

Daniel R. Dittrich

# Potenzialanalyse von Biokraftstoffen der 2. Generation

Status Quo und Trends  
Empirie geleitete Untersuchung

**disserta**  

---

**Verlag**

**Dittrich, Daniel R.: Potenzialanalyse von Biokraftstoffen der 2. Generation: Status Quo und Trends: Empirie geleitete Untersuchung. Hamburg, disserta Verlag, 2015**

Buch-ISBN: 978-3-95425-522-1

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95425-523-8

Druck/Herstellung: disserta Verlag, Hamburg, 2015

Covermotiv: © carlosgardel – Fotolia.com

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

---

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© disserta Verlag, Imprint der Diplomica Verlag GmbH  
Hermannstal 119k, 22119 Hamburg  
<http://www.disserta-verlag.de>, Hamburg 2015  
Printed in Germany

*„Im 21. Jahrhundert läuft der Fortschritt andersherum:  
Der Treibstoff unserer Mobilität kommt wieder vom Acker,  
wie damals der Hafer für die Pferde  
(Bukold, S., 2009, S. 1).“*

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildungsverzeichnis .....                           | 9  |
| Tabellenverzeichnis.....                              | 10 |
| Abkürzungsverzeichnis .....                           | 11 |
| 1. Zusammenfassung.....                               | 13 |
| 2. Summary .....                                      | 15 |
| 3. Einleitung.....                                    | 17 |
| 3.1. Zielsetzung.....                                 | 20 |
| 3.2. Methodisches Vorgehen .....                      | 20 |
| 3.3. Thematische Abgrenzung.....                      | 21 |
| 3.3.1. Räumliche Abgrenzung.....                      | 21 |
| 3.3.2. Abgrenzung hinsichtlich der Nutzung.....       | 22 |
| 3.4. Definitionen.....                                | 22 |
| 3.4.1. Erneuerbare Energie.....                       | 22 |
| 3.4.2. Biomasse .....                                 | 22 |
| 3.4.3. Biokraftstoffe und die drei Generationen.....  | 23 |
| 3.4.4. Nachhaltigkeit .....                           | 23 |
| 3.4.5. Landnutzungsänderungen (LUC).....              | 24 |
| 4. Status Quo in Deutschland.....                     | 26 |
| 4.1. EU-Biokraftstoffrichtlinie .....                 | 29 |
| 4.2. Energiesteuergesetz .....                        | 29 |
| 4.3. Biokraftstoffquotengesetz.....                   | 31 |
| 4.4. Zertifizierung von Biokraftstoffen.....          | 32 |
| 5. Gründe für die Förderung von Biokraftstoffen.....  | 34 |
| 5.1. Endlichkeit der fossilen Energieträger .....     | 35 |
| 5.2. Preisentwicklung von fossilen Kraftstoffen ..... | 37 |
| 5.3. Umweltschutz .....                               | 39 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 6.       | Vergleichender Überblick über die 1. und 3. Generation ..... | 42 |
| 6.1.     | Nach wirtschaftlichen Kriterien.....                         | 42 |
| 6.2.     | Nach klimarelevanten Kriterien.....                          | 44 |
| 6.3.     | Nach technischen Kriterien .....                             | 48 |
| 7.       | Herstellungsprozess der 2. Generation .....                  | 52 |
| 7.1.     | Biomass-to-liquid (BtL) .....                                | 52 |
| 7.2.     | Bioethanol aus Zellulose .....                               | 53 |
| 7.3.     | Biomethan.....   | 55 |
| 8.       | Forschungsstand der 2. Generation.....                       | 57 |
| 8.1.     | Ökonomische Kriterien.....                                   | 57 |
| 8.1.1.   | Produktionskosten .....                                      | 57 |
| 8.1.2.   | Skalierbarkeit .....   | 61 |
| 8.1.3.   | Wettbewerbsfähigkeit.....                                    | 63 |
| 8.1.4.   | Energieeffizienz .....                                       | 66 |
| 8.1.5.   | Arbeitsmarkteffekte.....                                     | 72 |
| 8.2.     | Ökologische Kriterien.....                                   | 74 |
| 8.2.1.   | Umweltauswirkungen der Produktionskette .....                | 74 |
| 8.2.1.1. | Biomass-to-Liquid.....                                       | 75 |
| 8.2.1.2. | Biomethan.....   | 76 |
| 8.2.1.3. | Bioethanol aus Zellulose .....                               | 79 |
| 8.2.2.   | Gesamtpotenzial der Umweltauswirkungen.....                  | 80 |
| 8.2.3.   | THG-Vermeidungskosten .....                                  | 83 |
| 8.2.4.   | Abgase der Biokraftstoffnutzung .....                        | 85 |
| 8.2.5.   | Ressourcenschutz .....                                       | 86 |
| 8.2.6.   | Landnutzungsänderungen.....                                  | 93 |
| 9.       | Bewertung der Biokraftstoffe durch Experten.....             | 95 |
| 9.1.     | Erhebungsdesign.....   | 95 |
| 9.2.     | Kriterien.....   | 96 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 9.3.   | Auswertung.....   | 97  |
| 9.4.   | Graphische Darstellung .....  | 97  |
| 9.4.1. | Ökologische Kriterien .....   | 97  |
| 9.4.2. | Ökonomische Kriterien .....   | 99  |
| 9.5.   | Ergebnisinterpretation .....  | 107 |
| 10.    | Nutzwertanalyse.....  | 113 |
| 10.1.  | Definition .....  | 113 |
| 10.2.  | Vorgehen bei der Nutzwertanalyse.....   | 113 |
| 10.3.  | Angewandte Nutzwertanalyse .....  | 119 |
| 10.4.  | Ergebnis der Nutzwertanalyse .....  | 120 |
| 10.5.  | Sensitivitätsanalyse .....  | 121 |
| 10.6.  | Ergebnisinterpretation.....   | 122 |
| 11.    | Schlussfolgerung und Ausblick .....   | 124 |
| 12.    | Anhang.....   | 127 |
| 12.1.  | Expertenfragebogen zur Online-Befragung.....                                  | 127 |
| 12.2.  | Ergebnisse Fragebogen .....   | 132 |
| 12.3.  | Cluster der offenen Fragen.....   | 134 |
| 12.4.  | SPSS Variablenansicht (Screenshot) .....                                      | 137 |
| 12.5.  | Streudiagramm für den Ressourcenschutz am Beispiel von Biomethan .....        | 138 |
| 12.6.  | Histogramm mit Häufigkeitsverteilung für das Kriterium Ressourcenschutz.....  | 139 |
| 12.7.  | Angewandte Nutzwertanalyse (Extremfall: <i>ökonomische Gewichtung</i> ) ..... | 141 |
| 12.8.  | Angewandte Nutzwertanalyse (Extremfall: <i>ökologische Gewichtung</i> ) ..... | 142 |
| 13.    | Literaturverzeichnis .....  | 143 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 1 Primärenergieverbrauch in Deutschland 2012 .....                                 | 18  |
| Abbildung 2 Energiebereitstellung aus erneuerbarer Energie 2012 in Deutschland .....         | 19  |
| Abbildung 3 Entwicklung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland .....                   | 26  |
| Abbildung 4 Entwicklung der Steuerbelastung in Deutschland.....                              | 30  |
| Abbildung 5 Die sieben größten Ölförderer auf der Welt.....                                  | 36  |
| Abbildung 6 Die sieben größten Ölverbraucher auf der Welt .....                              | 37  |
| Abbildung 7 Preisentwicklung von Superbenzin und Diesel von 1990-2013 .....                  | 38  |
| Abbildung 8 CO <sup>2</sup> -Emissionen entlang der „Supply Chain“ von Biokraftstoffen ..... | 44  |
| Abbildung 9 CO <sup>2</sup> -Emissionen verschiedener Biokraftstoffe .....                   | 46  |
| Abbildung 10 Der Herstellungsprozess von Biodiesel .....                                     | 49  |
| Abbildung 11 Photobioreaktoren zur Herstellung von Mikroalgen.....                           | 51  |
| Abbildung 12 Herstellungsprozess von Biomass-to-Liquid .....                                 | 53  |
| Abbildung 13 Verfahren zur Herstellung von Bioethanol aus Zellulose .....                    | 54  |
| Abbildung 14 Möglichkeiten zur Herstellung von Biomethan .....                               | 56  |
| Abbildung 15 Marktpreise der einzelnen Biokraftstoffe.....                                   | 64  |
| Abbildung 16 Der unterschiedliche Bruttokraftstofftertrag von Biokraftstoffen in GJ/ha ..... | 67  |
| Abbildung 17 Der Nettoenergieertrag von Biokraftstoffen in GJ/ha.....                        | 68  |
| Abbildung 18 Darstellung der unterschiedlichen PKW-Reichweiten pro Hektar Ackerland..        | 69  |
| Abbildung 19 THG-Faktoren in der Biomethan-Prozesskette .....                                | 78  |
| Abbildung 20 Darstellung der THG-Emissionen bei der Bereitstellung von Biokraftstoffen.      | 82  |
| Abbildung 21 Das Nachhaltigkeitsdreieck von Biokraftstoffen .....                            | 90  |
| Abbildung 22 Durchschnittsnoten der ökologischen Kriterien.....                              | 98  |
| Abbildung 23 Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit und der Produktionskosten.....               | 100 |
| Abbildung 24 Bewertung der Energieeffizienz und des Arbeitsmarkteffekts .....                | 101 |
| Abbildung 25 Gesamtübersicht der vergebenen Durchschnittsnoten .....                         | 102 |
| Abbildung 26 Cluster der zusätzlich erwähnten Kriterien .....                                | 110 |
| Abbildung 27 Zielsystem der 2. Generation für die Nutzwertanalyse.....                       | 114 |

## Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 1 Biokraftstoffe der 2. Generation: Prozesse und Stand der Technik .....            | 28  |
| Tabelle 2 Entwicklung der Biokraftstoffquote ab 2007-2015.....                              | 32  |
| Tabelle 3 Vergleich der aktuellen Situation und Ziele der Biokraftstoffpolitik .....        | 35  |
| Tabelle 4 Darstellung der Ölerträge pro Hektar von verschiedenen Biokraftstoffpflanzen .... | 43  |
| Tabelle 5 Netto THG-Emissionen im Vergleich zu konventionellem Diesel.....                  | 47  |
| Tabelle 6 Darstellung der Rohstoffbasis für verschiedene Biokraftstoffe .....               | 48  |
| Tabelle 7 Darstellung der Produktionskosten von Biokraftstoffen der 1. und 2. Generation .. | 59  |
| Tabelle 8 Kostenentwicklung von Biokraftstoffen der 2. Generation .....                     | 62  |
| Tabelle 9 Darstellung von Break-Even-Points der einzelnen Biokraftstoffe .....              | 65  |
| Tabelle 10 Primärenergiebedarf der drei Szenarien von Choren industries.....                | 70  |
| Tabelle 11 Die Beschäftigungsentwicklung in der Biokraftstoffindustrie von 2006-2012 .....  | 72  |
| Tabelle 12 Darstellung der möglichen Beschäftigungseffekte im Jahr 2020.....                | 73  |
| Tabelle 13 Der "Well-to-Wheel" Ansatz von verschiedenen Biokraftstoffe .....                | 81  |
| Tabelle 14 Darstellung der flächenbezogenen THG-Einsparungen in t/ha.....                   | 83  |
| Tabelle 15 Die THG-Vermeidungskosten von verschiedenen Biokraftstoffen .....                | 84  |
| Tabelle 16 Mögliche Rohstoffquellen für die Produktion von Biokraftstoffen .....            | 87  |
| Tabelle 17 Die WWF-Forderungen für die Nachhaltigkeit .....                                 | 91  |
| Tabelle 18 Bewertung der Relevanz der untersuchten Kriterien .....                          | 103 |
| Tabelle 19 Relevanz der ökonomischen Aspekte .....  | 103 |
| Tabelle 20 Relevanz der ökologischen Aspekte .....  | 104 |
| Tabelle 21 Antworten über die möglichen Marktanteile der 2. Generation.....                 | 104 |
| Tabelle 22 Bewertung über die möglichen Skaleneffekte der 2. Generation.....                | 105 |
| Tabelle 23 Berechnung der Rangfolge von Biokraftstoffen der 2. Generation .....             | 105 |
| Tabelle 24 Kreuztabelle für die Landnutzungsänderung und Nahrungsmittelkonkurrenz ....      | 106 |
| Tabelle 25 Bewertung der Übergangslösung der 1. Generation durch Experten.....              | 107 |
| Tabelle 26 Rangfolge der 2. Generation von Biokraftstoffe .....                             | 108 |
| Tabelle 27 Aufbau und Vorgehensweise bei einer Nutzwertanalyse.....                         | 115 |
| Tabelle 28 Gewichtung der ökonomischen Kriterien .....                                      | 117 |
| Tabelle 29 Gewichtung der ökologischen Kriterien .....                                      | 117 |
| Tabelle 30 angewandte Nutzwertanalyse .....   | 119 |

## Abkürzungsverzeichnis

|                    |  |
|--------------------|--|
| Abb.               | Abbildung  |
| AG                 | Aktiengesellschaft   |
| Äq                 | Äquivalente  |
| Biokraft-NachV     | Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung                        |
| Biokraftstoff-QuoG | Biokraftstoff-Quotengesetz                                     |
| BiomasseV          | Biomasseverordnung   |
| BLE                | Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung                 |
| BMELV              | Bundesmin. für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz |
| BMU                | Bundesmin. für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit       |
| Btl                | Biomass-to-Liquid  |
| bzgl.              | bezüglich  |
| CH <sub>4</sub>    | Methan   |
| CO <sub>2</sub>    | Kohlenstoffdioxid  |
| DB                 | Deutsche Bahn  |
| DDGD               | Distillers Dried Grains Derivative                             |
| EE                 | Erneuerbare Energie  |
| EEG                | Erneuerbare-Energie-Gesetz                                     |
| ETBE               | Ethyl-tertiär-butylether                                       |
| FCKW               | Fluorchlorkohlenstoffwasserstoffe                              |
| FM                 | Frischmasse  |
| FNR                | Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe                            |
| FZK                | Forschungszentrum Karlsruhe                                    |
| g                  | Gramm  |
| GmbH               | Gesellschaft mit beschränkter Haftung                          |
| GtL                | Gas-to-Liquid  |
| H <sub>2</sub> S   | Schwefelwasserstoff  |
| ha                 | Hektar   |
| HC                 | Kohlenwasserstoff  |
| HCN                | Cyanwasserstoff  |

|                  |   |
|------------------|---|
| IEU              | Institut für Energetik und Umwelt                               |
| ifeu             | Institut für Energie- und Umweltforschung                       |
| iLUC             | Indirekte Landnutzungsänderungen                                |
| iöw              | Institut für ökologische Wirtschaftsforschung                   |
| kg               | Kilogramm   |
| km               | Kilometer   |
| KUP              | Kurzumtriebsanlage  |
| KW               | Kilowatt  |
| l                | Liter   |
| LUC              | Landnutzungsänderung  |
| Mio.             | Millionen   |
| Mrd.             | Milliarden  |
| MJ               | Megajoule   |
| N <sub>2</sub> O | Distickstoffmonoxid (Lachgas)                                   |
| NO <sub>x</sub>  | Stickstoffoxide   |
| NWA              | Nutzwertanalyse   |
| OECD             | Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung |
| org.             | organisch   |
| PCF              | Product Carbon Footprint  |
| RME              | Rapsmethylether   |
| SNG              | Synthetic Natural Gas   |
| t                | Tonnen  |
| TA-Luft          | Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft                   |
| THG              | Treibhausgase   |
| TJ               | Terajoule   |
| UFOB             | Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V.            |
| VDA              | Verband der Automobilindustrie                                  |
| WWF              | World Wide Fund   |
| z.B.             | zum Beispiel  |

## **1. Zusammenfassung**

Schlagwörter: Biokraftstoffe der 2. Generation, Potenziale, Status quo, Expertenbefragung, Nutzwertanalyse

Die angestrebten Ziele der Klimapolitik und die sukzessive Verknappung von Erdöl verstärken den Ausbau der Biokraftstoffproduktion in Deutschland. Durch den Einsatz von Biomasse als Energiequelle können einerseits positive Effekte, wie die Reduktion von Treibhausgasemissionen und andererseits negative Effekte, wie die Steigerung der Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz generiert werden. Ebenfalls können Biokraftstoffe dabei helfen, die Abhängigkeit von Erdöl aus politisch unsicheren Ländern zu reduzieren, wodurch eine gewisse Versorgungssicherheit mit Energie erreicht werden kann. Weiterhin werden nicht nur landwirtschaftliche Flächen für den Biokraftstoffanbau genutzt, sondern auch Flächen, welche ein hohes ökologisches Potenzial aufweisen, wie z.B. der tropische Regenwald. Durch die Rodung und den Umbruch von Regenwäldern werden erheblichen Mengen an klimaschädlichen Gasen frei, die den Sinn der Biokraftstoffpolitik verfehlen. Angesichts dieser ökologischen Probleme wird gegenwärtig an Biokraftstoffen der 2. Generation geforscht, welche aus organischen Reststoffen erzeugt werden können.

Die drei Biokraftstoffe der 2. Generation Biomass-to-Liquid (BtL), Biomethan und Bioethanol aus Zellulose wurden mit Hilfe des Status quo der Forschung und den Bewertungen von Experten mit Hilfe eines Fragebogens analysiert. Aufgrund der Vergabe von Notenpunkten durch die Experten konnten Rangordnungen für die einzelnen ökonomischen und ökologischen Aspekte generiert werden. Die Bewertung der ökologischen und ökonomischen Kriterien sollte Aufschluss darüber geben, welcher Biokraftstoff der 2. Generation derzeit das beste Potenzial besitzt und somit von der Politik am stärksten gefördert werden sollte. Mit Hilfe einer Nutzwertanalyse wurden die Ergebnisse der Experten nochmals verdichtet, um den Biokraftstoff mit dem höchsten Nutzen zu identifizieren. Durch die zusätzliche Bewertung des Biokraftstoffs aus Mikroalgen, sollte der weitere Trend, hin zur 3. Generation, dargestellt werden. Mit Hilfe der literaturbasierten Studie, den Antworten der Experten und der Nutzwertanalyse wurden die Ergebnisse mit verschiedenen Methoden inkrementell visualisiert, um eine Approximation der aktuellen Lage in Deutschland über Biokraftstoffe der 2. Generation zu erzeugen. Durch die Experten und die Anwendung einer Nutzwertanalyse wurde nicht nur der Biokraftstoff mit dem höchsten ökonomischen und

ökologischen Potenzial ermittelt, sondern der Biokraftstoff mit dem besten Gesamtnutzenprofil.

Die gewonnenen Ergebnisse bei der Expertenbefragung zeigten, dass unter den ökonomischen Gesichtspunkten, wie den Produktionskosten, der Wettbewerbsfähigkeit, der Energieeffizienz und dem Arbeitmarkteffekt, der Biokraftstoff Biomethan am besten abschneidet. Ebenfalls konnte Biomethan unter den ökologischen Aspekten Ressourcenschutz und Emissionsreduktion bei den Experten punkten. Der Biokraftstoff aus Mikroalgen erhielt bei dem Kriterium der Reduktion von Flächenänderung die höchsten Notenpunkte.

Die Bilanz aus der anschließenden Nutzwertanalyse veranschaulicht, dass der Biokraftstoff Biomethan das beste Nutzenprofil aufweist und folglich den größten Gesamtnutzen erzielt hat. Weiterhin konnte Biomethan unter ökologischen und ökonomischen Extremfällen bei der angrenzenden Sensitivitätsanalyse den ersten Platz sichern. Die Expertenbefragung und die Nutzwertanalyse lassen den Schluss zu, dass der Biokraftstoff das größte ökonomische und ökologische Potenzial besitzt. Dennoch weisen auch Bioethanol aus Zellulose, BtL und der Biokraftstoff aus Mikrolagen ein gutes ökologisches Potenzial auf. Angesichts der frühen Entwicklungsstadien haben diese Biokraftstoffe noch kein wettbewerbsfähiges ökonomisches Potenzial. Da der Biokraftstoff Biomethan seit kurzer Zeit am Markt verfügbar ist, stellen sich bei dem Biokraftstoff schon erste ökonomische Effekte ein.

Zusammenfassend konnte bewiesen werden, dass unter dem derzeitigen Forschungsstand der Biokraftstoff Biomethan das größte Potenzial und das beste Gesamtnutzenprofil aufweist. Um jedoch Investitionsentscheidungen und politische Fördermaßnahmen treffen zu können, sind noch weitere Untersuchungen und Daten über die präzisen Kostenstrukturen nötig.

## 2. Summary

Keywords: Biofuels of the 2nd Generation, potential, status quo, expert survey, value-benefit-analysis

The aspired targets of the climate policy and the gradual depletion of petroleum reinforce the expansion of biofuel production in Germany. The use of biomass as an energy source can have positive effects, like the reduction of greenhouse gas emissions and other negative side effects, such as increasing competition for land and food. Biofuels energy can also help to reduce the dependence on oil from politically unstable countries, which implies a certain security of energy supply can be achieved. Furthermore, not only agricultural land is used for biofuel cultivation, but also areas which have a high ecological potential, for example the tropical rain forest. Deforestation and upheaval of rainforests results in significant amounts of greenhouse gases being released, which misses the point of the biofuels policy. Given these environmental problems, research is currently being carried out into so-called second generation biofuels, which can be produced from organic waste.

The three biofuels of the 2nd generation biomass-to-liquid (BtL), biomethane and bioethanol from cellulose are evaluated by looking at the current state of research and the responses of experts with the help of a questionnaire. Based on the awarding of points by the experts, rankings of the individual economic and environmental aspects of each biofuel can be produced. The assessment of the ecological and economic criteria should provide information about which 2nd generation biofuel currently has the best potential and therefore should be the most heavily promoted by the policy. With the value-benefit-analysis, the results of the experts should be compacted again to identify the biofuel with the greatest benefit. The additional assessment of biofuel from microalgae should show the further trend towards the 3rd generation. The literature-based study, the responses of the experts and the value-benefit-analysis should allow the results of the different methods to be visualised incrementally to produce an approximation of the current situation in Germany for the 2nd generation of biofuels. The experts and the application of a value-benefit-analysis did not only ascertain the biofuel with the highest economic and ecological potential, but also the biofuel with the best overall benefit profile.

The results obtained from the expert survey show that among the economic factors, such as the cost of production, competitiveness, energy efficiency and the labour market effect of

biofuels, that biomethane scores best. Biomethane could also score points from the experts in the environmental aspects of resource conservation and emission reduction. Biofuel from microalgae has received the highest points for the criterion of reduction of land use change.

The report of the subsequent value-benefit-analysis demonstrated, that the biofuel biomethane has the best benefit profile and therefore attains the greatest overall benefit. Furthermore, biomethane could secure first place in the adjoining sensitivity analysis under ecological and economic extreme cases. From the expert survey and the value-benefit-analysis, it can be concluded, that this biofuel has the largest economic and ecological potential. Nevertheless, bioethanol from cellulose, BtL and biofuel from microalgae have a good ecological potential. Given the early stages of development, these biofuels do not yet have a competitive economic potential. Since the biofuel Biomethane has only been available on the market for a short time, the first economic effects of this biofuel are just starting to influence positive the economic efficiency.

In summary, it could be proved that with the current state of research in biofuels, biomethane has the most potential and the best overall benefit profile. However, in order to be able to make investment decisions and policy support measures, further research and data about the precise cost structures are still needed.

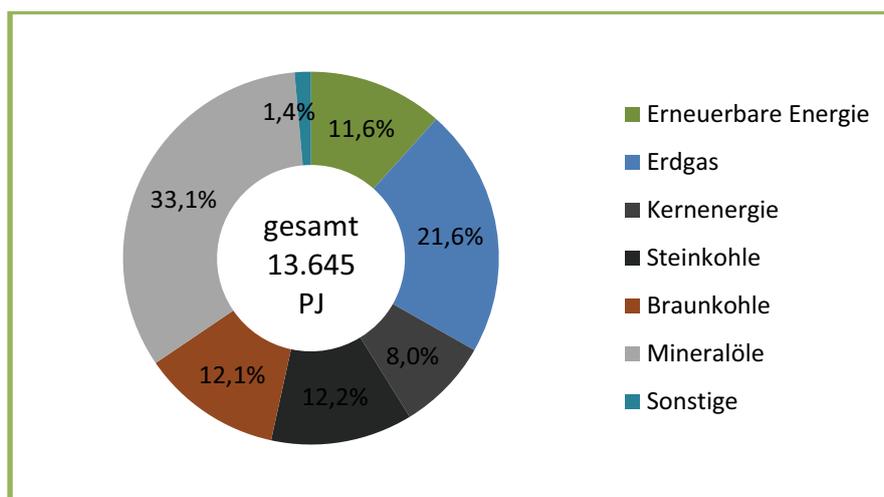
### 3. Einleitung

Im Hinblick auf immer mehr Nachhaltigkeit in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, spielt der Energiesektor eine besondere Rolle. Denn dieser ist geprägt von Importabhängigkeiten, Kriege um Ölfelder und einer sukzessiven Endlichkeit der Erdölreserven auf der Welt. Neben dem Problem der Endlichkeit von fossilen Energieträgern offenbart sich, dass währenddessen vor allem die Nachfrage in Schwellen- und Entwicklungsländern stark zunimmt. Nach Informationen der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) wird der Anstieg des Energiebedarfs in den nächsten dreißig Jahren auf rund 80% geschätzt. Der rapide Zuwachs lässt sich, durch eine geschätzte Zunahme von bis zu 60% des Verkehrsaufkommens im Personen- und Güterverkehr, erklären. Diesem Trend wirken die Prognosen über die Erdölreserven entgegen. Aufgrund des steigenden Konsums von Erdöl werden die Reserven von Rohöl in etwa vierzig Jahren erschöpft sein. Angesichts dieser Entwicklung ist es dringend notwendig, ein Umdenken in der Gesellschaft zu generieren und neue Antriebe in der Automobilindustrie zu entwickeln. Solche modernen Antriebssysteme sollten primär im Sinne der Nachhaltigkeit erzeugt werden. Neben den verschiedenen Entwicklungen, wie z.B. des drei-Liter-Autos, der Hybrid-Technologie und der verschiedenen Akkusysteme, kann Biomasse eingesetzt werden, um Treibhausgase (THG) und Importabhängigkeiten zu reduzieren (FNR, 2005). Diese Kraftstoffe werden als Biokraftstoffe bezeichnet und sollen die Ölprodukte sukzessive substituieren. Die Biokraftstoffe werden durch Biomasse hergestellt, wodurch der Landwirt zum Produzenten von Bioenergie wird (Bukold, S., 2009). Dadurch ergibt sich ein weiteres Standbein für die Landwirtschaft, womit positive sozioökonomische Effekte in der Landwirtschaft geschaffen werden (FNR, 2005). Die Biokraftstoffe werden dabei in drei unterschiedliche Generationen aufgeteilt. Bei der 1. Generation von Biokraftstoffen wird Biodiesel aus Pflanzenölen, wie z.B. aus Ölsaaten von Raps, Palmen und Soja, hergestellt. Ebenfalls zählt Bioethanol zur 1. Generation. Dabei werden zucker- und stärkehaltige Pflanzen, wie Zuckerrüben und Zuckerrohr, genutzt. Durch weitere Forschung wurde eine 2. Generation entwickelt. Zu dieser gehören Kraftstoffe, wie Bioethanol aus Zellulose, Biomass-to-liquid (Btl) und Biomethan. Bei dieser Generation kann die komplette Pflanze energetisch genutzt werden und auch Abfälle, Holz und ligninhaltige Biomasse, wie Stroh, können verwertet werden (Kerdoncuff, P., 2008). Weiterhin wird derzeit an der 3. Generation von Biokraftstoffen aus Mikroalgen geforscht. Für die Biokraftstoffe der 2. Generation spricht vor allem, dass die ganze Pflanze eingesetzt wird, ein geschlossener CO<sup>2</sup>-Kreislauf entsteht, hohe Energieerträge erreicht werden, Zukunftschancen

für den ländlichen Raum bestehen und die Nahrungsmittelkonkurrenz verringert wird (Brandt, P., 2009).

Die 1. Generation der Biokraftstoffe steht zurzeit unter großer Kritik, da für die Biokraftstoffe extra angebaute Energiepflanzenplantagen benötigt werden. Durch diesen Anbau kommt es zu einer Flächenkonkurrenz mit Nahrungsmitteln, wodurch die Ernährungssicherheit gefährdet wird. Eine mögliche Konsequenz dieser Rivalität verdeutlichte die „Tortilla-Krise“ im Jahr 2008. Durch die hohe Nutzung von Mais für Bioethanol in der USA, entstand eine Knappheit von Mais für das benachbarte Mexico (Piorr, H.-P., 2010). Durch solche Ereignisse werden die Biokraftstoffe der 2. Generation gefördert, um den Hunger auf der Welt zu reduzieren und gleichzeitig eine regenerative Energiequelle zu entwickeln. Zurzeit steht der Einsatz von Biokraftstoffe der 2. Generation noch in den Kinderschuhen, da der Stand der Technik heutzutage erst für Pilotanlagen ausreicht. Zu den nächsten Schritten zählt die erfolgreiche Markteinführung, wodurch politische Förderungen notwendig sind, wie z.B. eine Befreiung der Mineralölsteuer und Investitionsförderungen (FNR, 2005). Ein großes Hindernis bei dieser Entwicklung sind die hohen Investitionskosten und Produktionskosten, die nur wenige Firmen derzeit übernehmen wollen (Bukold, S., 2009).

Die Biokraftstoffe gehören zu den erneuerbaren Energien. Diese EE sollen bis zum Jahr 2020 bis auf 18% ansteigen. Dieses Ziel wird durch weiteren Ausbau von Windkraftenergie, Photovoltaik und Bioenergie unterstützt (Bührke, T. et al., 2011).



Quelle: Vgl. FNR, 2013 a  
**Abbildung 1 Primärenergieverbrauch in Deutschland 2012**