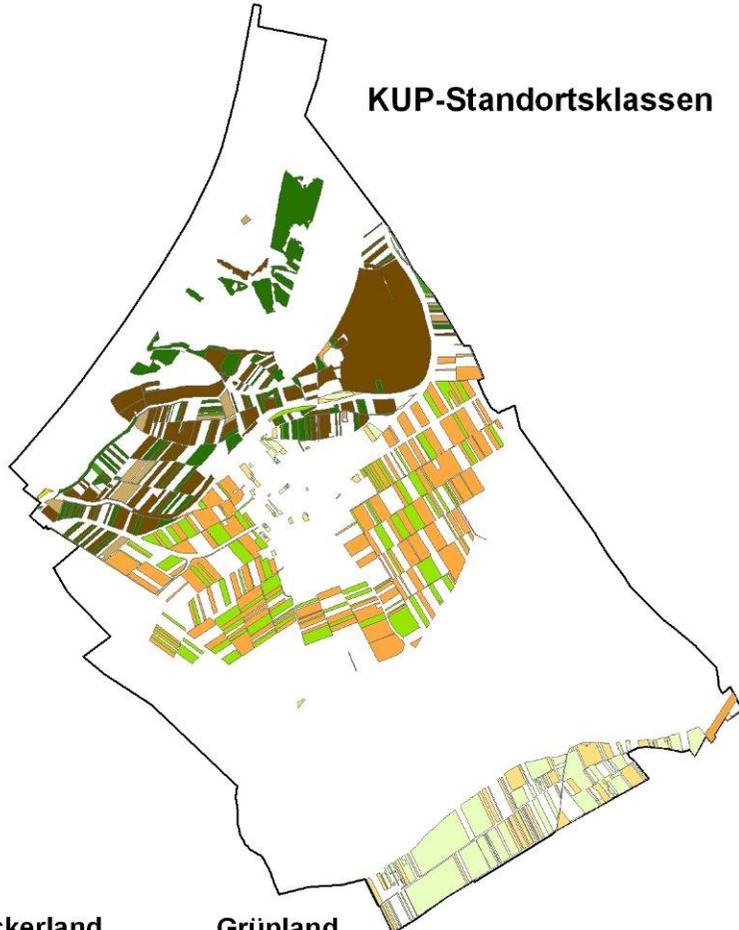
KUP-Nutzungsklassen



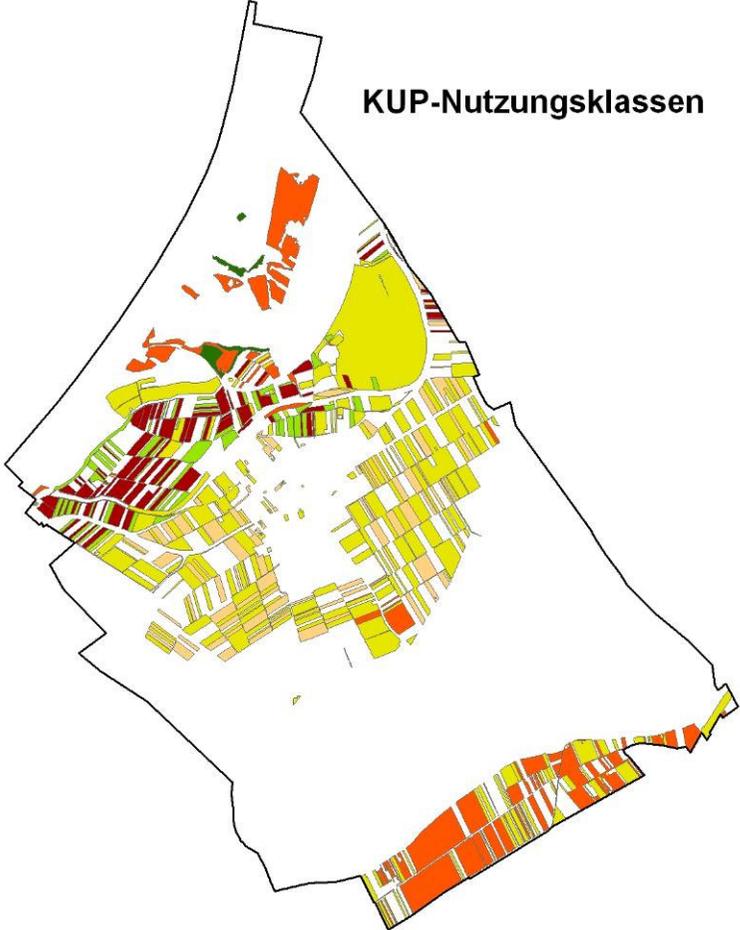
Ackerland	Grünland
nicht geeignet	nicht geeignet
bedingt geeignet	bedingt geeignet
gut geeignet	gut geeignet



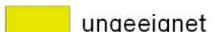
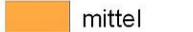
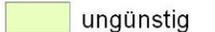
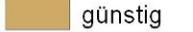
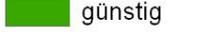
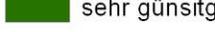
Anhang IX: KUP-Flächenpotential in Hügelsheim

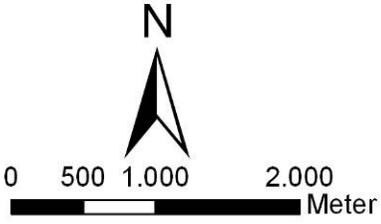


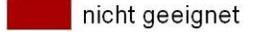
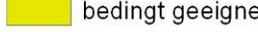
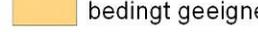
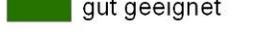
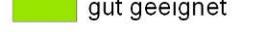
KUP-Standortsklassen



KUP-Nutzungsklassen

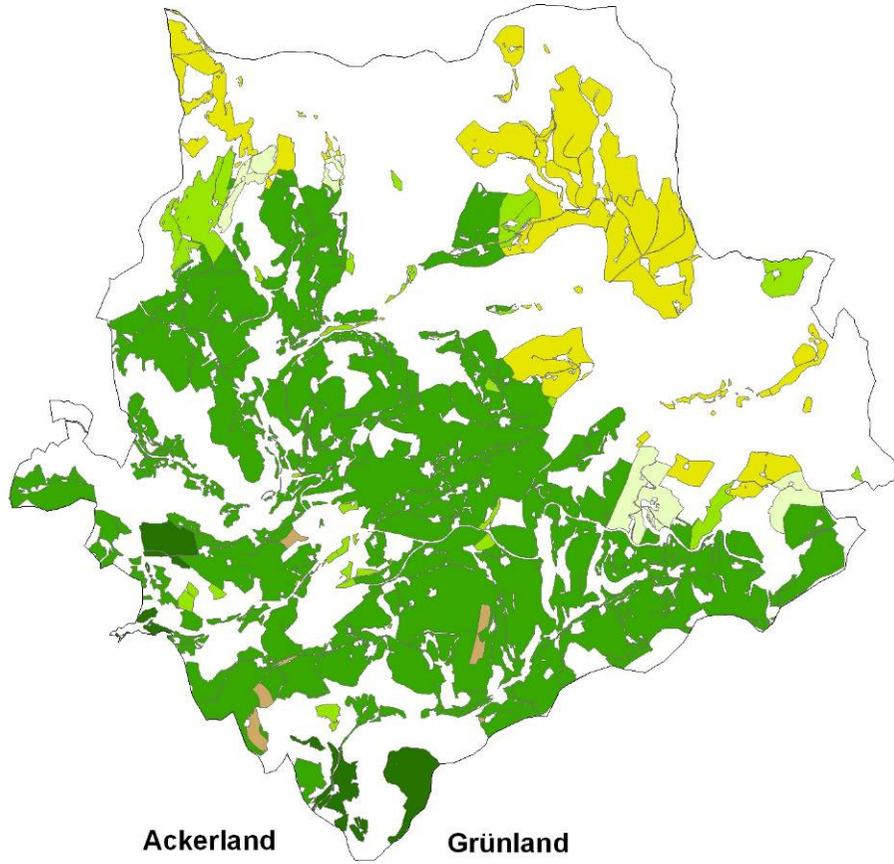
Ackerland		Grünland	
	ungünstig		ungeeignet
	mittel		ungünstig
	günstig		mittel
	sehr günstig		günstig
			sehr günstig



Ackerland		Grünland	
	nicht geeignet		nicht geeignet
	bedingt geeignet		bedingt geeignet
	gut geeignet		gut geeignet

Anhang X: KUP-Flächenpotential in St. Peter

KUP-Standortsklassen



Ackerland

 günstig

Grünland

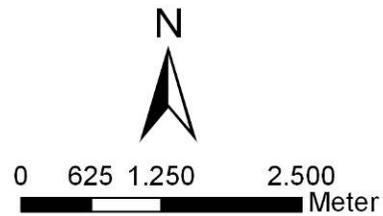
 ungeeignet

 ungünstig

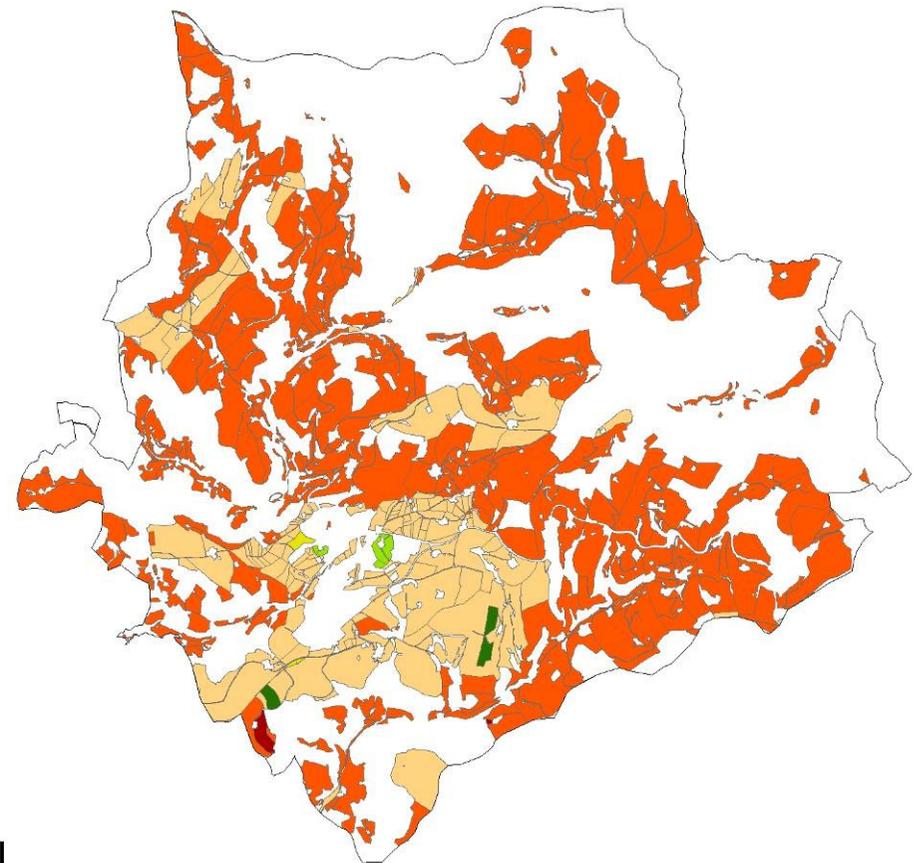
 mittel

 günstig

 sehr günstig



KUP-Nutzungsklassen



Ackerland

 nicht geeignet

 bedingt geeignet

 gut geeignet

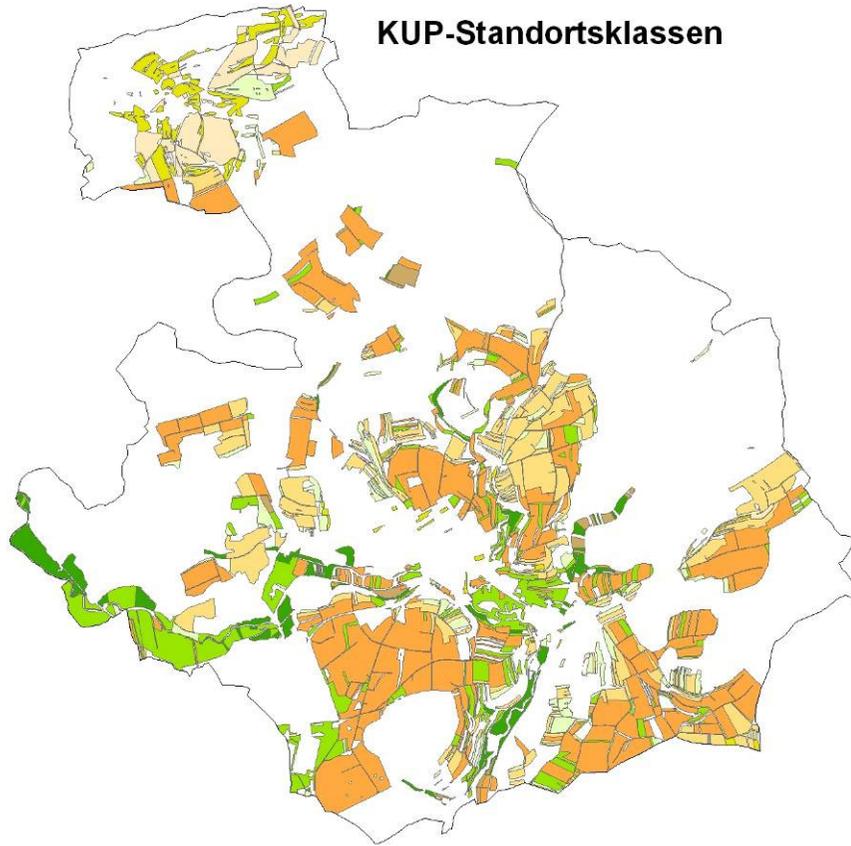
Grünland

 nicht geeignet

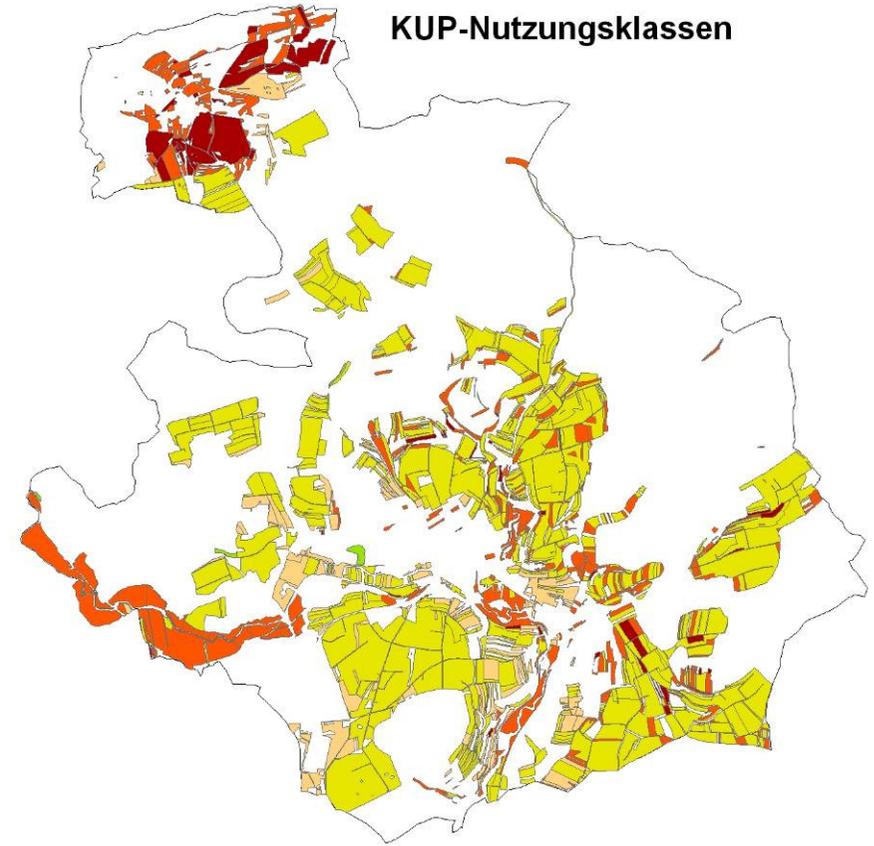
 bedingt geeignet

 gut geeignet

Anhang XI: KUP-Flächenpotential in Bingen

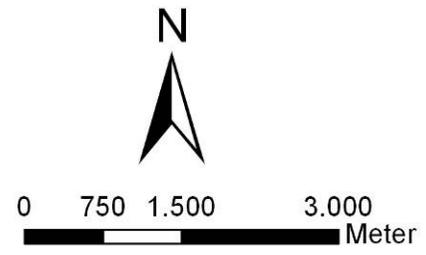


KUP-Standortsklassen



KUP-Nutzungsklassen

Ackerland		Grünland	
	ungeeignet		ungeeignet
	ungünstig		ungünstig
	mittel		mittel
	günstig		günstig



Ackerland		Grünland	
	nicht geeignet		nicht geeignet
	bedingt geeignet		bedingt geeignet
			gut geeignet

Anhang XII

Prozentuale Anteile der KUP-Standorts- und Nutzklassen auf Acker- und Dauergrünland je Bundesland

	Bundesland	KUP-Standortsklassen					KUP-Nutzklassen		
		sehr gün.	günstig	mittel	ungünstig	ungeignet	gut ge.	bedingt ge.	nicht ge.
Ackerland	Baden-Württemberg	1	12	56	26	5	0	69	31
	Bayern	1	11	38	38	12	0	82	18
	Brandenburg	27	7	1	50	15	27	57	16
	Hessen	1	5	35	52	7	0	78	22
	Mecklenburg-Vorpommern	2	6	4	43	44	3	53	43
	Niedersachsen	10	12	61	16	1	11	73	17
	Nordrhein-Westfalen	5	15	72	7	1	4	75	21
	Rheinland-Pfalz	0	5	26	53	15	0	60	40
	Saarland	1	19	62	16	1	0	94	6
	Sachsen	12	3	39	41	6	2	85	13
	Sachsen-Anhalt	26	2	5	56	11	5	40	55
	Schleswig-Holstein	8	13	56	23	0	5	85	9
	Thüringen	8	3	16	49	25	1	60	40
Dauergrünland	Baden-Württemberg	8	39	29	11	13	26	48	27
	Bayern	3	40	23	19	15	31	49	21
	Brandenburg	49	45	1	4	1	33	29	38
	Hessen	10	16	29	28	17	9	59	33
	Mecklenburg-Vorpommern	15	66	13	3	3	30	30	40
	Niedersachsen	38	38	21	2	2	61	30	9
	Nordrhein-Westfalen	25	29	32	9	5	14	67	19
	Rheinland-Pfalz	2	15	37	34	12	9	68	23
	Saarland	5	36	40	14	4	17	62	21
	Sachsen	52	2	28	8	10	15	40	45
	Sachsen-Anhalt	70	22	0	4	4	37	22	41
	Schleswig-Holstein	34	35	25	4	2	55	39	6
	Thüringen	14	10	11	26	39	10	36	55

alle Angaben in Prozent

Anhang XIII: Einzelergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Eingabemaske des KUP-Rechners des LEL mit den Bewirtschaftungskosten und Erlösen der Variante 2 bei 10 tatro Zuwachs pro Jahr und Hektar

LEL SCHWÄBISCH GEMÜND		KUP - Rechner		Vers. 1.0		Stand: 6.12.10		
Hinweis: gelbe Felder sind Eingabefelder		Program zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Kurzumtriebsplantagen						Inflation %
Info (1)	Verfahren: 1 ha Kurzumtriebsplantage	Pappel		Pflanzjahr:	2011			
Info (2)	Zeit zwischen 2 Ernten (Umtriebszeit)	3	Jahre	Info (13)	Ø-Ertragszuwachs	10,00	t TM/ha u. Jahr	
Info (2)	Umtriebe, Anzahl Ernten	x 7	Anzahl	Info (14)	Erlös Hackschnitzel	33,78	€ / t FM	
Info (3)	Standzeit, (Lebensdauer der Plantage) =	21	Jahre		entspricht bei WG	55,00%	75,07 € / t TM	
Info (4)	mechanische Bodenvorbereitung	128	€/ha	Info (15)	GAP-Prämie bis 2013		€/ha	
Info (5)	Pflanzenschutz zur Bodenvorbereitung	38	€/ha	Info (15)	GAP-Prämie bis 2020		€/ha	
Info (6)	Pflanzgutkosten	1.830	€/ha	Info (15)	GAP-Prämie bis 2027		€/ha	
Info (7)	Kosten der Pflanzung	326	€/ha	Info (15)	GAP-Prämie bis 2033		€/ha	
Info (8)	Sonstige (Pflanz-)kosten	0	€/ha	Info (16)	Erntekosten	13,17	€/t TM	
Info (9)	Pflegekosten nach der Pflanzung	109	€/ha	Info (17)	Transportkosten	4,25	€/t TM	
	SUMME Anlagekosten	2.431,00	€/ha	Info (18)	Lagerkosten	0,00	€/t TM	
Info (10)	Rekultivierungskosten	1.263	€/ha	Info (19)	Sonstige Kosten	177,00	€/ Ernte u. ha	
Info (11)	AFP-Zuschuss	0,00	€	Info (20)	Pflegekosten nach Ernte	0,00	€/ Ernte u. ha	
Info (12)	Zinssatz	5,00	%	Info (21)	Pachtansatz	178	€/ha	
				Info (22)	Gemeinkosten	155	€/ha	
				Info (23)	Wagniskosten	0	€/ha	
ERGEBNIS		Saldo Erlöse abzgl. Kosten			Barwerte (Berücksichtigung von Zinsen)			
		Erlöse	Kosten	Saldo	Erlöse	Kosten	Saldo	
gesamte Standzeit		23.105 €	19.608 €	3.497 €	Info (25)	12.452 €	11.927 €	525 €
pro Jahr		1.100 €	934 €	167 €	Info (26)		Annuität	41 €
					Info (27)	Amortisationsdauer	18	Jahre
					Info (28)	kostendeckender Erlös Hackschnitzel	71,90 €	je t TM
					Info (29)	Rendite nach der Methode "interner Zinsfuß"	6,49%	

Erntekosten, Annuitäten, Deckungsbeiträge und Rendite in Abhängigkeit vom Zuwachs und der Vermarktungsvariante

Zuwachs in Tonne Trockenmasse pro Hektar												
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pro Jahr		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nach 3 Jahren		15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
Erntekosten Euro/tatro		26,3	21,9	18,8	16,5	14,6	13,2	12,0	11,0	10,1	9,4	8,8
Var. 1	Annuität €	-381	-282	-183	-84	15	114	213	312	410	510	608
	Deckungsbeitrag €	-311	-199	-87	25	137	249	361	473	585	697	809
	Rendite %	0	0	0	1,3	5,6	8,7	11,2	13,3	15,3	17,0	18,6
Var. 2	Annuität €	-417	-325	-234	-142	-51	41	133	224	316	408	499
	Deckungsbeitrag €	-352	-249	-145	-41	63	167	270	374	478	582	685
	Rendite %	0	0	0	0	3,0	6,5	9,2	11,4		15,2	16,8