

Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Thema:

**GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur
Optimierung des Einsatzes von Biomasse im
Energiesystem**

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Fraunhofer IEE

Teilvorhaben 2: INTEND

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 22406317

Teilvorhaben 2: 22404318

Laufzeit:

01.12.2018 bis 31.01.2022

Monat der Erstellung:

03/2022

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Förderkennzeichen: 22406317, 22404318

Verbundvorhaben

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem

Schlussbericht

Fördergeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)

Veröffentlichungsdatum: 11.11.2022

Projektleiter	Patrick Selzam, Matthias Nagel
Verantwortlich / Autor(en)	Patrick Selzam (IEE), Daniel Horst (IEE), Uwe Hoffstede (IEE), Matthias Nagel (INT), Silke Wenger (INT)
Erstellung am	31.03.2022
Zuletzt geändert	31.03.2022
Bearbeitungszustand	☐ in Bearbeitung ☐ vorgelegt ☒ fertig gestellt

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) unter den Förderkennzeichen 22406317 und 22404318 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

I.	Ziele	6
1	Aufgabenstellung	7
1.1	Arbeitspaket 1	7
1.2	Arbeitspaket 2	8
1.3	Arbeitspaket 3	9
1.4	Arbeitspaket 4	10
1.5	Arbeitspaket 5	11
1.6	Arbeitspaket 6	12
2	Stand der Technik	13
2.1	Energiesysteme	13
2.2	GIS-Systeme	15
3	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	16
II.	Ergebnisse	17
1	Erzielte Ergebnisse	17
1.1	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	17
1.2	Erreichte Nebenergebnisse	18
1.3	Wesentliche Erfahrungen	18
1.4	Arbeitspaket 1	19
1.4.1	AS 1.1 Pflichtenheft Software-Implementierung (INT)	19
1.4.2	AS 1.2: Datenerhebung vor Ort (IEE)	26
1.4.3	AS 1.3: Einbinden von Statistik Daten (IEE)	27
1.4.4	AS 1.4: Identifikation geeigneter geostatistischer Verfahren zur Regionalisierung von EE Erzeugungsanlagen und neuen Verbrauchern (IEE)	37
1.4.5	AS 1.5: Evaluierung der existierenden Infrastruktur (IEE)	37
1.4.6	AS 1.6: Bestimmung des Biomasse Potenzial durch Satelliten (IEE)	38
1.4.7	AS 1.7: Identifikation zu berücksichtigender Naturschutzaspekte (AHC)	39
1.5	Arbeitspaket 2	40
1.5.1	AS 2.1: Kartierung (Biomasse, PV-Dachpotenzial) und Erstellung Technologiebaukasten (IEE)	40
1.5.2	AS 2.2: Räumlich optimierter Ausbau Nahwärme Netze (IEE)	43
1.5.3	AS 2.3: Transport Wege Biomasse (IEE)	44
1.5.4	AS 2.4: Bewertung der Potenziale (IEE)	44
1.6	Arbeitspaket 3	46

1.6.1	AS 3.1: Festlegung der Optimierungsalgorithmen (IEE)	46
1.6.2	AS 3.2: Bezüge und Randbedingungen der Geodateninfrastruktur (IEE).....	47
1.6.3	AS 3.3: Anwendungsquartiere / -zonen in den Referenzkommunen (IEE)	47
1.6.4	AS 3.4: Transformationspfade und Entwicklungsszenarien (IEE).....	48
1.7	Arbeitspaket 4.....	49
1.7.1	AS 4.1: Anpassung der Visualisierungen (INT)	49
1.7.2	AS 4.2: Einfügen von interaktiven Visualisierung Mechanismen (INT)	50
1.7.3	AS 4.3: Methoden zur Veranschaulichung von Daten (IEE)	56
1.7.4	AS 4.4: Darstellung der relevanten Themen (INT)	58
1.8	Arbeitspaket 5.....	65
1.8.1	AS 5.1: Aufsetzen des Nutzerportals (INT)	65
1.8.2	AS 5.2: Entwicklung und Betrieb der Datenbank (INT)	66
1.8.3	AS 5.3: Aufsetzen eines OGC/WMS und WFS-Servers (INT)	67
1.8.4	AS 5.4: Erweiterung der Serverkomponenten im Bedarfsfall (INT).....	67
1.8.5	AS 5.5: Betrieb von Servern (INT).....	67
1.9	Arbeitspaket 6.....	67
1.9.1	AS 6.1: Abstimmung mit Lenkungskreis im Projektverlauf (IEE)	67
1.9.2	AS 6.2: Vor- und Nachbereitung der Lenkungskreistreffen (IEE)	69
1.9.3	AS 6.3: Anpassung Arbeits- und Zeitpläne nach Bedarf (IEE).....	69
2	Verwertung	69
2.1	Voraussichtlicher Nutzen.....	69
2.1.1	Nutzen für die Wissenschaft.....	69
2.1.2	Nutzen für die Kommunen.....	70
2.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten.....	70
2.2.1	Wissenschaft	70
2.2.2	Wirtschaft.....	71
2.3	Erkenntnisse von Dritten	72
2.4	Veröffentlichungen.....	72
3	Abkürzungsverzeichnis.....	73
4	Literaturverzeichnis	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zentrale Projektanforderungen.....	20
Abbildung 2: Geschäftsprozess „Theoretisches Energiepotenzial ermitteln“	21
Abbildung 3: Anwendungsfalldiagramm für Berechnungen	22
Abbildung 4: Energiepotenzial "Forst" berechnen	23
Abbildung 5: Strukturelle Objekte für die Forstliche Biomasse	24
Abbildung 6: Datenmodell Forstliche Biomasse	25
Abbildung 7: Entwurf Bilanzierungs-Widget Gesamtpotenzial	26
Abbildung 8: Einwohnerzahl je Gemeinde	28
Abbildung 9: Entwicklung der Bioguterfassung und der Vergärungskapazität für Bio- und Grüngut in Deutschland seit 1990 sowie die Prognose der weiteren Entwicklung, [6]	32
Abbildung 10: Holzeinschlag nach Nutzung des Holzes; [7]	35
Abbildung 11: Heizkraftwerke - aktuelle Größenverteilung und Anteil an der installierten elektrischen Leistung aller Heizkraftwerke; [9]	36
Abbildung 12: Beispielhafter Aufbau einer Maske (rechts) mit dazugehörigem DOP (links)	38
Abbildung 13: Konfusionsmatrix für Hecken und Hintergrundklasse	39
Abbildung 14: Übersicht über die energetische Nutzung von Biomasse (ohne organische Abfälle), Einsatzstoffe klassifiziert, verarbeitende Anlagen, Energiekonverter, - produkte, belieferte -sektoren	41
Abbildung 15: NDVI Berechnung Mai 2017 (rechts) und Juni 20218 (links) für einige Agrarflächen im Kreis Marburg-Biedenkopf	44
Abbildung 16: Beispiel 1: Abschätzung Biomassefläche für eine Biogasanlage	47
Abbildung 17: Beispiel 2: Abschätzung forstl. Biomasse für ein Heizkraftwerk	48
Abbildung 18: Web-App EnergyExpert.....	49
Abbildung 19: Strategisches Anwendungsschaubild von EnergyExpert.....	50
Abbildung 20: Auswahl eines Beratungsgebietes und Szenarios	50
Abbildung 21: Archivierung eines Szenarios.....	51
Abbildung 22: Auszug für die Geoobjektauswahl in der Erfassung	51
Abbildung 23: Beispiel für erfasste und in Erfassung befindliche Geoobjekte	52
Abbildung 24: Beispiel für die Attributanzeige anhand eines Zensus-Gitters	52
Abbildung 25: Beispiel Gesamtpotenzial-Widget	53
Abbildung 26: Beispiel Bilanz-Widgetansicht für eine Biogasanlage	54
Abbildung 27: Parameter-Wigdet- Parametereingabe für die forstliche Biomasse.....	55
Abbildung 28: Mapframe und Kartenvisualisierungsmechanismen	55
Abbildung 29: Systematik des GeoOPT-bio Systems.....	57
Abbildung 30: Auszug aus den potenziellen Hintergrundkarten	58
Abbildung 31: Gebietsübersicht für Gesamtpotenzial mit Zensus und Corinedaten.....	63
Abbildung 32: Erfassungsansicht auf Basis des Luftbildes.....	63
Abbildung 33: Erfassungsansicht auf Basis von OpenStreetMap für Leitungen und Transportwege	64

Abbildung 34: Darstellung Systemarchitektur	66
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitspaket 1.....	7
Tabelle 2: Arbeitspaket 2.....	8
Tabelle 3: Arbeitspaket 3.....	9
Tabelle 4: Arbeitspaket 4.....	10
Tabelle 5: Arbeitspaket 5.....	11
Tabelle 6: Arbeitspaket 6.....	12
Tabelle 7: Kategorien und Attribute des Zensus 2011	27
Tabelle 8: Erfassung von Biogut nach Gebietsstrukturen (nicht berücksichtigt öRE ohne Biotonne, bzw. mit weniger als 5 kg/Ew*a), aus [5]	31
Tabelle 9: Derzeitiges und perspektivisches Biogut- bzw. Biogaspotenzial bis zum Jahr 2025, ergänzt nach [6]	33
Tabelle 10: Technische und energetische Kennzahlen beispielhafter Anlagenkonstellationen zur Stromerzeugung aus fester Biomasse; [10].....	36
Tabelle 11: Auslegung einer kleinen, güllebasierten Biogasanlage mit einer Kapazität von 75 kW _{el} , Variation der Substratmischung, nach [17]	42
Tabelle 12: Auslegung eines Heizkraftwerkes mit einer Kapazität von 5,8 MW _{el} , Variation der Einsatzstoffe, nach [9]	43
Tabelle 13: Darstellung der Thematiken	59

I. Ziele

Im Projekt GeoOPT-bio soll als zentrales Projektergebnis ein Werkzeug entwickelt werden, das die geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem ermöglicht. Die Plattform bildet eine geodatenbasierte Abbildung von Wechselwirkungen bei der Nutzung erneuerbarer Energien, Energiesystemen und Effizienzmaßnahmen in einem räumlichen Kontext, der über die Grenzen der üblichen kommunalen Wirkungsbereiche hinausgeht. Hierbei wird ein besonderer Fokus auf eine räumlich aufgelöste Integration der verschiedenen Biomassepotenziale in die bestehenden Energiesysteme gelegt. Das Tool soll es den verschiedenen Akteuren erlauben, in Kenntnis der bestehenden Randbedingungen, zielsichere Entscheidungen zu treffen.

Die wichtigsten Ziele für das Werkzeug sind:

- Abbildung der lokalen Biomassepotenziale nach Energieträgern
- Abbildung des lokalen Energiebedarfs und Versorgungsprofils (Anteil Biomasse am bestehenden Energiesystem, Schwerpunkt dezentrale Holzfeuerung)
- Abbildung von lokalen und regionalen Potenzialflächen
- Szenarien für optimierte Energiewendepfade und Klimaschutzmaßnahmen mit Schwerpunkt Systemintegration Biomasse
- Kartenbasiertes Szenarien-Werkzeug für Kommunikations- und Beteiligungsverfahren
- Web-basierter Datenzugang zur Nachhaltung /-pflege von Indikatoren- und Fortschrittsberichten; transparente Darstellung von Flächenpotenzialen sowie Bedarfsstrukturen
- Kompakte Darstellung der wichtigsten Ergebnisse in Form von Reports als Diskussionsgrundlage für politische Entscheidungsträger
- Transparente Bewertung von Szenarien und Entwicklung von Least-Regret-Szenarien

1 Aufgabenstellung

Folgend werden die Arbeitspakete des Projekts mit den Aufgaben und Meilensteinen vorgestellt.

Die Zielerreichung der Meilensteine ist in der Spalte Status beschrieben. Die Zielerreichung der Arbeitspakete wird ausführlich im Kapitel „Ergebnisse“ erläutert.

1.1 Arbeitspaket 1

AP1 Bedarfs- und Datenerhebung	Leitung: IEE Partner:INTEND, AgriHerpConsult	Status
Leitfragen: Welche Fragen haben potentielle Nutzer an das System? Mit welchen Daten lassen sich diese beantworten? Wie muss das System gestaltet werden, damit es möglichst viele Nutzer anspricht?		
Methodik: • Auswertung und Anwendung vorhandener Datenbestände (Daten Projektpartner, Städte, Rückkopplung mit Lenkungsreis) - Referenzquartier 1 • Auswertung und Anwendung von Open Source Quellen (OSM, BDLM, DOM, Zensus, Statistik etc.) • Festlegung von Verfahren zur Schließung von Datenlücken (z.B. aus AFIS - ALKIS - ATKI, remote thermal sensing) • Anwendung Datenintegration Referenzquartier 2 • Validierung Referenzquartiere • Workshops mit Lenkungsreis und weiterer relevanter Akteure		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Erstellen eines Pflichtenhefts für die Software-Implementierung (INT) • AS 2: Datenerhebung vor Ort (Heiztechnik, Landwirtschaftliche Betriebe, Sanierungszustand...) (IEE) • AS 3: Einbinden von Statistik Daten wie Zensus-Daten für Ortsteile im WMK und Wolfhagen (Einwohnerzahl, ...) (IEE) • AS 4: Identifikation geeigneter geostatistische Verfahren zur Regionalisierung von EE Erzeugungsanlagen und neuen Verbrauchern (IEE) • AS 5: Evaluierung der existierenden Infrastruktur (IEE) • AS 6: Bestimmung des Biomasse Potenzial durch Satelliten Daten z.B. TerraSAR-X (IEE) • AS 7: Identifikation zu berücksichtigenden Naturschutzaspekte (AHC)		
Meilensteine: 1. Erstellen eines Pflichtenheftes basierend auf erstem LK-Treffen - PM 3 2. Matrix Datenverfügbarkeit (spezifische und Open Source) - PM 7 3. Verfahrensbeschreibung Datenbeschaffung / -ermittlung - PM 9 4. Datenintegration Referenzquartiere umgesetzt - PM 27		Erl. Erl. Erl. Erl.

Tabelle 1: Arbeitspaket 1

1.2 Arbeitspaket 2

AP2: Strom-Wärme-GIS	Leitung: IEE Partner: -	
Leitfragen: Welche Interaktionen sind zwischen Strom- und Wärmesektor im ländlichen Raum zu erwarten? Welche Technologieoptionen gibt es? Wie können diese im Raum abgebildet und bewertet werden?		
Methodik: • Erstellen einer GIS-Datenbank inklusive befüllen mit freizugänglichen Daten • 3D-Modellierung von Gebäuden inkl. Wärmebedarfsermittlung • Bestimmung Einzugsradien verschiedener Bioenergieträger • Abbildung Einzugsgebiete der Biomasse und Auswirkung auf Kosten • Bestimmung der Systemrückwirkungen von Biomasse • Implementierung von GIS-Modulen zu Technologien und Systemkonfiguration		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Kartierung (Biomasse (Holz, Acker, Reststoffe), PV-Dachpotenzial, etc.). Technologiebaukasten • AS 2: Räumlich optimierter Ausbau Nahwärme Netze • AS 3: Transport Wege Biomasse • AS 4: Bewertung der Potenziale		
Meilensteine: 1. Identifizierung von Datentypologien (frei verfügbare Daten, abgeleitete Typologien und Anforderungen an Spezifikationen) - PM 4 2. Definition von Potenzialmodulen der verschiedenen biogenen Rohstoffe als Bewertungskriterien im GIS - PM 6 3. Definition geeigneter Technologiemodule und Systemkonfigurationen zur Abbildung im GIS - PM 8		Erl. Erl. Erl.

Tabelle 2: Arbeitspaket 2

1.3 Arbeitspaket 3

AP 3: Biomasse-Einsatzoptimierung	Leitung: IEE Partner: AgriHerpConsult	Status
Leitfragen: Wo und mit welchen Technologien / Systemen lassen sich die vorhandenen Biomassepotenziale am effizientesten einsetzen? Welche Grenzen bestehen bezüglich der lokalen Biomassenutzung? Welche Technologien und Systemkonfigurationen liefern bezüglich der jeweiligen Randbedingungen und Optimierungskriterien die besten Ergebnisse?		
Methodik: • Dynamische Simulation und Parameterstudien • Generalisierung Technologiemodule aus AP2 • Übertragung funktionaler Module in das Geodatenystem		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Festlegung der Optimierungsalgorithmen • AS 2: Identifizierung von Bezügen und Randbedingungen in der Geodateninfrastruktur • AS 3: Identifizierung geeigneter Anwendungsquartiere / -zonen in den Referenzkommunen • AS 4: Anwendung der Transformationspfade auf die realen Randbedingungen als Entwicklungsszenarien		
Meilensteine: 1. Abbildung Technologiemodule im GIS - PM 10 2. Abbildung Referenzquartier / Stadt 1 im GIS - PM 12 3. Anpassung Technologiemodule / Parameterstudien - PM 18 4. Abbildung Referenzquartier 2 im GIS - PM 24 5. Fertigstellung Szenarien im GIS - PM 30		Erl. als PDF Erl. Erl. Erl. Prototyp erstellt

Tabelle 3: Arbeitspaket 3

1.4 Arbeitspaket 4

AP4: Abbildung und Darstellung - Nutzerinterface	Leitung: IEE Partner: INTEND	Status
Leitfragen: Wie lassen sich die Ergebnisse und Szenarien in bestmöglicher Weise für die Zielgruppen aufbereiten und als webbasierte Anwendung darstellen? Welche Darstellungen und Auswertungen fördern das Systemverständnis und führen zu guten Planungsergebnissen? Wie lassen sich Daten der Anwender sicher und valide in die GDI einpflegen?		
Methodik: Die Daten der GDI werden anhand von programmatischen Schnittstellen und mit Hilfe von graphischen Darstellungsmethoden dem Anwender zur visuellen Auswertung zur Anzeige gebracht. Mit Hilfe von logischen Verknüpfungen werden Daten ausgewertet, um statistische Zusammenhänge ableiten zu können.		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Anpassung der Visualisierungen • AS 2: Einfügen von interaktiven Visualisierung Mechanismen • AS 3: Prüfung bestehender Best Practice Methoden zur Veranschaulichung von Daten • AS 4: Darstellung der relevanten Themen		
Meilensteine: 1. Definition der zu erstellenden Auswertungen in PM 13 2. Definition der Anzeige Instrumentarien in PM 21 3. Implementierung der Darstellung an der Oberfläche in PM 27		Erl. Erl. Erl.

Tabelle 4: Arbeitspaket 4

1.5 Arbeitspaket 5

AP5: IT-System	Leitung: INTEND Partner: IEE	Status
Leitfragen: Wie lässt sich das Nutzerportal über die Verwendung von Open Source und OGC konforme Komponenten möglichst flexibel verwirklichen? Wie können Daten flexibel zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden und über welche Schnittstelle?		
Methodik: Über übliche Programmiertechniken wird ein verteiltes Rechnersystem aufgebaut. Die Datenerfassung durch Nutzer und das Userfrontend wird durch INTEND auf den Servern realisiert, die Berechnungsalgorithmen bei IWES. Durch eine geeignete, sichere, OGC-konforme Schnittstelle werden die Daten Lizenz- und Datenkonform ausgetauscht.		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Aufsetzen des Nutzerportals • AS 2: Entwicklung einer einheitlichen Datenbank, sowie deren Betrieb • AS 3: Aufsetzen eines OGC/WMS und WFS-Servers inklusive der Schnittstellen zwischen den Projektpartnern • AS 4: Programmatische Erweiterung der Serverkomponenten im Bedarfsfall • AS 5: Betrieb von Servern		
Meilensteine: 1. Aufsetzen Open Source DB in PM 2 2. Umstellung auf Open Source API in PM 12 3. Implementierung der Auswertungs-Anforderungen in PM 18 4. Implementierung der Datenschnittstellen in PM 24		Erl. als Esri Nicht notw. Erl. Erl.

Tabelle 5: Arbeitspaket 5

1.6 Arbeitspaket 6

AP6: Projektleitung und Lenkungsreis	Leitung: IEE Partner: -	Status
Leitfragen: Wie kann eine bestmögliche Entwicklung in Bezug auf die konkreten Praxisanforderungen erfolgen? Welche spezifischen Anforderungen muss die Plattform erfüllen, um praxisrelevante Planungshilfen liefern zu können? Welche zentralen Optimierungsgrößen sind für die jeweiligen Praxispartner relevant?		
Methodik: Durchführung thematisch fokussierter Lenkungskreistreffen zur Projektbegleitung, Dokumentation als Teil der Zwischen- und Abschlussberichte		
Arbeitsschwerpunkte: • AS 1: Abstimmung mit Lenkungsreis zu festgelegten Themen im Projektverlauf (ggf. anzupassen) ○ 1. Treffen: Bedarfsermittlung (Was muss das Werkzeug können?) und Status Quo Datenquellen (Welche Daten werden wie bereits genutzt?) ○ 2. Treffen: Relevante Technologien / Systeme und Erfahrungen (Parameter und Restriktionen) ○ 3. Anforderungen an Nutzer-Interface - Test (Welche Funktionen sind nützlich?) ○ 4. Diskussion des Szenarienlayouts und externer Parameter (Sind die Transformationspfade realistisch?) ○ 5. Zwischenpräsentation und Diskussion Ergebnisse Referenzquartier 1 (Werden die Erwartungen erfüllt?) ○ 6. Validierung Ergebnisse Referenzquartier 2 (Ist das Ergebnis realistisch?) ○ 7. Gesamtdarstellung • AS 2: Vor- und Nachbereitung der Lenkungskreistreffen • AS 3: Anpassung Arbeits- und Zeitpläne nach Bedarf		
Meilensteine: • 1. Lenkungskreistreffen in PM (Projektmonat) 2 • 2. Lenkungskreistreffen in PM 8 • 3. Lenkungskreistreffen in PM 12 • 4. Lenkungskreistreffen in PM 16 • 5. Lenkungskreistreffen in PM 20 • 6. Lenkungskreistreffen in PM 26 • Abschlusstreffen in PM 30		Erl. Erl. Erl. Erl. Erl. Zurückgest. Erl.

Tabelle 6: Arbeitspaket 6

2 Stand der Technik

2.1 Energiesysteme

Während die Energiesysteme für Städte bereits in vielfältiger Weise Gegenstand von F&E Projekten sind und eine Vielzahl von Vorhaben sich auch mit der Entwicklung von GIS-basierten Optimierungsmodellen beschäftigen (z.B. in Nouvel, Romain et al. (2013)) und es bereits erste kommerzielle Datenanbieter gibt¹, sind die systemischen Ansätze für kleine und mittlere ländliche Kommunen kaum verfügbar oder etabliert (vgl. Sager-Klauß, Christina (2016)). Gleichwohl stellen ländliche Kommunen das größte Potenzial für eine nachhaltige Systemintegration der verschiedenen erneuerbaren Energien. Diese Potenziale bleiben derzeit noch weitgehend ungenutzt, da kleine ländliche Kommunen mit hohen Flächenpotenzialen z.B. für Windkraftanlagen leicht auf eine bilanzielle CO₂-Neutralität innerhalb ihrer kommunalen Grenzen kommen können. Diese 'Plus-Energie-Kommunen' oder 'Bioenergie-Dörfer' betrachten selten alle ihre vorhanden Potenziale in einem größeren Systemzusammenhang. Die Energiewende wird jedoch in Zukunft genau diese Betrachtungsweise fordern, da ländliche Kommunen mit ihren Bioenergie- und Flächenpotenzialen zukünftig die Restriktionen der Ballungsräume kompensieren müssen.

Das Thema GIS ist bislang insbesondere im Bereich der Potenzialermittlung (Solardachkataster, EE Flächenanalysen) sowie im Bereich der Bedarfskartierung (Wärmebedarfskataster, Siedlungstypologien) intensiv zum Einsatz gekommen. Die Zielsetzung in Bezug auf Biomassenutzungen sind vor allem in der Standortsuche für Biogasanlagen verankert. Eine gute Übersicht über aktuelle Entwicklungen ist in Willkomm, Philipp et al. (2015) zu finden. Wissenschaftlich stellt die räumliche Modellierung von Energiesystemverbünden eine Herausforderung dar. Besonders die Wärmebedarfe im ländlichen Raum sind auf Basis der verfügbaren Daten nicht über etablierte Verfahren abbildbar. Im Gegensatz zu eher städtisch geprägten Siedlungsstrukturen und Infrastrukturen sind die ländlichen Versorgungszusammenhänge aktuell nur sehr schematisch abgebildet. Da sich im ländlichen Raum jedoch die Flächenpotenziale fluktuierender erneuerbarer Erzeuger mit Erschließungspotenzialen bei residualastfähigen Biomasseenergieträgern auf engem Raum treffen, ist eine dynamischere und detailliertere Auflösung für eine Einsatzoptimierung erforderlich.

Georeferenzierte Informationen bieten eine niederschwellige Informationsquelle, die auch Laien Zusammenhänge gut vermitteln kann, da die räumliche Orientierung die Bezugsgröße bietet. Die Angebote reichen von der Dokumentation und Verortung von Energieprojekten² bis hin zu komplexen interaktiven Kartenangeboten³. In der Regel setzen die Portale Schwerpunkte bei bestimmten Technologien, wie beispielsweise die verschiedenen Solardachkataster, die es den Eigentümern in vielen Städten erlauben eine erste grobe Vordimensionierung von PV-Anlagen und thermischen Solaranlagen vorzunehmen. Eine Rückkopplung auf die vorgelagerten Energiesysteme findet jedoch in aller Regel nicht statt. Ebenso ist die Abbildung der verschiedenen Biomasetechnologien nicht in einer Weise abgebildet, dass sich auf Grundlage dieser Planungsszenarien ableiten ließen.

Vor kurzem liefen große Leuchtturmprojekte im Förderprogramm SINTEG: "Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende". In den SINTEG-Projekten wurden vor allem Maßnahmen und Mechanismen entwickelt, die die Integration von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien (über 100% des Verbrauchs) an bestimmten Orten oder Regionen adressieren. Es geht um akute Lösungen an diesen Hotspots und die Vermeidung anwachsender Probleme im Netzbetrieb. Dabei wird u.a. Flexibilität in der Stromerzeugung und des Stromverbrauchs sowie die Sektorkopplung betont. In den Modellregionen wurden auch Fragestellungen zur Akquise von Flexibilitätspotenzialen adressiert, dabei geht es vor allem darum, dass sie zur Stabilisierung des Netzbetriebs und der Vermeidung von Netzausbau eingesetzt werden sollten. Im Vordergrund der SINTEG-Projekte standen eben jener

¹ <http://www.geomer.de/geodaten/waermeatlas-deutschland/>

² z.B. <http://www.smartcity-cologne.de/index.php/startseite.html> oder <http://maps.muenchen.de/rgu/klimaschutzstadtplan>

³ z.B. <https://www.energieatlas.bayern.de/> oder <https://www.greencity.de/mach-mitklimakarte-fuer-muenchen/>
Fraunhofer IEE

Einsatzzweck und die Entwicklung von IT-Lösungen für die Umsetzung sowie die Demonstrationen. Es wurden demnach in den SINTEG-Projekten im Schwerpunkt keine Fragestellungen zur Fortentwicklung der Energiewende insgesamt im Rahmen des Gesamtsystems adressiert. In Abgrenzung hierzu geht es im vorliegenden Projekt um die lokale Ausgestaltung von Strom-Wärme- Verkehrsprojekten durch konkrete Planungsunterstützung heute wirtschaftlich umsetzbarer Projekte. Das zu entwickelnde Werkzeug soll eine direkte Planungsunterstützung der Akteure darstellen.

In den vergangenen Jahren ist ein Trend hin zur räumlichen Abbildung energetischer Infrastrukturen mittels Geoinformationssystem zu beobachten. Die Anwendung professioneller GIS-Darstellungen verschiebt sich zunehmend vom technisch-planerischen Bereich auch in den Bereich der strategischen Planung, Politikberatung und Prozessbegleitung. Für verschiedene Regionen erfolgte die Darstellung der energetischen Ist-Situation in Form von Energieatlanten/-karten wie beispielsweise der „Energieatlas Bayern“ oder der „Klima- Energieatlas“ des Regionalverbands Frankfurt Rhein Main. In Kooperation mit der INTEND Geoinformatik GmbH hat das Fraunhofer IEE im Jahr 2010 (damals Fraunhofer IBP) mit der Abbildung der energetischen Ausgangssituation (Strom, Wärme, Verkehr) im Rahmen des Forschungsprojektes „Wolfhagen 100% EE“ begonnen. Neben der beschriebenen Darstellung von Potenzialen und Erzeugungsanlagen wurden hier auch Energiesenken (u.a. Wärmekataster) auf Grundlage von GIS aufbereitet.

Die statische Darstellung der energetischen Ist-Situation einer Stadt oder Kommune mittels Geoinformationssystem zum Beispiel für Wärme- oder Solarkataster ist heutzutage bereits weit verbreitet. Einzelne Forschungsprojekte wie „GISOPT“ des Fraunhofer ISE oder „ThermSpe4ee“ der TU Kaiserslautern zielen auf einen systemischen Ansatz ab. In „ThermSPe4ee“ geht es beispielsweise darum, volatile Energien in die Niederspannungsnetze zu integrieren und thermische Energiespeicher in Gebäuden effizient zu nutzen. Dabei wird die Ausprägung von Energiebedarf und Energieproduktion in der Metropolregion Rhein-Neckar betrachtet. Im Rahmen des Projektes „Werkzeuge zur Potenzialanalyse und Strukturoptimierung von Speichern in regionalen Energiesystemen“ kurz „GISOPT“ liegt der Fokus auf der Entwicklung von Werkzeugen zur Bedarfs- und Potenzialanalyse, die eine Strukturoptimierung von Speichern in regionalen Energiesystemen unter Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Variabilität von Energieproduktion und –verbrauch erlaubt. Ein weiteres, im Zuge der stärker dynamisierten GIS-Lösungen zu nennendes Forschungsprojekt vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) lautet „Plan-EE - ein GIS basiertes Planungstool für erneuerbare Energien“. Analog zum Projekt „GeoOPT-bio“ steht hier auch die Entwicklung von Tools zur politischen Beratung zum Ausbau erneuerbarer Energien unter Berücksichtigung von Akzeptanzkonflikten im Fokus. Als Projektregionen wurden Straßburg und die Region Südpfalz in der Metropolregion Oberrhein ausgewählt.

Die Projekt GeoOPT-bio setzt auf den zuvor beschriebenen statischen Forschungsprojekten auf. Ansätze aus „Plan-EE“ des KIT werden aufgegriffen, weiterentwickelt und mit stärkerem Fokus auf die Rolle der Biomasse im Energiesystem betrachtet. Anders als beim Forschungsprojekt des KIT (Metropolregion) wurde hier explizit die Energiewende im ländlich geprägten Raum untersucht.

Auf Europäischer Ebene wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Projekte im Bereich der Integration von Biomasse in das Energiesystem durchgeführt. Hier sind beispielsweise das Projekt ‚Biomass Energy Europe – BEE‘ im Rahmen des 7.Framework Programmes zu nennen, bei dem es um die Harmonisierung von Erhebungsmethoden zur Biomassepotenzialen ging. Das Projekt ‚Biomass energy register for sustainable site development for European Regions (BEN)‘ hat ein ähnlich aufgebautes WebGIS Werkzeug anhand von vier Partnerregionen entwickelt. Hier bieten sich jedoch eine Reihe interessanter Lessons Learned in Bezug auf das hier beschriebene Vorhaben. Weitere internationale Vorhaben sind maßgeblich auf die Entwicklung und Verbreitung von einzelnen Bioenergie-Technologien fokussiert und können im Einzelfall als Referenzen genutzt werden.

Verwendete Fachliteratur

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem, Schlussbericht

Bohnenschäfer, Werner; Ebert, Marcel; Fazio, Simone; Gärtner, Sven; Hülsmann, Christopher; Reinhardt, Guido (2007): CO₂-Minderungsmengen und -kosten bei einer Nutzung nachwachsender Rohstoffe im energetischen Bereich. Hg. v. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE). Leipzig.

Brosowski, André; Thrän, Daniela (2015): Schlussbericht "Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen - Status quo in Deutschland". Hg. v. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ). Leipzig.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2014): Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende. Berlin.

Franckx, Laurent; van Acoleyen, Mike; Hogg, Dominic; Gibbs, Adrian (2009): Assessment of the Options to improve the Management of Bio-waste in the European Union. Annex A: Baseline scenarios. Hg. v. Eunomia ARCADIS. European Commission DG Environment. Brussels.

Nouvel, Romain; Schulte, Claudia; Eicker, Ursula; Pietruschka, Dirk; Coors, Volker (2013): CityGMLbased 3D City Model for Energy Diagnostics and Urban Energy Policy Support. In: Proceedings of BS2013, S. 218–225.

Umweltbundesamt; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2012): Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen. Anregungen für kommunale Entscheidungsträger.

Sager-Klauß, Christina Valeska (2016): Energetic communities. Planning support for sustainable energy transition in small- and medium-sized communities. Delft: [TU Delft] (Architecture and the built environment, S. 05).

Sager-Klauß, C. and Jansen, M., 2018. Das gekoppelte Energiesystem: Vorschläge für eine optimale Transformation zu einer erneuerbaren und effizienten Energieversorgung. Studie im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energien (BEE) e.V. Berlin.

Willkomm, Philipp; Kaden, Robert; Coors, Volker; Kolbe, Thomas H. (2015): Leitfaden 3D-GIS und Energie. Hg. v. Runder Tisch GIS e.V.

2.2 GIS-Systeme

Aufbauend auf einer zentralen Datenbankinfrastruktur mit sehr hoher Verfügbarkeit ist es möglich, kommunal gesammelte Daten und frei verfügbare Informationen miteinander zu verknüpfen. Dabei garantiert die zentrale Pflege der Infrastruktur durch INTEND Geoinformatik GmbH eine stets aktuelle Version der eingebundenen öffentlichen, frei verfügbaren Daten. Eventuell in der Kommune oder ihrem Dienstleister vorhandene Technologie des Marktführers Esri kann nahtlos in den Prozess der Analyse der Basisdaten integriert werden. Dabei können auch Resultate aus dem genannten Prozess aus ArcGIS Online heraus veröffentlicht bzw. exportiert und definierten Akteuren zur Ansicht oder Weiterverarbeitung bereitgestellt werden. Die Resultate lassen sich als tabellarische oder grafische Information ausgeben.

Abgesehen von dem Prozess, also der Logik hinter einer Szenarien-Analyse, fehlt es häufig an geeigneten Daten für eine detaillierte Übersicht über den Ist-Zustand. Der Einsatz von Esri ArcGIS Online-Technologie erlaubt es einer Kommune vorhandene Daten aus den eigenen Archiven einzubinden und kartographisch aufbereitet zu veröffentlichen. Auch Informationen aus landes- oder bundesweit zur Verfügung stehenden Quellen können übernommen werden: Kommunalstatistiken, Solarkataster, Umweltinformationen mit Regionalbezug, OpenStreetMap-Geodaten, Erzeugerdaten von regionalen Energieunternehmen sowie kommunal verfügbare Geo- und Sachdaten wie Standorte von Windkraftanlagen, Katasterflächen usw. seien beispielhaft genannt. Dabei kann die Infrastruktur Rasterdaten (wie Satellitenbilder) und Vektordaten (wie gezeichnete Karteninhalte) verarbeiten und bereitstellen. Integriert in den Kern

der Anwendung ist eine feingliedrige Benutzertypen-, Rollen- und Berechtigungssteuerung, so dass sensible Daten zur Analyse genutzt werden können, ohne in ihrer Form frei zugänglich zu sein. Die Zugangssteuerung erfolgt dabei über die Konfigurationsoptionen in ArcGIS Online, berechtigt durch den Besitzer der Anwendung.

3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Projektverlaufs wurden Ziele, Ergebnisse und Strategien im Lenkungskreis diskutiert. Hierzu gehörten Mitarbeiter von

- Stadt Wolfhagen
- Landkreis Marburg-Biedenkopf
- Werra-Meißner-Kreis

Ein fachlicher Austausch erfolgte während der Projektlaufzeit mit

- Witzenhausen-Institut, Forschungspartner Werra-Meißner-Kreis
- Hochschule Nordhausen, Projekt Energieleitplan
- Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Beratungsstelle Marburg, Bioenergie Genossenschaft
- Universität Kassel, Institut für Volkswirtschaftslehre
- Georg-August-Universität, Geowissenschaftliches Zentrum

Mitarbeiter dieser Institute begleiteten ebenfalls den Lenkungskreis.

II. Ergebnisse

1 Erzielte Ergebnisse

1.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Matrix Datenverfügbarkeit (IEE)

Im Projekt wurde intensiv untersucht, welche Daten für die Potenzialermittlung kostenfrei zur Verfügung stehen. Dabei hat sich ergeben, dass z.B. die Zensus-Daten sehr gut geeignet sind, die Wärmebedarfe in den Kommunen zu ermitteln. Für die Bioenergie-Potenziale bieten z.B. die Corine-Daten (Bioenergie-Flächen), die hessische Gemeindestatistik (Landwirtschaftliche Betriebe, etc.), die Agrarstrukturerhebung (Tierarten und Anzahl) sowie das Marktstammdatenregister bzw. die Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber (vorhandene Biomasseanlagen) eine gute Datenbasis.

Abschätzung Bioenergie-Potenziale mit GIS-Unterstützung (IEE)

Das Projekt hat gezeigt, dass die Flächenabschätzung für Bioenergie-Potenziale mit dem im Projekt entwickelten Tool mit wenig Zeitaufwand möglich ist. Das gilt sowohl für das Gesamtpotenzial in Regionen als auch für konkrete Planungen neuer Bioenergie-Anlagen. Insbesondere die Ermittlung der Flächen mit wenigen Mausklicks hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Erkennung von Hecken über Satellitenbilder (IEE)

Die Arbeiten im Projekt zur Erkennung von Hecken über Satellitenbilder bieten eine gute Grundlage, um die automatisierte Datenerfassung von Hecken im Bereich des maschinellen Lernens weiter zu verbessern.

Abschätzung der Wärmebedarfe für Kommunen (IEE)

Im Projekt wurde ein Verfahren entwickelt, wie mit frei verfügbaren Zensus-Daten die Wärmebedarfe für Kommunen und Regionen abgeschätzt werden kann. Dieser Ansatz hat sich in den Treffen mit dem Begleitkreis als interessante Alternative für Kommunen bezüglich deren CO₂-Bilanzierung erwiesen. Bisher nutzen die Kommunen dafür Feuerungsstätten-Daten der Schornsteinfeger. Der im Projekt entwickelte Ansatz bietet eine gute Grundlage, der in zukünftigen Forschungsprojekten aber noch verfeinert werden sollte, zumal derzeit die Zensus-Daten neu erhoben werden und nächstes Jahr über eine sehr aktuelle Datengrundlage verfügen.

Abbildung Technologiemodule (IEE)

Mit dem Schwerpunkt auf Bioenergie-Technologien wurden im Projekt Technologiemodule erstellt. Unterschieden wurde in Technologien zur reinen Wärmeerzeugung und der kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme. Aufgeteilt in Biogasanlagen und Festbrennstoffanlagen wurden für das Berechnungstool Anlagenbeispiele mit unterschiedlichen Leistungsklassen definiert, an denen sich die Nutzer des Tools orientieren können.

Pflichtenheft/Feinkonzepterstellung (INTEND)

Auch bei der Vorgehensweise der agilen Softwareentwicklung hat es sich bewährt, zentrale Prozesse im Projektverlauf dokumentarisch festzuhalten und Abläufe grafisch zu skizzieren. Das gemeinsame Verständnis aller Projektbeteiligten wird durch die plakative Darstellung der Modellierung und die Festschreibung von fachlichen Abläufen nennenswert gestärkt.

Im Projektverlauf wurde ein über 100-seitiges Feinkonzept geschrieben. Im Rahmen dieser Analyse wurden sukzessive Projektziele, Anforderungen, Akteure, die Geschäftsprozesse, Geschäftsobjekte, Anwendungsfälle und deren Aktivitäten festgehalten. Das Design der Applikation, die Systemarchitektur und das zugrundeliegende Datenmodell wurden ebenfalls konzipiert.

Webanwendung EnergyExpert (INTEND)

Das zentrale Ergebnis der Aufgabenpakete war die Erstellung der Web-Anwendung EnergyExpert. Dieses Produkt basiert auf den fachlichen Vorgaben seitens Fraunhofer IEE. Die detaillierte Beschreibung ist den Arbeitspaketen 4 und 5 zu entnehmen.

Nutzung von Cloud-Plattformen (INTEND)

Für die Erstellung von EnergyExpert wurde auf zwei Plattformen zurückgegriffen. Zum einen auf Microsoft Azure für die Veröffentlichung der Web-Anwendung EnergyExpert über eine Website. Mittels der von Microsoft Azure angebotenen Option Infrastructure as a Service (IaaS) wurde ein virtueller WebServer zu diesem Zweck angemietet und konfiguriert.

Zum anderen kam ArcGIS Online von Esri zum Einsatz. ArcGIS Online kann dabei interoperabel Geodateninformation an Desktop-Geräte, Web-Browser sowie mobile Endgeräte ausgeben. In ArcGIS Online gehostete oder eingebundene Daten werden in einem Layout für die implementierten Auswertungen zusammengestellt und als ein zweckgebundenes Paket in Form einer sogenannten Web-App der Nutzergruppe bereitgestellt.

Je nach Vorhandensein weiterer ArcGIS Software-Produkte und entsprechendem Kenntnisstand in der kommunalen Verwaltung oder der Dienstleister können Anpassungen an der Darstellung vorgenommen werden.

1.2 Erreichte Nebenergebnisse

Interesse der Landkreise an Wärmebedarfsermittlung mit Zensus-Daten (IEE)

Vor Projektstart war noch nicht klar, dass sich Einsparpotenziale für die Kommunen ergeben könnten, wenn bezüglich der CO₂-Bilanzierung für die Abschätzung der kommunalen Wärmebedarfe statt der kostenpflichtigen Schornsteinfeger-Daten die kostenlos verfügbaren Zensus-Daten verwendet werden. Hier könnte sich auch eine wirtschaftliche Verwertung für INTEND und Folgeprojekte für das Fraunhofer IEE ergeben.

1.3 Wesentliche Erfahrungen

Zusammenarbeit mit Lenkungskreis (IEE, INTEND)

Als sehr hilfreich hat sich die Zusammenarbeit mit dem Begleitkreis erwiesen. Alle Mitglieder haben sich mit ihrer Expertise eingebracht und haben am Ende des Projekts auch bei der Verwertung der Projektergebnisse aktiv unterstützt.

Bei ähnlich gelagerten Projekten sollte auf jeden Fall in Erwägung gezogen werden, wieder einen Begleitkreis zu initiieren.

Begleitkreistreffen als Web-Konferenzen (IEE, INTEND)

Die Durchführung von Begleitkreistreffen als Web-Konferenzen hat sich als gute Alternative zu physischen Treffen herausgestellt. Die technische Umsetzung der Web-Konferenzen hatte mit MS Teams reibungslos funktioniert. Da die Konferenzen jeweils nur ca. 3 Stunden gedauert haben, wurde so insbesondere für die externen Teilnehmer erhebliche Anfahrtszeit eingespart. Nachteilig war eigentlich nur, dass kein Networking vor und nach der Veranstaltung möglich war. Für die Zukunft ist gut vorstellbar, zumindest einen Teil der Treffen mit externen Partnern als Web-Konferenz durchzuführen.

Arbeiten in der Corona-Pandemie (IEE, INTEND)

Das Arbeiten während der Corona-Pandemie hat sich als sehr herausfordernd herausgestellt. Dies gilt insbesondere auch aufgrund der Reisebeschränkungen für Projektpartner, die außerhalb der EU leben.

Folgend werden die geleisteten Arbeiten in den Arbeitspaketen detailliert dargestellt.

1.4 Arbeitspaket 1

Meilensteine:

1. Erstellen eines Pflichtenheftes basierend auf erstem LK-Treffen - PM 3
2. Matrix Datenverfügbarkeit (spezifische und Open Source) - PM 7
3. Verfahrensbeschreibung Datenbeschaffung / -ermittlung - PM 9
4. Datenintegration Referenzquartiere umgesetzt - PM 27

1.4.1 AS 1.1 Pflichtenheft Software-Implementierung (INT)

Im stetigen Austausch mit dem Fraunhofer IEE - vertreten durch Frau Sager-Klauß - konnte ein über 100-seitiges Feinkonzept/Pflichtenheft erstellt werden. Im Rahmen der Analyse wurden Projektziele, Anforderungen, Akteure, die Geschäftsprozesse, Geschäftsobjekte, Anwendungsfälle und deren Aktivitäten festgehalten. Das Design der Applikation, die Systemarchitektur und das zugrundeliegende Datenmodell wurden konzipiert.

Die Vorgehensweise in der Analyse startete mit der Aufnahme von Anforderungen an das Softwareprodukt. Die Anforderungen wurden zunächst in allgemeinen übergeordneten Geschäftsprozessen abgebildet, bevor eine feinere Granulierung stattfand. Hierbei wurde jeder Schritt eines Geschäftsprozesses zusätzlich als Anwendungsfall erfasst und diesem ein Akteur zugeordnet. Jedem Anwendungsfall wurde dann wiederum ein Aktivitätsdiagramm zugeordnet, das jeden einzelnen Schritt dieses Anwendungsfalles beschreibt. Die konkrete Ausgestaltung der Anwendungsfälle beinhaltet die Anwenderaktion sowie auch Schritte, die durch die Software ausgeführt werden. Im Design-Teil wurden dann nach demselben Prinzip weitere Anwendungsfälle und Aktivitätsdiagramme erfasst, die dann den konkreten Umsetzungspfad verdeutlichen. Die Systemarchitektur und das Datenmodell für Geo- und Sachdaten vervollständigten das Feinkonzept/Pflichtenheft.

Das Feinkonzept/Pflichtenheft bildete die Basis für die Entwicklung und Qualitätssicherung. Im Rahmen eines agilen Softwareentwicklungsverfahrens wurden einzelne Komponenten nach Konzeption entwickelt und anschließend in der Praxis validiert und ggf. revidiert.

Alle nachfolgenden Darstellungen stellen **exemplarische** Ausschnitte der jeweiligen Modellierungsphasen dar.

Anforderungen

Im ersten Analyseschritt wurden die fachlichen und systemtechnischen Anforderungen aus der Vorhabenbeschreibung und den Lenkungskreistreffen zusammengestellt und gewichtet. Die Zentralen Projektanforderungen (requirements) wurden weiter spezifiziert in Karten und sachdatenbezogene Grobanforderungen. Der Anforderungskatalog listet 91 detaillierte Anforderungen auf, die sich aus der Analyse ergeben haben.

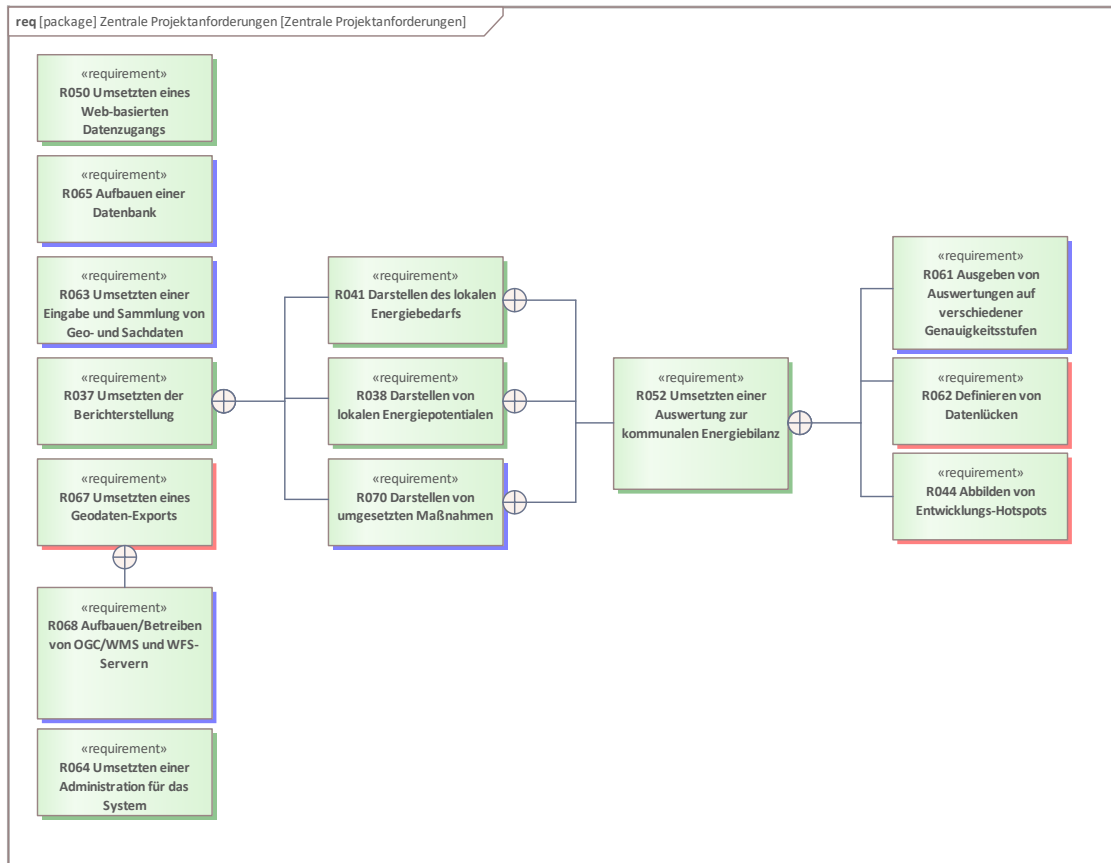


Abbildung 1: Zentrale Projektanforderungen

Geschäftsprozesse und Geschäftsobjekte

Exemplarisch: Geschäftsprozess „Theoretisches Energiepotenzial ermitteln“

Für einen Geschäftsprozess werden neben den einzelnen Schritten meistens weitere Objekte benötigt, die sogenannten Geschäftsobjekte. Diese Objekte werden ebenfalls im Geschäftsprozess abgebildet. Für unser unten aufgeführtes Beispiel bedeutete das konkret, dass für den ersten Prozessschritt „Auswertungsraum für Energiepotenzial festlegen“ des Geschäftsprozesses „Theoretisches Energiepotenzial ermitteln“ die Landnutzungsflächen, Daten der Landnutzung und Tierhaltung, sowie eine Hintergrundkarte und entsprechende Verwaltungsgrenzen (z.B. Beratungsgebiet) benötigt werden.

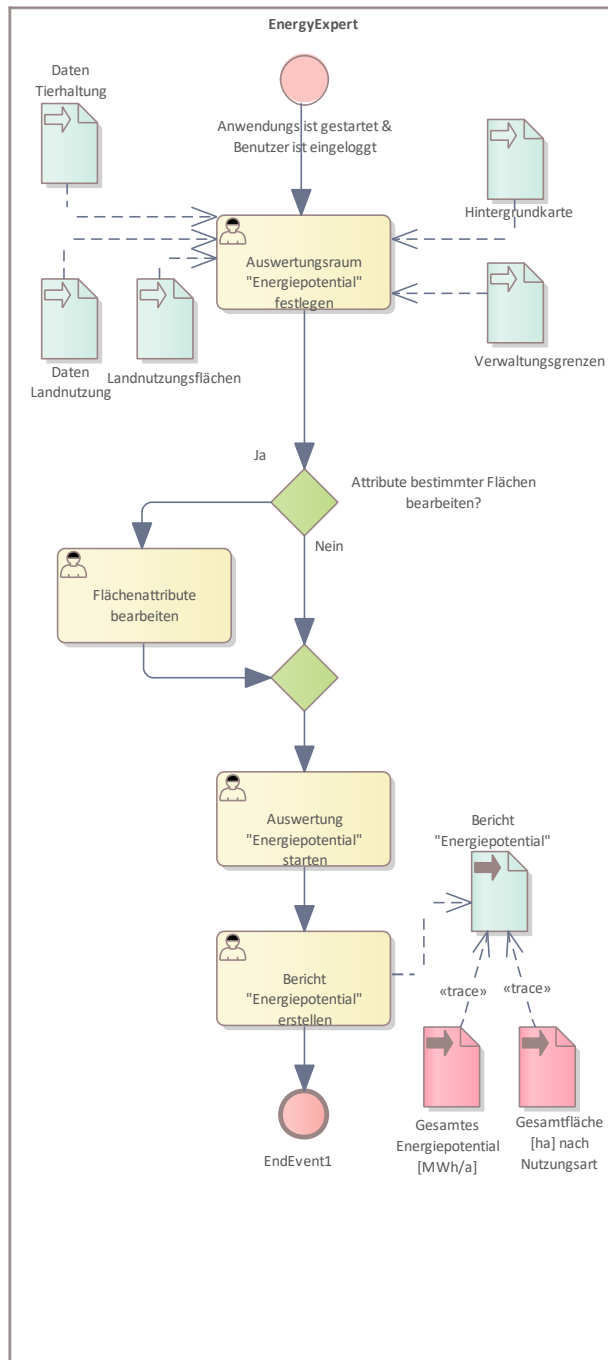


Abbildung 2: Geschäftsprozess „Theoretisches Energiepotenzial ermitteln“

Anwendungsfalldiagramme

Exemplarisch: Software-Berechnungen

Anwendungsfalldiagramme bilden alle Anwendungsfälle des Anwenders oder der Software ab. In unserem Beispiel-Diagramm wurden alle Berechnungen, die durch die Software EnergyExpert ausgeführt werden, abgebildet.

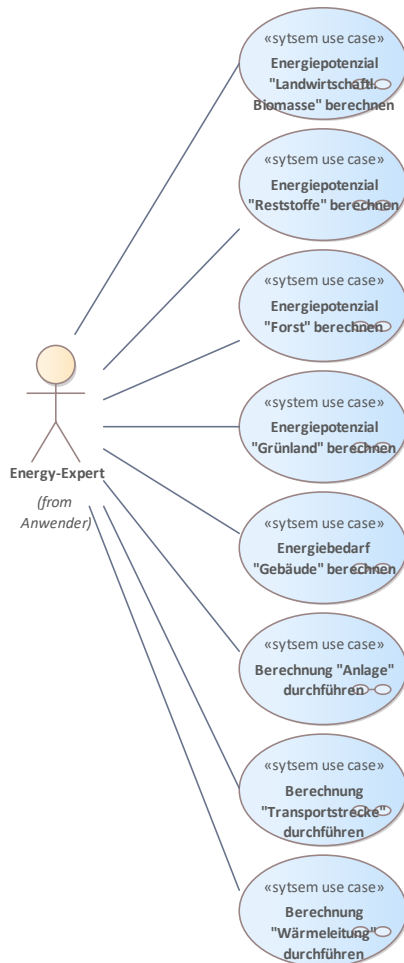


Abbildung 3: Anwendungsfalldiagramm für Berechnungen

Aktivitätsdiagramme

Exemplarisch: Aktivitätsdiagramm "Energiepotenzial Forst berechnen"

Jedem Anwendungsfalldiagramm ist ein Aktivitätsdiagramm hinterlegt worden, das den Anwendungsfall und dessen einzelne Schritte genau beschreibt. Zum Beispiel wurde die Berechnung des Energiepotenzials "Forst" detailliert beschrieben (vgl. dritten Anwendungsfall in Abbildung 3). Mit Hilfe der strukturellen Objekte (vgl.

Abbildung 5) wurde außerdem verdeutlicht, welche Parameter und Zwischenergebnisse in welchem Schritt einfließen oder daraus resultierten.

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem, Schlussbericht

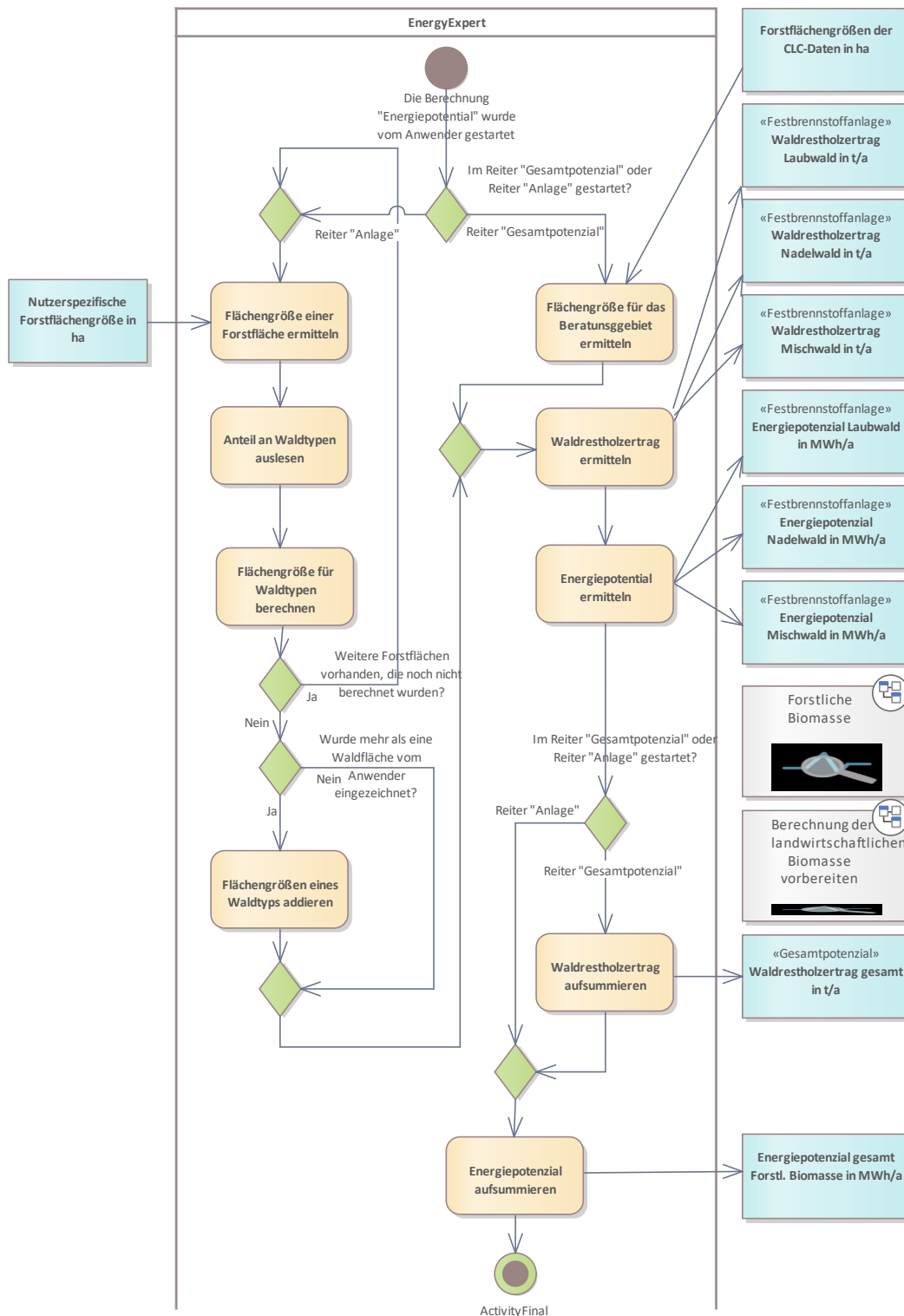


Abbildung 4: Energiepotenzial "Forst" berechnen

Strukturelle Objekte

Exemplarisch: Darstellung und Beschreibung der strukturellen Objekte der forstlichen Biomasse

Die strukturellen Objekte helfen dabei, komplexere Zusammenhänge zwischen verschiedenen Softwarekomponenten darzustellen. Für jede der durchzuführenden Software-Berechnung wurden Parameter und Zwischenergebnisse als Objekte dargestellt und mit dem Objekt "Bericht" verknüpft.

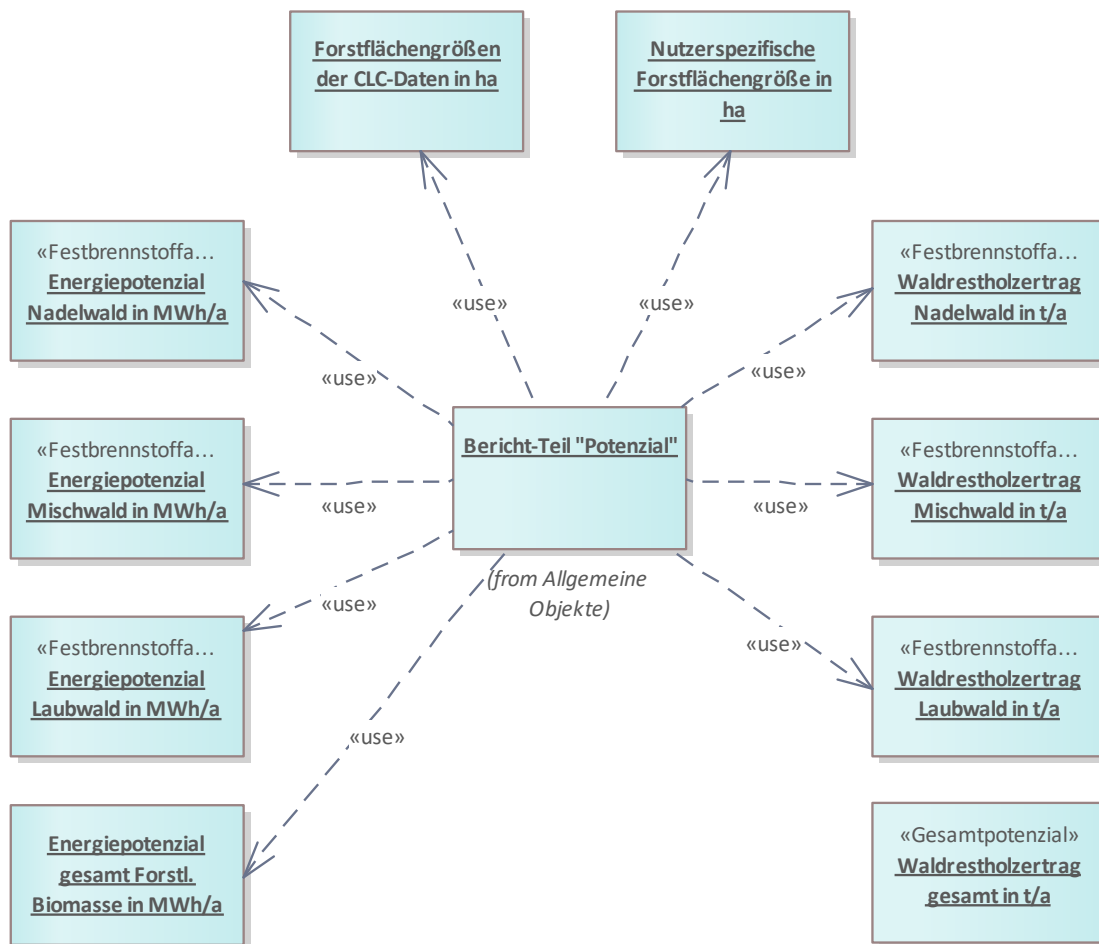


Abbildung 5: Strukturelle Objekte für die Forstliche Biomasse

Datenmodellbeschreibung

Exemplarisch: Datenmodell für die Erfassung Forstflächen

Zu jedem Thema wurde eine detaillierte Beschreibung des hinterlegten Datenmodells dokumentiert. Attributnamen, die Editierbarkeit und der Datentyp jedes verwendeten Feldattributs wurden festgelegt. Für administrative Daten und Berechnungsparameter wurden ebenfalls Datenmodellbeschreibungen erstellt.

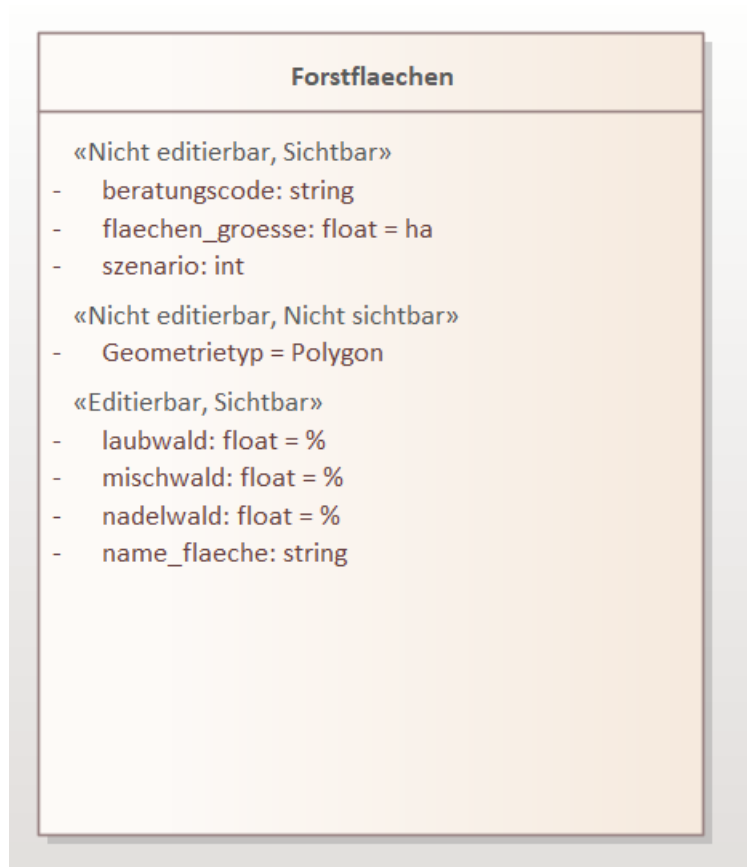


Abbildung 6: Datenmodell Forstliche Biomasse

Entwurf grafische Oberflächen

Exemplarisch: Entwurf GUI für die Erfassung Forstflächen

Nahezu alle Elemente der GUI (Graphical User Interface) wurden vorab skizzenhaft abgebildet, um das gemeinsame Verständnis über das zu erzielende Ergebnis in der Konzeptionsphase zwischen dem Fraunhofer IEE und INTEND zu stärken

Potenzial	Gesamt t/a	Rest t/a		
Potenzial Biogasanlage				
Landwirtschaftliche Biomasse %	93	10		
Grünland %	50	0		
Tierische Reststoffe %	120	20		
Potenzial Festbrennstoffanlage				
Landwirtschaftliche Biomasse %	57	14		
Forstliche Biomasse %	18	0		
Bedarf				
Nutzwärme	300	80		
davon Heizwärme	250	50		
davon Warmwasser	100	40		
Bericht				

Abbildung 7: Entwurf Bilanzierungs-Widget Gesamtpotenzial

1.4.2 AS 1.2: Datenerhebung vor Ort (IEE)

Zu Beginn des Projekts wurden mit den Akteuren der regionalen Strukturpolitik in den drei Landkreisen qualitative und leitfadengestützte Interviews (Experteninterviews) geführt, mit dem Ziel, die sozioökonomischen-Rahmenbedingungen und die Akzeptanz hinsichtlich des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem und ihre Optimierungsmöglichkeiten in Erfahrung zu bringen. Außerdem sollten im gleichen Zeitraum repräsentative und quantitative Haushaltsbefragungen durchgeführt werden, um – jenseits der Expertenmeinungen - die generelle Zustimmung der Bewohner in den Landkreisen hinsichtlich des Einsatzes von Biomasse zu eruieren. Das gewonnene empirische Datenmaterial dient der Indikatorenbildung die anzeigt, was den Einsatz von Biomasse in den drei Landkreisen fördert oder behindert. Die aus den Expertenmeinungen und Haushaltsbefragungen gewonnenen Daten sollten als Basis für die spätere Szenarien Bildung genutzt werden. Durch eine regionale (1) Akzeptanz- und eine (2) sozioökonomische Analyse sollten realistischere Szenarien Bildungen ermöglicht werden. Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die neuen Haushaltsbefragungen leider nicht durchgeführt werden. Die Lücke konnte aber durch bestehende Haushaltsbefragungen und Experteninterviews abgedeckt werden.

Im Rahmen des ersten Lenungskreistreffens wurde mit den Teilnehmern intensiv über die Zielsetzung des Projektes und eine möglichst zielführende Fokussierung der zu betrachtenden Bioenergieträger diskutiert. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Auswahl der prioritären Bioenergieträger für die gewählten Zielregionen aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen immer unterschiedlich gesetzt werden sollte. Für den Landkreis Werra-Meißner bietet sich eine Fokussierung auf den Bereich holzige Biomasse aus Holzlandschaften (Hecken, Streuobstwiesen und Straßen-/ Gewässerbegleitholz) sowie Schnittreste und private Schnittreste aus den Gärten an. Das Witzenhausen-Institut unterstützte durch die Bereitstellung von Daten aus bereits durchgeführten Projekten, z. B. [1]. Für den Landkreis Marburg-Biedenkopf wurde der Fokus auf die Potenziale der landwirtschaftlichen Biomasse gelegt.

Als Referenzfall aus dem Landkreis-Marburg Biedenkopf wurde im Rahmen von Ortsbesichtigungen Datenerfassungen in den Bioenergieanlagen Mardorf 1 und 2 der Nahwärmeinitiative Erfurtshausen durchgeführt. Das Referenzprojekt bot zum einen die Möglichkeit, konkret zu prüfen, inwiefern der technische und wirtschaftliche Ansatz flächendeckend übertragbar ist. Zum anderen stellten sich für die Anlagen in Mardorf konkrete Fragen nach einer Weiterentwicklung des bestehenden Systems.

Die Fokussierung auf unterschiedliche Schwerpunkte im Bereich der Biomassenutzung wurde für die beiden gewählten Zielregionen weiter ausgearbeitet. Alle Datenauswertungen wurden jedoch grundsätzlich so angelegt, dass sie auf beliebige Regionen übertragbar sind und sich vorrangig auf frei verfügbaren Datenquellen stützen. Aus diesem Grund wurde für die Umsetzung des Tools (AP5) eine Zusammenstellung von Open Source Datenquellen (wie z.B. Daten des Bundesamts für Kartografie und Geodäsie) genutzt. Da hierbei in der Regel für kostenlose Datensätze eine entsprechend gröbere Auflösung in Kauf genommen werden muss, lag der Fokus der weiteren Entwicklung auf einer richtungssicheren Abschätzung von Bedarfen und Potenzialen zunächst für eine erste Szenarioabschätzung. Die wesentlichen Parameter und fehlenden Informationen konnten durch Datenerhebungen vor Ort in den genannten Gebieten sinnvoll präzisiert und ergänzt werden.

1.4.3 AS 1.3: Einbinden von Statistik Daten (IEE)

Für die Potenzialermittlungen wurden in AS 1.3 eingangs frei verfügbare Datensätze recherchiert und für die weiterführende Benutzung im Rahmen des Projekts aufbereitet. Die Informationen können in die Bereich sozio-demographische Daten, Landnutzungskarten und topografische Karten unterteilt werden.

Für alle grundlegenden topographischen Informationen werden Open Street Map (OSM) Daten verwendet. Für eine schnell und effiziente Verarbeitung der OSM Vektordaten, werden diese in einer Postgres (PGSQL) Datenbank mit einer Software Erweiterung für die Geodatenverarbeitung (Postgis) migriert. Als sozio-demographischer Datensatz wurde die Zensus Datenerhebung aus dem Jahr 2011 herangezogen. Von statistischen Ämtern des Bundes und der Länder wurde dafür eine Bevölkerung, Gebäude- und Wohnungszählung zum Stand 9. Mai 2011 für die gesamte Bundesrepublik durchgeführt. Die Daten lassen sich in die folgenden Kategorien unterteilen:

Tabelle 7: Kategorien und Attribute des Zensus 2011

Datensatz	Attribute
Bevölkerung	Bevölkerung in Personen
Demographie	Alter, Familienstand, Geburtsland, Geschlecht, Religion, Staatsangehörigkeit, Zahl der Staatsangehörigkeiten
Familien	privater Haushalt, Bezugsperson, Kernfamilie, Paar, Ehepaar, eingetragene Lebenspartnerschaft, nichteheliche Lebensgemeinschaft alleinerziehende Mutter oder ein alleinerziehender Vater ist ein Elternteil , Kind, Senioren/-innen
Haushalte	privater Haushalt, Bezugsperson, Kernfamilie, Einpersonenhaushalt, Paar, Ehepaar, eingetragene Lebenspartnerschaft, nichteheliche Lebensgemeinschaft (NELG) , alleinerziehende Mutter oder ein alleinerziehender Vater ist ein Elternteil , Kind, sonstige Personen, Mehrpersonenhaushalten ohne Kernfamilie
Wohnungen	Wohnungsnutzung, Wohneigentum, Grundfläche der gesamten Wohnung, Zahl der Räum, Baujahr, Eigentum, Bauart des Gebäudes, Gebäudetyp-Größe, Heizungsart
Gebäude	Baujahr, Eigentum, Bauart des Gebäudes, Gebäudetyp-Größe, Heizungsart
Klassierte Werte	Ausländer, Geschlecht, Alter, Haushaltsgröße, Leerstandsquote, Wohnfläche, Wohnfläche je Bewohner, Wohnfläche je Wohnung , Wohnung

Für die Darstellung und Analyse der Daten werden diese, regelmäßigen Gitterzellen mit einer räumlichen Auflösung von 100 x100 Meter als Informationsträger zugeordnet. Grundlage dafür sind die geographischen Gitter für Deutschland (GeoGitter) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG). Die aufbereiteten Zensus-Information und die GeoGitter werden in ebenfalls in der PGSQL für die weitere Bearbeitung gespeichert.

Zur Bestimmung der Flächennutzung wurden „Corine Land Cover“ (CLC) Daten von 2018 mit einer räumlichen Auflösung von 5 ha des BKG verwendet. Die CLC Daten stellen dabei zum einen Landbedeckung dar, andererseits werden auch Aspekte der Landnutzung wiedergegeben. Die Klassen sind dabei in 47 Kategorien eingeteilt. Die Rasterdaten werden ebenfalls in die PGSQL Datenbank migriert. Aufbauend auf dieser zentralen Datenbankinfrastruktur stehen für die folgende Anwendung weitere Informationen, wie Gemeinde- Kreis- oder Bundeslandgrenzen zur Verfügung. Auf Basis dieser statistischen Daten wird ein erstes Mengengerüst erstellt. Dafür werden die Zensus Bevölkerungsdaten auf Gemeindeebene aggregiert. Nachfolgende Abbildung stellt dies für Deutschland dar.

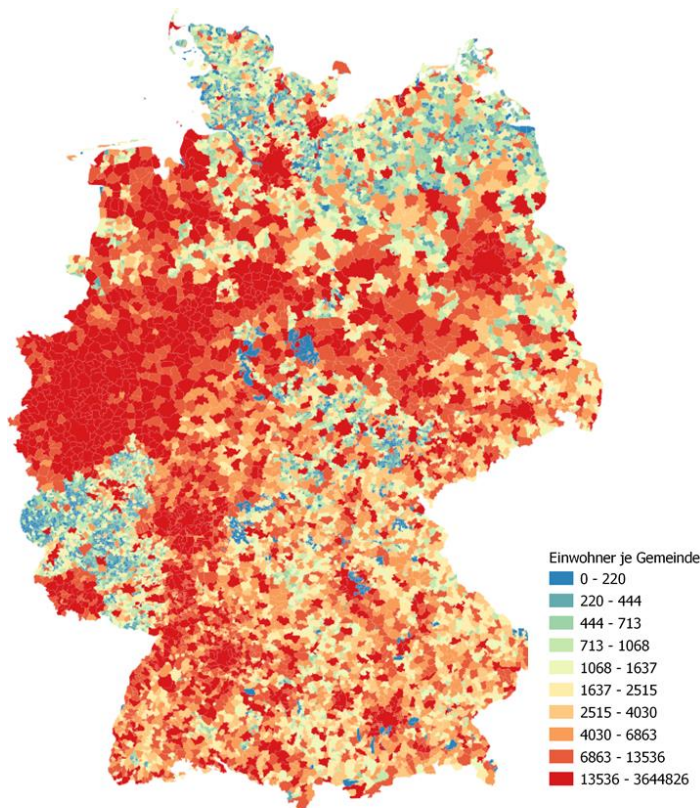


Abbildung 8: Einwohnerzahl je Gemeinde

Auf Basis der Zensus-Daten wurden maßgeblich die Wärmebedarfe der Haushalte in den Kommunen und Regionen ermittelt.

Die Gemeindestatistiken der Bundesländer, hier exemplarisch für Hessen [2], stellen gemeindescharf Daten zur Bevölkerungsstruktur (Abbildung 8) und auch zu Gebäuden und Wohnungen zur Verfügung, welche (indirekt) genutzt werden können, um auf den privaten Wärmebedarf oder das Aufkommen häuslicher Abfälle etc. schließen zu können.

Insbesondere landwirtschaftliche und Waldflächen, welche potenziell zur Produktion erneuerbarer Energieträger herangezogen werden können, sind gemeindescharf aufgeführt. Die Anzahl und Größe (in ha) der landwirtschaftlichen Betriebe wird genannt. Neben dem Dauergrünland wird speziell die Nutzung der Ackerfläche analysiert und Hinweise auf Flächen gegeben, auf welchen höherwertige Produkte (z. B. Zuckerrüben) angebaut werden und diese somit nicht für einen Energiepflanzenanbau zur Verfügung stehen. Gülle und Mist als wichtige landwirtschaftliche Substrate für BGAs können über die Betriebe mit Rinder- und Schweinehaltung berechnet werden. Weidegängige Tiersorten wie Schafe, Enten etc. sind hier

nicht aufgeführt. Jedoch fehlen Betriebe mit intensiver Geflügelhaltung in der hessischen Gemeindestatistik.

Das zu erhebende Potenzial für erneuerbare Bioenergieanlagen bezieht sich auf die wichtigsten Anlagenkonstellationen landwirtschaftliche Biogasanlagen, Abfallvergärungsanlagen und Holzheiz(kraft)werke.

Für landwirtschaftliche Biogasanlagen mit vor-Ort Verstromung und Wärmeproduktion sind die zur Verfügung stehenden Substrate/Einsatzstoffe relevant.

Die Betrachtung der Viehbestände ist insbesondere für die Ermittlung des Biogaspotenzials aus den tierischen Exkrementen Gülle, Mist (Mischung aus Kot und Stroh) und Jauche von Bedeutung. In der Vergangenheit wurden kleinere landwirtschaftliche Biogasanlagen zu einem großen Anteil mit tierischen Substraten beschickt. Aber auch bei größeren Anlagen ist der Einsatz von tierischen Substraten in Erwägung zu ziehen. Der Vorteil dieser Inputstoffe liegt in ihrer Preisgünstigkeit und der Eigenschaft den Fermentationsprozess zu stabilisieren. Ein Nachteil dieser Substrate ist der hohe Wasseranteil und die damit verbundene niedrige Energiedichte, die einen Transport über große Entfernungen unwirtschaftlich werden lässt.

Weiterhin ist die Kenntnis über die vorhandenen Viehbestände Grundlage für die Berechnung der Viehdichte. Diese hat Auswirkung auf die Nährstoffbelastung der Böden in der Region und lässt eine Aussage über die Ausbringungsmöglichkeiten der Gärreststoffe zu.

Betrachtet werden die gesamten Rinder-, Schweine- und Geflügelbestände (nur Hühner und Truthühner) in den relevanten Regionen. Die Pferdebestände werden nicht erfasst. Bei Pferden, wie auch bei Schafen gilt, dass bei beiden Tierarten ein intensiver Weidegang stattfindet, der eine Sammlung der Exkremente ausschließt. Daher gehen auch Schafbestände nicht mit in die Bewertung ein.

Beurteilt wird ausschließlich die durchschnittliche Betriebsgröße der Vieh haltenden Betriebe. Hintergrund ist, dass es für den Betrieb einer Biogasanlage vorteilhaft ist, einen oder mehrere große landwirtschaftliche Betriebe als z.B. Güllelieferant zu akquirieren, als mehrere kleine Betriebe. Die Datengrundlage hierzu bilden die Agrarstrukturerhebungen der Landesämter für Statistik.

Die Berechnung der anfallenden Substrate und die darin enthaltenen Energiegehalte bilden eine Datengrundlage für das Gesamtpotenzial.

Bei der Berechnung des Rindersubstrates kann die Weidehaltung, bei der keine Sammlung der Exkremente stattfindet, mit dem Korrekturfaktor „0,75“ berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass idealisiert angenommen wird, dass sich die gesamten Rinderbestände zu 75 % des Jahres in den Ställen befinden und in diesem Zeitraum eine Sammlung der Substrate erfolgen kann. Für die Berechnung wird eine jährliche Güllemenge (Frischmasse) von 17,1 Tonnen pro Rinder-Großvieheinheit (17,1 t/GV*a), sowie ein Methangehalt im daraus entstehenden Biogas von 58 % angenommen.

Bei der Berechnung des Schweinesubstrates wird von einer jährlichen Güllemenge von 11,26 Tonnen pro Schweine-Großvieheinheit (11,26 t/GV*a) ausgegangen. Der Methangehalt des daraus entstehenden Biogases wird mit 61 % angenommen.

Beim Geflügelsubstrat wird eine jährliche Festmistmenge (gerechnet als Hühnermist) von 9,29 Tonnen pro Geflügel-Großvieheinheit (9,29 t/GV*a) angenommen. Der Methangehalt des daraus entstehenden Biogases wird mit 51 % kalkuliert.

Folgende Biogaserträge können angenommen werden:

- Rindergülle: 24 m³/t (Frischmasse)
- Schweinegülle: 15 m³/t (Frischmasse)
- Hühnermist: 231 m³/t (Frischmasse)

Weitere spezifische Biogaserträge finden sich in [3]. Den Berechnungen liegt ein Heizwert des Methans von 36 MJ/m³ zu Grunde.

Aus den berechneten Energiegehalten der gesamten tierischen Substrate einer Region wird die elektrische Leistung einer Biogasanlage berechnet, wenn diese ausschließlich mit diesen Substraten betrieben würde. Dies wird auf 7.800 Volllaststunden des Blockheizkraftwerkes (BHKW) pro Jahr bezogen, bzw. 3500 Volllaststunden bei EEG-konformer Überbauung der elektrischen Kapazität.

Neben tierischen Exkrementen sind pflanzliche Einsatzstoffe hervorragend geeignet, den erneuerbaren Energieträger Biogas zu produzieren. Zur Beantwortung der Frage, wie viel pflanzliche Biomasse zur Verfügung steht, ist es notwendig, die jeweilige Ackerfläche und Grünland in der betrachteten Region aufzulisten. Die Daten sind unterteilt nach Ackerland und Grünland pro Betrieb [ha/Betrieb]. Die notwendigen Daten sind bei den jeweiligen statistischen Landesämtern erhältlich.

Eine Beurteilung der Daten erfolgte dahingehend, wie groß die durchschnittliche Ackerfläche pro Betrieb (Potenzial) in der betrachteten Region in Relation zum Bundesdurchschnitt ist. Der Bundesdurchschnitt beträgt 41,50 ha/Betrieb.

Wie sind die mittleren Erträge bezogen auf jede spezifische Kulturpflanze in der zu betrachtenden Region, kann mit Daten der statistischen Landesämter beantwortet werden. Diese Daten stellen die mittleren Erträge für die betrachtenden Regionen dar. Soweit Daten verfügbar sind, werden folgende Kulturpflanzen berücksichtigt:

- Silomais
- Weizen
- Roggen
- Gerste
- Triticale
- Zuckerrüben
- Kartoffeln

Bei Roggen und Silomais wird außerdem die Relation zum Ertrag des Bundesdurchschnitts errechnet. Der Bundesdurchschnitt beträgt hierbei 43,28 t/ha. Von diesen gebildeten Relationen wird ein Mittelwert errechnet.

Zur Beurteilung, ob Ackerflächen für die Biogasproduktion herangezogen werden können, müssen die Markterlöse für Konkurrenzfrüchte wie Weizen, Roggen, Gerste, Triticale, Zuckerrüben und Kartoffeln in €/ha und €/t ermittelt werden.

Die Markterlöse für Konkurrenzfrüchte werden über den Ertrag, den erzielbaren Marktpreis zuzüglich des Zahlungsanspruches für die Ackerfläche ermittelt. Die Daten können verschiedenen Quellen entnommen werden, z. B. [4], aber auch bei den statistischen Landesämtern.

Berechnet werden die Markterlöse folgendermaßen:

$$\text{Markterlöse [€/ha]} = \text{Ertrag} * \text{Preis} + \text{Zahlungsanspruch}$$

$$\text{Markterlöse [€/t]} = \text{Markterlöse [€/ha]} / \text{Ertrag}$$

Berücksichtigt wird bei den Erträgen der jeweilige Ernteverlust.

Die hier angesetzten Preise werden von der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle erhoben. Diese sind regional meistens nach Regierungspräsidien gestaffelt.

Neben den landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind auch Abfallvergärungsanlagen (in Kombination mit einer Kompostierungsstufe) geeignet, erneuerbaren Strom und Wärme zu produzieren. In naher Zukunft wird die erfasste Menge an Biogas, insbesondere vor dem Hintergrund der Anforderungen des § 11 KrWG deutlich zunehmen. Tabelle 8 fasst die durchschnittlichen Erfassungsleistungen, differenziert nach typischen deutschen Gebietsstrukturen, zusammen. Im Mittel, liegen dort, wo Biotonnen angeboten werden, die Erfassungsleistungen bei 63 kg/Ew*a. Dabei schwanken die Mittelwerte der Erfassungsleistung je nach Gebietsstruktur stark zwischen 27 kg/Ew*a (innerstädtisch) und 75 kg/Ew*a (ländlich/Stadtrand).

Tabelle 8: Erfassung von Biogut nach Gebietsstrukturen (nicht berücksichtigt öRE ohne Biotonne, bzw. mit weniger als 5 kg/Ew*a), aus [5]

Gebietsstruktur	Einwohner		Bioguterfassung		
	[Mio.]	[%]	spezifisch	gesamt	[%]
> 2.000 Ew/km ²	14,5	18%	27 kg/Ew*a	376.000 Mg/a	9%
1.000 - 2.000 Ew/km ²	9,2	11%	58 kg/Ew*a	489.000 Mg/a	11%
150 - 1.000 Ew/km ²	37,1	45%	75 kg/Ew*a	2.538.000 Mg/a	59%
< 150 Ew/km ²	21,1	26%	60 kg/Ew*a	897.000 Mg/a	21%
Summe/Durchschnitt	81,9	100%	63 kg/Ew*a	4.300.000 Mg/a	100%

Auf dieser Basis halten Prognosen des Witzhausen-Instituts folgende kurz- bis mittelfristige Mehrerfassung an Biogut für den unteren Erwartungshorizont:

- (1) Wenn alle öRE, die ihren Bürgern bisher keine Bioguterfassung anbieten, diese mit dem Ziel einführen, mindestens die ausgewiesene Durchschnittserfassungsleistung für ihre Gebietsstruktur zu erreichen, würden jährlich zusätzlich 700.000 Mg Biogut erfasst.
- (2) Wenn alle diejenigen öRE, die bisher nur eine für ihre Gebietsstruktur unterdurchschnittliche Bioguterfassungsleistung erbringen, ihr Angebot so optimieren, dass sie zumindest die Durchschnittserfassungsleistung erreichen, würden weitere 1 Mio. Mg Biogut pro Jahr erfasst.

Damit läge die Erfassungsleistung kurz- bis mittelfristig in einer Größenordnung von 6 Mio. Mg/a Biogut. Ähnliche Erwartungen hat beispielsweise auch der VKU geäußert.

Noch nicht berücksichtigt ist dabei der hohe Anteil (Größenordnung: 3 bis 4 Mio. Mg/a) organischer Küchen- und Speisereste, der weiterhin im Restabfall zu finden ist und zwar weitgehend unabhängig davon, ob bisher eine separate Bioguterfassung angeboten wird oder nicht. Dies ist mit dem Anspruch des Gesetzgebers nach getrennter Erfassung von Bioabfällen nicht vereinbar und auch ökologisch und energiewirtschaftlich sowie vor dem Hintergrund der stärkeren Bemühungen zur technischen Sortierung von Wertstoffen aus dem Restabfall nicht zu vertreten. Unter der konservativen Annahme, dass mindestens die Hälfte dieses nativ-organischen Anteils im Restabfall der Erfassung im Rahmen der Biogutsammlung zugeführt würde, ergibt sich

- (3) ein weiteres Potenzial (mit hohem spezifischem Biogasertrag) von gut 1,5 Mio. Mg/a Biogut.

Vor diesen drei Hintergründen: Einführung und Ausweitung der Bioguterfassung sowie die verstärkte Erfassung von Küchen- und Nahrungsabfällen kann das in Abbildung 9 dargestellte Szenario als realistisch eingestuft werden. Ob die Erweiterung des Anlagenbestands zur Vergärung der Materialien tatsächlich der gesteigerten Erfassung folgt, ist aus der aktuellen Marktbeobachtung jedoch nicht klar abzusehen.

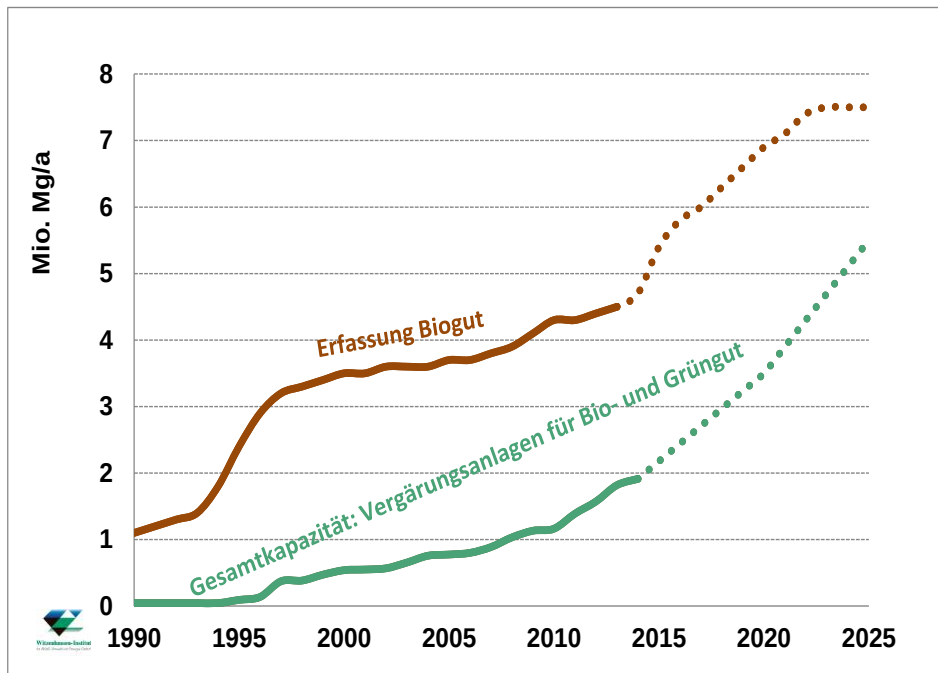


Abbildung 9: Entwicklung der Bioguterfassung und der Vergärungskapazität für Bio- und Grüngut in Deutschland seit 1990 sowie die Prognose der weiteren Entwicklung, [6]

Mittelfristig könnten bis zum Jahr 2025 bis zu über 7,5 Mio. Mg Biogut jährlich zur Verfügung stehen, während die Vergärungskapazitäten sich gegenüber dem Status Quo auf ca. 5,5 Mio. Mg/a knapp verdreifachen könnten.

Tabelle 9 gibt eine Übersicht des derzeitigen Aufkommens und des perspektivisch verfügbaren Biogutpotenzials, welches dem gezeigten Entwicklungspfad aus Abbildung 9 zugrunde liegt. Ebenfalls wird das daraus resultierende Biogaspotenzial abgeschätzt, während von einem mittleren spezifischen Gasertrag von $100 \text{ m}^3 \text{ i.N./Mg}_{\text{input}}$ ausgegangen wird.

Anhand der aufgezeigten Annahmen A1 bis A4 in Tabelle 9 würde bis zum Jahr 2025 ein theoretisches Biogaspotenzial in Höhe von etwa 750 Mio. $\text{m}^3 \text{ i.N.}$ pro Jahr zur Verfügung stehen, welches jedoch technisch durch die bis dahin existierenden Vergärungskapazitäten auf einen geringeren Wert begrenzt würde. Erst bei einem weiteren Zubau von Neuanlagen könnte das Potenzial weitestgehend genutzt werden.

Tabelle 9: Derzeitiges und perspektivisches Biogut- bzw. Biogaspotenzial bis zum Jahr 2025, ergänzt nach [6]

Annahme	Beschreibung	Biogutpotenzial in Mg/a	Biogaspotenzial in m³ i.N./a
A1	Derzeitiges Aufkommen in öRE mit Bioguterfassung	4,3 Mio.	430 Mio.
A2	Einführung der verpflichtenden Getrenntsammlung von Bioabfällen bei öRE, welche diese bisher nicht praktizieren (Durchschnittserfassung bei Biogut von 63 kg/Ew*a)	0,7 Mio.	70 Mio.
A3	Ausweitung und Intensivierung der Erfassungsleistungen bei öRE, welche bisher unterdurchschnittlich ist	1 Mio.	100 Mio.
A4	Steigerung der Erfassung und Vergärung von Küchen- und Speiseabfällen, welche bisher im Restabfall zu finden sind	1,5 Mio.	150 Mio.
SUMME		7,5 Mio.	750 Mio.

Das in einer Region zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Biogaspotenzial spielt eine zentrale Rolle bei der Beantwortung der Frage, ob eine Biogasanlage in einer bestimmten Größenordnung realisiert werden kann.

Betrachtet werden ausschließlich die in dem jeweiligen Landkreis vorhandenen tierischen und pflanzlichen Substrate (ohne Futter- und Erntereste). Analoges gilt für Abfallvergärungsanlagen. Weiterhin gilt es, sowohl die schon vorhandenen, als auch die geplanten Biogasanlagen in Erfahrung zu bringen, die durch eigene Substratbeanspruchung zu einer Minderung des landwirtschaftlichen Biogaspotenzials führen.

Das Biogaspotenzial errechnet sich aus der Energie der vorhandenen und theoretisch verfügbaren tierischen und pflanzlichen Substrate, abzüglich des Energiebedarfs der vorhandenen und geplanten Biogasanlagen (anderer Biogasanlagenbetreiber!). Die Energiegehalte der Substrate werden in eine äquivalente elektrische Leistung umgewandelt. Mit dieser P_{el} wird dann weiter gerechnet.

Die gesamte theoretisch noch verfügbare Anlagenkapazität (gerechnet als P_{el}) aller betrachteten Regionen (in MW_{el}) wird durch die Gesamtfläche der Regionen dividiert und mit dem Faktor 100 multipliziert, so dass eine durchschnittliche theoretisch installierbare P_{el} von x MW pro 100 km^2 errechnet werden kann.

Die Berechnung des tierischen Biogaspotenzials wurde weiter oben dargestellt. Weiter gilt es, die Fläche in jeder Region zu berechnen, die für den Anbau von NawaRo theoretisch zur Verfügung stehen kann. Dabei wird die folgende Vorgehensweise gewählt: Von der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche wird abgezogen

- Das gesamte Grünland als Grundfutter für die Schaf-, Pferde- und Rinderhaltung

Folgende Flächen des Ackerlandes werden abgezogen:

- Die Anbaufläche für Futterpflanzen als Grundfutter für die Rinderhaltung
- Die Anbaufläche für Getreide für die Kraftfutterversorgung der Rinder- und Schweinebestände (gerechnet mit 50 % Zukauffuttermittel)
- Die Anbaufläche für Hackfrüchte (bestehen zu 90 % aus Rüben und Kartoffeln)
- Die Anbaufläche für Gartenerzeugnisse (Gemüse, Spargel, Erdbeeren, Blumen, etc.)
- Die Anbaufläche für Handelsgewächse (bestehen zu 80 % aus Winterraps)

Übrig bleiben die Brachflächen, sowie die Getreideflächen, die nicht für die Ernährung der betriebseigenen Viehbestände in den Regionen benötigt wird.

Ziel dieser Vorgehensweise ist es, sicher zu stellen, dass die vorhandenen Viehbestände noch weiterhin aus der Region versorgt werden können und damit keine Konkurrenzsituationen in den Regionen zwischen der Biogasbranche und der Viehwirtschaft auftreten. Zusätzlich werden Flächen ausgeschlossen, die durch längerfristige Lieferverträge gebunden sind.

Diese nun verbliebene Ackerfläche ist die theoretisch akquirierbare Fläche.

Wie viel % dieser Flächen tatsächlich für geplante Anlagen akquirierbar sein werden, muss vor Ort in jeder einzelnen Region genauer untersucht werden!

Es wird die Annahme getroffen, dass auf den gesamten theoretisch akquirierbaren Flächen NawaRos für die Biogas-Produktion angebaut werden können. Diese werden mit 67 % (Silo-) Mais und 33 % Roggen (Ernte der Körner; nicht Ganzpflanze!) bestellt.

Es werden die durchschnittlichen Erträge in einem mehrjährigen Mittel zu Grunde gelegt. Der Silierverlust beim Silomais wird mit 15 % angenommen. Die Trockenmasse des Roggens wird mit 87 % und der Gehalt an organischer Trockensubstanz (bezogen auf die Trockensubstanz) wird mit 98 % angenommen.

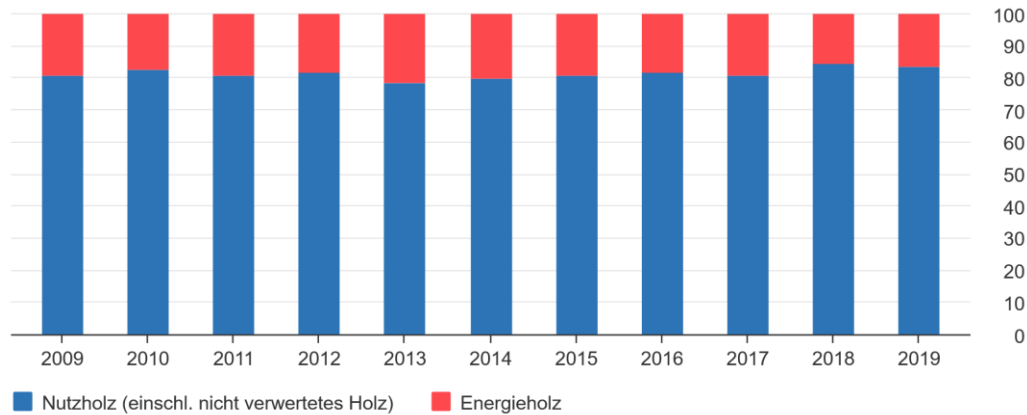
Aus der hieraus berechneten Energiemenge kann eine elektrische Leistung (in Bezug auf den Betrieb einer Biogasanlage) ermittelt werden.

Für die Einsatzstoffe von Holzheizkraftwerken ist vorzugsweise das regionale Holzaufkommen relevant. Jedoch kann – im Gegensatz zu Gülle – dieser Brennstoff wirtschaftlich über weite Entfernungen transportiert werden, da dessen Energiedichte wesentlich höher ist.

Fast 69 Millionen Kubikmeter Holz wurden in Deutschland im Jahr 2019 eingeschlagen (gerechnet ohne Rinde). Etwa 83 % des Holzeinschlags entfielen auf Nadelholz wie Fichte, Tanne, Douglasie, Kiefer und Lärche. Der Großteil des Einschlags erfolgte mit 45 % im Privatwald und mit 34 % im Landeswald. 10,9 Millionen Kubikmeter wurden 2019 als Energieholz genutzt (dies entspricht 16 % des gesamten Holzeinschlags). Im Jahr 2009 lag das Holzvolumen, das für energetische Zwecke genutzt wurde, noch bei 9,1 Millionen Kubikmeter. Der Anteil am Gesamtholzeinschlag lag bei 19 % [7]; in Bayern liegt dieser Anteil mit 33 % höher als der Bundesdurchschnitt [8]. Dort wird das Energieholz zu 63 % als Scheitholz und zu 37 % als Hackschnitzel vermarktet.

Holzeinschlag nach Nutzung des Holzes

in %



© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022

Abbildung 10: Holzeinschlag nach Nutzung des Holzes; [7]

Im Bereich der Stromerzeugung mit festen Brennstoffen herrschen zwei unterschiedliche Technologien vor. Dabei wird die Auswahl von folgenden Aspekten geleitet:

- Gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme (KWK)
- Umfassende Multiplizierbarkeit von Anlagentechnik, -größe und Einbindung in das Versorgungsumfeld
- Verfügbarkeit von Referenzdaten
- Absehbare Entwicklungen auf Grund der EEG-Rahmenbedingungen

Die Variante 1 ist die vorherrschende technische Konstellation, während die Variante 2 durch den, inzwischen nicht mehr existierenden, Technologiebonus im EEG in den vergangenen Jahren eindrucksvolle Anlagenneubauten vorweisen konnte. Die angegebenen Feuerungswärmeleistungen sind typische Größen. Die Variation der Anlagenkapazitäten in Deutschland zeigt Abbildung 11.

1. Heizkraftwerk mit Entnahme-Kondensations-Dampfturbine und optimierter Wärmeabgabe als Prozessdampf, Hoch- Mittel- und Niedertemperatur-Nahwärme an eine Vielzahl unterschiedlicher Wärmekunden sowie – eingebunden in das HT-Netz – eine Kältebereitung u.a. zur Gebäudeklimatisierung über Absorptionskälteanlagen; 26,7 MW Feuerungswärmeleistung (FWL), ca. 19,5 % elektrischer Systemwirkungsgrad, ca. 69,7 % Jahresnutzungsgrad

2. Heizkraftwerk mit ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle) und Wärmeeinspeisung in ein Mitteltemperatur-Nahwärmenetz hauptsächlich zur Versorgung eines Wohngebiets; 8,7 MW FWL, ca. 10,6 % elektrischer Systemwirkungsgrad, ca. 81 % Jahresnutzungsgrad.

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem, Schlussbericht

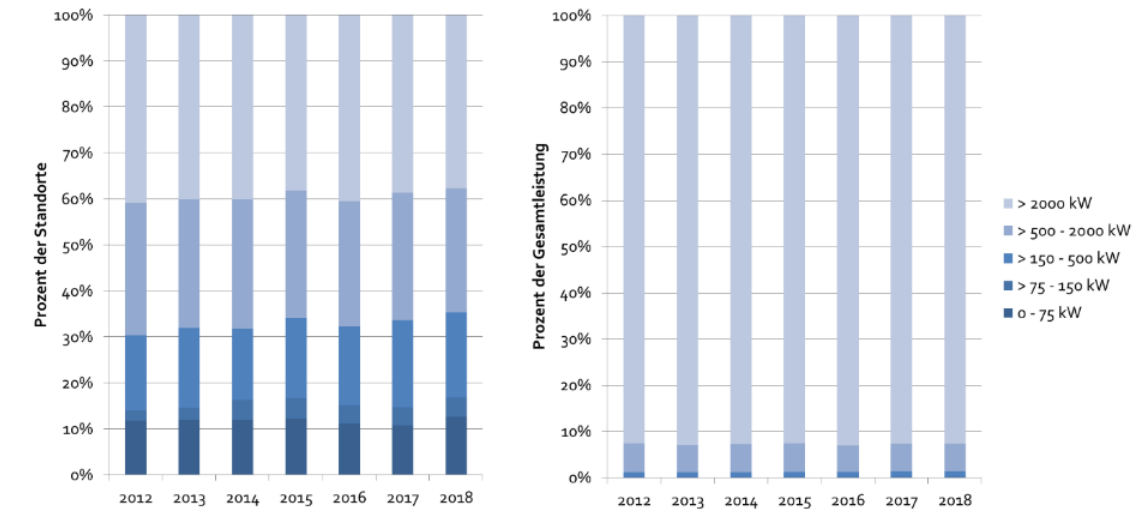


Abbildung 11: Heizkraftwerke - aktuelle Größenverteilung und Anteil an der installierten elektrischen Leistung aller Heizkraftwerke; [9]

Technische und energetische Kennzahlen der Stromerzeugung sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Technische und energetische Kennzahlen beispielhafter Anlagenkonstellationen zur Stromerzeugung aus fester Biomasse; [10]

Parameter	Dampfturbine	ORC-HKW
Feuerungswärmeleistung	26,7 MW	8,7 MW
Kessel-/Vergaserleistung	23,3 MW	7,61 MW
Kessel-/Vergaserwirkungsgrad	87,3 % ¹	87,5 % ¹
elektr. Nennleistung (brutto)	6,1 MW	1,0 MW
Thermische Leistung	max. 22 MW an WT ⁵ bei 4 MW _{el}	4,65 MW ORC-Modul 1,61 MW HW-Eco ⁶ = 6,26 MW an WT ⁵
Tech. Spezifikationen	Entnahme-Kond.-DT, Rauchgas- Kondensation Luftkondensator	Thermoölkessel, HW-Eco ⁶ , ORC-Modul, Luft-Tischkühler
Betriebsart	holzenergieoptimiert	wärmegeführt
Volllaststunden Strom	6 560 h/a	4 600 h/a
Volllaststunden Wärme	4 660 h/a	4 890 h/a
Zeit- / Arbeitsverfügbarkeit	95 %	95 %
Brennstoffeinsatz	204 737 MWh Hu/a	43 452 MWh Hu/a
Stromertrag brutto	40 000 MWh _{el} /a	4 600 MWh _{el} /a
Eigenverbrauch Strom	10,0 % v. Brutto	12,0 % v. Brutto
Wirkungsgrad Vergaser	-	-
Wirkungsgrad el BHKW	-	-
Wirkungsgrad th BHKW	-	-
Nutzungsgrad el System	19,5 %	10,6 %
Nutzungsgrad th System	50,1 %	70,4 %
Jahresnutzungsgrad System	69,7 %	81,0 %
Wärmeabgabe exergetisch	31 872 MWh _{exerg} /a	6 739 MWh _{exerg} /a

¹ Bei Feuerungen bezogen auf 45 % Wassergehalt, bei Vergaser bezogen auf 23 %¹

² bezogen auf 20 Gew.% Wasser im zugeführten Brennstoff

³ bezogen auf Produktgas

⁴ bezogen auf 45 Gew.% Wasser im Brennstoff

⁵ WT - Wärmetauscher

⁶ HW-Eco: Heißwasser-Economizer

Kriterien, welche die Inbetriebnahme von Biomasseanlagen erschweren können, sind die Bevölkerung, die regionale Politik und der Naturschutz.

Selbst durch kleine Gruppierungen von Biogas- oder HKW-Gegnern kann das Genehmigungsverfahren deutlich erschwert werden. Hierdurch entstehende Verzögerungen können durch Erhöhung der Planungskosten und eine spätere Inbetriebnahme der Anlagen zu finanziellen Einbußen führen. Aber auch nach Inbetriebnahme der Anlage kann eine negative Einstellung der Bevölkerung gegenüber Biomasseanlagen zu Schwierigkeiten beim Betrieb führen. Daher sollte schon frühzeitig begonnen werden, einem möglichen negativen Stimmungsbild in der Bevölkerung durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit vorzubeugen. Die Informationsgewinnung erfolgte durch Internetrecherchen, Auswerten des Metanewslatters des Fachverbandes Biogas und persönliche Anfragen in der Region.

Eine positive Einstellung der regionalen Politik gegenüber Biomasetechnologien kann sich für die Realisierung von Projekten durchaus förderlich erweisen. Negative Tendenzen sind eher mittelfristig von Bedeutung, sofern sie sich in Gesetzen, Rechtsverordnungen und Verwaltungsvorschriften niederschlagen, die den Bau und Betrieb entsprechender Anlagen einschränken.

Besondere Flächennutzungen schränken ebenfalls die Planung und den Bau neuer Biomasseanlagen ein. Beispiele hierfür sind:

- Naturschutzgebiete
- Wasserschutzgebiete
- Hochwasser-/Überschwemmungsgebiete
- Sperrgebiete
- Kurorte

Genaue Flächenangaben über die zu recherchierenden Gebiete sind bundeslandweise unterschiedlich erhältlich. So sind die geografischen Daten entsprechender Schutzgebiete in Bayern z. B. in [11], in Hessen in [12] öffentlich zugänglich.

1.4.4 AS 1.4: Identifikation geeigneter geostatistischer Verfahren zur Regionalisierung von EE Erzeugungsanlagen und neuen Verbrauchern (IEE)

Es wurden in AS 1.4 die Grundlagen verschiedener Regressionsverfahren für die Regionalisierung von EE Erzeugungsanlagen und neuen Verbrauchern untersucht. Dem liegen die Annahmen zugrunde, dass die Verteilung zukünftiger Anlagen und Verbraucher den historischen Mustern folgen und diese mit Hilfe einer Regressionsanalyse abgebildet werden können. Die aktuellen Erzeuger und Verbraucher werden durch Geokodierung räumlich verortet.

1.4.5 AS 1.5: Evaluierung der existierenden Infrastruktur (IEE)

In AS 1.5 erfolgte die Evaluierung der existierenden Infrastruktur exemplarisch für die Kommune Erfurtshausen. Dort wurden Datenerfassungen in den Bioenergieanlagen Mardorf 1 und 2 der Nahwärmeinitiative Erfurtshausen durchgeführt. Das Referenzprojekt bietet zum einen die Möglichkeit, konkret zu prüfen, inwiefern der technische und wirtschaftliche Ansatz flächendeckend übertragbar ist. Zum anderen stellen sich für die Anlagen in Mardorf konkrete Fragen nach einer Weiterentwicklung des bestehenden Systems.

Folgend auszugsweise Daten für Mardorf 1:

- Einwohner: 1587 (Stand 2010)
- Biogasanlage mit 600 kW (Gülle, Mist, Mais, Zuckerrüben)
- Hackschnitzelanlage für Spitzenlasten mit Schneckenförderung zum Ofen
- Ölkessel für weitere Lastspitzen
- Kosten insgesamt 3,6 Mio. Euro. (Netz, Hausübergabestationen, Anlagentechnik etc.)
- 4 km Länge des Nahwärmenetzes
- Vorlauftemperaturen 78-80°C im Primärvorlauf, Rücklauftemperaturen ca. 40-45°C
- min. 78°C Vorlauftemperatur ins Netz als vereinbarte Versorgungstemperatur
- 8 MW Speicher

- Für das Neubaugebiet wurde der Anschluss an das Nahwärmenetz als Bedingung beim Grundstückserwerb durchgesetzt
- Anlaufzeit im Sommer: Kaltstart 2h und im Winter: 1h aufgrund von kontinuierlich laufender Anlage im Sparmodus
- Plattenwärmetauscher um die zwei Gasspeicher von der Biogasanlage und der Hackschnitzelanlage zu trennen

Über die existierende Infrastruktur lässt sich prüfen, inwieweit bereits vorhandene Anlagen zu Flächenkonkurrenzen bezüglich der vorhandenen Bioenergie-Potenziale führen. Derzeit müssen diese Daten manuell in die Software eingetragen werden.

Der Begleitkreis hat empfohlen, dass dies automatisiert in einer Datenbank verfügbar sein sollte, was in einem Folgeprojekt angegangen werden könnte.

1.4.6 AS 1.6: Bestimmung des Biomasse Potenzial durch Satelliten (IEE)

Als Grundlage für eine automatisierte Datenerfassung von Hecken wurden in AS 1.6 Konzepte im Bereich des maschinellen Lernens untersucht. Hecken stellen aufgrund ihrer linearen Form, ähnlich Straßen und Wegen und ihrer holzigen Eigenschaft, ähnlich Wald und Einzelbäumen zunächst eine leicht abzugrenzende Struktur im Sinne der automatischen Detektion dar. Jedoch ist es schwer, genau zu definieren was eine Hecke ist. Es gibt dabei unterschiedliche Art-Zusammensetzungen (eine Hecke kann aus verschiedenen Strauch bzw. Baumarten bestehen) und wechselnde Längen und Breiten. Dies erschwert es maschinellen Lernsystemen diese Strukturen korrekt zu erkennen. Weiterhin sind Hecken in Bildern nicht nur aufgrund der schwierigen Unterscheidung zur Umgebung, sondern auch durch ihre geringe Größe schwer auszumachen. Aus diesem Grund werden anstelle von frei verfügbaren Satelliten Daten mit einer räumlichen Auflösung von 10 x 10 Meter, digitale Orthophotos (DOP) mit einer Bildauflösung von 0,2 x 0,2 Meter verwendet. Um die Abgrenzung der Hecke zur Umgebung weiter zu verbessern werden im weiteren Verfahren Falschfarbenbilder sog. „colored infrared“ Bilder (CIR) verwendet. Die CIR stellen eine Kombination aus naheinfrarot, rot und grün Bändern dar (siehe Abbildung 12 links).

Als Verfahren für die Detektion wird der Ansatz der semantischen Segmentierung verwendet. Die semantische Segmentierung basieren dabei auf künstlichen Neuronalen Faltungsnetzwerken (CNN) (engl. Convolution Neuronal Net). Da die Pixel eines Bildes dabei aufgrund ihrer Analogie in Farbgebung, Höhenangabe und Grauwerte in jeweils vorgegebenen Klassen zusammengefasst werden, können hiermit kleine schwer abzugrenzende Objekte besser erfasst werden als mit gängigen Klassifizierungsnetzwerken.

Zu Beginn werden ca. 400 Masken erstellt, um die Landschaftsklassen von Hecken während des Trainings abgrenzen zu können. Nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch den Aufbau einer solchen Maske.

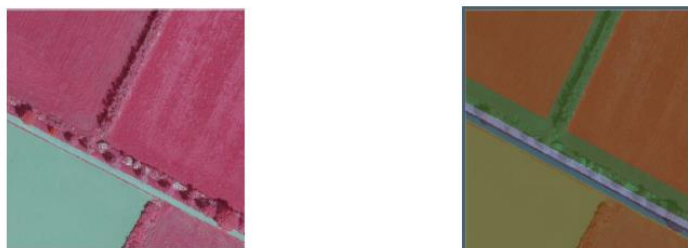


Abbildung 12: Beispielhafter Aufbau einer Maske (rechts) mit dazugehörigem DOP (links)

Die Klasseneinteilung wird dabei automatisch mit dem Basis-Digitalen-Landschaftsmodells (BasisDLM) [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019] in NRW durchgeführt. In der Maske (Abbildung 12) sind die Hintergrundklasse (orange) und Straße (blau) klar von der Klasse Hecke (grün) abgetrennt. Damit wird anschließend das Netzwerk für die Segmentierung trainiert. Nachfolgende Konfusionsmatrix fasst die wesentlichen Ergebnisse des Trainings zusammen.

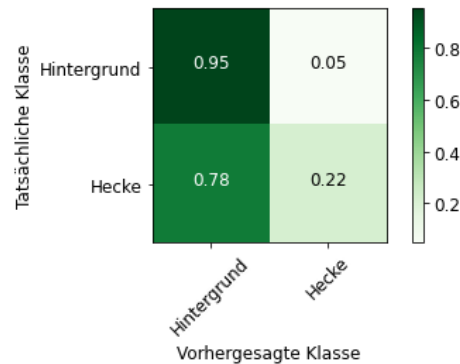


Abbildung 13: Konfusionsmatrix für Hecken und Hintergrundklasse

Während die Hintergrundklassen mit 95 % sehr gut erkannt werden, wird deutlich, dass mit diesem Ansatz der Detektion nur 22% der Hecken richtig erkannt werden.

Probleme der Identifizierung von Hecken in Luftaufnahmen stellen dabei vor allem die Abgrenzung zu anderen Laubgehölzen, aber auch ihre unterschiedliche Form und Größe dar. Auch die geringe Datenlage macht es dem Modell schwer richtig zu klassifizieren. Es müssen deutliche Verbesserungen und weitere Überlegungen gerade im Bereich des Vorverarbeitens der Daten unternommen werden, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Ebenso könnte durch Verwendung von Höhenangaben die Vorhersage des hier genutzten UNet verbessert werden. Dazu werden Angaben aus den Light Detection and Ranging (LiDAR) Bildern benötigt. Dies kombiniert als neuer Kanal zu dem bisher genutzten DOP-Kanälen könnte es dem Modell vereinfachen Hecken von anderen vegetativen Objekten zu unterscheiden.

Für die Verwendung von automatisiert erstellten Masken aus einer Landschaftsnutzungsklassifizierung, kann eine Mischung aus überwachtem und unüberwachtem Lernen verwendet werden, da im unüberwachten Lernen Pixel ohne Zugabe der Klasse kategorisiert werden können. Somit sind auch Klassen, die nicht gut abgegrenzt sind, möglicherweise einfacher zu detektieren und die Grenzen müssen nicht starr verlaufen. Vom 19.-20. September 2019 fand ein Copernicus Hackathon mit dem Titel „Feed the World, Invent the Future“ zum Thema Food security and Resilience in Leicester, GB statt. Organisiert wurde der Hackathon Event vom Innovationhub der Universität Leicester. Die vorgeschlagenen Erweiterungen wurden hier diskutiert. Im Rahmen des Projektes blieb jedoch kein Budget, die Änderungen einzubringen und zu testen.

1.4.7 AS 1.7: Identifikation zu berücksichtigender Naturschutzaspekte (AHC)

Zur Bearbeitung des Moduls der materiellen Nutzungskonkurrenzen im Bereich der Nutzung von Biomassen wurde ein Arbeitsplan erstellt, der im Wesentlichen im Rahmen eines Unterauftrags durch die Firma Agri-Herp Consult erarbeitet wurde. Die Forschungsfragestellungen beinhalten die Analyse von Erschließungshemmnissen aus Naturschutz- und Ökosystemsicht für integrierte Biomassensysteme, insbesondere Flächen- und Nutzungskonkurrenzen anhand von konkreten Beispielflächen in den beteiligten Kreisen (Werra-Meißner, Marburg-Biedenkopf).

Agri-Herp hat die Wärmeerzeugung aus Reststoffen der Forstwirtschaft untersucht und herausgefunden, dass hier noch erhebliches Potenzial vorhanden ist. Es entstehen keine Flächenkonkurrenzen, da nur Reststoffe genutzt werden. Potenziale bieten außerdem die Übergangszonen zwischen Wald und Feld. Außerdem hat Agri-Herp im Rahmen der Recherchen darauf hingewiesen, dass HessenForst als weiterer Teilnehmer im Lenkungskreis wertvolle Beiträge zu den Potenzialen liefern könnte. Weiterhin ist der Transport der Biomasse entscheidend (Vorteil oder Nachteil). Die kleinräumigen Potenziale für neue Standorte für dezentrale Energiesysteme müssen immer im Gesamtzusammenhang bewertet werden.

Der Lenkungskreis hat empfohlen, dass geschützte Flächen automatisiert in einer Datenbank verfügbar sein sollten, um diese einer intensiven Nutzung durch das entwickelte Tool zu entziehen, was in einem Folgeprojekt angegangen werden könnte. GIS-Daten zu Naturschutzgebieten sind bundeslandweise erhältlich. GIS-Daten für diverse Schutzgebiete in Hessen finden sich in [12]; Bayern bietet diesen Service in [11] an.

1.5 Arbeitspaket 2

Meilensteine:

1. Identifizierung von Datentypologien (frei verfügbare Daten, abgeleitete Typologien und Anforderungen an Spezifikationen) - PM 4
2. Definition von Potenzialmodulen der verschiedenen biogenen Rohstoffe als Bewertungskriterien im GIS - PM 6
3. Definition geeigneter Technologiemodule und Systemkonfigurationen zur Abbildung im GIS - PM 8

1.5.1 AS 2.1: Kartierung (Biomasse, PV-Dachpotenzial) und Erstellung Technologiebaukasten (IEE)

Neben den Biomassepotenzialen (siehe AS 1.3 und 2.4) sollten auch die PV-Dachpotenziale über das Berechnungstool ermittelt werden.

Das Dachflächenpotenzial wird auf Grundlage der Gebäudeumrisse bestimmt. Dafür müssen Statistiken aufgestellt werden, aus denen das mittlere Dachflächenpotenzial pro Gebäude geschätzt werden kann. Die Gebäudeumrisse werden als deutschlandweiter Datensatz in die PGSQL migriert. Darauf Aufbauend werden die Gebäudegrundflächen pro Hausanschluss berechnet.

Zur Berechnung der verfügbaren Dachfläche werden nur Flächen berücksichtigt, die größer als 2 m² sind. Ein Reduktionsfaktor von 0,8 wird verwendet, um nicht nutzbare Dachflächen (Modulabstand, Randabstand, etc.) auszuschließen. Die verfügbare Dachfläche beträgt ca. 50 % der Gebäudegrundfläche.

Zur Berechnung der PV-Anlagenleistung wird eine spezifische Leistung der Photovoltaik-Module von 150 W/m² angenommen. Durch die konkurrierende Nutzung von PV mit Solarthermie wird etwa 34 Prozent des Potenzials abgezogen. Aus diesen Annahmen lässt sich das mittlere PV-Potenzial pro Hausanschluss in kWp ermitteln.

Für Deutschland wird das Potenzial über das Verhältnis der bekannten Gebäudeflächen skaliert. Somit ergibt sich ein PV-Dachflächenpotenzial in Höhe von etwa 161 GWp für Deutschland. Unsicherheiten bei der Potenzialermittlung ergeben sich unter anderem aus den getroffenen Annahmen der Randbedingungen, sowie bei Fehlern in der Vermessung der Gebäudeumrisse.

Außerdem wurde in AS 2.1 ein Technologiebaukasten erarbeitet, aus dem das Berechnungstool als Orientierungshilfe für den Nutzer Systemkonfigurationen auswählen kann.

Das Fraunhofer IEE ist seit Jahren mit der Evaluierung von Anlagen zur energetischen Nutzung von Biomasse durch das BMWi (nun BMWK) beauftragt. Zu diesen Anlagen zählen:

- Biogasanlagen
- Biogasaufbereitungsanlagen
- Biomethan-BHKW
- Holzheizkraftwerke
- Vergaseranlagen
- Pflanzenöl-BHKW
- Kläranlagen
- Deponiegasanlagen
- Grubengasanlagen

Die Stammdaten und Angaben zur Stromproduktion werden u. a. aus [13] und [14], dem Portal der Übertragungsnetzbetreiber, eigenen Hersteller- und Betreiberbefragungen und dem Marktstammdatenregister der BNetzA [15] bezogen.

Diese Daten werden in einer SQL-Datenbank verarbeitet. Die enthaltenen Informationen zu den Anlagen sind u. a.

- Anlagentechnologie
- Standort
- Inbetriebnahmezeitpunkt

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem, Schlussbericht

- Ggf. Stilllegungsdatum
- Elektrische Kapazität
- Jährliche Stromproduktion
- Haupteinsatzstoff

In Kombination mit verschiedenen GIS-Anwendungen sind so individuelle regionale Darstellungen vorhandener Biomasseanlagen, installierter elektrischer Leistung oder jährlicher Stromproduktion möglich. Mehrere Beispiel dazu finden sich in [9].

Die Abbildung 14 zeigt übersichtlich die Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse.

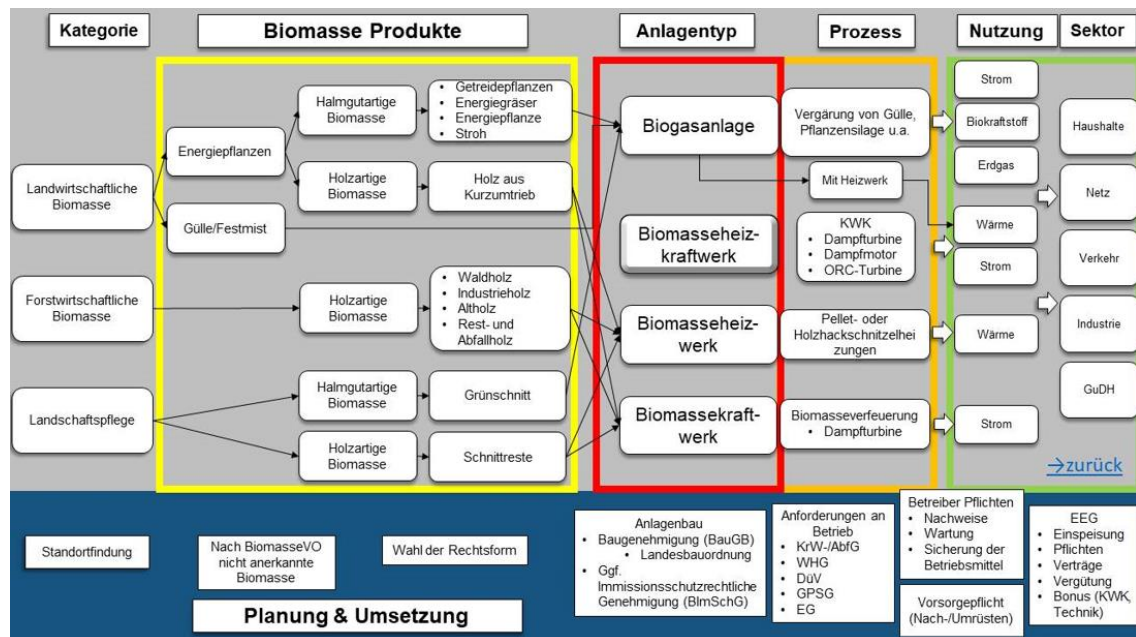


Abbildung 14: Übersicht über die energetische Nutzung von Biomasse (ohne organische Abfälle), Einsatzstoffe klassifiziert, verarbeitende Anlagen, Energiekonverter, -produkte, belieferte -sektoren

Im Rahmen dieses Projektes wurden jedoch nur die wichtigsten verarbeitenden Anlagentypen betrachtet. Hierbei handelt es sich um Biogasanlagen (BGA) und Heizkraftwerke (HKW). Erstere verarbeiten vor allem organische Stoffe aus der Landwirtschaft (sowie Straßenbegleitgrün und Abfallwirtschaft) mit einem höheren Wassergehalt, wohingegen HKWs mit vergleichsweise trockenen Einsatzstoffen aus der Forstwirtschaft oder Landschaftspflege beschickt werden.

Auch im Rahmen dieses Projektes wurden zur Orientierung für die späteren Nutzer und Anlagenplaner mithilfe eines Excel®-Tools BGAs mit unterschiedlicher elektrischer Kapazität und Substratmischungen berechnet.

Tabelle 11 zeigt beispielhaft die Auslegung einer kleinen, güllebasierten BGA, welche nach aktuellem EEG 2021 [16] mit einer vergleichsweise hohen Festvergütung rechnen kann und sich nicht an einer Ausschreibung der Bundesnetzagentur beteiligen muss. Neben der Strom- und Wärmeproduktion werden auch die Anzahl der Tiere, deren Gülle/Mist zu Biogas konvertiert wird, und die benötigte Ackerfläche für den Anbau ergänzender Energiepflanzen berechnet.

GeoOPT-bio: Geografische Energiesystem-Analyse zur Optimierung des Einsatzes von Biomasse im Energiesystem, Schlussbericht

Tabelle 11: Auslegung einer kleinen, güllebasierten Biogasanlage mit einer Kapazität von 75 kW_{el}, Variation der Substratmischung, nach [17]

				Vergütung	22,23 ct/kWh		
1. Biogas				1. Strom wird am Biogasstandort erzeugt			
1.1 Biogaskleinanlagen (Inst. Leistung bis 75 kW)				2. Installierte Leistung bis 75 kW			
Quelle:				3. Anteil Gülle / Mist mindestens 80 Masse-%			
https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do?sessionId=0B78268514032E1299F886B23018A653							
Basisdaten	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6	Szenario 7
installierte elektrische Leistung [kW_{el}]	74,9	74,7	74,8	74,9	74,9	74,8	74,8
Bemessungsleistung [kW _{el}]	68	68	68	68	68	68	68
Jahresvollaststunden [Bh]	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
jährliche Stromproduktion [kWh]	593.210	591.847	592.738	593.041	593.041	592.524	592.736
jährliche Wärmeproduktion [kWh]	890.096	888.503	889.544	889.897	889.897	889.294	889.540
jährlicher Stromerlös [€]	139.582	139.262	139.471	139.543	139.543	139.421	139.471
elektrischer Wirkungsgrad BHKW [%]	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2	35,2
thermischer Wirkungsgrad BHKW [%]	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3	52,3
Betriebstyp, eingesetzte Substrate	Szenario 1 Schweinehaltung 19% Maissilage 81% Schweinegülle	Szenario 2 Schweinehaltung 19% CCM 81% Schweinegülle	Szenario 3 Schweinehaltung 19% Grünroggen 81% Schweinegülle	Szenario 4 Milchviehhaltung 100% Rindergülle 8% TS, 8 Wochen Lagerung	Szenario 5 Milchviehhaltung 100% Rindergülle 10% TS, frische Einbringung	Szenario 6 Milchviehhaltung 90% Rindergülle 10% Rindermist	Szenario 7 Milchviehhaltung 10% Maissilage 9% Grassilage 75% Rindergülle 6% Rindermist
Energie in der Substratmischung [kWh/t FM]	109,7	179,6	63,4				
Substratbedarf gesamt [t FM/Jahr]	5.480	3.060	7.310	12.750	10.200	8.390	4.690
Maissilage [t FM/Jahr] (49 t/ha)	1.040	-	-	-	-	-	475
Grassilage [t FM/Jahr] (14,6 t/ha)	-	-	-	-	-	-	425
Corn-Cob-Mix (CCM) [t FM/Jahr] (13,7 t/ha)	-	580	-	-	-	-	-
Grünroggen [t FM/Jahr] (27,8 t/ha)	-	-	1.380	-	-	-	-
Flächenbedarf für Substratanbau [ha]	21	42	50	0	0	0	10 ha Silomais 29 ha Grünland (3. und 4. Schnitt)
Schweinegülle [t FM/Jahr] (1,5 t/Stück Jahr)	4.440	2.480	5.930	-	-	-	-
Rindergülle [t FM/Jahr] (27,9 t/Stück Jahr)	-	-	-	12.750	10.200	7.550	3.560
Rindermist [t FM/Jahr]	-	-	-	-	-	840	285
Notwendiger Viehbesatz [ca. Plätze]	2.960	413	988	457	366	271	128
	Mastschweine	Sauen	Sauen	Kühe + Nachzucht	Kühe + Nachzucht	Kühe + Nachzucht	Kühe + Nachzucht

Tabelle 12 zeigt beispielhaft die Auslegung eines größeren Heizkraftwerks, welches sich nach aktuellem EEG 2021 [16] an einer Ausschreibung der Bundesnetzagentur beteiligen muss. Erlöse für die Stromproduktion können mit rund 14 ct/kWh_{el} erwartet werden [18]. Neben der Strom- und Wärmeproduktion werden auch die benötigten Brennstoffmengen Hackschnitzel, Waldholz, und Straßenbegleitgrün berechnet. Zusätzlich werden die benötigten Forstflächen und Straßenkilometer für die eingesetzten Brennstoffe bestimmt.

Tabelle 12: Auslegung eines Heizkraftwerkes mit einer Kapazität von 5,8 MW_{el}, Variation der Einsatzstoffe, nach [9]

2.3 Heizkraftwerke (inst. Leistung 5.800 kW _{el})			
Quelle:			
Hoffstede, Uwe; Beil, Michael (Mitarb.); Kasten, Julia (Mitarb.); Beyrich, Wiebke (Mitarb.); Holzhammer, U. (Mitarb.); Krautkremer, Bernd (Mitarb.); Hahn, Henning (Mitarb.); Stelzer, Manuel (Mitarb.) : Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz : Teilvorhaben II a: Biomasse. Berlin, 8.5.2019			
Basisdaten	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
installierte elektrische Leistung [kW _{el}]	5.800	5.800	5.800
Bemessungsleistung [kW _{el}]	4.350	4.350	4.350
Jahresvollaststunden [VLH/a]	6.570	6.570	6.570
jährliche Stromproduktion [kWh _{el} /a]	38.106.000	38.106.000	38.106.000
jährliche Wärmeproduktion [kWh _{th} /a]	57.987.391	57.987.391	57.987.391
jährlicher Stromerlös [€]	6.127.445	6.127.445	6.127.445
jährlicher Wärmeerlös [€]	1.449.685	1.449.685	1.449.685
elektrischer Wirkungsgrad EKT [%]	23,0	23,0	23,0
thermischer Wirkungsgrad EKT [%]	35,0	35,0	35,0
eingesetzte Brennstoffe	Szenario 1 forstliche Biomasse 33% Mischwald 33% Nadelwald 33% Laubwald	Szenario 2 Landschaftspflege 50% Straßenbegleitgrün 50% Feldgehölz	Szenario 3 gemischt 66% Mischwald 17% Feldgehölz 17% Straßenbegleitgrün
Heizwert der Brennstoffmischung [kWh/t FM]	3.069	2.593	2.907
Brennstoffbedarf gesamt [t FM/a]	54.412	64.408	57.443
Hackschnitzel, Buche, beschränkt lagerf.	18.137	-	
Hackschnitzel, Fichte, beschränkt lagerf.	18.137	-	
Hackschnitzel, 50/50 Mix, beschränkt lagerf.	18.137	-	37.913
Hackschnitzel, sommetr., Straße	-	32.204	9.765
Hackschnitzel, sommetr., Hecken	-	32.204	9.765
Flächenbedarf für Brennstoffgewinnung [ha]	54412 ha	0 ha	37913 ha
Hackschnitzel, Buche, beschränkt lagerf.	18.137	-	
Hackschnitzel, Fichte, beschränkt lagerf.	18.137	-	
Hackschnitzel, 50/50 Mix, beschränkt lagerf.	18.137	-	37.913
Hackschnitzel, sommetr., Straße	-	32.204	9.765
Hackschnitzel, sommetr., Hecken	-	32.204	9.765
benötigte Straßenkilometer [km]	0 km	64408 km	19531 km

1.5.2 AS 2.2: Räumlich optimierter Ausbau Nahwärme Netze (IEE)

Es wurden in AS 2.2 diverse Optimierungsverfahren inklusive Nutzungskonkurrenzen zwischen Wärme und Gas auf Basis einer Dissertation [19] untersucht, inwiefern ein räumlich optimierter Ausbau der Nahwärme erfolgen kann. Maßgeblich ist bei einer Bioenergieanlage in der Regel aber die Länge der Leitung, die möglichst gering sein sollte und die Anzahl von Kunden bzw. Abnahmemengen, die möglichst groß sein sollten. Da die Abschätzung der Abnahmemenge schwierig ist, hat man sich in den weiteren Betrachtungen auf die Kosten des Nahwärmenetzes konzentriert und entsprechende Berechnungsformeln erstellt. In diesen Berechnungen wird auf Grundlage eines Variantenvergleichs die optimale Wärmeleitungslänge und deren Wärmeverluste ermittelt.

1.5.3 AS 2.3: Transport Wege Biomasse (IEE)

Es wurden in AS 2.3 diverse Optimierungsverfahren basierend auf [20] untersucht, inwiefern die Transportwege zur Lieferung der Biomasse optimiert werden können. Für die Berechnung des Aufwands wurde in der Software ein einfaches Verfahren entwickelt. In dieser Berechnung sollten auf Grundlage der Ernteerträge der Feldfrüchte (Stroh und Biogas), des Waldrestholzes sowie der Gülle- sowie Mistträge, und mit Hilfe des Fahrzeugtyps und der eingezeichneten Transportstrecken folgende Parameter berechnet werden:

- Anzahl der Fahrten
- Länge der Strecke
- Gesamtlänge des Transportweges
- Energiebedarf für Transport

In EnergyExpert wählt der Anwender die zu transportierende Biomasse (z.B. Landw. Biomasse Stroh) und kartiert die Wegestrecke von der Anbaufläche zur Bioenergieanlage. Die Länge der Wegestrecke wird direkt nach der Kartierung in der Karte in km angezeigt. Auf Basis von Parameterannahmen für durchschnittliche Lademenge und Spritverbrauch pro transportierter Tonne auf einem Kilometer werden die oben genannten Parameter errechnet.

1.5.4 AS 2.4: Bewertung der Potenziale (IEE)

Die Nutzung von landwirtschaftlicher Biomasse steht unter dem Vorbehalt von Nutzungskonkurrenzen für die Lebensmittelproduktion. Um die Auswirkungen von energetischer Biomassennutzung aus der Landwirtschaft zu untersuchen wurde in AS 2.4 ein Verfahren für die Auswertung von Nutzungsänderungen in der Landwirtschaft erarbeitet.

Für den Landkreis Marburg-Biedenkopf werden exemplarisch für alle landwirtschaftlich genutzten Flächen der ‚Normalized Difference Vegetation Index‘ (NDVI) der letzten 5 Jahre bestimmt. Der NDVI ist ein bekannter Vegetationsindex (VI) zur Quantifizierung der grünen Vegetation. Er normalisiert die Streuung grüner Blätter im nahen Infrarot und die Chlorophyllabsorption im roten Bereich. Er berechnet sich aus:

$$NDVI = \frac{\text{nahe Infrarot} - \text{Rot}}{\text{nahe Infrarot} + \text{Rot}}$$

Als Datenquelle dienen die optischen Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-2. Auf Basis der NDVI Zeitreihen wird qualitativ überprüft wie sich landwirtschaftlich Anbau seit Inbetriebnahme der lokalen Biomasseanlagen verändert hat. Dies ermöglicht Rückschlüsse auf mögliche Konkurrenzsituationen oder Synergien zwischen Nahrungsmittelanbau und Energiepflanzen. Nachfolgende Abbildungen zeigen die Veränderung des NDVI exemplarisch für einige Agrarflächen in Kreis Marburg-Biedenkopf.

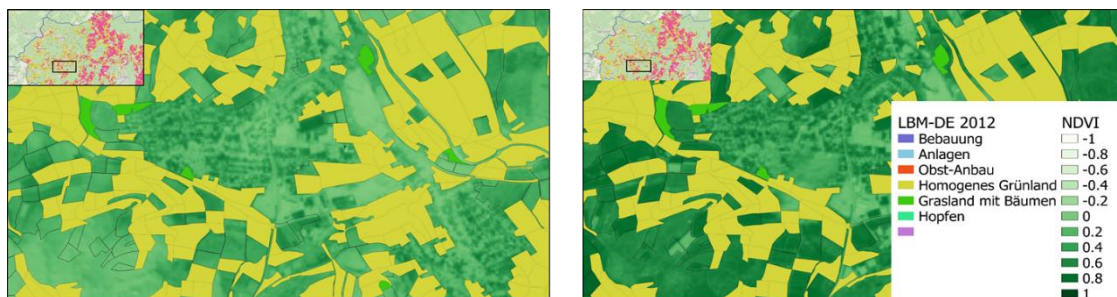


Abbildung 15: NDVI Berechnung Mai 2017 (rechts) und Juni 2018 (links) für einige Agrarflächen im Kreis Marburg-Biedenkopf

Als Grundlage für die räumliche Eingrenzung der landwirtschaftlichen Flächen wird das digitale Landbedeckungsmodell des BKG (LBM-DE) mit Stand 2012 verwendet. In Abbildung 15 sind die Umrisse der Ackerflächen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Vegetation auf den Ackerflächen im Juni 2018 üppiger ausgefallen ist als im Mai 2017. Die Veränderungen des NDVI werden nachfolgen als NDVI Zeitreihen qualitativ überprüft, indem die ausgewerteten NDVIs geclustert und über die typischen Vegetations- und Erntezeitpunkte die Ackerfrüchte zugeordnet

werden. Hierbei werden die für die Biogassubstrate relevanten Ackerfrüchte priorisiert. Die Analyse erlaubt eine detaillierte Betrachtung der angebauten Feldfrüchte seit 2015 und damit eine Abschätzung des Biomassepotenzial sowie die Identifikation möglicher Nutzungskonkurrenzen für die Lebensmittelproduktion.

Deutschlandweit hat sich das Flächenpotenzial für den Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen und Heizkraftwerke auf ein stabiles Niveau entwickelt. Pflanzen für Biogasanlagen verfügen über eine Anbaufläche von rund 1,5 Mio. Hektar. Festbrennstoffe wie Miscanthus oder Pappeln in Kurzumtriebsplantagen werden auf einer Fläche von 11.000 ha produziert [21]. Dem steht eine Fläche von 11,4 Mio Hektar Wald gegenüber, welche zu mehr als 95 % bewirtschaftet ist [22]. Die entnommenen Energieholzmengen sind in Abbildung 10: Holzeinschlag nach Nutzung des Holzes; [7]“ dargestellt. Die Potenziale von Abfallvergärungsanlagen zeigt die Abbildung 9: Entwicklung der Bioguterfassung und der Vergärungskapazität für Bio- und Grüngut in Deutschland seit 1990 sowie die Prognose der weiteren Entwicklung, [6]“.

Neben der landwirtschaftlichen und der forstlichen Biomasse könnten auch Bioabfälle und Gartenabfälle aus den Haushalten verstärkt einer energetischen Nutzung zugeführt werden.

Um die Potenziale beispielhaft für den Landkreis Marburg-Biedenkopf zu ermitteln wurde eine Masterarbeit [23] abgeschlossen. Die Arbeit bestimmte nicht nur die Mengen der organischen Fraktion im Hausmüll und Hausmüll ähnlichem Gewerbeabfall, sondern nahm auch insbesondere die Problematik von Fehlwürfen in den verschiedenen Sammelsystemen in den Blick und die damit einhergehenden Verluste an stofflichem und energetischem Potenzial. Ziel dieser Arbeit war es, auf Basis einer Fremdstoffanalyse, verschiedene Szenarien zur Reduktion von Kosten sowie Fremdstoffen zu betrachten. Anhand einer Stoffstromanalyse sowie einer Kosten-Nutzen-Analyse wurden Daten zu verschiedenen Szenarien berechnet, um in einer anschließenden Bewertungsmatrix Handlungsalternativen zum Status Quo näher betrachten zu können. Der Fokus dieser Arbeit lag nicht auf möglichen technischen Maßnahmen, wie der Optimierung der Aufbereitungsverfahren z.B. durch Windsichtung, sondern in der langfristigen Verbesserung aus Sicht des Bioabfalls als Wertstoff, sowohl in der stofflichen, wie auch in der energetischen Nutzung. Um die Performance der betrachteten Biogut Vergärungs- und Kompostierungsanlage in Kirchhain-Stausebach technisch und ökonomisch zu verbessern wurden zwei Modelle mit getrennter Erfassung holziger und nicht-holziger organischer Abfälle ausgearbeitet.

Neben den Bioenergie-Potenzialen wurden in AS 2.4 auch Algorithmen zur Abschätzung der Wärmebedarfspotenziale entwickelt.

Der Wärmebedarf der Gebäude in einem Beratungsgebiet wird anhand von Baualtersklassen, Gebäudetypen und Wohnflächengrößen errechnet. Diese Werte werden aus den Zensus-Daten des Beratungsgebiets entnommen. Der Wärmebedarf wird in Nutz-, Heiz- und Warmwasser aufgeschlüsselt dargestellt. Die spezifischen Wärmebedarfe für die Beheizung der Gebäude und die Trinkwarmwasserbereitung orientieren sich an den Berechnungen der Ruhr-Universität Bochum aus deren Publikation zu deutschen Gebäudetypologien[24], deren Daten auf der IWU-Typologie basierten. Es wird die gesamte Wohnfläche der Kachel in m² ausgerechnet. Die Größe der Wohnflächen ist in verschiedene Kategorien aufgeteilt (z.B. 60- 69 m², 70-79m²). Jeder Kategorie ist eine Anzahl zugeordnet. Für die Berechnung wird immer der maximale Wert (69m², 79m², etc.) angenommen. Dann wird die Wohnfläche prozentual auf die Baualtersklassen aufgeteilt. Der Heiz- und Nutzwärmebedarf wird anhand des häufigsten Gebäudetyps innerhalb der Kachel sowie der errechneten Wohnfläche jeder Baualtersklasse bestimmt. Ist kein Gebäudetyp angegeben, wird der Typ "Reihenhaus" angenommen. Dieser Gebäudetyp liegt ungefähr zwischen den Heiz- und Nutzwärmewerten der anderen Gebäudetypen. Die errechnete Wohnflächengröße der gesamten Kachel sowie der errechnete Nutz-, Heiz- und Warmwasserwärmebedarf werden im Attributdialog jeder einzelnen Kachel abgebildet. Beim Klick des Anwenders/der Anwenderin auf die Berechnungsschaltfläche im Gesamtbilanzreiter werden abschließend alle Ergebnisse der Kacheln für das gesamte Beratungsgebiet aggregiert.

1.6 Arbeitspaket 3

Meilensteine:

1. Abbildung Technologiemodule im GIS - PM 10
2. Abbildung Referenzquartier / Stadt 1 im GIS - PM 12
3. Anpassung Technologiemodule / Parameterstudien - PM 18
4. Abbildung Referenzquartier 2 im GIS - PM 24
5. Fertigstellung Szenarien im GIS - PM 30

1.6.1 AS 3.1: Festlegung der Optimierungsalgorithmen (IEE)

Die Prüfung möglicher Ansätze für die Berechnung von Optimierungsalgorithmen hat in AS 3.1 ergeben, dass die gemischt ganzzahlig-lineare Programmierung (engl. Mixed integer-linear programming, abgekürzt MILP) ein in der Einsatz- und Investitionsoptimierung etabliertes Verfahren ist. Dabei wird das Energiesystem mit seinen technischen, betrieblichen, wirtschaftlichen und regulatorischen Relationen und Randbedingungen durch einen Satz an Gleichungen und Ungleichungen repräsentiert, und die zu optimierende Größe wird durch eine Zielfunktion ausgedrückt. Als Solver können z.B. Gurobi oder CPLEX eingesetzt werden, um solche MILP-Modelle mit einem hochdimensionalen Variablenraum effizient zu lösen. Je nach Solver-Parametrisierung entsprechen die Lösungen dabei den globalen Extrema der Zielfunktion. Damit ist es möglich, globale Optima des betrachteten MILP-Modells mathematisch abgesichert zu identifizieren. Je nach Aufgabenstellung können verschiedene Zielfunktionen betrachtet werden, wie etwa der Deckungsbeitrag in der Fahrplanoptimierung eines Systems, oder der Kapitalwert in der Investitionsoptimierung eines Portfolios.

Es gibt zahlreiche Softwarelösungen zur mikroökonomischen Optimierung von Energiesystemen, die teilweise auch open source zur Verfügung stehen (z.B. das Open Energy Modelling Framework). microSCOPE und investSCOPE sind zwei vom Fraunhofer IEE entwickelte Optimierungswerkzeuge, mit denen Energiesysteme effizient als MILP-Modelle formuliert, mit Daten gespeist, gelöst und nach der Optimierung ausgewertet werden können.

microSCOPE adressiert die Fahrplanoptimierung von Energieanlagen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Es stellt die Deckung von Lasten sicher, bilanziert Anfahr- und Betriebskosten, sowie Erlöse aus Energieverkäufen und Prämien, und maximiert dabei die Deckungsbeiträge des Anlagenbetriebs über optimale Kurzfristfahrpläne.

Eine gute Ergänzung für die Aufgaben in GeoOPT-bio ist investSCOPE. Dieses Tool adressiert die Investitionsoptimierung von Energieanlagenportfolios im optimierten Betrieb. Das Pfadoptimierungstool unterstützt Investitionsentscheidungen, indem es optimale Technologien, installierte Kapazitäten und optimale Investitionszeitpunkte ermittelt und dabei den Kapitalwert maximiert. In die Barwertberechnung fließen die Investitionskosten, fixe und variable Betriebskosten, Investitionszuschüsse und Betriebsprämien sowie die Erlöse aus dem Energieverkauf ein. Zur Reduktion der Komplexität von Investitions-Optimierungsproblemen werden in investSCOPE Stützjahre, sowie Zeitreihen-Clustering-Methoden für die Generierung von Typzeiträumen eingesetzt.

Bisher wurden diese Tools maximal für Quartiersprojekte eingesetzt. Da der Optimierungskern, der microCore allerdings auch für das virtuelle Kraftwerk „iee.vpp“ des Fraunhofer IEE verwendet wird, sind auch die Berechnungen für ganze Regionen mit sehr vielen Anlagen möglich. Über die Optimierungsmodellsprache Pyomo kann dieser Optimierungskern eine Vielzahl an MILP-Solvern ansprechen, neben den bereits genannten kommerziellen Solvern Gurobi und IBM CPLEX, auch den Open-Source Solver GPLK.

Eine detaillierte Analyse der vorhandenen Algorithmen der untersuchten Tools hat ergeben, dass die Wärmebedarfe bisher nur für einzelne Gebäude in Form von Wärmelastprofilen abgebildet wurden. Durch die Entwicklung geeigneter Algorithmen zur Abschätzung der Wärmebedarfe ganzer Regionen konnte hier aber auch Abhilfe geschaffen werden. Eine Einbindung der angepassten Optimierungsalgorithmen in Energy Expert war innerhalb des Budgets nicht mehr

möglich. Prinzipiell hätten so aber auch die in AS 3.4 angestrebten Transformationspfade und Entwicklungsszenarien analysiert werden können. Diese Einbindung kann aber in Folgeprojekten noch umgesetzt werden.

1.6.2 AS 3.2: Bezüge und Randbedingungen der Geodateninfrastruktur (IEE)

Es wurden in AS 3.2 die Bezüge und Randbedingungen der Geodateninfrastruktur untersucht und deren Einbindung in die vorhandenen Optimierungsverfahren erfolgreich geprüft.

Die Einbindung der berechneten Bioenergie-Potenziale der Software in die Optimierungsalgorithmen aus AS 3.1 konnte im Projektzeitraum aus Budgetgründen aber nicht mehr realisiert werden.

1.6.3 AS 3.3: Anwendungsquartiere / -zonen in den Referenzkommunen (IEE)

Als Referenzquartier 1 und Stadt 1 wurde die Stadt Wolfhagen ausgewählt, die auch zur Validierung der Berechnungsformeln aufgrund vorheriger gemeinsamer Projekte mit dem Fraunhofer IEE und Intend sehr gut geeignet ist (Quellen siehe im Kapitel „Stand der Technik“). Die Validierung der Zensus-Daten für den Wärmebedarf der Stadt Wolfhagen hat gegenüber Vergleichsdaten einer Masterarbeit [25] des Fraunhofer IBP ergeben, dass der Wärmebedarf etwa 20 % über den Daten aus der Masterarbeit lag. Mitglieder des Begleitkreises haben bestätigt, dass auch die Schornsteinfeger-Daten in der gleichen Größenordnung abweichen, die die Landkreise für den Wärmebedarf bezüglich der CO₂-Bilanzierung verwenden.

Darüber hinaus wurde als zweites Referenzquartier Hommertshausen im Landkreis Marburg/Biedenkopf ausgewählt, das von Mitgliedern des Lenkungskreises mit Unterstützung durch INTEND in der Software abgebildet wurde.

In einer gemeinsamen Diskussion wurden für eine Biogasanlage und ein Heizkraftwerk der Biomassebedarf abgeschätzt. Die Fragestellung der ersten Analyse lag auf der Größe der benötigten landwirtschaftlichen Fläche, um eine Biogasanlage auszulegen. Bekannte Größen waren die Rinderanzahl und das Beimischungsverhältnis/-art. Durch Veränderung der Flächengrößen in EnergyExpert und anschließender Neuberechnung des Ertragswertes konnte der etwaige Flächenbedarf ermittelt werden.



Abbildung 16: Beispiel 1: Abschätzung Biomassefläche für eine Biogasanlage

Im zweiten Beispiel galt es die Menge an forstlicher Biomasse abzuschätzen, die für ein potenzielles Heizkraftwerk zur Versorgung eines Schulkomplexes benötigt wird. Diesmal ausgehend von dem Wärmebedarf der Gebäude wurde die Fläche bzw. der Ertrag von einer Laub- und Nadelwaldkombination betrachtet.

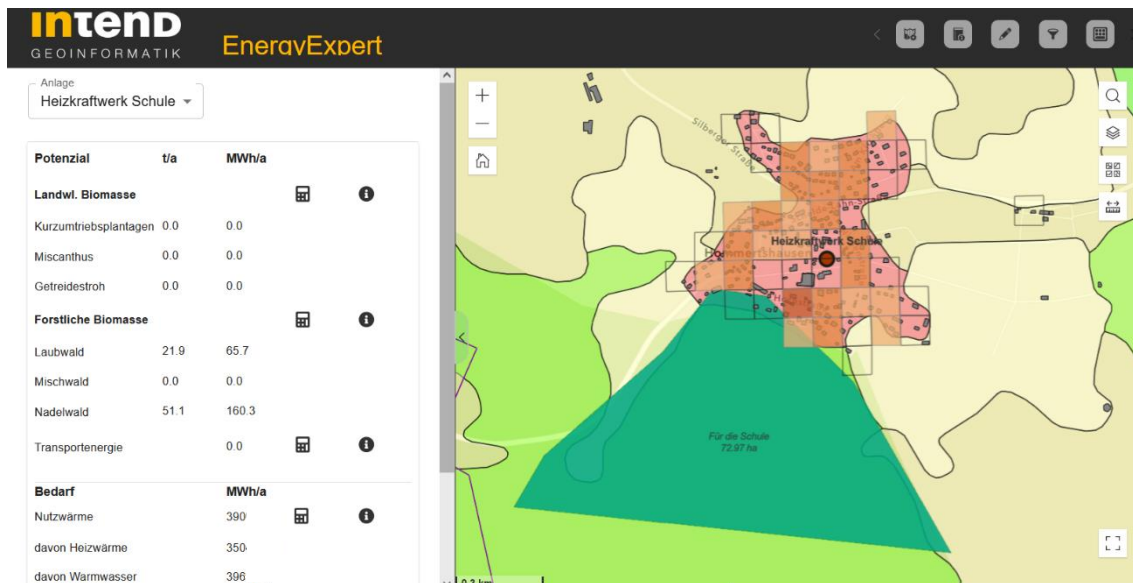


Abbildung 17: Beispiel 2: Abschätzung forstl. Biomasse für ein Heizkraftwerk

Weitere Untersuchungen erfolgten in der Software für die Gebiete: Werra-Meißner-Kreis, Hessisch-Lichtenau, Erfurtshausen, Staubeach und Rüdighelm.

1.6.4 AS 3.4: Transformationspfade und Entwicklungsszenarien (IEE)

Als Grundlage zur Überprüfung der Anwendbarkeit und Übertragbarkeit von Biomasse-Strom-Wärme-Systemen wurde für die Arbeiten in AS 3.4 eine Masterarbeit in Auftrag gegeben. Ziel der Arbeit war es, die Grundlagen und Rahmenbedingungen für eine gemeinschaftliche Wärmeversorgung auf der Basis von holziger Biomasse zwischen der Gemeinde und lokalen Landwirten aufzuzeigen. Dafür wurden energetische, technische und rechtliche Informationen zusammengetragen. Außerdem wurde untersucht, worin die Motivation bei den Bürgern und Landwirten liegen könnte, wo Hemmnisse einer Umsetzung eines solchen Energiekonzeptes im Weg stehen und welche Bedingungen zusätzlich geschaffen werden müssten. Gerade in ländlichen Regionen wird nach Lösungen gesucht, die vorhandenen Holzigen Abfälle zu beseitigen oder in ein Nachnutzungskonzept integrieren zu können.

Der angestrebte ganzheitliche Ansatz, also die Kombination aus Strom, Wärme und Mobilität, konnte innerhalb des Budgets nicht umgesetzt werden. Prinzipiell ist die Software aber in der Lage, diverse Transformationspfade und Entwicklungsszenarien zu erstellen und zu vergleichen.

Die Beschreibung des Szenario-Managers erfolgt in AS 4.2.

1.7 Arbeitspaket 4

Meilensteine:

1. Definition der zu erstellenden Auswertungen in PM 13
2. Definition der Anzeige Instrumentarien in PM 21
3. Implementierung der Darstellung an der Oberfläche in PM 27

1.7.1 AS 4.1: Anpassung der Visualisierungen (INT)

EnergyExpert ermöglicht Schätzungen zum theoretischen Energiepotenzial von Bioenergieanlagen für eine Gemeinde bzw. ein Betrachtungsgebiet. Zusätzlich kann der Wärmebedarf für das Betrachtungsgebiet abgeschätzt werden. Für die Implementierung des Prototyps EnergyExpert wurde meist der Raumbezug auf eine Gemeinde festgesetzt.

Die ersten Abschätzungen für Energiepotenzial und Wärmebedarf basieren auf frei verfügbaren Statistiken und Landnutzungsdaten. In selbst angelegten Szenarien können außerdem Potenziale und Bedarfe über eine nutzerspezifische Dateneingabe konkretisiert werden.

Das Design von EnergyExpert bietet eine intuitive GUI (Graphical User Interface). Augenfälliger Schwerpunkt liegt rechts auf der kartografischen Darstellung der statistischen und individuellen Biomassenpotenziale bzw. dem Wärmebedarf. Dem gegenüber wurde die mathematische Aufbereitung der Berechnungsergebnisse platziert. Ebenfalls linksseitig unter den Bilanzergebnissen befindet sich die Generierung der Ergebnisdarstellung in Form eines Reports. Die Ausgabe als PDF ermöglicht sowohl einen Ausdruck als auch eine Weiterverwendung der Ergebnisse in anderen Programmen. Der Report kombiniert die zentralen Ergebnisse aus der Karten- und Bilanzdarstellung.

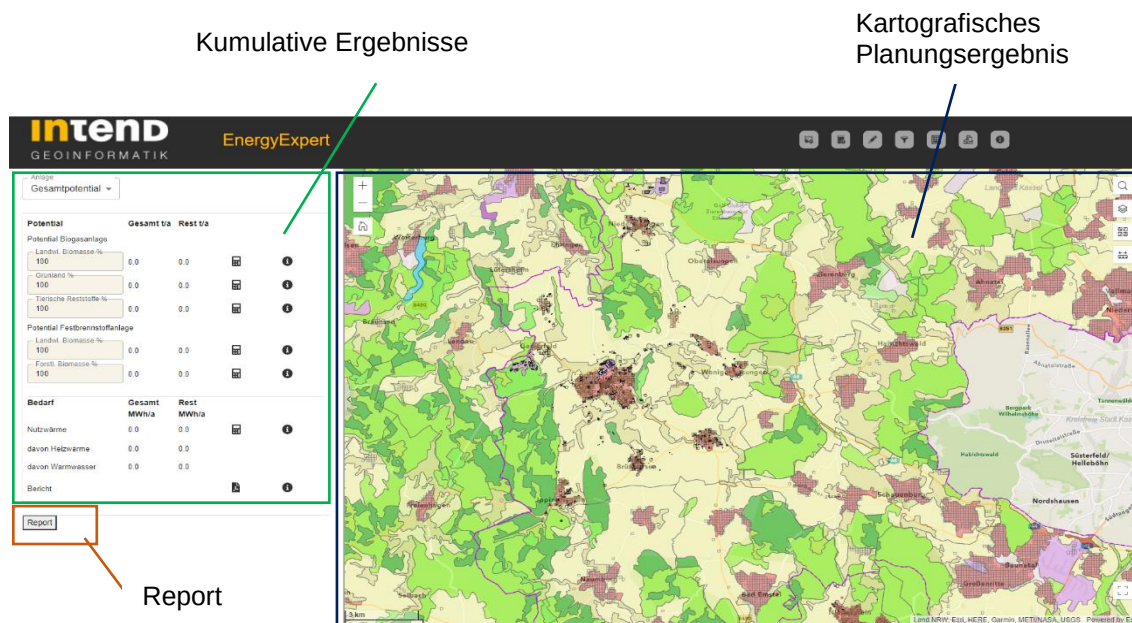


Abbildung 18: Web-App EnergyExpert

1.7.2 AS 4.2: Einfügen von interaktiven Visualisierung Mechanismen (INT)

Für die intuitive und interaktive Bilanzierung und Biomasseabschätzung kommen eine Vielzahl von Visualisierungsmechanismen zum Tragen. Übergeordnetes Ziel bei der Beratung eines Gebietes ist die kontinuierliche Optimierung von Bedarf und Potenzial mit dem Fokus zwischen den beiden Kontrahenten ein austariertes Verhältnis zu erreichen.

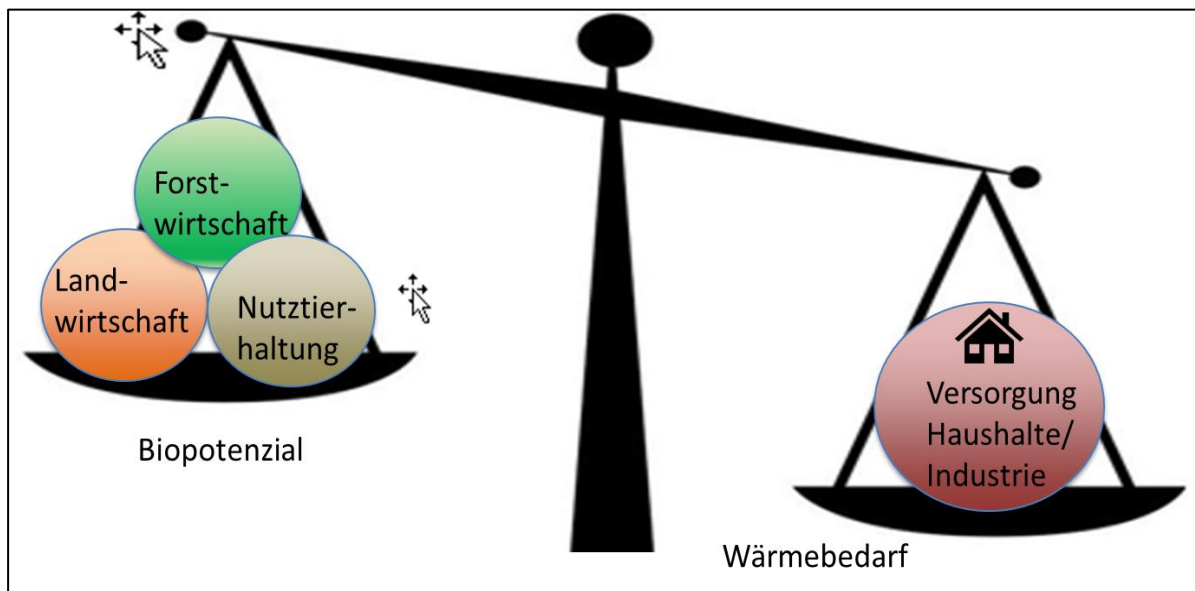


Abbildung 19: Strategisches Anwendungsschaubild von EnergyExpert

Der eigentlichen Analyse vorgeschaltet ist der Aufruf der Website und die Anmeldung an ArcGIS Online mit den individuellen Anmeldedaten des Beraters bzw. des Betrachters. Die Authentifizierungserlaubnis für den Einsatz von EnergyExpert wurde über eine administrative Anpassung der Metadaten eingerichtet. Innerhalb der Metadaten wird auch die Zuweisung der Beratungsgebiete zu einem Berater festgelegt. Zu Beginn einer Analyse wählt der Berater zunächst ein Beratungsgebiet und ein Szenario aus.

Das Bild zeigt ein Software-Fenster mit dem Titel 'SzenarioManager'. Innerhalb des Fensters gibt es zwei Hauptauswahlbereiche. Der erste Bereich ist mit 'Beratungsgebiet' beschriftet und zeigt eine Textbox mit dem Inhalt 'Wolfhagen'. Der zweite Bereich ist mit 'Szenario' beschriftet und zeigt eine Dropdown-Liste mit der Auswahl 'Präsentation Biogas - 1'. Unter diesen Auswahlmöglichkeiten befinden sich zwei graue Schaltflächen: 'ARCHIVIEREN' und 'LÖSCHEN'.

Abbildung 20: Auswahl eines Beratungsgebietes und Szenarios

Szenarienauswahl

Für ein Beratungsgebiet können ein oder mehrere Szenarien angelegt, archiviert und jederzeit zur Ergebnisauswertung wieder aufgerufen werden. Kennzeichen eines Szenarios ist die Festlegung der Potenzialauswahl und der zu betrachtende Bedarf.

Szenario WOH01 1 archivieren

Um ein Szenario archivieren zu können, geben Sie im folgenden ein Namen für das neue Szenario ein.

Szenario *

Szenario 1 Biogas für Bürgerversammlung

ABBRECHEN ARCHIVIEREN

Abbildung 21: Archivierung eines Szenarios

Szenarioerstellung

Für eine Szenarioerstellung ist die individuelle gutachterliche Datenerhebung z.B. durch einen Berater nötig. Realisiert werden kann dies primär über den Einsatz der Editierfunktionen. Alle in einem GIS-System zu erwartenden Standardeditierverfahren sind in EnergyExpert implementiert.

Bearbeiten

< Feature-Typ auswählen

Anlagen

☒ Biogas

☐ Festbrennstoff

Landwirtschaftliche Betriebe

☐ Landw. Betriebe

Transportstrecken

☒ LKW Grünland

☐ LKW Festmist

☐ LKW Gülle

Abbildung 22: Auszug für die Geoobjektauswahl in der Erfassung

Darunter zählt die Bearbeitung von Punkt-, Linien- und Flächengeometrie und die damit verbundenen Aktionen wie Erstellung, Löschen und Modifikation von existierenden Geometrieobjekten. Über das Editier-Widget können alle relevanten Biomassepotenziale sowie Anlagen, Wärme- und Transportwege geplant werden.



Abbildung 23: Beispiel für erfasste und in Erfassung befindliche Geoobjekte

Popup-Dialoge

Für alle Themen seitens EnergyExpert wurde ein Popup-Dialog konfiguriert. Durch diesen Aufruf erhält der Berater alle relevanten Informationen, die zu einem Geoobjekt hinterlegt sind in Form einer textlichen Beschreibung und der dazugehörigen Attributausprägung.

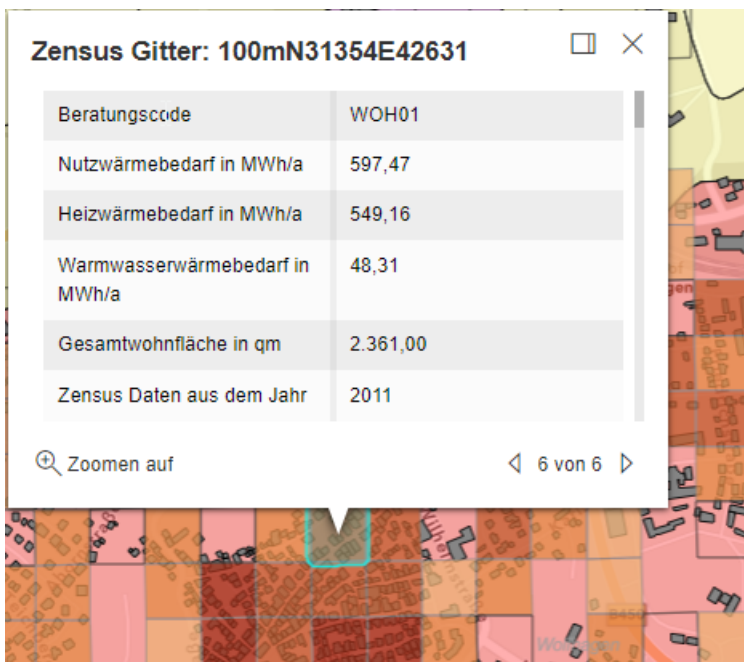


Abbildung 24: Beispiel für die Attributanzeige anhand eines Zensus-Gitters

Bilanz-Widget

Der Kern von EnergyExpert ist die summarische Ergebnisdarstellung in einem Bilanzdialog. Jede Auswertung kann für sich über das Rechnersymbol ausgeführt werden. Dabei gilt es zwei unterschiedliche Potenzialbetrachtungen zu differenzieren: Zum einen gibt es die gebietsspezifische Betrachtung der Datenbasis auf frei verfügbaren, statistischen z.T. auch räumlichen Daten basierend (siehe AS 1.3), zum anderen die spezialisierte Betrachtung, die auf Grundlage spezieller dem Berater vorliegenden Daten beruht.

Die Option der prozentualen Reduzierung von für jede Biomassekategorie in der Ansicht des Gesamtpotenzials, entstand aus der Überlegung die Nutzungskonkurrenz in einem Beratungsgebiet zu berücksichtigen und pragmatisch einzupflegen.

Anlage
 Gesamtpotenzial ▼

Potenzial	Gesamt t/a	Rest t/a		
Potenzial Biogasanlage				
Landwl. Biomasse %				
100	12699.0	11876.4		
Grünland %				
100	3693.8	3314.2		
Tierische Reststoffe %				
100	61166.9	61166.9		
Potenzial Festbrennstoffanlage				
Landwl. Biomasse %				
100	9961.8	9961.8		
Forstl. Biomasse %				
100	3719.2	3719.2		
Bedarf				
	Gesamt MWh/a	Rest MWh/a		
Nutzwärme	125993.5	125993.5		
davon Heizwärme	119286.5	119286.5		
davon Warmwasser	6707.0	6707.0		

Abbildung 25: Beispiel Gesamtpotenzial-Widget

Analog zur Gebietsbetrachtung (z.B. eine Gemeindefläche) kann die Ergebnisermittlung auch für ein spezielle Szenarien für jeweils einen Anlagentypus (Biogas oder Festbrennstoff) entworfen werden.

Anlage
 Biogas LW1 ▼

Potenzial	t/a	MWh/a		
Landwl. Biomasse				
Körnermais (CCM)	0.0	0.0		
Silomais	822.6	921.6		
Grünroggen	0.0	0.0		
Grünland	379.6	758.7		
Tierische Reststoffe				
Schweinegülle	0.0	0.0		
Rindergülle	13950.0	2325.5		
Rinderfestmist	4000.0	2096.9		
Transportenergie		0.0		

Abbildung 26: Beispiel Bilanz-Widgetansicht für eine Biogasanlage

Parameter-Widget

Um den regionalen unterschiedlichen Geofaktoren und daraus resultierende Standortbedingungen für die Ertragsabschätzung gerecht zu werden, ermöglicht EnergyExpert die für die Berechnung verwendeten Parameter zu listen und zu modifizieren. Verwendet wurden insgesamt über 70 Parameter. Die Werte werden als gebietsspezifisch angesehen und sind mit dem jeweiligen Beratungsgebiet gekoppelt.

Dokumentation

Mapframe (Karte)

The screenshot shows a web-based map application. A large green polygon represents a field, labeled "Grünland von Betrieb HM" and "26 ha". The map is surrounded by other land parcels in various shades of green and brown. On the left side, there are navigation controls: a zoom in (+) and zoom out (-) button, a home button, and a search bar. On the right side, there are additional controls: a search button, a layer selector, a data layer selector, and a scale bar.

Seite 55

1.7.3 AS 4.3: Methoden zur Veranschaulichung von Daten (IEE)

Vom IEE wurden in AS 4.3 Vorschläge zur Veranschaulichung von Daten in Form eines Ergebnisreports einer Exportfunktion der wichtigsten Daten und insbesondere für das User Interface des Berechnungsprogramms erarbeitet.

Die Umsetzung des Nutzerinterfaces basiert auf den Vorarbeiten aus dem Vorgängerprojekt in Wolfhagen. Dieses wurde um die spezifischen Fragestellungen der Nutzung von Bioenergie erweitert. Die nachfolgende Grafik stellt die Systematik des GeoOPT-bio Systems als Übersicht dar. Es wird angestrebt, das System auf dieser Grundlage aufzubauen.

Das Nutzerinterface dient auf der Ebene der kommunalen Anwender der vereinfachten Dateneingabe, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen. Dabei ist das System von der Datenseite her in mehrere Ebene gegliedert.

Auf der ersten Ebene wird vor allem die Frage untersucht, inwiefern sich die erweiterte Nutzung von Bioenergie für die Kommune lohnt. Hierfür können im wesentlichen Basisdaten verwendet werden, die für jede Kommune als open-source bzw. Statistikdaten vorliegen. Das Ergebnis stellt eine erste einfache SWOT-Analyse dar.

Auf der zweiten Ebene können Kommunen spezifische Daten zur Bedarfsseite und Spezifikationen zur Potenzialseite über eine webbasierte Dateneingabe ergänzen. Das System reichert diese Daten mit detaillierteren Modellen und Auswertungen an, um insbesondere Fragen zu Nutzungskonkurrenzen und der Erschließung der Potenziale zu ermitteln.

Auf der dritten Detaillierungsebene findet die konkrete Standortauswahl sowie der Abgleich zwischen den lokalen Bedarfen und verfügbaren Potenzialen unter Berücksichtigung der Wandlungstechnologien statt. Als Ausblick lässt sich auf dieser Ebene eine wirtschaftliche Einsatzoptimierung anschließen sowie die hierfür sinnvollen Geschäftsmodelle entwickeln.

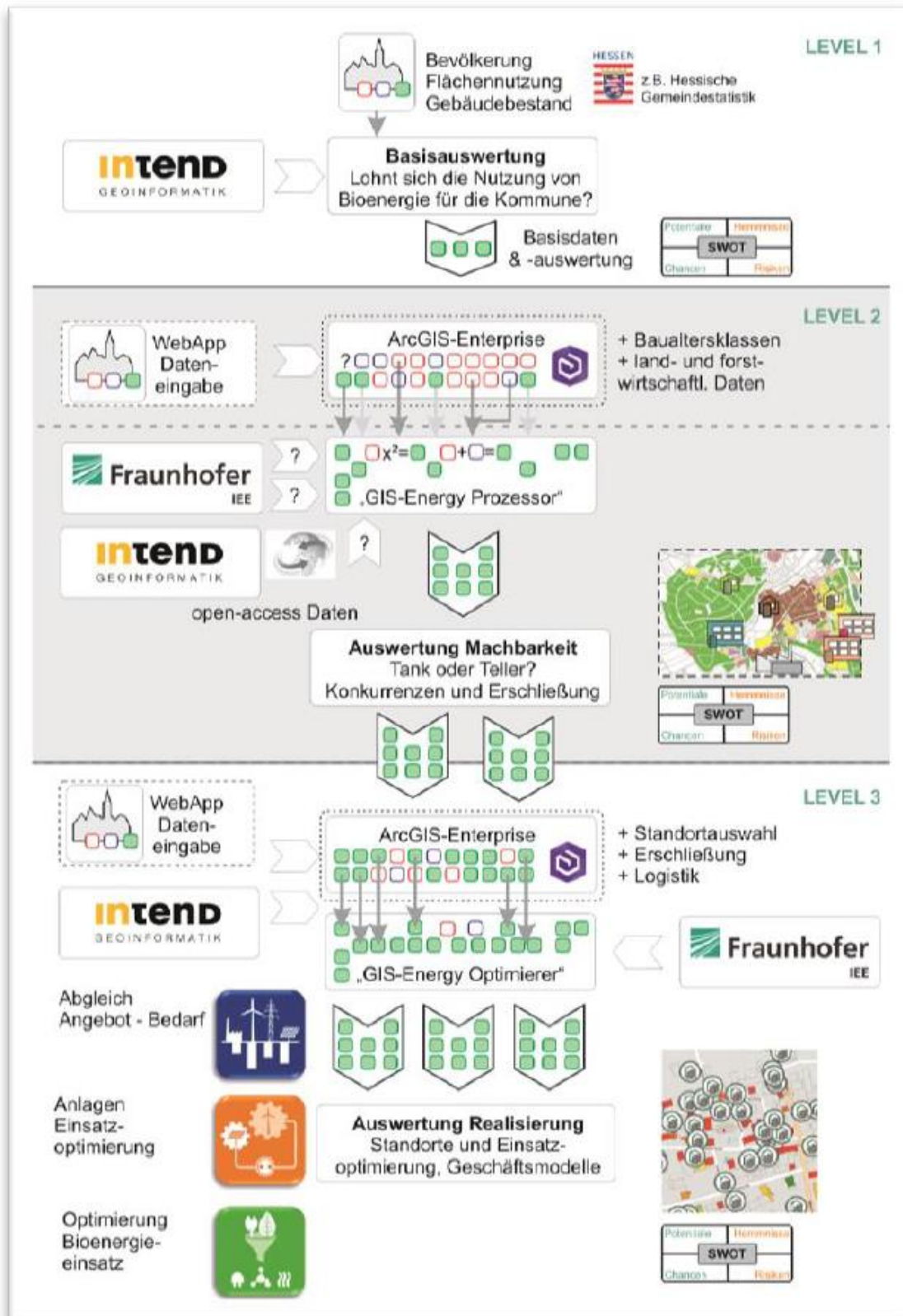


Abbildung 29: Systematik des GeoOPT-bio Systems

1.7.4 AS 4.4: Darstellung der relevanten Themen (INT)

Das Ziel der Kartendarstellung in AS 4.4 war, eine Vielzahl von Themen übersichtlich, von Colorierung und Symbolik ansprechend und im Kontext eindeutig interpretierbar, zu gestalten. Dabei galt es die Gesetzmäßigkeiten der Zeichenvorschriften bei der Reihenfolge der Themen zu beachten. Ergänzt wurde die Darstellung der Geoobjekte durch das Stilmittel der Geoobjekt-Beschriftung. Sowohl das Ein- und Ausblenden von Geometrien als auch von Beschriftungen wurden maßstabsabhängig konfiguriert, d.h. ein Zoom in die Karten bieten einen höheren Detaillierungsgrad der kartographischen Zeichen. Alle hier erwähnten Konfigurationsmöglichkeiten wurden in Kombination genutzt und eine möglichst übersichtliche und auch optisch ansprechende Darstellung zu bieten.

In EnergyExpert ist eine ArcGIS-WebMap integriert. „Eine ArcGIS-Webkarte ist eine interaktive Anzeige geographischer Informationen, die aussagekräftige Informationen liefert und Antworten auf bestimmte Fragen gibt. Karten enthalten eine Grundkarte, verschiedene Daten-Layer (viele davon mit interaktiven Pop-up-Fenstern mit Informationen zu den Daten), eine Ausdehnung und Navigationswerkzeuge zum Schwenken und Zoomen.“ (Webkarten—Hilfe zu ArcGIS Online | Dokumentation).

Für die Grundkarte (Basemap) wurden von Esri aus dem hauseigenen Esri-Living-Atlas diverse Themen integriert, die der Anwender alternativ für seine Hintergrundansicht auswählen kann.

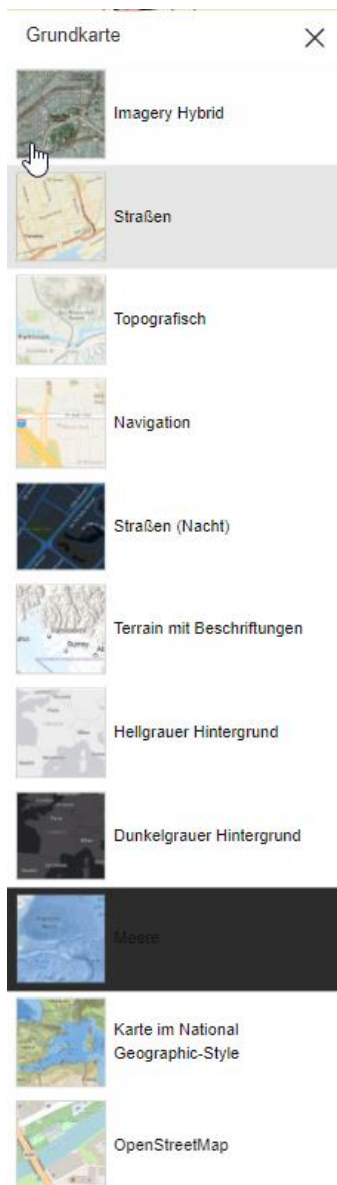


Abbildung 30: Auszug aus den potenziellen Hintergrundkarten

Mit Ausnahme der Grundkarten wurde über ArcGIS Online konfigurativ festgelegt, ob zu einem bestimmten Daten-Layer (thematischen Layer) eine Legende eingeblendet werden kann oder welcher Informationsinhalt dem Anwender zu jedem einzelnen Thema über die Map bereitsteht. Es ist nicht immer trivial eine größere Anzahl von Themen übersichtlich zu gestalten. Aus diesem Grund wurden für die EnergyExpert-WepMap eine Reihe von Filtermöglichkeiten implementiert, die dem Anwender ermöglichen Geoobjekte, die bestimmten vorausdefinierten Kriterien folgen ein- bzw. auszublenden.

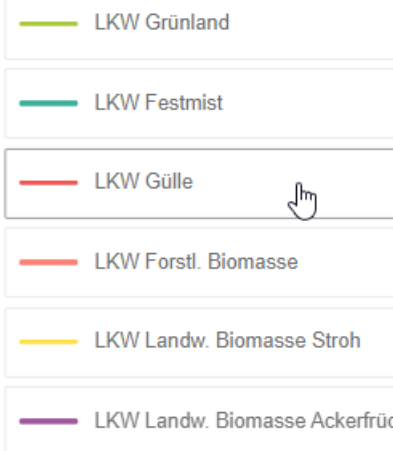
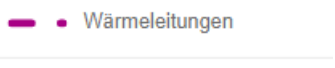
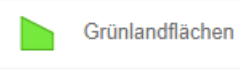
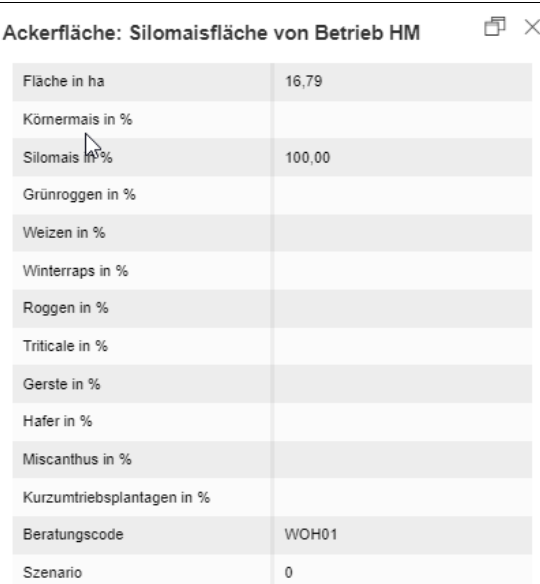
Im Folgenden werden die für EnergyExpert verwendeten Themen und Darstellungen vorgestellt:

Tabelle 13: Darstellung der Thematiken

Thematik	Verwendungszweck									
	Symbolik	Beispiele für Objektinformationen								
Gemeinden	Allg. Orientierung auf der Karte									
										
Landkreise	Allg. Orientierung auf der Karte									
										
Regierungs-bezirke	Allg. Orientierung auf der Karte									
										
Bundesländer	Allg. Orientierung auf der Karte									
										
Staatsgrenze Deutschland	Allg. Orientierung auf der Karte									
										
Corine-Landnutzung	Öffentliche, Aufbereitete Datengrundlage									
	Auszug:	Landnutzung: 311: Laubwälder <table><tr><td>Landnutzungs-kategorie</td><td>311: Laubwälder</td></tr><tr><td>Bemerkung</td><td></td></tr><tr><td>Fläche in ha</td><td>1.341.160,73</td></tr><tr><td>Feldfrucht</td><td></td></tr></table>	Landnutzungs-kategorie	311: Laubwälder	Bemerkung		Fläche in ha	1.341.160,73	Feldfrucht	
Landnutzungs-kategorie	311: Laubwälder									
Bemerkung										
Fläche in ha	1.341.160,73									
Feldfrucht										

Thematik	Verwendungszweck																																	
	Symbolik	Beispiele für Objektinformationen																																
	Landnutzungsklasse 111: durchgängig städtische Prägung 111: nicht durchgängig städtische Prägung 121: Industrie/Gewerbeflächen 122: Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen 123: Hafengebiete 124: Flughäfen 131: Abbauflächen 132: Deponien, Abraumhalden 133: Baustellen 141: Städtische Grünflächen 142: Sport/Freizeitanlagen 211: Nicht bewässertes Ackerland																																	
Beratungsgebiet	Öffentliche Datengrundlage und Beratungsgebietsumriss																																	
	Beratungsgebiet	Beratungsgebiet: WOH01 <table><tr><td>Name des Beratungsgebiets</td><td>Gemeinde Wolfhagen</td></tr><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Berater*In</td><td>Stefanie Sommerfeld</td></tr><tr><td>Gebietsinformation</td><td>Demonstrations- und Validierungsgebiet</td></tr><tr><td>Anzahl der Rinder</td><td>1.591</td></tr><tr><td>Anzahl der Schweine</td><td>2.700</td></tr><tr><td>Fläche Triticale in ha</td><td>128,00</td></tr><tr><td>Fläche Weizen in ha</td><td>12,00</td></tr><tr><td>Fläche Roggen in ha</td><td>47,00</td></tr><tr><td>Fläche Gerste in ha</td><td>753,00</td></tr><tr><td>Fläche Hafer in ha</td><td>50,00</td></tr><tr><td>Fläche Körnermais in ha</td><td>361,00</td></tr><tr><td>Fläche Winterraps in ha</td><td>622,00</td></tr><tr><td>Fläche Grünland in ha</td><td>253,00</td></tr><tr><td>Fläche Grünroggen in ha</td><td>100,00</td></tr><tr><td>Fläche Silomais in ha</td><td>100,00</td></tr></table>	Name des Beratungsgebiets	Gemeinde Wolfhagen	Beratungscode	WOH01	Berater*In	Stefanie Sommerfeld	Gebietsinformation	Demonstrations- und Validierungsgebiet	Anzahl der Rinder	1.591	Anzahl der Schweine	2.700	Fläche Triticale in ha	128,00	Fläche Weizen in ha	12,00	Fläche Roggen in ha	47,00	Fläche Gerste in ha	753,00	Fläche Hafer in ha	50,00	Fläche Körnermais in ha	361,00	Fläche Winterraps in ha	622,00	Fläche Grünland in ha	253,00	Fläche Grünroggen in ha	100,00	Fläche Silomais in ha	100,00
Name des Beratungsgebiets	Gemeinde Wolfhagen																																	
Beratungscode	WOH01																																	
Berater*In	Stefanie Sommerfeld																																	
Gebietsinformation	Demonstrations- und Validierungsgebiet																																	
Anzahl der Rinder	1.591																																	
Anzahl der Schweine	2.700																																	
Fläche Triticale in ha	128,00																																	
Fläche Weizen in ha	12,00																																	
Fläche Roggen in ha	47,00																																	
Fläche Gerste in ha	753,00																																	
Fläche Hafer in ha	50,00																																	
Fläche Körnermais in ha	361,00																																	
Fläche Winterraps in ha	622,00																																	
Fläche Grünland in ha	253,00																																	
Fläche Grünroggen in ha	100,00																																	
Fläche Silomais in ha	100,00																																	
OSM-Gebäude	Öffentliche Datengrundlage: Stand 2020																																	

Thematik	Verwendungszweck															
	Symbolik	Beispiele für Objektinformationen														
	 Gebäude	Gebäude: <table><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Szenario</td><td>0</td></tr><tr><td>Auswertungsrelevant</td><td>Ja</td></tr><tr><td>Baualtersklasse</td><td>1991 - 1995</td></tr><tr><td>Gebäudetyp</td><td>Ein- oder Zweifamilienhaus</td></tr><tr><td>Beheizte Wohnfläche in qm</td><td>1.200,00</td></tr></table>	Beratungscode	WOH01	Szenario	0	Auswertungsrelevant	Ja	Baualtersklasse	1991 - 1995	Gebäudetyp	Ein- oder Zweifamilienhaus	Beheizte Wohnfläche in qm	1.200,00		
Beratungscode	WOH01															
Szenario	0															
Auswertungsrelevant	Ja															
Baualtersklasse	1991 - 1995															
Gebäudetyp	Ein- oder Zweifamilienhaus															
Beheizte Wohnfläche in qm	1.200,00															
Zensusgitter	Öffentliche, aufbereitete Datengrundlage															
	Nutzwärmebedarf in MWh/a  > 1.000 – 3.200  > 500 – 1.000  > 200 – 500  > 1 – 200  0 – 1  Sonstiges	Zensus Gitter: 100mN31346E42641 <table><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Nutzwärmebedarf in MWh/a</td><td>195,11</td></tr><tr><td>Heizwärmebedarf in MWh/a</td><td>181,50</td></tr><tr><td>Warmwasserwärmebedarf in MWh/a</td><td>13,61</td></tr><tr><td>Gesamtwohnfläche in qm</td><td>447,00</td></tr><tr><td>Zensus Daten aus dem Jahr</td><td>2011</td></tr><tr><td>Wohneinheiten insgesamt</td><td>10</td></tr></table>	Beratungscode	WOH01	Nutzwärmebedarf in MWh/a	195,11	Heizwärmebedarf in MWh/a	181,50	Warmwasserwärmebedarf in MWh/a	13,61	Gesamtwohnfläche in qm	447,00	Zensus Daten aus dem Jahr	2011	Wohneinheiten insgesamt	10
Beratungscode	WOH01															
Nutzwärmebedarf in MWh/a	195,11															
Heizwärmebedarf in MWh/a	181,50															
Warmwasserwärmebedarf in MWh/a	13,61															
Gesamtwohnfläche in qm	447,00															
Zensus Daten aus dem Jahr	2011															
Wohneinheiten insgesamt	10															
Anlagen	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte															
	 Biogas  Festbrennstoff	Biogas: Biogas LW1 <table><tr><td>Anlagenname</td><td>Biogas LW1</td></tr><tr><td>Anlagenkategorie</td><td>Biogas</td></tr><tr><td>Anlagentyp</td><td></td></tr><tr><td>Inst. Leistung in kW</td><td>500 kW - mittlere Anlage</td></tr><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Szenario</td><td>0</td></tr></table>	Anlagenname	Biogas LW1	Anlagenkategorie	Biogas	Anlagentyp		Inst. Leistung in kW	500 kW - mittlere Anlage	Beratungscode	WOH01	Szenario	0		
Anlagenname	Biogas LW1															
Anlagenkategorie	Biogas															
Anlagentyp																
Inst. Leistung in kW	500 kW - mittlere Anlage															
Beratungscode	WOH01															
Szenario	0															
Landwv. Betriebe	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte															
	 Landw. Betriebe	Landwirtschaftliche Betriebe: LW Meier <table><tr><td>Name des Betriebs</td><td>LW Meier</td></tr><tr><td>Anzahl Rinder</td><td>500</td></tr><tr><td>Anzahl Schweine</td><td></td></tr><tr><td>Anzahl Sauen</td><td></td></tr><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Szenario</td><td>0</td></tr></table>	Name des Betriebs	LW Meier	Anzahl Rinder	500	Anzahl Schweine		Anzahl Sauen		Beratungscode	WOH01	Szenario	0		
Name des Betriebs	LW Meier															
Anzahl Rinder	500															
Anzahl Schweine																
Anzahl Sauen																
Beratungscode	WOH01															
Szenario	0															
Transportstrecke	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte															

Thematik	Verwendungszweck	
	Symbolik	Beispiele für Objektinformationen
		
Wärmeleitung	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte	
		
Grünlandflächen	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte	
		
Ackerflächen	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte	
		
Forstflächen	(z.B. durch den Berater) zu erfassende Objekte	

Thematik	Verwendungszweck													
	Symbolik	Beispiele für Objektinformationen												
	 Forstflächen	Forstfläche: Gemeindewald Mischwald <table><tr><td>Fläche in ha</td><td>19,87</td></tr><tr><td>Laubwald in %</td><td>20,00</td></tr><tr><td>Nadelwald in %</td><td>30,00</td></tr><tr><td>Mischwald in %</td><td></td></tr><tr><td>Beratungscode</td><td>WOH01</td></tr><tr><td>Szenario</td><td>0</td></tr></table>	Fläche in ha	19,87	Laubwald in %	20,00	Nadelwald in %	30,00	Mischwald in %		Beratungscode	WOH01	Szenario	0
Fläche in ha	19,87													
Laubwald in %	20,00													
Nadelwald in %	30,00													
Mischwald in %														
Beratungscode	WOH01													
Szenario	0													

Im Folgenden wurden exemplarisch drei Ansichten ausgewählt, denen jeweils unterschiedliche Betrachtungsschwerpunkte zu Grunde liegen. Der Anwender kann sich die von ihm gewünschten Layoutkombinationen in Abhängigkeit seines Arbeitsschwerpunktes zusammenstellen.

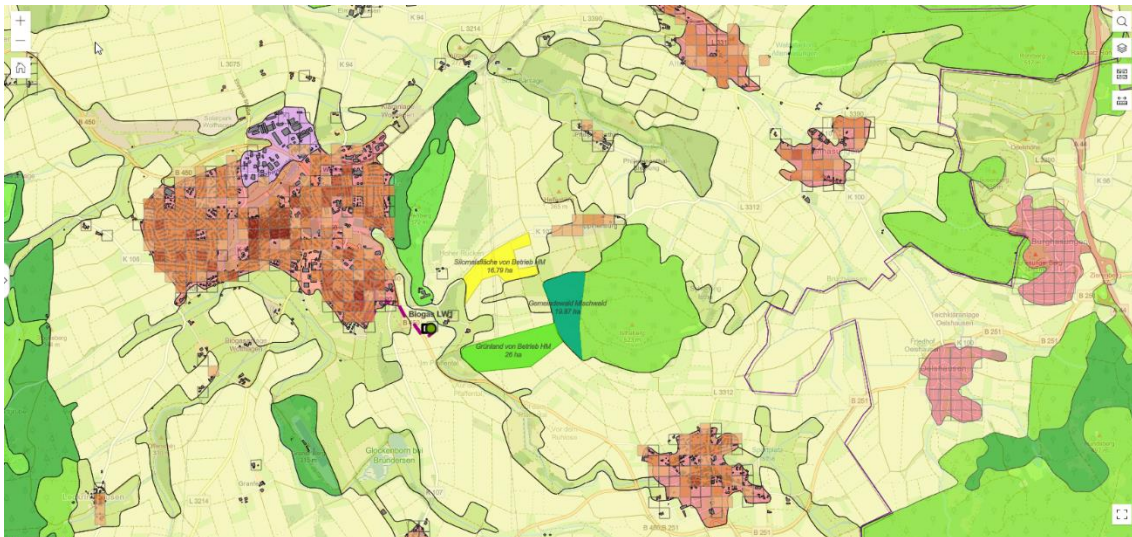


Abbildung 31: Gebietsübersicht für Gesamtpotenzial mit Zensus und Corinedaten



Abbildung 32: Erfassungsansicht auf Basis des Luftbildes

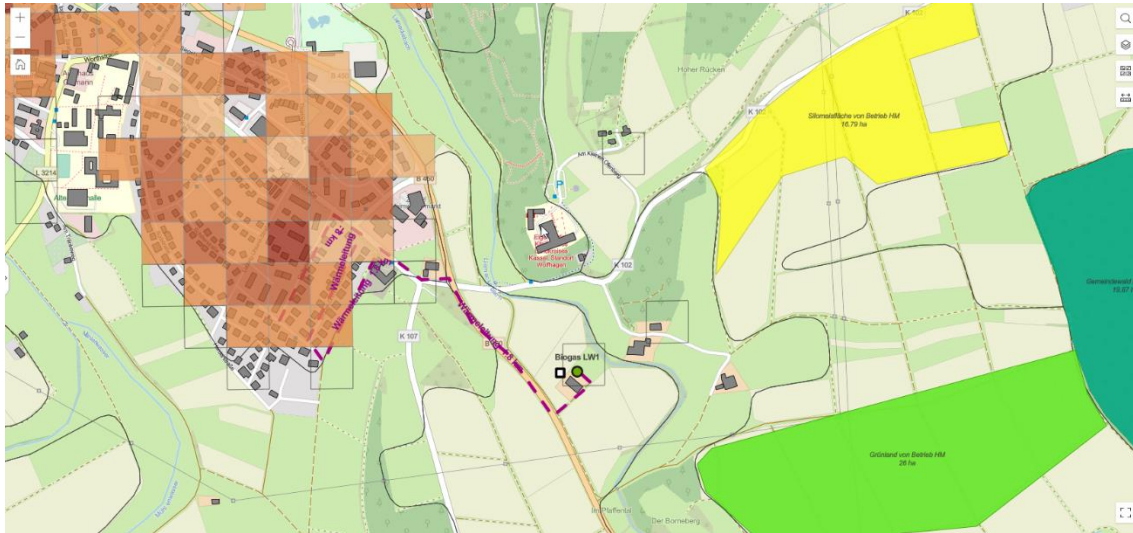


Abbildung 33: Erfassungsansicht auf Basis von OpenStreetMap für Leitungen und Transportwege

1.8 Arbeitspaket 5

Meilensteine:

1. Aufsetzen Open Source DB in PM 2 (Erl. über ESRI)
2. Umstellung auf Open Source API in PM 12 (Nicht notw.)
3. Implementierung der Auswertungs-Anforderungen in PM 18
4. Implementierung der Datenschnittstellen in PM 24

1.8.1 AS 5.1: Aufsetzen des Nutzerportals (INT)

Ziel des Arbeitspaketes 5 war die technologische Umsetzung der zu entwickelnden Komponenten. Hauptaufgabe für den Aufbau eines Nutzerportals war die vorausgehende Festlegung der System- und Softwarearchitektur.

Im Laufe der Analyse kristallisierte sich zudem heraus, dass EnergyExpert als Web-Anwendung zur Analyse und Unterstützung für ein fachkundiges Klientel ausgelegt werden muss. Kartendarstellung, hinterlegte Berechnungsformeln, Standardwerte der Berechnungsparameter und Initialvorschläge für eine Anlagenauslegung reichen ohne fachliche Expertise nicht aus, um das Tool ergebnisorientiert zu verwenden.

Aus dieser Erkenntnis ergaben sich drei Anwendungsrollen.

- Administrator
- Bearbeiter (Editor)
- Betrachter (Viewer)

Die Rollen sind hierarchisch angelegt und erben voneinander, d.h. dem Administrator ist es auch möglich als Bearbeiter oder Betrachter zu agieren.

Systemarchitektur

Der Technologieanbieter Esri bietet für ein Webportal zwei Produkte, die sich in ihrem Portfolio und ihrer Skalierungsmöglichkeit unterscheiden. ArcGIS Enterprise und ArcGIS Online. Nach der Anforderungsanalyse und einem Praxistest hinsichtlich des Funktionsumfangs fiel die Entscheidung zugunsten ArcGIS-Online aus. Das entscheidende Argument lag hierbei auf den deutlich geringeren Lizenzkosten für Betreiber und Nutzer, ohne dass auf relevante Komponenten verzichtet werden musste.

ArcGIS Online präsentiert sich als Cloud-basierte Software zur Erstellung und Freigabe von interaktiver Webkarten.

Für die Veröffentlichung von EnergyExpert benötigte es zwei technologische Komponenten: einen Webserver und ArcGIS Online als Plattform für die Datenspeicherung, zur Konfiguration und zur Veröffentlichung.

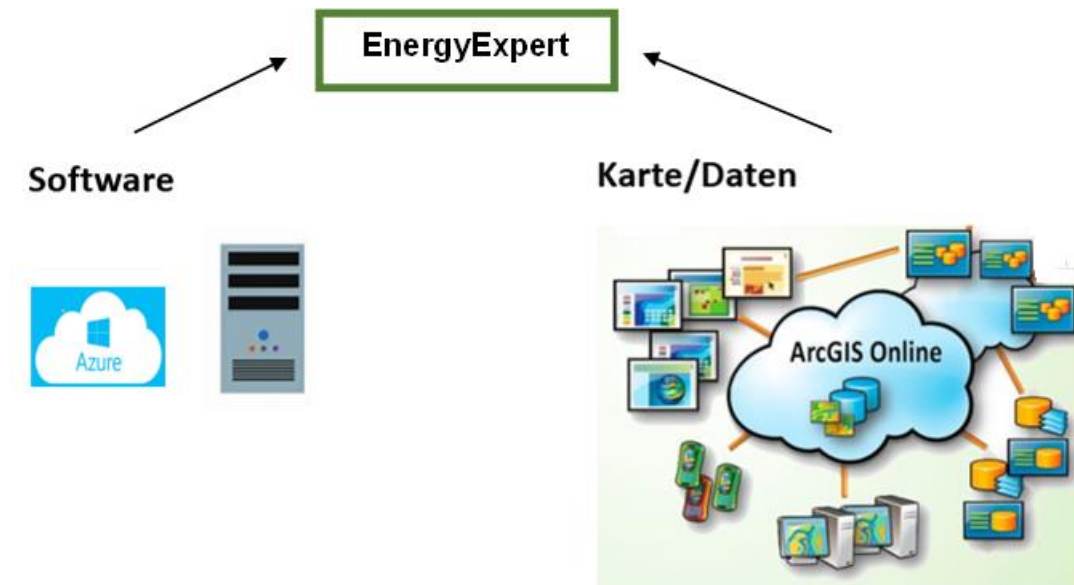


Abbildung 34: Darstellung Systemarchitektur

Die Software EnergyExpert wurde als eine Web-Anwendung kreiert. Damit diese Anwendung dem Anwenderkreis über eine URL zugänglich ist, muss diese auf einem Webserver installiert werden. Als Hosting-Plattform für den Webserver wurde in der Entwicklung und Demonstrationsphase Microsoft Azure verwendet.

ArcGIS Online ist eine Cloud-Lösung. In EnergyExpert fungiert sie als Daten- und Metadatenpeicher aller geometrischen, administrativen und sachbezogenen Daten. Über ArcGIS Online erfolgte die Konfiguration und der Aufbau des Layouts der in EnergyExpert eingebundenen Map (Karte). Nachfolgend eine Auswahl an Schlagworten der genutzten Konfigurationsmöglichkeiten: Themenreihenfolge, Layoutdesign für Popups, kartografisches Layout, Beschriftungsalgorithmen der Geometrieobjekte etc.

Die programmatische Erstellung von EnergyExpert erfolgte über den aktuellen Web Builder von Esri, den Experience Builder. Eine Reihe von Grundfunktionalitäten für eine GIS-Anwendung konnten über diesen Web Builder implementiert werden, z.B. Pan/Zoom/Messen-Funktionalitäten oder die Editiermöglichkeiten. Eine programmatische Erweiterung erfuhr der Experience Builder über die fachlich-spezifischen Widgets, wie z.B. das Bilanz-Widget mit Gesamtpotenzialdarstellung und anlagenspezifische Bilanzierung, Szenariohandling, oder Parametrisierung. Weitere im Projektverlauf programmierte Funktionalitäten sind in AS 4.2 beschrieben.

1.8.2 AS 5.2: Entwicklung und Betrieb der Datenbank (INT)

Die Verwaltung der Dateninhalte für EnergyExpert übernimmt die Cloud-Lösung ArcGIS Online. Die damit verbundene Möglichkeit Daten zu speichern, ersetzt das komplexe Management rund um ein Datenbankhosting und dessen permanente Administration.

Unabhängig vom Speichermedium wurde das spezifische Datenmodell für EnergyExpert entwickelt. Dazu gehören Berechtigungstabellen, Datenstrukturbeschreibung für aufbereitete und zu erfassende Thematiken und Berechnungsparameter. Ein Beispiel für ein Datenmodell der Thematik Forstflächen zeigt Abbildung 6: Datenmodell Forstliche Biomasse.

Für den Betrieb von EnergyExpert zählte die Einbindung von Corine-Landungsdaten, Übernahme von Gebäuden aus OpenStreetMap und die Aufbereitung und Integration der Zensus-Daten im Vorfeld zu den aufwändigeren Tätigkeiten. Vor allem ragten Gebäudegeometrien und Zensus-Daten mit ihren großen Datenmengen (z.B. Zensus-Attribute 1,5 Mio. Datensätze für Nordhessen) heraus. Aus diesem Grund wurden diese Thematiken auf Test und Referenzquartiere räumlich eingeschränkt.

1.8.3 AS 5.3: Aufsetzen eines OGC/WMS und WFS-Servers (INT)

Alle aufbereiteten und erfassten Daten wurden in ArcGIS Online als Feature-Layer gehostet. Damit besteht die Möglichkeit, diese Layer als OGC Web Feature Services (WFS) zu veröffentlichen und in alternativen GIS-Systeme (z.B. QGIS), die nicht zur Esri-Produktpalette gehören, zu verwenden (siehe OGC—Hilfe zu ArcGIS Online | Dokumentation).

Im aktuellen prototypischen Entwicklungsstand wurde kein Thema als WFS-Layer veröffentlicht. Alle Tests und Demonstrationsszenarien für die Referenzquartiere fanden in der implementierten Umgebung von ArcGIS Online statt. Hierzu erhielten die Tester entsprechende Zugangsberechtigungen.

1.8.4 AS 5.4: Erweiterung der Serverkomponenten im Bedarfsfall (INT)

Durch den Einsatz von ArcGIS Online war es nicht nötig einen Server um neue Komponenten zu erweitern. Testweise wurden während des technischen Designs ausgewählte Berechnungen für das Bilanz-Widget als Service auf einen Server ausgelagert. Die Berechnungsdauer hat sich tendenziell aber eher verlängert. Die benötigten Algorithmen aus einer Kombination von mathematischen und GIS-basierten Funktionalitäten konnten als Erweiterung im Zuge der Softwareentwicklung clientseitig innerhalb des Experience Builders umgesetzt werden.

1.8.5 AS 5.5: Betrieb von Servern (INT)

Für die gewählte Systemarchitektur wird ein Webserver mit öffentlichem Zugang benötigt. INTEND hat dafür die Infrastruktur in der Cloud-Computing-Plattform von Microsoft Azure aufgebaut. In dieser Plattform wurde entsprechende Hardware gemietet und technologisch eingerichtet. Die Installation von EnergyExpert und Bereitstellung zur Software gehörende Dokumente (z.B. Benutzerdokumentation) wurde durch INTEND vorgenommen. Für die Erreichbarkeit im Internet wurde eine URL eingerichtet und bereitgestellt. Da EnergyExpert vorerst noch den Status eines Demonstrators besitzt, ist die Website derzeit noch Passwort geschützt und nur einem ausgewählten Anwenderkreis zugänglich.

1.9 Arbeitspaket 6

Meilensteine:

- 1. Lenungskreistreffen in PM (Projektmonat) 2
- 2. Lenungskreistreffen in PM 8
- 3. Lenungskreistreffen in PM 12
- 4. Lenungskreistreffen in PM 16
- 5. Lenungskreistreffen in PM 20
- 6. Lenungskreistreffen in PM 26
- Abschlusstreffen in PM 30

1.9.1 AS 6.1: Abstimmung mit Lenungskreis im Projektverlauf (IEE)

Im Rahmen der Projektleitung wurde zu Projektbeginn eine Projektzusammenfassung erstellt, welche als komprimierte Informationsquelle für den Lenungskreis, Partner aus der Wirtschaft und andere Interessenten am Projekt genutzt werden konnte.

Als Mitglieder des Lenkungskreises konnten für das Projekt gewonnen werden:

Bauböck, Roland	Georg-August-Universität Göttingen
Everding, Dagmar	Hochschule Nordhausen
Franke, Stefan	Landkreis Marburg-Biedenkopf
Joost, Michael	Stadt Wolfhagen
Kajewski, Björn	Landkreis Marburg-Biedenkopf
Richter, Felix	Witzenhausen-Institut GmbH
Riehl, Bernd	Energiegenossenschaft Erfurtshausen

Zu Beginn des 1. Treffens stellten sich die Teilnehmer kurz vor und IEE erläuterte die Zielsetzung des Projektes und die Wünsche an die Zusammenarbeit mit dem Lenkungskreis. Ein wesentliches Ziel der Arbeit im Lenkungskreis war, in einem gegenseitigen Informationsaustausch mögliche thematische Anknüpfungspunkte mit laufenden und geplanten Projekten in den Zielregionen Landkreis Werra-Meißner, Landkreis Marburg-Biedenkopf sowie der Stadt Wolfhagen zu identifizieren und auf diesem Wege das Forschungsprojekt möglichst umsetzungsnah auszurichten. Wesentliche Fragestellungen des ersten Treffens waren:

- Strategische Rolle der Biomasse aus Sicht der Kommunen und Landkreise
- Verwendete Methoden und Werkzeuge, Entwicklungsbedarf
- Datengrundlagen, Verfügbarkeit und Defizite

Bei dem 2. Treffen wurde beschlossen, den Lenkungskreis gegenüber dem ersten Treffen um weitere Mitglieder zu erweitern. Hinzugekommen sind Vertreterinnen und Vertreter des Projektes „Perspektiven BED: Innovative Konzepte und Geschäftsmodelle für zukunftsfähige Bioenergiedörfer - klimafreundlich, demokratisch, bürgernah!“ der Universität Kassel und der Georg-August-Universität Göttingen, welches ebenfalls vom BMEL gefördert wird. Ziel dieses Forschungsprojektes war es, Bioenergiedörfer (BED) auf die Zeit nach der 20jährigen EEG-Vergütung vorzubereiten und zukunftsfähige Maßnahmen gemeinsam mit Praxispartnern zu entwickeln. Ebenso sollten für weitere interessierte Kommunen in Deutschland Möglichkeiten für eine Energiewende mit verschiedenen regenerativen Energieträgern aufgezeigt werden. Ein inhaltlicher Austausch wurde von den Beteiligten als sinnvoll angesehen.

Wesentliche Themen des 3. Treffens, die intensiv mit dem Lenkungskreis diskutiert wurden, waren die Vorstellung des Arbeitsstandes ‚Auswertung von Luftbildern in der Landwirtschaft‘ (Daniel Horst, IEE) und die Vorstellung des Standes der laufenden Masterarbeiten:

- Was nützt mehr Bio in der Tonne?, Annabella Reinke [23]
- Detektion von Hecken mittels Segmentation im Raum Marburg-Biedenkopf und Werra-Meißner-Kreis, Sophia Böckler
- Landwirte als Energieversorger, Lukas Haack

Inhaltlich wurde beim 4. Treffen insbesondere der aktuelle Stand des Berechnungstools vorgestellt und intensiv mit dem Begleitzkreis diskutiert.

Bei dem 5. Treffen wurde die Bedienung des Berechnungsprogramms anhand des Beispiels „Wolfhagen“ vorgestellt und mit dem Begleitzkreis Verbesserungsschlägen diskutiert. Herr Franke vom Landkreis Marburg-Biedenkopf und Herr Riehl von der Energiegenossenschaft Erfurtshausen haben sich bei dem Termin auch bereiterklärt, das Tool im Vorfeld des Abschlusstreffens zu testen und bei dem letzten Treffen von ihren Erfahrungen zu berichten.

Beim Abschlusstreffen wurde dann neben den im 5. Treffen vereinbarten Erfahrungsberichten der beiden Begleitzkreismitglieder insbesondere Verwertungsideen für das Berechnungstool diskutiert und die Bereitschaft bezüglich eines Folgeprojekts besprochen. Alle Teilnehmer des Abschlusstreffens haben ihr Interesse bekundet, bei einem Folgeprojekt die Weiterentwicklung der Software mit zu gestalten, weil aufgrund der Corona-Pandemie doch noch einige Potenziale des Tools noch nicht gehoben werden konnten.

Für eine Verwertung des Tools im aktiven Betrieb zeigte sich insbesondere Herr Franke interessiert. Er sieht z.B. bei der CO₂-Bilanzierung des Wärmebedarfs in Kommunen ein Anwendungsfeld. Hier werden derzeit Schornsteinfegerdaten käuflich erworben. Er findet den Ansatz im Projekt gut, dafür die kostenlosen Zensus-Daten zu verwenden, zumal in diesem Jahr die Zensus-Daten neu erhoben werden.

Hinweis:

Nach offizieller Beendigung hat ein Workshop mit mehreren interessierten Landkreisen auf Initiative von Herrn Franke stattgefunden, bei dem das Berechnungstool vorgestellt wurde. Neben den Landkreisen war auch die Landesenergieagentur Hessen (LEA) mit mehreren Personen an dem Workshop beteiligt. Auch dort wurde Interesse an dem Tool bekundet.

1.9.2 AS 6.2: Vor- und Nachbereitung der Lenungskreistreffen (IEE)

Die Lenungskreistreffen wurden von den Projektleitern Christina Sager-Klauß und ab Oktober 2021 ihrem Nachfolger Patrick Selzam vor- und nachbereitet. Die Vorbereitung bestand insbesondere aus Festlegung der Inhalte, Abstimmungen mit den Referenten, Organisation der Treffen vor Ort (bzw. später der Webkonferenzen) und Einladung der Teilnehmer. Im Nachgang wurde jeweils ein Protokoll erstellt, mit den Referenten abgestimmt und alle gezeigten Vortragsfolien in ein gemeinsames Datenformat übertragen. Anschließend wurde das Protokoll inklusive der gezeigten Präsentationen den Mitgliedern des Begleitkreises zur Prüfung geschickt und abschließend gemäß den Korrekturvorschlägen des Gremiums angepasst.

1.9.3 AS 6.3: Anpassung Arbeits- und Zeitpläne nach Bedarf (IEE)

Aufgrund Corona-bedingter Verzögerungen mussten die Arbeits- und Zeitpläne mehrfach angepasst werden. Sowohl die Projektleiterin Christina Sager-Klauß als auch der spätere Projektleiter Patrick Selzam haben jeweils eine kostenneutrale Projektverlängerung beantragt und vom Projektträger bewilligt bekommen.

2 Verwertung

2.1 Voraussichtlicher Nutzen

2.1.1 Nutzen für die Wissenschaft

Die in dem Projekt gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen fließen in neue Forschungsprojekte und Publikationen ein, die auch als Wissenstransfer für die Wirtschaft dienen sollen.

Das Projekt hat gezeigt, dass die Flächenabschätzung für Bioenergie-Potenziale über GIS-Systeme mit wenig Zeitaufwand möglich ist, was auch in zukünftigen ähnlich gelagerten Forschungsprojekten genutzt und weiterentwickelt werden sollte. Die in dem Projekt entwickelte Plattform scheint z.B. sehr gut geeignet zu sein für ein angedachtes Forschungsprojekt, in dem Potenziale zur Erzeugung von grünem Wasserstoff in der Region Nordhessen ermittelt werden sollen. Zudem kann wissenschaftliche Unterstützung für Kommunen geleistet werden, welche entscheidende Akteure der Energiewende und verantwortlich für die Energieversorgung und deren Planung sind.

Die Arbeiten zur Erkennung von Hecken über Satellitenbilder bieten eine gute Grundlage, um die automatisierte Datenerfassung von Hecken im Bereich des maschinellen Lernens weiter zu verbessern.

Die Berechnung der Wärmebedarfe für Kommunen und Regionen über die Zensus-Daten haben sich als interessante Alternative für Kommunen für deren CO₂-Bilanzierung erwiesen. Bisher haben die Kommunen dafür Feuerungsstätten-Daten der Schornsteinfeger verwendet. Der im Projekt entwickelte Ansatz bietet eine gute Grundlage, der in zukünftigen Forschungsprojekten aber noch verfeinert werden sollte, zumal derzeit die Zensus-Daten neu erhoben werden und nächstes Jahr über eine sehr aktuelle Datengrundlage verfügen.

Auch die Weiterentwicklung des in GeoOPT-bio entstandenen Berechnungsprogramms sollte angestrebt werden. Alle Mitglieder des Begleitkreises haben Interesse bekundet, sich in ein Folgeprojekt einzubringen, weil sie vom Nutzen des Tools überzeugt sind, allerdings auch noch Verbesserungspotenziale (Einbeziehung Heckenmanagement, Integration Bestandsanlagen, etc.) sehen.

2.1.2 Nutzen für die Kommunen

Wie müssen sich Kommunen energetisch aufstellen, um die Klimaschutzziele zu erreichen? Drastische Veränderungen zeichnen sich ab und werfen die Frage nach zukunftsfähigen Energiekonzepten auf, die technisch und wirtschaftlich umsetzbar sind. Kommunen haben die Aufgabe, notwendige Veränderungen zu initiieren und umzusetzen. Dazu bedarf es belastbarer Entscheidungsgrundlagen.

In verschiedenen Forschungsprojekten hat das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) ein Instrumentarium entwickelt, um die energetische Situation von Städten und Gemeinden zu erfassen und im Rahmen verschiedener Potenzialanalysen mögliche Zukunftsstrategien zu entwerfen. Um die Situation zu analysieren, müssen notwendige Basisdaten erfasst werden. Ein Portal zur Datenerfassung und Szenarienanalyse stellt INTEND bereit. Durch die Analyse der kommunalen Basisdaten lassen sich Handlungsspielräume identifizieren. Szenarien für den Einsatz erneuerbarer Energien integrieren weitere Daten der Kommune im Bereich von Solarenergie und Geothermie, Biomasse und der Sektorenkopplung. Im Rahmen der Analyse wird ein Maßnahmenkatalog erstellt, mit dem sich positive Effekte erzielen lassen. In einem Geografischen Informationssystem auf der Basis von Esri Technologie werden den kommunalen Akteuren die Daten und Szenarien bereitgestellt, so dass die aktuelle energetische Situation visualisiert werden kann. Potenziale und Maßnahmen können so in einfacher Weise präsentiert und diskutiert werden. Die Szenarien bieten den nötigen wissenschaftlichen Hintergrund für Entscheidungen, die zu einem nachhaltigen Energiekonzept der Kommune führen können.

Das im Projekt entwickelte Tool unterstützt die Kommunen ganz konkret dabei, die regionale Energieversorgung auf 100 % erneuerbare Energien umzustellen. Es ermittelt die vorhandenen Bioenergie-Potenziale und den Energiebedarf in der Region und verschafft einen Überblick und Transparenz in diesem Bereich durch leicht verständliche Reports, die auch als Diskussionsgrundlage für politische Entscheidungsträger dienen können.

Darüber hinaus hat das Tool auch das Potenzial, konkret Kosten bei den Kommunen bezüglich der CO₂-Bilanzierung einzusparen, wenn für die Abschätzung der kommunalen Wärmebedarfe statt der kostenpflichtigen Schornsteinfegerdaten die kostenlos verfügbaren Zensus-Daten verwendet werden.

Durch die einfache Bedienbarkeit des Tools kann bei der konkreten Planung neuer Bioenergieanlagen mit wenig Zeitaufwand schon im Vorfeld untersucht werden, ob sich der Bau lohnt, sowohl hinsichtlich des Energiebedarfs, als auch bezüglich der in der Region gegebenen Bioenergie-Potenziale.

Außerdem wird den Kommunen auch ein wertvolles Werkzeug an die Hand gegeben, die Bürger mit grafischen Hilfsmitteln über den aktuellen Stand der Energieversorgung in der Kommune zu informieren. Über den Zeitverlauf lässt sich mit dem Tool so auch ein grafisch unterstütztes Benchmarking aufbauen, mit dem dokumentiert werden kann, wie sich die Transformation der Energieversorgung in der gesamten Kommune und in Teilgebieten im Vergleich zueinander entwickeln.

2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

2.2.1 Wissenschaft

Die in dem Projekt gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen führen auch zu Folgeprojekten.

Als sehr hilfreich hat sich die Zusammenarbeit mit dem Begleitkreis erwiesen. Einsparpotenziale könnten sich für die Kommunen z.B. ergeben, wenn bezüglich der CO₂-Bilanzierung für die Abschätzung der kommunalen Wärmebedarfe statt der kostenpflichtigen Schornsteinfegerdaten die kostenlos verfügbaren Zensus-Daten verwendet werden könnten. Derzeit finden konkrete Gespräche mit mehreren Landkreisen und der Landesenergieagentur Hessen statt, ob das im

Projekt entwickelte Tool als Auftrag auf diesen Anwendungsfall angepasst angeboten werden kann.

Die erworbene Expertise in der Kombination von GIS und Bioenergie führt auch über Vorstellung des Projekts bei diversen Veranstaltungen zu neuen Kundenanfragen und daraus resultierend zu neuen Beratungsdienstleistungen und Industrieaufträgen.

Mögliche Einnahmen durch Beratungsdienstleistungen für Kommunen und Regionen direkt mit dem im Projekt entwickelten Werkzeug werden angestrebt und die dafür entwickelte Strategie folgend näher beschrieben.

2.2.2 Wirtschaft

Zur Einschätzung der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten wurde bereits zu Projektbeginn ein Business Model Canvas⁴ erstellt und im Projektverlauf weiterentwickelt. Neben den **Schlüsselpartnern** Fraunhofer IEE und INTEND wurde das Projekt durch den Lenkungskreis (u.a. Werra-Meißner-Kreis, Landkreis Marburg-Biedenkopf, Stadt Wolfhagen, Bürgerenergie-Genossenschaft Werra-Meißner) unterstützt. Die Mitglieder des Lenkungskreises sind direkt an den Projektergebnissen interessiert. Als **Schlüsselressourcen** können die Projektpartner auf der einen Seite hohe fachliche Kompetenz im Energiebereich sowie umfassende Erfahrungen (Fraunhofer IEE) und auf der anderen Seite langjährige technische Kompetenz im Bereich der Geografischen Informationssysteme sowie der Portaltechnologie (INTEND). Daraus resultieren die **Schlüsselaktivitäten**, Fraunhofer entwickelt auf der Basis von durchgeführten Interviews Modelle und konzipiert die notwendigen Datenstrukturen, INTEND visualisiert die Ergebnisse und bietet unterschiedliche Szenarien. Aus dem Projekt GeoOPTbio resultiert ein **Wertangebot**, das dem Kunden ein Analyse Tool zur Integration biogener Energien in ein energetisches Gesamtkonzept anbietet. Praxistauglichkeit und Übertragbarkeit bieten dabei einen besonderen Kundennutzen, wobei die Projektpartner ihre Kompetenz durch eine Vielzahl von Referenzprojekten unterstreichen können. Die Projektergebnisse haben das Potenzial außer einer strategischen Planung in Bezug auf die Nutzungsszenarien der Biomasse auch im Bereich der Politikberatung und Prozessbegleitung einen Kundennutzen zu generieren. Insgesamt unterstützt das Projektergebnis die Forstführung der Energiewende.

Verschiedene Kanäle bieten den Projektpartnern die Möglichkeit, das Projektergebnis potenziellen Kunden zu präsentieren. Da Fraunhofer die fachliche Seite des Projekts repräsentiert, werden von deren Seite die Projektergebnisse in Konferenzen und Beiträge in Zeitschriften (kommunale Medien) sowie wissenschaftliche Tagungen und Kolloquien einfließen. Der Lenkungskreis war und wird auch zukünftig eine gute Quelle sein, um Kundenanforderungen und Marktanforderungen zu evaluieren. Das **Kundensegment** werden ländliche Kommunen und Landkreise, Stadtwerke, Netzbetreiber, Energiehändler und Genossenschaften sein. Im Bereich der **Kundenbeziehung** haben die Projektpartner eine Schwachstelle im Bereich der Verwertungspläne identifiziert. Weder INTEND noch Fraunhofer IEE können auf einen bestehenden Kundenstamm in diesem Marktsegment zurückgreifen. Bereits zu Beginn des Projektes haben die Projektpartner die Frage sehr intensiv diskutiert, wie das Projekt am besten in die Fläche kommt. Dabei wurde vor allem der im Konzept favorisierte Vorschlag einer Open Source Lösung hinterfragt, da die technische Plattform allein noch keinen erfolgreichen Marktzugang verspricht.

Ländliche Kommunen ohne eigenes kommerzielles GIS-System sollen die Anwendung ausschließlich über einen Browser nutzen, da die Administration eines GIS Systems kein Hemmnis darstellen sollte. Für diese Zielgruppe muss in jedem Fall ein Hosting bereitgestellt werden, womit sich die Frage Open Source oder kommerzielle Lösung nach hinten zum Betreiber des Hostings verlagert. Hier wurde die Idee verfolgt, dass ein größerer Landkreis das Hosting für kleinere Kommunen mit darstellt.

Um das Projekt in dieser zentralen Frage gut aufzustellen, haben sich die Projektpartner mit Experten der Firma Esri im April 2019 in Köln getroffen. Die Überlegung war, dass im Bereich der Vermarktung der Ergebnisse ein Partner zu gewinnen ist, der das Thema bundesweit flächendeckend bespielen kann.

Sowohl im Bereich kleinerer Städte und Gemeinden als auch bei großen Kommunen ist Esri eine bekannte Firma rund um das Thema Geografische Informationssysteme. Im Ergebnis ist diese Strategie vielversprechend, dass sich eine win2win Situation mit Esri bei großen Kommunen

⁴ Osterwald, Alexander; Pigneur, Yves: Business Modell Generation, Frankfurt 2011
Fraunhofer IEE

darstellen lässt: bestehende Esri (Basis-)Technologie bekommt einen weiteren Nutzen durch die Etablierung des Projektes GeoOptBio. Kleinere Städte und Gemeinden können über das Hosting-Angebot, das Esri, INTEND oder eben die Landkreise bereitstellen, in das Projekt eingebunden werden.

Die Einbindung eines Partners, der bundesweit im kommunalen IT-Bereich unterwegs ist und hier Themen wie GeoOptBio etablieren kann, rechtfertigten den Paradigmenwechsel in einer technischen Frage. Die fachliche Zielstellung blieb und bleibt unverändert.

Bei der **Kostenstruktur** werden als wichtigste Kostentreiber Personal, Hosting und Lizenzkosten anfallen, die durch die **Einnahmequellen** zu decken sind. Bei den Einnahmen steht die wissenschaftliche Beratung im Vordergrund, die durch den Technologiepartner INTEND im Bereich der Datenaufbereitung und Datenbereitstellung unterstützt wird.

2.3 Erkenntnisse von Dritten

Es sind uns keine Projekte oder sonstige Erkenntnisse bekannt, die vor Projektbeginn nicht auch schon bekannt waren.

2.4 Veröffentlichungen

Neben der Vorstellung der Projektergebnisse auf diversen Veranstaltungen und den Begleitkreistreffen wurden zwei Masterarbeiten veröffentlicht:

1. Annabella Reinke: „Was nützt mehr Bio in der Tonne? Kosten-Nutzen-Analyse der Behandlung und Verwertung von Bioabfällen unter den Aspekten der Sortenreinheit und Aufbereitungstechnologie“, Uni Kassel, 2020
2. Sophia Böckler: „Detektion von Hecken mittels Segmentation im Raum Marburg-Biedenkopf und Werra-Meißner-Kreis“, Philipps-Universität Marburg, Leipzig, 2020

3 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AHC	AgriHerp-Consult
API	application programming interface
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BGA	Biogasanlage
BGAA	Biogasaufbereitungsanlage
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
CSV	Comma-separated values
erl.	erledigt
FG	Fördergeber
FEk	Fernerkundung
FFK	Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha
FöE	Förderempfänger
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GIS	Geografisches Informations-System
GLPK	GNU Linear Programming Kit
GVE	Großvieheinheit
ha	Hektar
HKW	Heizkraftwerk
i.A.	In Arbeit
IEE	Fraunhofer IEE
INT	INTEND Geoinformatik GmbH
KML	Keyhole Markup Language
MILP	Mixed integer-linear programming
nicht notw.	Nicht notwendig
zurückgest.	zurückgestellt

4 Literaturverzeichnis

- [1] RAUSSEN, Thomas ; RICHTER, Felix ; WAGNER, Jana ; KOJ, Ulla: *Bionergie Monitoring Hessen : Ergebnisse 2015*. Wiesbaden, 2.3.2017
- [2] HESSISCHES STATISTISCHES LANDESAMT; WEBER, Petra (Mitarb.); ROßMANN, Swetlana (Mitarb.) : *Hessische Gemeindestatistik 2021*. Wiesbaden, 2021 (42)
- [3] DÖHLER, Helmut: *Faustzahlen Biogas*. 2. Aufl. Darmstadt : KTBL, 2009
- [4] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN: *Nachwachsende Rohstoffe vom Acker*. Münster, 1.7.2012
- [5] HOFFSTEDE, U. ; STELZER, M. ; HOLZHAMMER, U. ; RAUSSEN, T. ; LOOTSMA-HALLERBERG, Auke: *BiKoFlex : Untersuchung der Rolle eines flexibilisierten Strommanagements von Biogutvergärungs- und Kompostierungsanlagen zur Integration der fluktuierenden Erneuerbaren Energien*. Schlussbericht. Kassel, 2018
- [6] WIEMER, Klaus (Hrsg.); KERN, Michael (Hrsg.); RAUSSEN, Thomas (Hrsg.): *Biogas-Atlas 2014/15 : Anlagenhandbuch der Vergärung biogener Abfälle in Deutschland und Europa*. 1. Aufl. Witzenhausen : Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, 2014
- [7] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Wald und Holz : Holzeinschlag 2019: 69 Millionen Kubikmeter*. URL <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/aktuell-holzeinschlag.html>. – Aktualisierungsdatum: 2021-02-11 – Überprüfungsdatum 2022-02-24
- [8] GÖßWEIN, Sebastian ; HIENDLMEIER, Sabine: *Energieholzmarkt Bayern 2016 : Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch*. Freising, 2018
- [9] HOFFSTEDE, Uwe; BEIL, Michael (Mitarb.); KASTEN, Julia (Mitarb.); BEYRICH, Wiebke (Mitarb.); HOLZHAMMER, U. (Mitarb.); KRAUTKREMER, Bernd (Mitarb.); HAHN, Henning (Mitarb.); STELZER, Manuel (Mitarb.) : *Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz : Teilvorhaben II a: Biomasse*. Berlin, 8.5.2019
- [10] MÖRSCHNER, Johannes ; ELTROP, Ludger: *Biomasse-Heizkraftwerke : Technikauswahl und aggregierte Ergebnisdarstellung*. Kurzfassung. Stuttgart, 2004
- [11] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT: *Schutzgebiete des Naturschutzes - Downloaddienst : Downloaddienst - LfU Bayern*. URL https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/pretty_downloaddienst.htm?dld=schutzgebiete. – Aktualisierungsdatum: 2022-02-24 – Überprüfungsdatum 2022-02-24
- [12] HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE: *Naturschutz : Geografische Informationssysteme*. URL <https://www.hlnug.de/themen/geografische-informationssysteme/geodienste/naturschutz>. – Aktualisierungsdatum: 2022-03-17 – Überprüfungsdatum 2022-03-17
- [13] NETZTRANSPARENZ.DE: *EEG-Anlagenstammdaten*. URL <https://www.netztransparenz.de/EEG/Anlagenstammdaten>. – Aktualisierungsdatum: 2021-07-02 – Überprüfungsdatum 2021-07-02
- [14] NETZTRANSPARENZ.DE: *EEG-Jahresabrechnungen*. URL <https://www.netztransparenz.de/EEG/Jahresabrechnungen>. – Aktualisierungsdatum: 2021-07-02 – Überprüfungsdatum 2021-07-02
- [15] BUNDESNETZAGENTUR: *Marktstammdatenregister : Aktuelle Einheitenübersicht*. URL <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenubersicht>. – Aktualisierungsdatum: 2022-02-25 – Überprüfungsdatum 2022-02-25
- [16] DEUTSCHER BUNDESTAG: *EEG 2021 Erneuerbare-Energien-Gesetz* (in Kraft getr. am 4. 7. 2021) (2021-07-04). URL <https://www.buzer.de/EEG.htm> – Überprüfungsdatum 2021-07-04

- [17] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL): *Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas*. URL <https://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do;jsessionid=2273824D967FAF3B6647C1D4223033FF>. – Aktualisierungsdatum: 2022-03-11 – Überprüfungsdatum 2022-03-11
- [18] BUNDESNETZAGENTUR: *Statistiken zum Ausschreibungsverfahren für Biomasseanlagen*. Bonn, 22.12.2021
- [19] HENSEL, Piet: *Optimierung des Ausbaus von Nah- und Fernwärmenetzen unter Berücksichtigung eines bestehenden Gasnetzes*. Paderborn, Universität Paderborn. Dissertation. 2013
- [20] KALTSCHMITT, Martin (Hrsg.); HARTMANN, Hans (Hrsg.); HOFBAUER, Hermann (Hrsg.): *Energie aus Biomasse : Grundlagen, Techniken und Verfahren*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2009
- [21] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.: *Basisdaten Bioenergie Deutschland 2020*. Gülzow, 2020
- [22] NABU - NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E.V.: *Fünf Prozent Naturwald in Deutschland - NABU*. URL <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/waelder/waldpolitik/26084.html>. – Aktualisierungsdatum: 2022-02-25 – Überprüfungsdatum 2022-02-25
- [23] REINKE, Annabella: *Was nützt mehr Bio in der Tonne? : Kosten-Nutzen-Analyse der Behandlung und Verwertung von Bioabfällen unter den Aspekten der Sortenreinheit und Aufbereitungstechnologie*. Kassel, Universität Kassel, Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen. Masterarbeit. 2020-01-10 – Überprüfungsdatum 2022-03-11
- [24] WAGNER, H.-J. ; WISCHERMANN, Sabine: *Deutsche Gebäudetypologie : Energetische Kennwerte und Kosten der Sanierung der Gebäudehülle sowie der Heizanlage pro eingesparter Energieeinheit*. Bochum, 28. September 2009 (korrigierte Version)
- [25] SEEL, Oliver: *Biomassepotentiale und Nutzung als Baustein im kommunalen Energiesystem*. Göttingen, HAWK, Energietechnik. Masterthesis. 2013