

Programm „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ (BWPLUS)

Zwischenbericht anlässlich des Statusseminars des BWPLUS  
am 03. und 04. Februar 2016 im Haus der Wirtschaft Karlsruhe

## **Power&Biomass2Gas (P&B2G)**

# **Potenziale der Speicherung von regenerativ erzeugtem Strom auf Basis flexibler Biomassekonzepte und deren Auswirkungen auf das Stromversorgungssystem**

von

M. Beirow<sup>1</sup>, B. Schober<sup>1</sup>, M. Baumann<sup>2</sup>, R. Spörl<sup>1</sup>, F. Gutekunst<sup>1</sup>

**Universität Stuttgart**

<sup>1</sup>Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Bauphysik, Abt. Ganzheitliche Bilanzierung (LBP-GaBi)

Förderkennzeichen: BWE 13012-13013

Die Arbeiten des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung BWPLUS“  
werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	1
Abstract .....	2
1 Einleitung .....	2
2 Zwischenergebnisse aus dem Berichtszeitraum.....	3
2.1 Rahmenbedingungen für Baden-Württemberg (AP 1) .....	3
2.1.1 Schnittstellen zwischen Strom- und Gasnetz (AP 1.2) (IFK-SuA).....	3
2.1.2 Szenariorahmen (AP 1.3) (IFK-SuA).....	4
2.2 Flexible Anlagenkonzepte zur Biomassenutzung: P&B2G (AP 2) (IFK-DEU).....	4
2.3 Analyse des Nutzens für das Energiesystem (AP 3) (IFK-SuA) .....	7
2.3.1 Marktsimulationen ohne Berücksichtigung von Übertragungsgrenzen (AP 3.1) 7	
2.3.2 Marktsimulationen mit Berücksichtigung von Übertragungsgrenzen (AP 3.2)... 7	
2.4 Ökobilanzierung (AP 4) (LBP-GaBi) .....	8
2.4.1 Ökobilanzierung der Anlagenkonzepte zur Biomassenutzung (AP 4.1).....	8
2.4.2 Ökobilanzierung der Auswirkungen auf die dt. Strombereitstellung (AP 4.2)....	9
2.5 Wissenstransfer/Öffentlichkeitsarbeit/Nutzen für Dritte (IFK, LBP-GaBi) (AP 5) ..	10
3 Ausblick und weiteres Vorgehen .....	10
4 Anhang .....	11
5 Literaturverzeichnis .....	12

## Kurzfassung

Im Projekt **Power&Biomass2Gas (P&B2G)** wird untersucht, wie durch den flexiblen Betrieb einer Biomassevergasungsanlage Strom zu Überschusszeiten im Erdgasnetz gespeichert werden kann. Als Vergasungstechnologie wird die sorptionsunterstützte Wasserdampfvergasung (engl. „sorption enhanced reforming“ SER) in einer dual zirkulierenden Wirbelschicht näher betrachtet. Hierbei wird die für die Vergasung notwendige Energie extern in einem Verbrennungsreaktor erzeugt und durch zirkulierendes Bettmaterial dem eigentlichen Vergasungsreaktor bereitgestellt. Ein wichtiger Vorteil bei dieser Technologie ist, dass der Verbrennungsreaktor sowohl mit Luft als auch mit Sauerstoff aus einer Elektrolyse betrieben werden kann. Der Betrieb der Elektrolyse richtet sich direkt nach der fluktuierenden, erneuerbaren Energieerzeugung aus Photovoltaik oder Wind. Bei Betrieb mit Sauerstoff (Oxy-Verbrennung mit Rauchgasrezirkulation) entsteht ein Abgasstrom mit einem sehr hohen CO<sub>2</sub>-Anteil. Das so gewonnene CO<sub>2</sub> kann zusammen mit dem aus der Elektrolyse erzeugten Wasserstoff ebenfalls der Methanisierung zugeführt werden. Somit besteht die Möglichkeit nahezu 100% des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs für die SNG-Erzeugung zu verwenden.

Der Nutzen einer flexiblen Betriebsweise und die Auswirkungen auf das deutsche Stromerzeugungssystem werden durch Marktsimulationen sowie anhand von

Lastflussrechnungen des deutschen Stromnetzes quantifiziert. Eine wichtige Fragestellung ist dabei, inwiefern der gesteuerte Einsatz der Vergasung zusammen mit der Wasserelektrolyse zur Stabilität des bestehenden und zukünftigen deutschen Stromnetzes beitragen kann. Hierfür werden landkreisscharf Anlagenstandorte aus Schnittstellen zwischen Strom- und Gasnetzinfrastruktur ermittelt und hinsichtlich der Biomasseverfügbarkeit überprüft. Abschließend werden die ökologischen Auswirkungen der flexiblen **Power&Biomass2Gas**-Konzepte im Vergleich zur heutigen Biomassenutzung sowie der sich ergebende ökologische Nutzen für die gesamte baden-württembergische und deutsche Strombereitstellung durch Ökobilanzen ermittelt. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden die Treibhausgasemissionen und weitere für den Energiesektor relevante ökologische Auswirkungen betrachtet.

## Abstract

In the project **Power&Biomass2Gas (P&B2G)**, flexible operation of a biomass gasification plant is investigated to store electricity from fluctuating renewable energy sources in the gas grid. Steam gasification in a dual fluidized bed (DFB), based on limestone as bed material is considered to enable a sorption enhanced reforming process by capturing CO<sub>2</sub> in the gasifier. The necessary heat for the endothermic gasification reaction is produced externally in the combustor and delivered to the gasifier by circulating bed material. One major aspect is that the combustor can be run in air or oxy mode. The oxygen is produced in water electrolysis and the operation is directly based on volatile energy generation from renewable energies. In the so called oxy-operation the flue gas from the combustor contains relatively high CO<sub>2</sub>-concentrations. This CO<sub>2</sub>-rich stream can also be utilized in combination with hydrogen from water electrolysis to produce methane. Hence, there is the possibility to use almost 100% of the carbon contained in the biomass for SNG production.

The benefits and advantages of Power&Biomass2Gas for the system stability in a future power grid will be quantified by market and power grid simulations. For this purpose, best plant locations and plant sizes can be found from intersection points between the power grid and the gas grid – including the availability of biomass for this location.

Beyond this, life cycle assessment studies evaluate the concepts in comparison to the current usage of biomass and will identify environmental benefits for the entire electricity production in Baden-Württemberg and Germany. These investigations consider greenhouse gas emissions and all further effects relevant to the energy sector.

## 1 Einleitung

Der Zwischenbericht beschreibt in Kapitel 2 die von den Projektpartnern „Stromerzeugung und Automatisierungstechnik“ (IFK-SuA) und „Dezentrale Energieumwandlung“ (IFK-DEU) am IFK, sowie der Abteilung „Ganzheitliche Bilanzierung“ am Lehrstuhl für Bauphysik (LBP-GaBi) während des Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten. Außerdem wird über die Projektarbeiten im Bereich Wissenstransfer/Öffentlichkeitsarbeit/Nutzen für Dritte informiert. Kapitel 3 gibt einen Ausblick über das weitere Vorgehen innerhalb des Projekts. Der Fortschritt der Projektarbeiten ist in einem Gantt-Diagramm in Kapitel 4 dargestellt. Ein Literaturverzeichnis befindet sich in Kapitel 5.

## 2 Zwischenergebnisse aus dem Berichtszeitraum

### 2.1 Rahmenbedingungen für Baden-Württemberg (AP 1)

#### 2.1.1 Schnittstellen zwischen Strom- und Gasnetz (AP 1.2) (IFK-SuA)

Das im Projekt nutzbare Brennstoffpotenzial soll durch die Nutzung bisher nicht genutzter Biomassen bereitgestellt werden. Dieses Potenzial wurde bereits anhand von Literaturstudien und Daten des DBFZ (1) (2) im Rahmen von AP 1.1 landkreisscharf auf die Fläche Deutschlands in die Standortauswahl für P&B2G-Anlagen übernommen. Da die Zusammensetzung des gesamten im Projekt betrachteten Biomassepotenzials für die Modellierung der Prozesstechnik von großer Bedeutung ist, wird die Standortauswahl um die Abschätzung der vorliegenden relevanten Biomassepotenziale erweitert. Abbildung 1 zeigt das landkreisscharfe Gesamtpotenzial der Biomassearten Waldrestholz, Stroh und Grünabfälle/Landschaftspflegematerial über Deutschland. Die Tortendiagramme der Standorte, die sich aus der Infrastrukturüberprüfung zwischen Strom- und Gasnetz sowie aus dem regional verfügbaren Biomassepotenzial ergeben, zeigen sowohl den jeweiligen Biomassemix als auch den notwendigen Biomasseaktionsradius an. Im gezeigten Szenario ist die elektrische Nettoleistung für alle Anlagenstandorte auf 25 MW festgelegt.

Für die Überprüfung der Infrastrukturdistanz zwischen Strom- und Gasnetz ist hier eine maximal erlaubte Entfernung von 5 km gewählt.

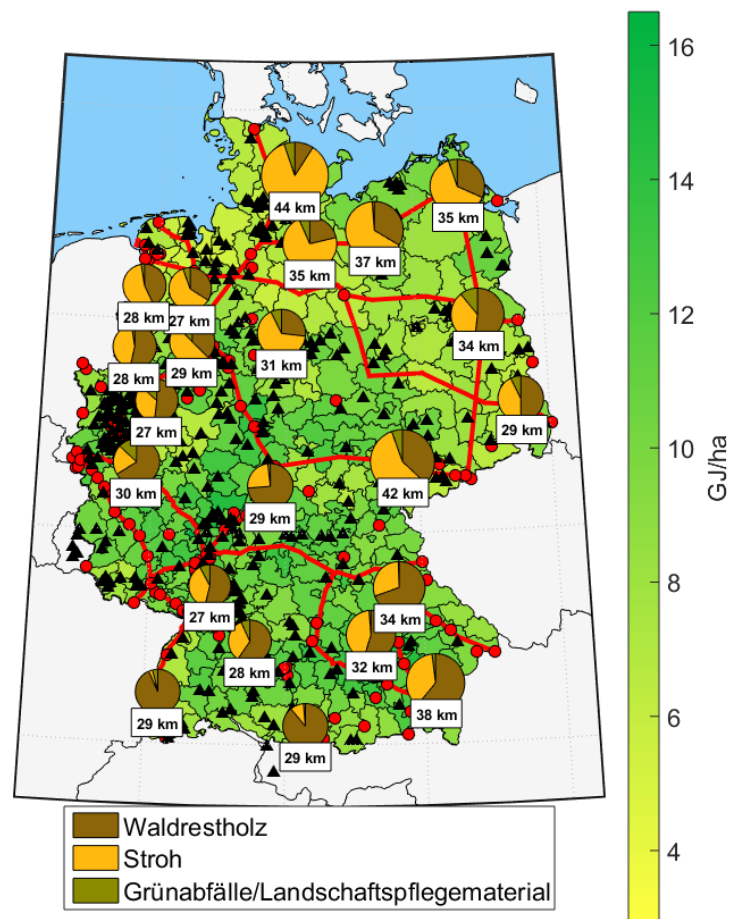


Abbildung 1: Mögliche Standorte für P&B2G-Anlagen

Die Standortuntersuchung liefert demnach für dieses Szenario 22 potenzielle Standorte, an denen eine Kopplung von Strom- und Gasnetz unter der Bedingung eines ausreichenden Brennstoffpotenzials gegeben ist.

### 2.1.2 Szenariorahmen (AP 1.3) (IFK-SuA)

Um den Nutzen von P&B2G für das Energiesystem bewerten zu können, werden Marktsimulationen für die Jahre 2015, 2020 und 2025 jeweils mit konventioneller Biomassenutzung und mit Biomassenutzung in P&B2G-Anlagen durchgeführt.

Die Marktsimulationen für beide Szenarienstränge wurden durchgeführt unter den Annahmen der Ausbauziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien wie sie im novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2014 festgeschrieben sind. Das Referenzjahr für die Erstellung des Szenariorahmens ist das Jahr 2013. Die Daten für die konventionellen Kraftwerke stammen aus öffentlich zugänglichen Kraftwerkslisten. Kraftwerksneubauten und -abschaltungen sind innerhalb des Szenarienhorizonts berücksichtigt. Daten zu den Lastgängen basieren ebenfalls auf dem Referenzjahr 2013 und wurden vorerst für alle Jahresscheiben der Szenarien konstant auf dem Niveau des Referenzjahres belassen.

## 2.2 Flexible Anlagenkonzepte zur Biomassenutzung: P&B2G (AP 2) (IFK-DEU)

Im bereits vorausgegangenen Berichtszeitraum wurden Verfahren der Festbettvergasung (Gegenstrom- und Gleichstromvergasung) mit der Sauerstoff-sorptionsunterstützten-Reformierung anhand von Simulationen miteinander verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verfahren der Festbettvergasung zwar wesentlich einfacher in der Anlagentechnik und Prozessführung sind, jedoch hinsichtlich einer Anlagenskalierung und der Verwendung des Synthesegases für die Methanisierung weniger geeignet sind. Bei der Vergasung in einer dual zirkulierenden Wirbelschicht erfolgt die Wärmezeugung für die endothermen Vergasungsreaktionen entkoppelt in einem separaten Verbrennungsreaktor (Regenerator). Dadurch kann die Reaktorgeometrie optimal an die Verbrennungsvorgänge angepasst und ein Wechselbetrieb zwischen Luftverbrennung und unter Sauerstoffatmosphäre gut realisiert werden. Durch die homogene Vermischung in der Wirbelschicht ergibt sich ein schneller Umsatz der eingetragenen Biomasse. In weitergehenden experimentellen Untersuchungen konnten hohe Laständerungsgeschwindigkeiten bei der Wirbelschichtvergasung nachgewiesen werden, wodurch diese Technologie gut geeignet ist, die produzierte Synthesegasmenge an die fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung anzupassen. Durch die Verwendung eines CO<sub>2</sub>-absorptionsaktiven Bettmaterials (CaO) findet über die Karbonatisierungsreaktion ( $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ) im Vergaser eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung statt, wodurch die resultierende Synthesegaszusammensetzung direkt für eine Methanisierung geeignet ist (3). Im Regenerator läuft die Karbonatisierungsreaktion in umgekehrter Richtung ab und es steht erneut CaO für die Vergasung zur Verfügung. Ferner zeigt die Verwendung eines kalksteinbasierten Bettmaterials sehr gute Eigenschaften zur Teerreduktion und beeinflusst auch das Ascheschmelzverhalten der Biomassen positiv (4), sodass Anlagenstandorte mit einem hohen Aufkommen an aschereichen Biomassefraktionen (Reststroh) gut in dem Prozess verwendet werden können.

In Abbildung 2 ist das Simulationsmodell für den Vergasungsprozess in Aspen Plus<sup>®</sup> vereinfacht dargestellt. Die verschiedenen Teilmodelle (dual zirkulierende Wirbelschichtvergasung, Methanisierung, Gasmotor, RME-Wäscher, Pumpen und Verdichter) wurden zwischenzeitlich zu einem Gesamtmodell zusammengefügt, um durch Wärmeintegration der einzelnen Komponenten eine Prozessoptimierung zu ermöglichen.

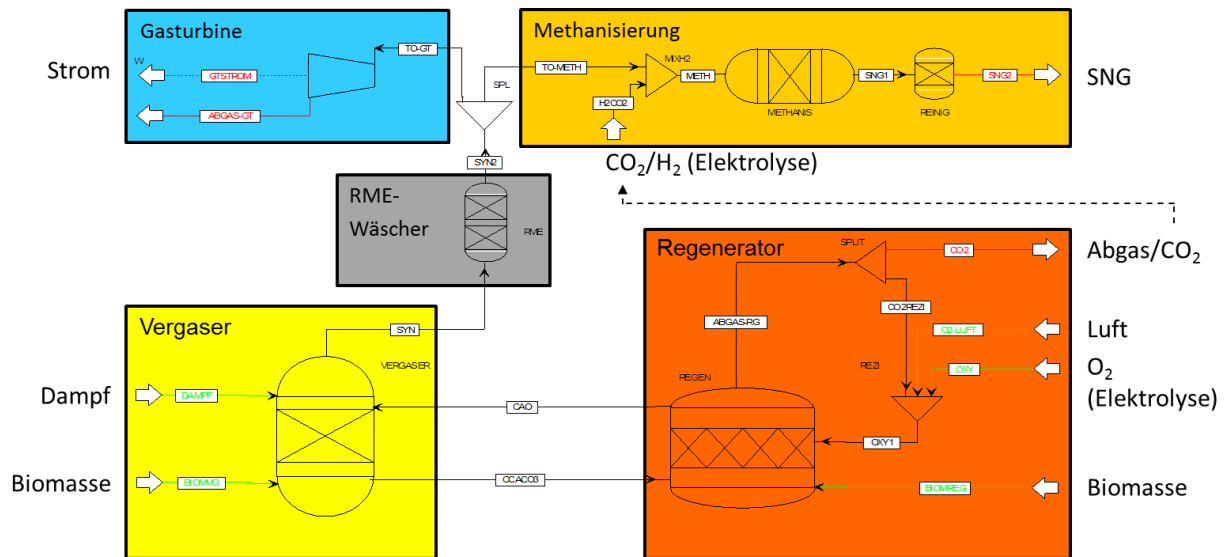


Abbildung 2: Prozessfließbild zur SNG- und Stromerzeugung über Biomassevergasung

### Festlegung der Betriebsweise des Regenerators

Während im Luftbetrieb (Stromunterdeckung) die Sauerstoffkonzentration auf 21 Vol.-% festgelegt ist, kann beim Betrieb des Regenerators mit Sauerstoff (Oxy-Fuel) und Rauchgasrezirkulation theoretisch jede Sauerstoffkonzentration eingestellt werden. Im realen Fall muss jedoch darauf geachtet werden, dass bei gleichem Reaktorquerschnitt für beide Betriebsmodi die Reaktorfluidisierungsgeschwindigkeit identisch ist. Ferner müssen auch die unterschiedlichen Wärmekapazitäten von Luft und  $\text{CO}_2$  berücksichtigt werden. Mit diesen Vorgaben ergibt sich für den Luftbetrieb ein zugehöriger Sauerstoffbetrieb mit einer Konzentration größer 24 Vol.-%<sub>f</sub> (Oxy24) am Regeneratoreingang. Prozesssimulationen zum Betrieb mit Luft und Sauerstoff haben gezeigt, dass im Sauerstoffbetrieb für die Reaktorfluidisierung der erforderliche Eigenenergiebedarf geringer ist.

### Dimensionierung der Elektrolyseanlage

Für die Berechnung der Elektrolyseleistung wurde in Matlab-Simulink<sup>®</sup> ein Modell einer Wasserelektrolyseanlage erstellt, welches in der Lage ist, die elektrochemischen Vorgänge bei der Wasserspaltung detailliert zu beschreiben. Damit kann das Modell in Abhängigkeit des im Prozess benötigten Wasserstoff- bzw. Sauerstoffstroms die resultierende Elektrolyseleistung sowie bei definierter Nennleistung auch den für Elektrolyseanlagen charakteristischen Verlauf der Wirkungsgradkennlinie bei unterschiedlichen Lastpunkten berechnen (siehe Abbildung 3).

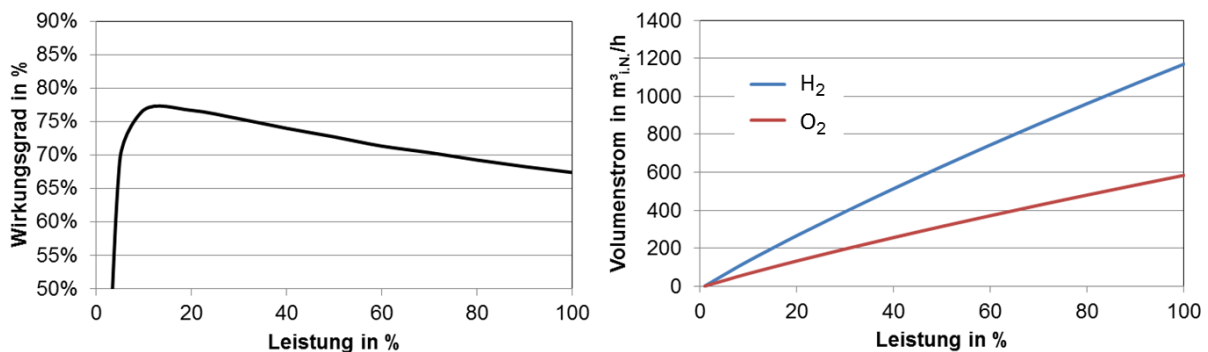


Abbildung 3: Wirkungsgradverlauf der Wasserelektrolyse (links) und produzierte Gasvolumenströme in Abhängigkeit der Leistung (Nennleistung: 5,2 MW<sub>el</sub>)

## Analyse von Anlagenklassifizierungen

Anhand der aus Kapitel 2.1 vorgenommenen Standortsuche wurde eine Klassifizierung aller ermittelten Standorte hinsichtlich ihrer Verteilung der Teilpotenziale (Waldrestholz, Reststroh, Landschaftspflegematerial) vorgenommen (siehe Abbildung 4). Hierbei fällt auf, dass in Süddeutschland (rote Punkte: Anlagen Süd) vorwiegend Anlagenstandorte mit einem hohen Waldrestholzaufkommen vorliegen, während Standorte in Norddeutschland (blaue Punkte: Anlagen Nord) eher einen hohen Reststrohanteil besitzen.

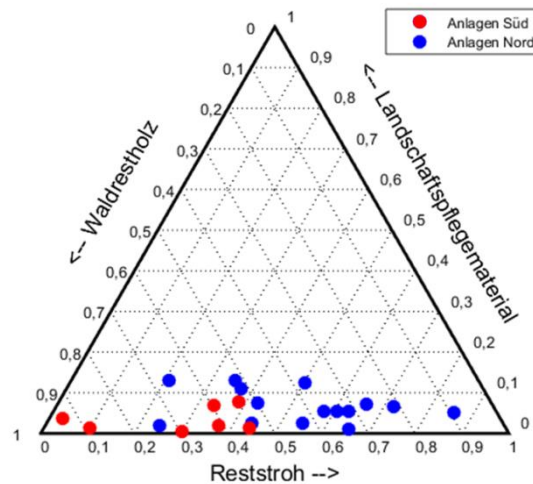


Abbildung 4: Verteilung der ermittelten Anlagenstandorte nach Biomassezusammensetzung

Für die Simulationen des Gesamtprozesses wurden daher zwei typische Anlagenklassen (siehe Tabelle 1) definiert:

Tabelle 1: Klassifizierung von zwei typischen P&B2G-Anlagen

Biomasseanteile	Anlage Süd	Anlage Nord
Waldrestholz	70%	30%
Reststroh	25%	60%
Landschaftspflegematerial	5%	10%

## Ergebnisse aus Prozesssimulationen

In Tabelle 2 sind erste Ergebnisse aus der Simulation des Gesamtprozesses gezeigt. Der Betrieb der Stromerzeugung erfolgt bei einer Vergasertemperatur von 750 °C (Luftregeneration bei Stromunterdeckung) und die SNG-Erzeugung findet bei 710 °C (Regeneration mit Elektrolysesauerstoff bei Stromüberdeckung) statt. Diese beiden Temperaturen wurden ausgewählt, da vorausgehende Untersuchungen mit Holzpellets als Brennstoff hierfür gute Ergebnisse zum Anlagenbetrieb und der Synthesegaszusammensetzung und -ausbeute gezeigt haben. Derzeit finden weitere Optimierungen der Prozessparameter für die unterschiedlichen Brennstoffmischungen statt. Außerdem erfolgt eine weitere Modelldetaillierung, um den Koksumsatz der verschiedenen Brennstoffe genauer zu beschreiben.

Tabelle 2: Ergebnisse zur Strom- und SNG-Erzeugung für Anlagenklassen Süd und Nord

		Anlage Süd		Anlage Nord	
		Strom	SNG	Strom	SNG
$P_{th,Biomasse}$	MW	90	90	90	90
$P_{el,brutto}$	MW	29,78	-	31,16	-
$P_{el, Elektrolyse}$	MW	-	175,95	-	161,44
$P_{SNG}$	MW	-	150,26	-	143,6

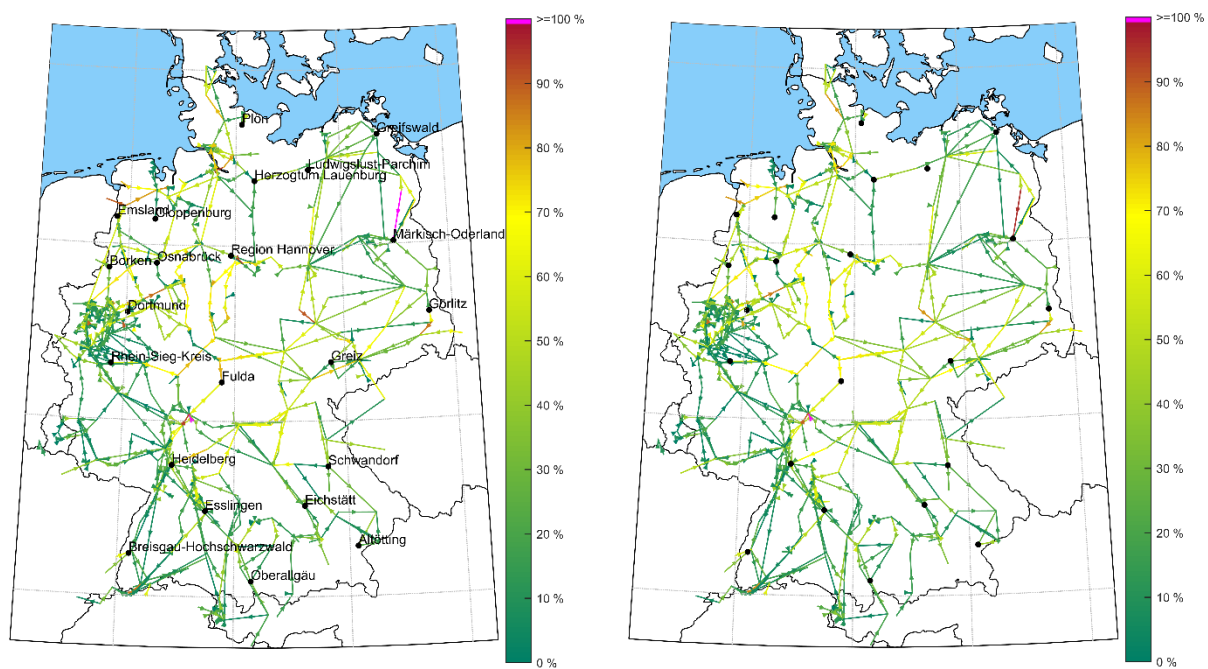
## 2.3 Analyse des Nutzens für das Energiesystem (AP 3) (IFK-SuA)

### 2.3.1 Marktsimulationen ohne Berücksichtigung von Übertragungsgrenzen (AP 3.1)

Die Untersuchungen zum zukünftigen Einsatz von P&B2G werden derzeit auf ein detailliertes Kraftwerkseinsatzmodell umgestellt, das am IFK entwickelt wurde. Dabei besteht die Möglichkeit, Teillastbetrieb, Stromimport und -export und die Vorhaltung und Bereitstellung von Regelleistung zu berücksichtigen. Die Implementierung von P&B2G-Anlagen in das detaillierte Kraftwerkseinsatzmodell wird voraussichtlich im Januar 2016 abgeschlossen sein.

### 2.3.2 Marktsimulationen mit Berücksichtigung von Übertragungsgrenzen (AP 3.2)

Die aus den Marktsimulationen gewonnenen Einsätze von P&B2G als Speicher oder Erzeuger können nun mittels Lastflussrechnungen auf ihre Auswirkungen im Stromübertragungsnetz untersucht werden. Abbildung 5 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer linearisierten Lastflussrechnung einer Schwachlastsituation im Jahr 2020 mit einer Last von 48 GW und einer gleichzeitigen vergleichsweise hohen Windenergieeinspeisung von 33 GW mit und ohne P&B2G-Anlagen. Die Linearisierung um den beschriebenen Arbeitspunkt wurde über das PDF-Verfahren umgesetzt. Dieses Verfahren ermöglicht kürzere Berechnungszeiten, allerdings gilt das Verfahren wie bei jeder Linearisierung nur nah am Arbeitspunkt und Blindleistungsflüsse und Verluste werden hierbei vernachlässigt.



a) Szenario ohne P&B2G-Einsatz

b) Szenario mit P&B2G-Einsatz

**Abbildung 5: Lastflussrechnung eines Schwachlastfalles mit hoher Windeinspeisung**

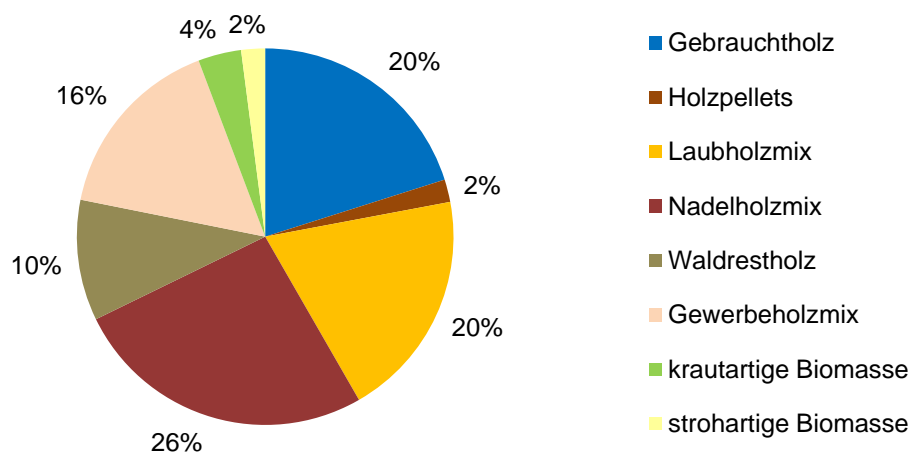
Deutlich zu erkennen ist, dass in einem Szenario ohne die Nutzung von P&B2G-Anlagen an diversen Leitungen Leitungsauslastungen von deutlich über 70% erreicht werden. Auslastungen in diesem Bereich sind aufgrund des (n-1)-Kriteriums nicht zulässig, da beim Ausfall eines Betriebsmittels, beispielsweise einer Leitung, eine oder mehrere der übrigen Leitungen über ihre thermische Belastungsgrenze hinaus belastet werden, somit Ausfälle weiterer Betriebsmittel nach sich ziehen und weiträumige Versorgungsunterbrechungen zur Folge haben können. Beim dargestellten Szenario wird an verschiedenen Stellen diese Grenze erreicht. Die Netzsituation lässt sich durch die Nutzung der P&B2G-Anlagen als disponible Einspeiser bzw. Speicher an verschiedenen Stellen entspannen, wie in Abbildung 5b) dargestellt.



## 2.4 Ökobilanzierung (AP 4) (LBP-GaBi)

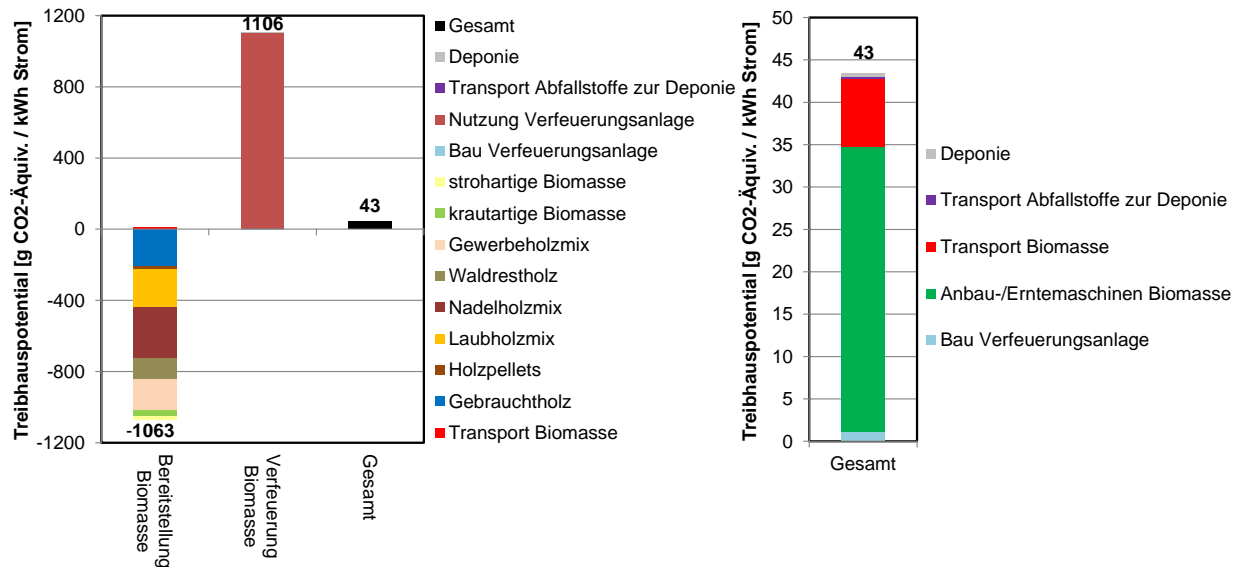
### 2.4.1 Ökobilanzierung der Anlagenkonzepte zur Biomassenutzung (AP 4.1)

Das Ökobilanzmodell des Referenzfalls, der die heutige Biomassenutzung durch Biomasseverfeuerung abbildet, wurde auch auf Anregung der Teilnehmer des ersten P&B2G-Workshops weiter überarbeitet, um die baden-württembergischen Rahmenbedingungen möglichst realitätsnah einfließen zu lassen. So wurde der Radius für den Biomassetransport zum Biomassekraftwerk auf Basis von realen Betriebsangaben der Fernwärme Ulm GmbH auf 100 km festgelegt (5). Der elektrische Nettowirkungsgrad der Verfeuerungsanlage wurde zudem nochmals überprüft und auf 33% dimensioniert (6). Der Biomassemix für Baden-Württemberg wurde auf Basis von Quelle (7) ermittelt. Hierzu wurden alle Biomassearten, die sich zur Verfeuerung eignen, berücksichtigt und den bestehenden Ökobilanzdatensätzen zur Biomassebereitstellung zugeordnet. Es ergibt sich der folgende massenabhängige Biomassemix.



**Abbildung 6: Biomassemix für Biomasseverfeuerung in Baden-Württemberg**

In Abbildung 7 sind als Ergebnisauszug die Treibhausgasemissionen der Herstellung und des Betriebs eines Biomassekraftwerks dargestellt. Beim linken Diagramm ist erkennbar, dass beim Wachstum der verschiedenen Biomassearten durch Photosynthese CO<sub>2</sub> eingebunden wird (negativer Wert bei der Bereitstellung der Biomasse). Dieselbe Menge an CO<sub>2</sub> wird bei der Verfeuerung der Biomasse wieder an die Umwelt abgegeben (positiver Wert bei der Verfeuerung der Biomasse). Das gesamte Treibhauspotential des Biomassekraftwerks ergibt sich, wenn die Treibhauspotentiale für die Bereitstellung und die Verfeuerung der Biomasse aufsummiert werden. Da die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Biomassematerials neutral ist, beinhaltet der resultierende Gesamtwert alle Emissionen, die für den Bau des Biomassekraftwerks, durch die Herstellung und Betrieb der Anbau- und Erntemaschinen, durch den Biomassetransport mit LKWs zum Kraftwerk, sowie den Abtransport und die Deponierung von Abfällen hervorgerufen werden (siehe rechtes Diagramm in Abbildung 7). Hier ist erkennbar, dass neben den Anbau- und Erntemaschinen, der Biomassetransport und damit die Transportdistanz erheblich zum Umweltprofil beitragen. Der Bau der Verfeuerungsanlage und Herstellung ihrer Komponenten trägt dagegen nur im untergeordneten Maße zum Umweltprofil bei.



**Abbildung 7: Treibhausgasemissionen für Biomasseverfeuerung in Baden-Württemberg**

Das bereits im Zwischenbericht 2015 beschriebene und im Rahmen dieses Projekts entwickelte Ökobilanzmodell zur Abbildung von P&B2G-Anlagen ist mit frei variierbaren technischen Parametern umgesetzt und wird stetig weiterentwickelt und im weiteren Projektverlauf an die in Kapitel 2.2 beschriebenen Anlagenauslegungen angepasst und entsprechende Simulationen ausgewertet. Abschließend wird die Ökobilanz der P&B2G-Anlagen mit dem bereits in diesem Kapitel beschriebenen Referenzfall der Biomasseverfeuerung verglichen. Die Ökobilanzmodelle von P&B2G sowie der Biomasseverfeuerung werden ebenfalls in AP 4.2 angewendet, um den ökologischen Nutzen von P&B2G für die gesamte Stromversorgung darzustellen.

#### 2.4.2 Ökobilanzierung der Auswirkungen auf die dt. Strombereitstellung (AP 4.2)

Um den zusätzlichen ökologischen Nutzen von P&B2G darzustellen, wird eine Methode entwickelt, mit der die ökologischen Auswirkungen von P&B2G auf die baden-württembergische sowie deutsche Stromversorgung abgebildet werden können. Die Entwicklung dieser Methode ist momentan in Arbeit und wird in den kommenden Monaten abgeschlossen. Das Ziel der Methode ist, den durch die unregelmäßige Einspeisung erneuerbarer Energien stark variierenden Stromerzeugungsmix ökobilanziell zu erfassen und das Umweltprofil stündlich aufgelöst darzustellen. Basis für die Durchführung der Methode sind die in Kapitel 2.3 beschriebenen Marktsimulationen, die ein stündlich aufgelöstes Stromerzeugungsprofil sowie Angaben zum Betriebszustand der Kraftwerke als Eingangsgrößen zur Verfügung stellen.

Mit dem in Zukunft weiter steigenden Anteil erneuerbarer Energien, der aus den Marktsimulationen aus Kapitel 2.3 hervorgeht, werden die im Stromversorgungssystem notwendigen fossil befeuerten Kraftwerke zunehmend unregelmäßig und diskontinuierlich betrieben und weisen daher ein ungleichmäßiges Produktionsprofil auf, das häufigere An- und Abfahrprozesse und Teillastbetriebszustände zur Folge hat. Um den variierenden Ressourcenbedarf und die Emissionen der fossil befeuerten Kraftwerke in den verschiedenen Betriebszuständen zu erfassen, wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt. Auf Basis dieser Literaturrecherche werden momentan Ressourcenbedarfs- und Emissionsfunktionen für Steinkohle-, Braunkohle- und Gaskraftwerke gebildet, die dann gemeinsam mit den Marktsimulationsdaten in die Ökobilanzierung der gesamten Stromversorgung miteingehen. Ein ökologisches Potenzial von P&B2G ist, den variierenden Betrieb der fossil befeuerten Kraftwerke zu reduzieren und somit zu einer

Emissionsreduzierung für die gesamte Stromversorgung beizutragen. Dieses Potenzial soll bis zum Ende des Projekts quantifiziert werden.

## **2.5 Wissenstransfer/Öffentlichkeitsarbeit/Nutzen für Dritte (IFK, LBP-GaBi) (AP 5)**

Wie im Projektantrag vorgesehen, wurde von den Projektpartnern Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi) des Lehrstuhls für Bauphysik und dem Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart zur Projekthalbzeit am 22.05.2015 ein Workshop ausgerichtet. Darin wurden den Teilnehmern aus den Bereichen Zuwendungsgeber, Forschungseinrichtungen sowie der Industrie die aktuellen Projektergebnisse vorgestellt. Anschließend Diskussionsrunden boten die Möglichkeit, die gezeigten Ergebnisse gemeinsam zu erörtern und Kenntnisse und Erfahrungen der Teilnehmer mit in den weiteren Projektablauf einfließen zu lassen. Im Nachgang bestand für die Teilnehmer die Möglichkeit, die Präsentationen und auch die erarbeiteten Strategien für den weiteren Projektverlauf von der Projekthomepage (<http://www.pb2g.de>) zu beziehen.

## **3 Ausblick und weiteres Vorgehen**

Unter der Vorgabe, dass im Elektrolysebetrieb so viel Wasserstoff erzeugt werden muss, damit der  $\text{CO}_2$ -Strom im Regeneratorabgas vollständig in Methan umgewandelt werden kann ( $\text{CO}_2 = 4\text{H}_2$ ) ergibt sich ein Verhältnis von Elektrolyseleistung zu Stromerzeugungsleistung von ca. 170 MW/30 MW. Hieraus ist ersichtlich, dass der Beitrag der Stromerzeugung gering ist. Deshalb wird ein weiteres Anlagenkonzept zur reinen SNG-Erzeugung (Stromerzeugungspfad entfällt) mit in die Untersuchungen integriert.

Über die für das Projekt notwendigen Untersuchungen hinaus wurde am IFK im Rahmen einer studentischen Arbeit ein Modell des deutschen Fernleitungsgasnetzes erstellt, mit welchem die Auswirkungen zukünftiger erhöhter Gaseinspeisung durch Power-to-Gas-Anlagen untersucht werden kann. Bis zum Ende der Projektlaufzeit sind hierdurch weitergehende Untersuchungen etwaiger Restriktionen im Gasnetz denkbar.

Da das in Kapitel 2.3.1 beschriebene detaillierte Kraftwerkseinsatzmodell auch für die Ökobilanzierung zur Verfügung steht, kann die Ergebnisqualität der Ökobilanzen im weiteren Projektverlauf deutlich verbessert werden.



## 5 Literaturverzeichnis

1. **U. Seyfert, K. Bunzel, D. Thrän.** *Biomassepotenziale in Deutschland 2008 bis 2020.* Leipzig : DBFZ, 2011.
2. **K. Bunzel, D. Thrän, U. Seyfert, V. Zeller, M. Buchhorn.** *Forstwirtschaftliche Biomassepotenziale und Reststoffpotenziale in Deutschland.* Bonn : Informationen zur Raumentwicklung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2011.
3. **N. Poboß, M. Zieba, G. Scheffknecht.** *Verbundvorhaben FuE-Plattform "BtG" - energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie zur Poly-Generation von Strom, Wasserstoff, Erdgassubstitut und Wärme: Energetische Biomassenutzung,* 2013.
4. **Schlussbericht Verbundvorhaben B2G: Innovative Erzeugung von gasförmigen Brennstoffen aus Biomasse.** [http://www.b-2-g.de/download/B2G\\_Schlussbericht.pdf](http://www.b-2-g.de/download/B2G_Schlussbericht.pdf), 2014.
5. **Fernwärme Ulm GmbH.** *Persönliche Auskunft.* 2015.
6. **RWE Generation SE.** *Das Biomassekraftwerk.* 2015.
7. **Wirtschaftsministerium Baden Württemberg.** *Biomasse-Aktionsplan, Erste Fortschreibung.* Stuttgart, 2010.