

GIS-gestützte Regionalanalyse (Baden-Württemberg) zur Erschließung des energetisch nutzbaren Potentials an Waldrestholz und Überschussstroh für die Gaserzeugung

G. Kappler^{1,2}, L. Leible², S. Kälber² und D. Wintzer²

¹Ansprechpartner,

Tel.: +49-7247-82-6812, Fax: +49-7247-82-4806, E-Mail: kappler@itas.fzk.de

²Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS),
Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe

Aktuelle politische Zielsetzungen und Vorgaben auf nationaler wie auch europäischer Ebene zielen darauf ab, den Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen. Aufgrund des gegebenen Mengenpotentials werden hierbei hohe Erwartungen an die energetische Nutzung von Biomasse und hier insbesondere biogene Reststoffe und Abfälle geknüpft.

In Deutschland beträgt das jährlich verfügbare Aufkommen an biogenen Reststoffen und Abfällen (Basis: 2002), das energetisch genutzt werden könnte, rd. 70 Mio. Mg oTS; in Baden-Württemberg sind dies rd. 8 Mio. Mg oTS (siehe Abb. 1). Das angeführte Aufkommen von 70 Mio. Mg oTS pro Jahr entspricht einem jährlichen Pro-Kopf-Aufkommen von 0,85 Mg oTS bzw. einem Heizwert von rd. 420 Liter Heizöl und entspricht damit rd. 9 % des deutschen Primärenergiebedarfs. Betrachtet man die Aufschlüsselung des Aufkommens, so wird deutlich, dass dieses mengenmäßig insbesondere durch die Land- und Forstwirtschaft bestimmt wird. Unter Berücksichtigung zusätzlicher biogener Rest- und Abfallstoffe (Landschaftspflegegut, Festmist zur Biogasgewinnung, Abfallstoffe aus dem Produzierenden Gewerbe, etc.) könnte das auf 70 Mio. Mg oTS geschätzte Aufkommen für Deutschland, wie eigene Abschätzungen zeigen, um weitere ca. 5-15 Mio. Mg oTS erhöht werden (Leible et al., 2004).

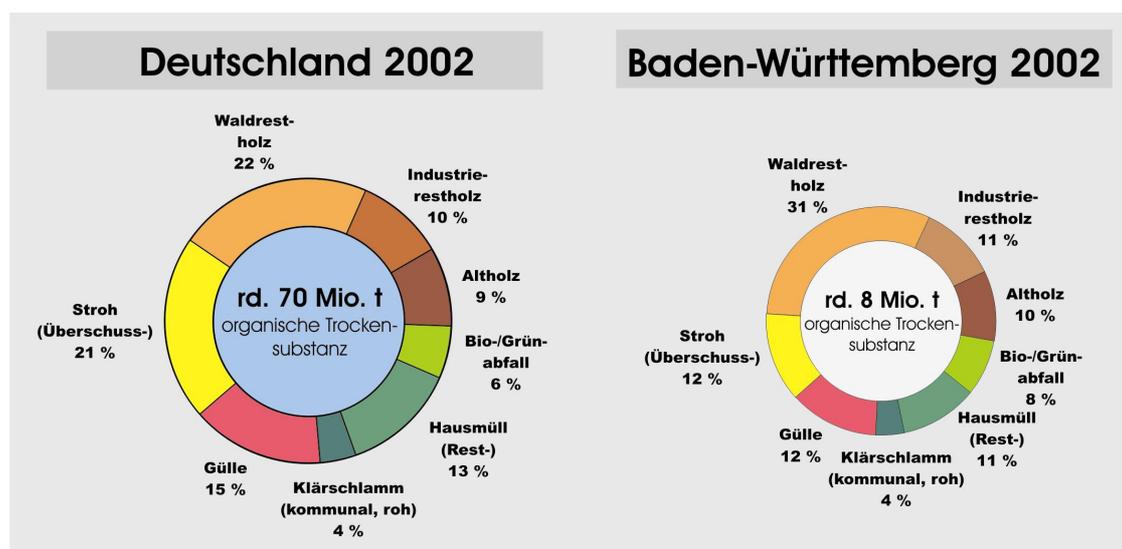


Abb. 1: Aufkommen biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland und Baden-Württemberg

Insofern ist das angeführte Potenzial an biogenen Rest- und Abfallstoffen für eine energetische Nutzung keinesfalls als gering einzustufen. Nach Abschätzungen für das Jahr 2004 (BMU, 2005) decken biogene Rest- und Abfallstoffe in Deutschland rund 2,3 % des Primärenergiebedarfs ab.

Zur Information: Insgesamt tragen erneuerbare Energieträger (einschließlich Wasser- und Windkraft) derzeit 3,6 % zur Energieversorgung in Deutschland bei.

Im Gegensatz zu der herkömmlichen Nutzung über die Verbrennung, eröffnen hierbei einige Vergasungs- aber auch Pyrolyseverfahren die Möglichkeit, energiereiche, vorzugsweise flüssige Sekundärenergieträger (synthetische Kraftstoffe) oder chemische Rohstoffe zu erzeugen. Dahinter steht die Erwartungshaltung, das große, aber dezentrale Biomassepotential an Stroh und Waldrestholz für eine effiziente energetische/chemische Nutzung zu erschließen, bei möglicherweise höherer Wertschöpfung. Vor diesem Hintergrund wird am Forschungszentrum Karlsruhe ein zweistufiges Verfahrenskonzept (vgl. Abb. 2) verfolgt, welches auf einer Kombination von z.B. 10 bis 50 in Baden-Württemberg regional verteilten (dezentralen) Anlagen zur Schnellpyrolyse (50-100 MW) und der anschließenden Vergasung der Pyrolyseöl-Koks-Suspension (Slurry) in einer zentral gelegenen großen Vergasungsanlage (500-5000 MW). Da diese Suspension (welche pump- und lagerfähig ist) eine um den Faktor 10 höhere Energiedichte als beispielsweise Getreidestroh in Form von Quaderballen hat, dürfte der Transport dieser umgewandelten Biomasse über Entfernungen von mehr als 100 km vertretbar sein.

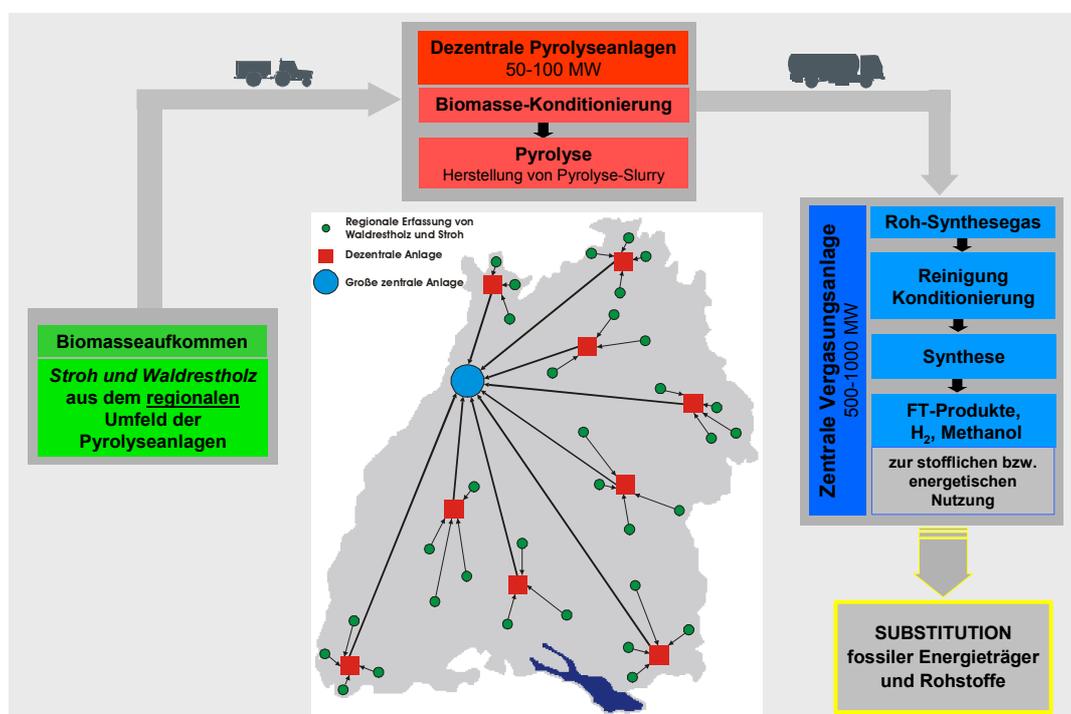


Abb. 2: Zweistufiges Konzept der Pyrolyse und Vergasung zur Bereitstellung von Synthesegas und Kraftstoff

Zu diesem Vorhaben werden am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) systemanalytische Untersuchungen durchgeführt, mit der Zielsetzung, dieses Konzept in sein technisches und ökonomisches Umfeld einzuordnen. Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgt auch eine GIS-gestützte Regionalanalyse für Baden-Württemberg. Diese hat zum Ziel, die für die Gaserzeugung aus Biomasse relevanten regionalen bzw. geographischen Rahmenbedingungen und Gegebenheiten einschließlich der dadurch induzierten Auswirkungen zu untersuchen.

In einem ersten Schritt wurde unter Berücksichtigung gegenwärtiger land- und forstwirtschaftlicher Nutzungsstrukturen eine regional differenzierte Abschätzung zum Aufkommen von Waldrestholz und Überschussstroh vorgenommen. Hierbei war es unter Anwendung diverser GIS-Funktionen möglich, regional spezifische Gegebenheiten (z.B. Flächennutzung, Ertragsverhältnisse, diverse Restriktionen) zu erfassen bzw. zu analysieren und hieraus eine

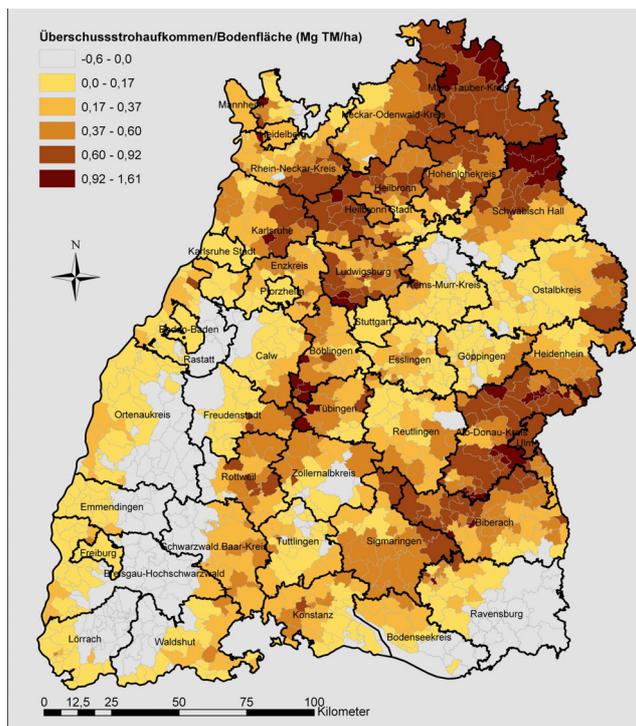


Abb. 3: Aufkommensdichte von Überschussstroh in den Gemeinden Baden-Württembergs

differenzierte Ergebniskarte, hinsichtlich des technisch verfügbaren Biomasseaufkommens, abzuleiten. Bei **Getreidestroh** ist für eine energetische Nutzung nur diejenige Strohmenge von Interesse, welche unter Berücksichtigung diverser Restriktionen – vor allem zur Deckung des Bedarfs an Einstreu in der Viehhaltung und Erhaltung der Humusbilanz des Bodens – tatsächlich vom Feld abgefahren werden könnte („Überschussstroh“). Diese Menge wird in erster Linie durch den Umfang der mit Getreide bebauten Ackerfläche bestimmt. In Abb. 3 ist das Ergebnis dieser Strohrechnung – räumlich differenziert nach den Gemeinden Baden-Württembergs – für das Jahr 2003 dargestellt (Datenbasis: StaLA, 2000-2005). Demzufolge ergibt sich ein gesamtes Aufkommen von rund 2 Mio. Mg FM, bei einem unterstellten TS-Gehalt von 86 %.

Um einer Humusverarmung des Bodens vorzubeugen, wurde angenommen, dass höchstens 60 % dieser Menge zum Zwecke der energetischen Nutzung abgefahren werden könnte. Dies entspricht rd. 1,2 Mio. Mg FM (Frischmasse) bzw. **rd. 1,0 Mio. Mg TM (Trockenmasse)**. Verglichen mit dem Jahr 1980 ergibt sich bezüglich dieser energetisch nutzbaren Menge eine Steigerung um nahezu 500%. Dies ist trotz leicht rückgängiger Getreideanbaufläche insbesondere auf die Ertragssteigerung, die Abnahme des Viehbestandes und einer Änderung in den Viehhaltungsverfahren zurückzuführen.

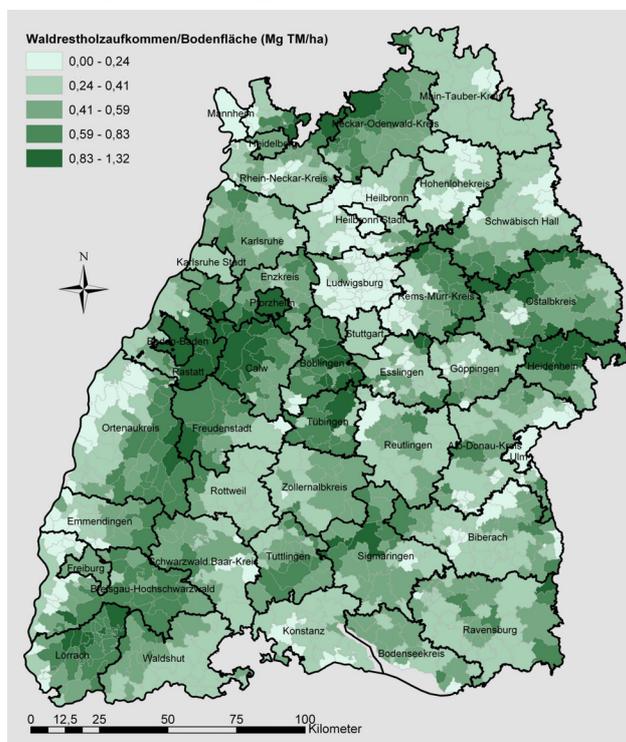


Abb. 4: Aufkommensdichte von Waldrestholz in den Gemeinden Baden-Württembergs

Waldrestholz ist in Hinblick auf das in Baden-Württemberg gegebene Potenzial, welches zurzeit nur in geringem Umfang genutzt wird, ein viel versprechender Energieträger. Dabei handelt es sich insbesondere um Holzreste/Baumbestandteile, welche nach einem Stammholzeinschlag in der Regel im Bestand verbleiben. Darüber hinaus kann auch Schwachholz aus Durchforstungen (Pflege von Jungbeständen) für die energetische Nutzung herangezogen werden. Die von ITAS durchgeführte Abschätzung zum Aufkommen (vgl. Abb. 4) an Waldrestholz stützt sich auf die Ergebnisse der 2. Bundeswaldinventur (BMVEL, 2005; FVA, 2004). Bei dieser wurden die regionsspezifischen Holzvorräte und der im Wald tatsächlich realisierte Holzeinschlag geschätzt. Insgesamt beträgt das von ITAS abgeschätzte jährliche Aufkommen an

Waldrestholz rund **1,7 Mio. Mg TM**, wovon derzeit schätzungsweise ca. 0,2 bis 0,3 Mio. Mg TM einer energetischen Nutzung zufließen. Die zweite Bundeswaldinventur zeigt – gegenüber der Erstinventur aus dem Jahr 1987 – bei nahezu unveränderter Waldfläche eine deutliche Zunahme der Holzvorräte, trotz der durch Jahrhundert-Sturmereignisse und Kalamitäten zwangsweise verstärkten Nutzung. Dies ist für eine Szenarientwicklung insofern interessant, da das potentielle Aufkommen an Waldrestholz in engem Zusammenhang mit den im Wald stehenden Vorräten und einer daraus resultierenden Möglichkeit der Vorratsentnahme (Einschlag) steht.

Schätzungen gehen davon aus, dass sich die Zunahme der Vorräte in ähnlicher Weise fortsetzen wird, wenn es nicht gelingt, über verbesserte Absatzmöglichkeiten des Holzes für die werkstoffliche Nutzung, den Holzeinschlag merklich zu erhöhen. Hierbei bietet die energetische Holznutzung eine Möglichkeit, eben diese Absatzmöglichkeiten zu erhöhen bzw. zusätzliche Holzmengen zu mobilisieren. Dies könnte auch für diejenigen Sortimente von Bedeutung sein, welche für die klassische stoffliche Verwertung nicht (mehr) interessant erscheinen (Kändler, 2005). Inwieweit sich dieses technische Potential mobilisieren lässt hängt in erster Linie davon ab, welche Preise für Hackschnitzel erzielt werden können.

Ein weiteres Augenmerk der GIS-Analyse gilt den mit diesem Verfahrenskonzept verbundenen **Transportprozessen**. Charakteristisch hierfür ist die Biomasseversorgung der einzelnen räumlich verteilten Schnellpyrolyse-Anlagen und der Transport der hergestellten Pyrolyse-Slurry zur zentralen Vergasungs-Anlage (vgl. Abb. 2). Für die Untersuchung dieser Transportprozesse wurde ein Transportmodell entwickelt, mit der Möglichkeit, sowohl durchschnittliche Transportentfernungen als auch die damit verbundenen Kosten abzuschätzen. Zur Überprüfung des Modells wurde für den Standort einer potentiellen Pyrolyseanlage, mit einem durch Waldrestholz geprägten Einzugs- bzw. Aufkommensgebiet, eine empirische Transportanalyse durchgeführt. In diesem Bereich (siehe Abb. 5) wurden mit Hilfe einer TK50 alle im Einzugsgebiet liegenden Waldflächen auf eine Größe von jeweils ca. 6 ha digitalisiert - die Menge an Waldrestholz auf dieser Fläche entspricht rund einer Lkw-Ladung.

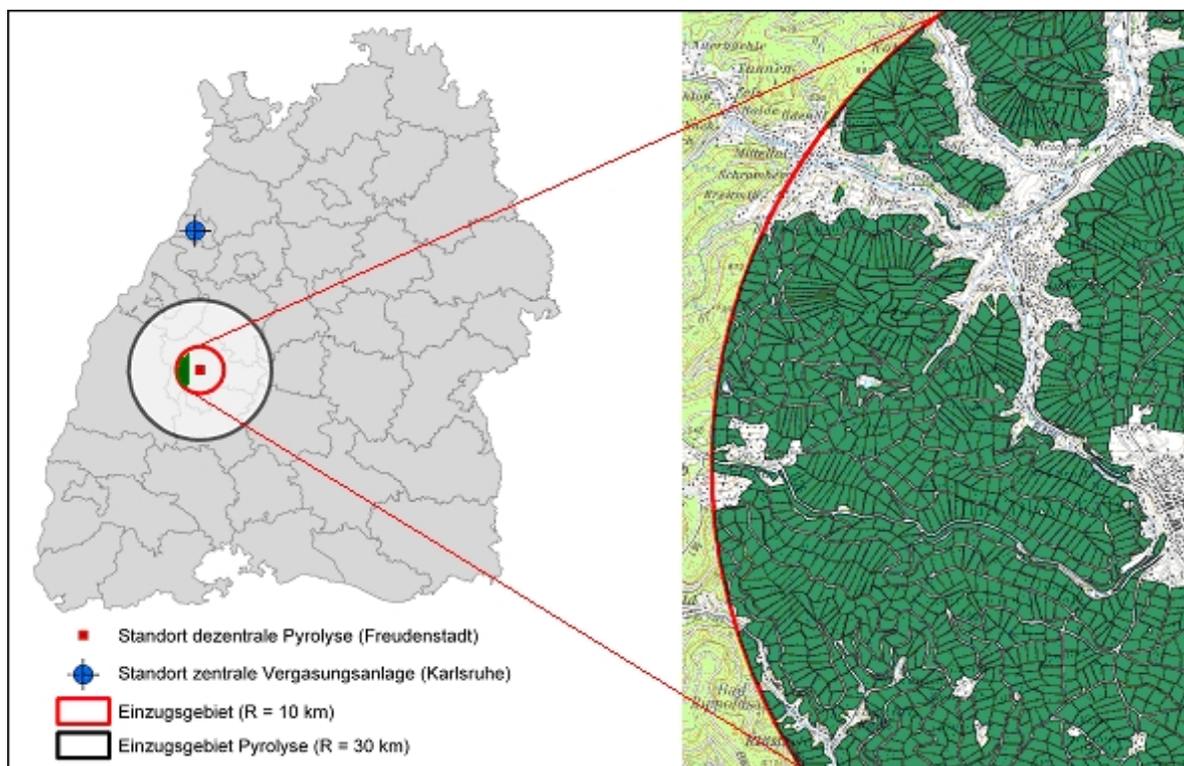


Abb. 5: Flächen- und Transportanalyse für ein kreisförmiges Einzugsgebiet

Anschließend wurde mit Hilfe des GIS der tatsächliche Transportweg von der Erfassung des Waldrestholzes - auf diesen Flächensegmenten von 6 ha - bis zur Pyrolyseanlage im Zentrum des Einzugsgebietes ermittelt. Als Ergebnis ergibt sich für einen 10 km großen Radius eine durchschnittliche Transportentfernung von 11,4 km - hierbei könnten rund 30.000 Mg TM an Waldrestholz bereitgestellt werden. Die Summe der dabei einfach zurückgelegten Entfernung beträgt 36.300 km.

Durch den Einsatz des GIS wird beabsichtigt, unter Nutzung der o.g. räumlichen Analysemöglichkeiten, raumbezogene Entscheidungshilfen hinsichtlich der Auswahl potentieller Anlagenstandorte zur energetischen Nutzung von Biomasse in Baden-Württemberg bereitzustellen. Hierfür wurde beispielsweise für zwei ausgewählte potentielle Anlagenstandorte (z.B. Konversionsanlagen zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen) - für ein kreisförmiges Einzugsgebiet in Abhängigkeit verschiedener Radien - das Aufkommen an Waldrestholz und Überschussstroh sowie die Erfassungskosten ermittelt. Auswahlkriterium für die in der Abb. 6

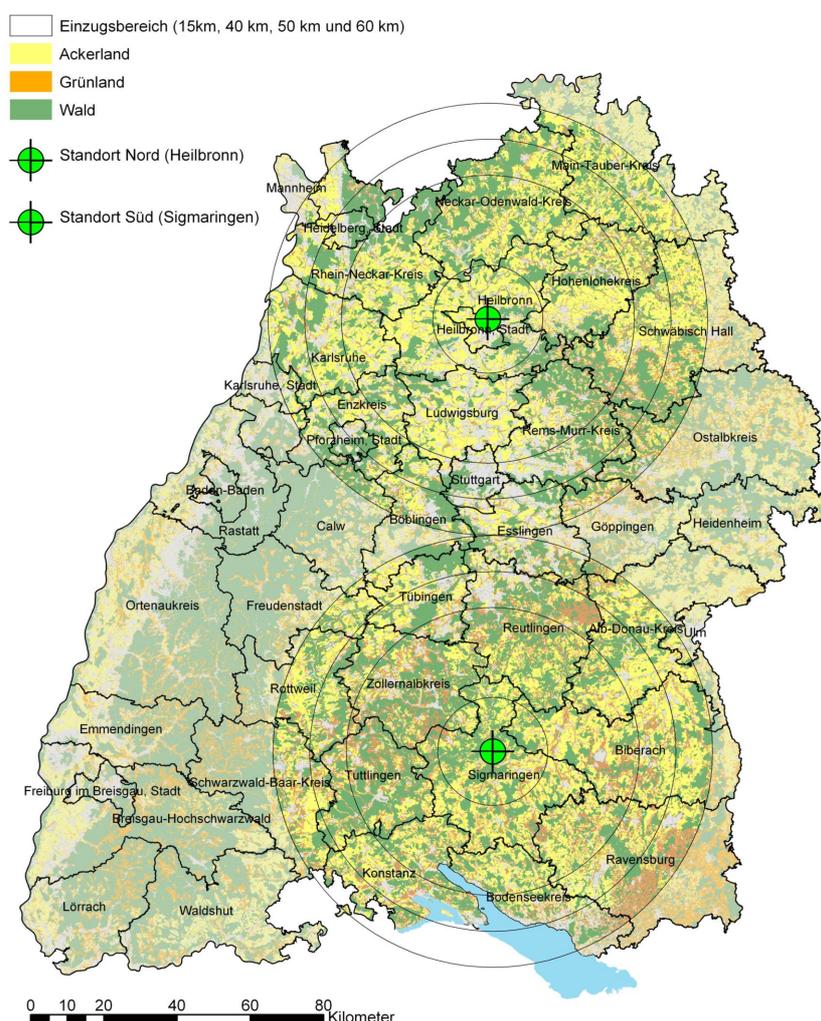


Abb.6: Einzugsgebiete der Standorte NORD und SÜD

dargestellten Standorte waren die im Bereich des Standortes bestehende Verkehrsinfrastruktur, sowie die regionsspezifische Form der Landnutzung, welche unmittelbar im Zusammenhang mit dem jeweils vor Ort gegebenen Biomassepotential steht. Zunächst wurden alle als Vektordaten vorliegenden Acker- und Waldflächen mit einer zuvor ermittelten regionsspezifischen Aufkommensdichte beaufschlagt. Durch den Einsatz des GIS war es dann möglich, die im Einzugsgebiet liegenden Teilflächen exakt zu erfassen und deren zugeordnete Potentiale auszu-

werten. Das Ergebnis einer solchen radiusabhängigen Potentialauswertung für den Standort NORD ist Tab. 1 zu entnehmen.

Durch diese Art der Auswertungen zeigt sich, insbesondere bei einem Vergleich mehrerer Standorte untereinander, die Variabilität des Gesamtaufkommens hinsichtlich der einzelnen Biomassefraktionen. Für den in Tab. 1 dargestellten Standort NORD scheint die Verteilung des Aufkommens relativ homogen. Auswertungen zu anderen Standorten zeigen hierbei (je nach Landnutzungsform bzw. Flächenverteilung) in Abhängigkeit des Radius eine deutlich größere Inhomogenität. Wie dargestellt, kann bei einem Erfassungsradius ab 60 km nahezu 1 Mio. Mg TM an Waldrestholz und Überschussstroh bereitgestellt werden. Dies entspräche einem möglichen Output an synthetischem Kraftstoff von rund 200.000 Mg pro Jahr. Unter Berücksichtigung des Vorhandenseins weiterer Biomasseaufkommen (Landschaftspflegegut, Heu von überschüssigem Grünland, u.a.), welche (theoretisch) ebenfalls für diese Art der Biomassekonversion eingesetzt werden könnten, ließe sich dieser Output bei unverändertem Erfassungsradius deutlich erhöhen.

Wie bereits erwähnt, kommt der mit der Biomassenutzung verbundenen Logistik besondere Bedeutung zu. Insofern wurden die Ergebnisse der Flächenanalyse (vgl. Abb. 5) auf die Auswertung für den ausgewählten Standort NORD übertragen. Das Ergebnis solch errechneter einfacher Fahrtstrecken ist Tab. 1 zu entnehmen. Für die Betrachtungen hinsichtlich des Transportes ist neben der eigentlichen Transportentfernung auch das für den Transport zur Verfügung stehende Verkehrsnetz (Infrastruktur) maßgeblich. Dies insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass mit zunehmender Anlagengröße (und damit zunehmender Transportentfernung) ggf. auch die Option besteht, Biomasse überregional zu beziehen. Andererseits gibt es mit Blick auf die ländliche Entwicklung Argumente, einen Standort durch eine weniger vorteilhafte Verkehrsanbindung vor eben dieser überregionalen Biomasse zu schützen.

Tab. 1: Aufkommen und Bereitstellungskosten – exemplarisch dargestellt für den Standort NORD

Auswertung Standort NORD							
Radius der Erfassungsfläche	Errechnete Fahrtstrecke einfach (km)	Aufkommen (Mg TM)			Bereitstellungskosten frei Anlage (€/Mg TM)		
		Überschussstroh (86% TS)	Waldrestholz (50% TS)	Summe	Stroh	Waldrestholz	Summe (gewichtet)
R = 15 km	16	43.000	18.000	61.000	72	53	66
R = 40 km	46	235.000	192.000	427.000	84	60	73
R = 50 km	54	334.000	335.000	669.000	86	63	74
R = 60 km	64	469.000	500.000	969.000	87	65	76

Die in der Tab. 1 dargestellten Bereitstellungskosten, schließen die Kosten für Anbau, Ernte, Erfassung und Lagerung und die Transportkosten mit ein. Insgesamt entfallen rund 50 % der Bereitstellungskosten auf den Transport. Bei der Berechnung wurde unterstellt, dass der Transport bis zu einem Radius von 15 km um die Anlage mit landwirtschaftlichen Transportfahrzeugen erfolgt. Für größere Radien wurde Lkw-Transport unterstellt. Eigene Abschätzungen zeigen, dass der Bahntransport für Waldrestholz erst ab ca. 100 km mit dem Lkw-Transport konkurrieren könnte; bei Stroh wäre dies erst ab ca. 250 km der Fall. Da bei der Erhöhung des Radius die gesamten Bereitstellungskosten nur „geringfügig“ steigen, könnte der Transport von preiswerter Biomasse auch über größere Entfernung für den Betrieb von Großanlagen attraktiv sein. Da sich das Waldrestholz – hier im Vergleich mit Überschussstroh – durch deutlich gerin-

gere Bereitstellungskosten auszeichnet, wäre es sicherlich sinnvoll, den Standort der Anlage mehr in die Nähe höherer Aufkommensdichten an Wald zu legen. In der Praxis zeigt sich, dass die Erfassung bzw. die Mobilisierung des Aufkommens stets an diverse Restriktionen (Naturschutzflächen, Hanglagen, Besitzstruktur) gebunden ist; insofern ist es beabsichtigt, in einem weiteren Schritt das bestehende GIS-Modell um den Einfluss solcher Restriktionen zu erweitern.

Literatur:

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2005: Erste vorläufige Abschätzung zur Entwicklung der erneuerbaren Energien im Jahr 2004 in Deutschland, Stand Februar 2005
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft), 2005: Bundeswaldinventur II. Homepage: www.bundeswaldinventur.de; zuletzt besucht am 22.04.2005
- FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg), 2004: FVA-Einblick. Die wichtigsten Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur. FVA, Jahrgang 8, Nr. 4
- FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg), 2004: Kolloquiumsband. Der Wald in Baden-Württemberg im Spiegel der Bundeswaldinventur II
- Kändler, G., 2005: Persönliche Mitteilung, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)
- Leible, L., S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, P. Proplesch, D. Wintzer und B. Fürniß, 2003: Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft – Möglichkeiten, Chancen und Ziele. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6882), 278 S.
- StaLA (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg), 2000 bis 2005: Statistische Berichte, StaLa, Stuttgart