



Leistungsbeschreibung

Ressourcenstudie: Entwicklung eines Analysewerkzeugs zur Bewertung von Power-to-X- und Biomass-to-X-Routen

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
1.1 Ziel und Gegenstand des Auftrags	4
1.2 Hintergrund, Problemstellung und Forschungsfragen	5
2 Zu erbringende Leistungen	6
2.1 Methodischer und technischer Rahmen	6
2.2 Übergreifende Anforderungen an Analysewerkzeug, Daten und Übergabe	7
2.3 Allgemeine Anforderungen an die Leistungserbringung	9
2.4 Projektkoordination, Abstimmung und Workshops	10
2.5 Arbeitspakete	11
2.6 Zeitplanung	21
3 Vergütung und Abrechnung	23

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ADP	Abiotic Depletion Potential
AG	Auftraggeberin
AN	Auftragnehmer
AP	Arbeitspaket
BtX	Biomass-to-X
BTX	Benzol, Toluol, Xylol
D	Deliverables
GWP	Global Warming Potential
LCA	Life Cycle Assessment
M	Monat (Projektmonat)
MF/RMC	Material Footprint / Raw Material Consumption
MS	Meilenstein
PtX	Power-to-X
RMC/MF	Raw Material Consumption / Material Footprint
TMR	Total Material Requirement

1 Einleitung

Öffentliche Auftraggeberin und Vertragspartnerin ist die Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH, im weiteren Verlauf kurz Auftraggeberin (AG) genannt.

Die ZUG ist eine vollständig bundeseigene Gesellschaft. Der Bund wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) als alleinige Gesellschafterin vertreten. Die ZUG hat ihren rechtlichen Sitz in Bonn, den größten Standort in Berlin und weitere Standorte in Cottbus und Rostock.

Die ZUG übernimmt im Rahmen des Gesellschaftszwecks nicht-ministerielle Aufgaben für die Bundesregierung. Das Kerngeschäft der ZUG sind Projektträgerschaften für Förderprogramme der Bundesressorts. Die Finanzierung der ZUG erfolgt ausschließlich über Aufträge. Als Dienstleisterin übernimmt die ZUG auch weitere Aufträge zur Unterstützung und Beratung, um so eine Vielzahl politischer Schwerpunktthemen im Bereich Umwelt-, Natur- und Klimaschutz in Maßnahmen umzusetzen.

Auf Grundlage des Strukturstärkungsgesetzes Kohleregionen wurde im März 2021 das „PtX Lab Lausitz – Praxislabor für Kraft- und Grundstoffe aus grünem Wasserstoff“ gegründet. Das PtX Lab Lausitz unterstützt Wirtschaft und Gesellschaft auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität und fungiert als Wissensplattform, Impulsgeber und Ansprechpartner für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Im Mittelpunkt stehen insbesondere die nachhaltige Erzeugung und Nutzung von Power-to-X-Produkten sowie deren Einordnung in zukünftige Energie-, Industrie- und Stoffsysteme. Weitere Informationen auf <https://ptxlablausitz.de>

Um die chemische Industrie, die Luftfahrt und den Seeverkehr zu defossilisieren, werden künftig große Mengen nicht-fossiler Kraft- und Grundstoffe benötigt. Dafür kommen verschiedene Technologien infrage, u. a. Power-to-X (PtX) und Biomass-to-X (BtX). Beide Ansätze ermöglichen die Herstellung zentraler chemischer Intermediate wie Wasserstoff, Methan und Methanol und sind modular. Sie unterscheiden sich jedoch in ihren Ausgangsstoffen¹, Prozessketten und Ressourcenbedarfen². Die Ressourcenbedarfe fallen dabei nicht nur in den eigentlichen Prozessschritten an, sondern entlang der gesamten Prozess-, Bereitstellungs- und Infrastrukturketten. Mit zunehmendem Ausbau entsprechender Produktionskapazitäten rücken neben technischen und wirtschaftlichen Fragen auch Fragen zu Ressourcen in den Fokus.

1.1 Ziel und Gegenstand des Auftrags

Ziel ist ein Analysewerkzeug³, mit dem sich der Ressourcenbedarf von PtX- und BtX-Routen anhand von sechs vorgegebenen Intermediaten⁴ berechnen lässt.⁵ Hierfür werden die Routen⁶ in Module⁷ zerlegt. Jedes Modul erzeugt ein eignes Ressourcenprofil. Die Modulparameter und Referenzwerte können eingesehen und innerhalb festgelegter Grenzen angepasst werden. Aus den

¹ PtX-Technologien beruhen primär auf erneuerbarem Strom, Wasserstoff und geeigneten Kohlenstoffquellen. BtX-Technologien nutzen dagegen Biomasse beziehungsweise biogene Rest- und Abfallstoffe als wesentliche Kohlenstoff- und teilweise auch Energiequelle.

² Ressourcen umfassen Energie, metallische und nichtmetallische Rohstoff, Wasser und Fläche.

³ Software

⁴ Vorgegebene Intermediate: Wasserstoff, Methan, Methanol, Ammoniak, Olefine und Aromaten. Sie stammen aus einer Vorstudie, die das ifeu im Auftrag des PtX Lab Lausitz durchgeführt hat. Darin wurde untersucht, welche chemischen Intermediate besonders relevant sind. Die wichtigsten Ergebnisse bilden die Grundlage für die Auswahl. Alle Ergebnisse, die für diesen Auftrag wichtig sind, stehen im Anhang.

⁵ Die Studie dient nicht der Technologieprognose oder der vollständigen Bewertung aller denkbaren PtX-/BtX-Routen.

⁶ Eine Route bildet eine Prozesskette ab. Dabei werden technisch zulässige Module verknüpft, durch die ein betrachtetes Intermediat erzeugt wird. Es wird keine einzelne Route als technologischer Standard oder allgemein verbindlicher Referenzpfad definiert.

⁷ Ein Modul bildet einen technisch abgrenzbaren Prozessschritt ab.

Ressourcenprofilen der einzelnen Module wird für jede Route der gesamte Ressourcenbedarf zusammensetzen, indem die Module nacheinander bilanziert werden. Dafür verknüpft das Analysewerkzeug eine Moduldatenbank, eine prozessschrittbezogene Bilanzierungslogik, und eine durch die AG eigenständig nutzbare Bedien- und Konfigurationsebene in einem reproduzierbaren Gesamtsystem. Die Anwendbarkeit wird anhand ausgewählter Beispielkonfigurationen und Plausibilitätsprüfungen nachgewiesen. Zudem lassen sich mit dem Analysewerkzeug erstellte Ressourcenprofile durch Sensitivitäts-⁸ und Szenarioanalysen⁹ weiter untersuchen.

Kernfunktionen des Analysewerkzeugs sind:

- Ressourcenprofile für modulare Routen erstellen.
- Neue Module ergänzen nach einem dokumentierten Schema, ohne die grundlegende Berechnungslogik neu entwickeln zu müssen.
- Bestehende Moduldaten aktualisieren.
- Referenzkonfigurationen¹⁰ berechnen und standardisierte Dashboards und Ergebnisdaten erstellen.
- Sensitivitäts- und Szenarioanalysen erstellter Ressourcenprofile durchführen.

1.2 Hintergrund, Problemstellung und Forschungsfragen

Zur Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens und der Klimaneutralität wird künftig vermutlich eine Kombination aus PtX- und BtX-Routen nötig sein. Wie diese Kombination aussieht, ist bisher offen. Entscheidend für den gezielten Einsatz beider Routen ist eine abgestimmte Strategie unter Berücksichtigung folgender Fragen¹¹:

1. Welche Ressourcenbedarfe entstehen entlang verschiedener PtX- und BtX-Routen, und wie unterscheiden sie sich?
2. Welche Prozessschritte bilden indikatorspezifische Ressourcen-Hotspots? Wie sensibel reagieren die Ergebnisse auf technische und standortbezogene Parameter? Wie lassen sich die Resultate hinsichtlich Materialnutzung, Rohstoffkritikalität und Skalierungsrestriktionen einordnen?
3. Welche Risiken, Zielkonflikte (z. B. bei regionaler Ressourcenverfügbarkeit oder Landnutzung) und möglichen Überschreitungen planetarer Grenzen (z. B. bei Wasser- und Flächennutzung) ergeben sich aus den PtX- und BtX-Routen?

⁸ Sensitivitätsanalysen untersuchen, wie sich veränderte Parameter bei gleicher Konfiguration auswirken.

⁹ Szenarioanalysen vergleichen verschiedene, technisch plausible Modulzusammenstellungen.

¹⁰ Eine Referenzkonfiguration bezeichnet die Berechnung einer konkreten Route, bei der die variablen Parameter der beteiligten Module auf den jeweils fachlich festgelegten Default- beziehungsweise Referenzwerten liegen.

¹¹ Diese Forschungsfragen bilden den fachlichen Anwendungs- und Entwicklungsrahmen des Vorhabens. Ihre abschließende Beantwortung durch die Untersuchung sämtlicher PtX- und BtX-Konfigurationen ist **nicht** Gegenstand des Auftrags. Stattdessen werden die methodischen, datenbezogenen und technischen Voraussetzungen geschaffen, damit die AG diese Fragen mit dem Analysewerkzeug im Projektverlauf und vor allem nach Projektabschluss eigenständig weiterverfolgen kann.

2 Zu erbringende Leistungen

2.1 Methodischer und technischer Rahmen

Der methodische und technische Rahmen des Auftrags kombiniert verbindliche Anforderungen und beispielhafte Umsetzungsanregungen. Die nicht verbindlichen Umsetzungsanregungen sind im Weiteren und im Anhang, der die Leistungsbeschreibung konkretisiert, deutlich gekennzeichnet und dienen der Unterstützung eines gemeinsamen Verständnisses zwischen AN und AG. Für die nicht verbindlichen Umsetzungsanregungen können die Bieter fachlich gleichwertige oder bessere Alternativen vorschlagen. Diese sind im Angebot nachvollziehbar darzustellen und zu begründen.

Untersuchungsgegenstand und modularer Bilanzierungsansatz

Die Grundlage der Studie bildet die Vorstudie. Die Intermediate sind darin vorgegeben (Wasserstoff, Methan, Methanol, Ammoniak, Olefine und Aromaten, vgl. Kapitel 1.1 und Anhang, Kapitel 2), während die PtX- und BtX-Routen keine abschließende Liste der Prozessketten darstellen (vgl. Anhang, Kapitel 3). Sie bilden die Ausgangslage für das Modulportfolio. Das Modulportfolio soll so gewählt werden, dass sich alle relevanten PtX-, BtX- und kombinierte PtX-/BtX-Routen abdecken lassen. Der Untersuchungsraum ist durch eine vertiefte technische Recherche zu konkretisieren. Erforderliche Anpassungen (begründete Ergänzungen von Routen oder Zusammenfassungen von Modulen) sind mit der AG in Arbeitspaket (AP) 2 abzustimmen.

Die Berechnung des Ressourcenbedarfs ist prozessschrittbezogen und modular aufzubauen. Dazu sollen Module folgende veränderliche Größen enthalten: zulässige Ein- und Ausgangsströme, Mengenbeziehungen, relevante technische Parameter, Wirkungsgrade beziehungsweise Ausbeuten, Infrastrukturbeiträge, Referenzwerte, Parameterbandbreiten sowie Quellen- und Qualitätsinformationen. Für die einzelnen Module sind diese Größen so abzubilden, dass die Module in unterschiedlichen Konfigurationen wiederverwendet werden können. Bereits bilanzierte Intermediate werden in nachgelagerten Modulen mengenbezogen mit ihrem kumulierten Ressourcenprofil übernommen; eine Neubilanzierung identischer Teile einer Prozesskette ist zu vermeiden. Im Anhang ist dargestellt, wie eine Bilanzierungslogik aufgebaut sein kann (vgl. Anhang, Kapitel 5).

Systemgrenze und methodische Abgrenzung

Die Systemgrenze der Ressourcenbedarfe ist Cradle-to-Gate – von der Wiege bis zum Werkstor. Das jeweilige Gate bildet der Entstehungsort des betrachteten Intermediats. Einzubeziehen sind die für die Ressourcenbedarfe relevanten vorgelagerten Bereitstellungs-, Infrastruktur-, Aufbereitungs- und Konversionsschritte. Der einheitliche technologische und zeitliche Bezugsrahmen wird in AP 1 mit der AG abgestimmt (siehe AP1 in Kapitel 2.5).

Der Ressourcenbedarf ist innerhalb dieser Systemgrenze mittels Life Cycle Assessment (LCA) durchzuführen. Für direkte und vorgelagerte Ressourcenbeiträge sind etablierte Life-Cycle-Inventory-Daten, LCA-Datenbanken sowie anerkannte ressourcenbezogene Bilanzierungs- und Charakterisierungsfaktoren heranzuziehen. Die Studie ist jedoch nicht als klassische Ökobilanzierung sämtlicher Prozesspfade zu verstehen. Die Ressourcenbedarfe werden durch Ressourcenindikatoren getrennt ausgewiesen und nicht dimensionsübergreifend zusammengefasst.

Referenzkonfigurationen, Sensitivitätsanalysen, Szenarien und Beispielkonfigurationen sind voneinander abzugrenzen (siehe Anhang, Glossar). Diese Funktionen sind im Analysewerkzeug technisch vorzusehen. Die Nutzung in der Studie selbst dient vor allem der Erprobung und Plausibilisierung des Analysewerkzeugs; eine umfassende Szenario- oder Optimierungsanalyse ist nicht Gegenstand der Studie.

Ressourcen- und Ergebnisgrößen

Für die Module und Routen sind folgende Ressourcenbedarfe und zugehörigen Ressourcenindikatoren abzubilden:

Tabelle 1: Ressourcenbedarf, -indikator und Einheit.

Ressourcenbedarf	Ressourcenindikator	Einheit ¹²
Energie beziehungsweise Strom	Energie	MWh, MJ (bzw. definierte KEA-/CED-Einheit)
Süßwasserverbrauch	Wasser	m³ Süßwasser
Flächenbedarf beziehungsweise zeitbezogene Flächeninanspruchnahme	Land	m², ha bzw. m²·a / ha·a
Rohstoffe	Raw Material Consumption (RMF) / Material Footprint (MF)	kg oder t
	Total Material Requirement (TMR)	kg oder t
Metalle und nichtmetallischen Mineralien	Abiotic Depletion Potential (ADP)	z. B. kg Sb-Äquivalent
Treibhausgas Emissionen; optionale Leistung	Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ -Äquivalent

Bei energetisch nutzbaren Intermediaten ist ergänzend der Energieinhalt als Ergebnisgröße auszuweisen.

Beim Wasserindikator ist die physische Menge des verbrauchten Süßwassers abzubilden. Beim Landindikator ist der Flächenbedarf beziehungsweise die zeitbezogene Flächeninanspruchnahme abzubilden. Weitergehende wasser- oder landbezogene Wirkungsbewertungen, beispielsweise Biodiversität, Bodenqualität oder indirekte Landnutzungsänderungen, sind nicht Gegenstand des Auftrags.

Für RMC/MF ist neben einer geeigneten aggregierten Darstellung soweit datenmäßig möglich eine Rückverfolgbarkeit auf relevante Metalle und nichtmetallische Mineralien beziehungsweise Materialgruppen vorzusehen. Die Datenstruktur ist so aufzubauen, dass spätere rohstoffbezogene Auswertungen und Kritikalitätsbetrachtungen durch die AG mit Hilfe des Analysewerkzeugs möglich sind. Eine vollständige eigenständige Kritikalitätsstudie ist nicht Gegenstand des Auftrags; die grundsätzliche Eignung der Daten und Ergebnisse hierfür wird in AP 5 exemplarisch geprüft.

Im Anhang sind eine indikatorspezifische Berechnungslogik (vgl. Anhang, Kapitel 4), eine mathematische Bilanzierungs- und Übertragungslogik (vgl. Anhang, Kapitel 5), eine Behandlung mehrerer Outputs (vgl. Anhang, Abschnitt 5.7) sowie Ressourcenprofile konkretisiert.

2.2 Übergreifende Anforderungen an Analysewerkzeug, Daten und Übergabe

Funktionale Architektur

Das Analysewerkzeug muss eine strukturierte Moduldatenbank, einen nachvollziehbaren Berechnungskern¹³, eine Bedien- und Konfigurationsebene, eine standardisierte Dashboard- und

¹² Jeder Indikator besitzt eine spezifische Einheit und eine eigene Skalierung. Die erzeugte Menge eines Intermediats oder Produkts stellt keine übergeordnete funktionale Einheit dar; sie dient ausschließlich als mengenbezogener Referenz- und Kopplungsfluss zur Übertragung vorgelagerter Ressourcenprofile. Soweit fachlich sinnvoll, sind SI- beziehungsweise SI-abgeleitete Einheiten zu verwenden. Fachlich etablierte alternative Einheiten wie MWh oder ha sind zulässig, sofern sie eindeutig definiert und konsistent umrechenbar sind.

¹³ Der Berechnungskern ist der Teil des Analysewerkzeugs, der die prozessschrittbezogene Bilanzierungslogik umsetzt.

Ergebnisschicht sowie Funktionen für Speicherung, Laden, Export, Aktualisierung und Erweiterung umfassen. Die Prozessketten-Dashboards und die Darstellungslogik ist nach Anhang, Kapitel 6 als Funktionen des Analysewerkzeugs zu implementieren und anhand der in AP 5 vereinbarten Beispielkonfigurationen nachzuweisen.

Die Moduldatenbank bildet die Datenbasis des Analysewerkzeugs. Für jedes Modul müssen eine eindeutige Identifikation, Technologiebezeichnung, zulässige Inputs und Outputs, Mengenbeziehungen, Referenzparameter und Parametergrenzen, Ressourcenkennwerte, Infrastrukturinformationen, geografischer und zeitlicher Bezug, Datenquelle, Datenqualität sowie Datenstand und Versionskennzeichnung hinterlegt werden können. Die konkrete Mindeststruktur richtet sich nach Anhang, Kapitel 6.4.

Der Berechnungskern muss die Verkettung mehrerer Module, die mengenbezogene Übertragung vorgelagerter Ressourcenprofile, mehrere Input- und Outputströme, Wirkungsgrade und Ausbeuten, Infrastrukturbeiträge, Mehrproduktprozesse und die vereinbarten Ressourcenindikatoren abbilden. Referenzkonfigurationen und Sensitivitätsberechnungen müssen reproduzierbar ausführbar sein. Unzulässige oder unvollständige Konfigurationen sind bereits auf Werkzeugebene zu erkennen und für die Nutzerinnen nachvollziehbar kenntlich zu machen.

Die Bedien- und Konfigurationsebene ist so auszugestalten, dass die Analysevorgänge ohne Änderung des Quellcodes durchgeführt werden können. Die AG muss in der Lage sein, Module auszuwählen und zu verknüpfen, Referenzwerte und Parameter innerhalb definierter Grenzen anzupassen, Konfigurationen zu speichern und zu laden, Sensitivitätsanalysen auszuführen, unterschiedliche Modulzusammenstellungen als Szenarien gegenüberzustellen sowie Dashboards und Ergebnisdateien zu erzeugen. Für jede konfigurierte Route muss die standardisierte Ergebnisdarstellung dynamisch aus den hinterlegten Daten und Berechnungsergebnissen erzeugt werden.

Datenhaltung, Aktualisierung und Erweiterbarkeit

Die Datenhaltung ist so zu gestalten, dass Prozess-, Ressourcen- und Metadaten, in Versionen nachvollziehbar und auf die verwendeten Quellen zurückführbar sind (Mindestanforderungen an die hinterlegte Datentabelle siehe Anhang, Kapitel 6.4). Externe LCA-, Material-, Technologie- oder sonstige Datenbanken dürfen genutzt werden, sofern Quelle, Datenbank, Versionsstand, Abrufzeitpunkt, verwendete Datensätze und bestehende Lizenzabhängigkeiten dokumentiert werden.

Soweit Lizenzbedingungen externer Datenbanken eine Übergabe von Originaldaten ausschließen, sind die externe Abhängigkeit, die für Reproduktion und Aktualisierung erforderlichen Zugänge sowie die aus den Daten abgeleiteten und im Analysewerkzeug verwendeten Kennwerte nachvollziehbar zu dokumentieren. Eine permanente Online-Verbindung zu externen Datenbanken soll für die grundlegende Nutzung des Analysewerkzeugs vermieden werden.

Soweit bereits bei Angebotserstellung absehbar ist, dass Daten aus externen Datenbanken aufgrund von Lizenzbedingungen nicht an die AG übergeben werden können, sind die betreffenden Datenbanken und ihre Abhängigkeit, welche für die für Reproduktion und Aktualisierung erforderlich sind, darzustellen.

Für jedes Modul muss nachvollziehbar sein, auf welchem Datenstand es basiert und wann eine Aktualisierung vorgenommen wurde. Für externe Datenquellen ist ein dokumentierter Aktualisierungsstand darzustellen, beispielsweise über standardisierte Importe, definierte Schnittstellen oder eine manuelle Aktualisierung. Zusätzliche Module müssen auf Grundlage eines standardisierten Modulschemas ergänzt werden können, ohne die grundlegende Berechnungslogik neu programmieren zu müssen. Das Modulschema muss die für Daten, Parameter, Einheiten, Quellen, Sensitivitätsbandbreiten und Validierungsregeln erforderlichen Felder enthalten.

Softwareabhängigkeiten, Rechte und Übergabe

Das Analysewerkzeug ist als dauerhaft durch die AG eigenständig nutzbares, reproduzierbares und erweiterbares System zu entwickeln. Die grundlegende Funktionsfähigkeit darf nach Projektabschluss nicht von einer fortlaufenden Beauftragung des AN abhängen. Die Zielumgebung für das Analysewerkzeug ist ein Rechner mit Microsoft Windows 11 Pro und maximal 64 Gigabyte (GB) Arbeitsspeicher, einem Intel(R) Core™ Ultra 9 185H Prozessor, einem Grafikspeicher von 8 GB.

Bestehende Softwarebestandteile des AN, Drittsoftware und Open-Source-Komponenten sind einschließlich ihrer Lizenzbedingungen transparent zu kennzeichnen. Deren Einsatz darf die vertragsgemäße eigenständige Nutzung, Wartung, Anpassung und Weiterentwicklung des Analysewerkzeugs durch die AG oder von ihr beauftragte Dritte nicht ausschließen. Dauerhafte Lizenz- und Betriebskosten sind soweit möglich zu vermeiden und in den Angebots- und Preisunterlagen (Preisblatt Pos. 9.1 und im detaillierten Kostenplan) transparent auszuweisen.

Für die im Rahmen des Auftrags neu entwickelten Softwarebestandteile, Quelltexte, Skripte, Konfigurationsdateien, Datenmodelle, Moduldatenbanken, Dokumentationen und sonstigen Arbeitsergebnisse sind die für die vertragsgemäße Nutzung, Bearbeitung, Weiterentwicklung und Reproduktion erforderlichen Rechte sicherzustellen. Die konkrete rechtliche Ausgestaltung richtet sich nach den Vertragsunterlagen.

Zum Projektabschluss ist ein vollständig funktionsfähiger und reproduzierbarer Stand zu übergeben. Neben dem nutzbaren Analysewerkzeug umfasst die Übergabe die Moduldatenbank, die für Betrieb und Weiterentwicklung erforderlichen Quelltexte, Skripte, Konfigurationsdateien und verwendete Softwarebibliotheken beziehungsweise Umgebungsinformationen. Ebenso die reproduzierbaren Test- und Beispieldatensätze sowie die in AP 7 näher beschriebenen Nutzer-, Administrations-, Entwicklungs-, Installations-, Update- und Erweiterungsdokumentationen. Die Übergabe von Prototypen, Arbeitsversionen und finalem Analysewerkzeug erfolgt digital als Download. Die zwölf Beispielkonfigurationen aus AP 5 müssen mit dem final übergebenen Analysewerkzeug reproduzierbar berechnet werden können.

2.3 Allgemeine Anforderungen an die Leistungserbringung

Qualitäts- und Publikationsanforderungen

Es wird für die Leistungserbringung ein hoher fachlicher und formaler Standard erwartet. Die Darstellung soll klar strukturiert, prägnant, fachlich-neutral sein. Daten, Annahmen, Berechnungsschritte und Aussagen müssen nachvollziehbar dokumentiert und wissenschaftlich belegt werden.

Für Quellen und Literatur ist ein einheitlicher wissenschaftlicher Zitationsstil zu verwenden. Sämtliche Quellen müssen eindeutig den verwendeten Daten, Annahmen und Aussagen zugeordnet werden können. Soweit der Publikationsleitfaden der AG keine abschließenden Vorgaben enthält, wird die konkrete Zitationskonvention in AP 1 mit der AG abgestimmt.

Die Gestaltung zur Veröffentlichung vorgesehener Dokumente und Ergebnisse hat dem Corporate Design Manual des PtX Lab Lausitz zu entsprechen. Die AG stellt die einschlägigen Word-/PowerPoint-Vorlagen, Formatvorlagen, das Corporate Design Manual und den Publikationsleitfaden zur Verfügung.

Für alle Veröffentlichungen, die von der AG online bereitgestellt werden sollen, sind die Vorgaben der jeweils geltenden Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV) sowie die einschlägigen technischen Standards einschließlich EN 301 549 und DIN ISO 14289 (PDF/UA) einzuhalten. Die technische Zugänglichkeit finaler PDF-Dokumente ist durch Prüfberichte mit der jeweils

aktuellen Version des PDF-Accessibility-Checkers (PAC) nachzuweisen. Festgestellte Mängel sind bis zur endgültigen Abnahme zu beheben.

Reisen zur Leistungserbringung

Als reguläre Präsenzformate sind ein Kick-off-Meeting in AP 1, der Hands-on- und Anwenderworkshop in AP 6 sowie die Abschlussveranstaltung einschließlich des öffentlichen Release in AP 7 vorgesehen; diese finden in Cottbus statt. Die übrigen Jour fixe und Workshops finden grundsätzlich digital statt. Die für die vorgesehenen Präsenztermine erforderlichen Reisekosten sind in den jeweiligen Arbeitspaketen zu berücksichtigen.

Verkehrsbedingte CO₂-Emissionen durch Reisen im Rahmen dieses Vertrags sind möglichst zu reduzieren beziehungsweise zu vermeiden. Reisen mit der Bahn ist grundsätzlich der Vorrang zu geben. Bei nicht vermeidbaren Flugreisen ist ein CO₂-Ausgleich vorzunehmen.

Einsatz digitaler und künstlicher Intelligenz (KI)-gestützter Verfahren

Die AG erwartet eine effiziente, dem aktuellen Stand digitaler wissenschaftlicher Arbeitsmethoden entsprechende Leistungserbringung. Insbesondere bei Literatur- und Datenrecherche, strukturierter Datenextraktion und -aufbereitung, Datenqualitätsprüfung, Programmierung, Testung, Dokumentation, Ergebnisaufbereitung und redaktionellen Arbeiten sollen geeignete digitale, automatisierte und – soweit rechtlich geeignet – KI-gestützte Verfahren eingesetzt werden.

Ziel ist es, manuelle und repetitive Arbeitsschritte sinnvoll zu reduzieren und die verfügbaren personellen Ressourcen verstärkt für fachliche Bewertung, methodische Entscheidungen, Qualitätssicherung und Interpretation einzusetzen. Der Einsatz automatisierter oder KI-gestützter Verfahren darf die wissenschaftliche Nachvollziehbarkeit, Reproduzierbarkeit, Datenqualität und fachliche Verantwortung des AN nicht beeinträchtigen.

Sofern für die Leistungserbringung Anwendungen, die auf künstlicher Intelligenz beruhen, eingesetzt werden, benennen Sie diese in Ihrem Umsetzungskonzept (Name & Hersteller, Verwendungszweck, verwendete Daten/Datenklassifizierung).

Werden durch die KI-Anwendung personenbezogene Daten und/oder vertrauliche Informationen verarbeitet, dürfen nur Anwendungen genutzt werden, die folgende Anforderungen erfüllen:

- Betrieb in einer geschlossenen Umgebung. Diese stellt eine logische Mandantentrennung sicher, die den Zugriff Dritter sowie des KI-Anbieters auf die Eingabedaten technisch ausschließt.
- Eingeegebenen Daten werden nur zur unmittelbaren Beantwortung der Anfrage verarbeitet. Sie werden nicht an Dritte weitergegeben oder zu anderen Zwecken z. B. Training, Optimierung oder Weiterentwicklung analysiert oder verarbeitet. Es erfolgt keine Verknüpfung der Daten mit anderen Datensätzen.
- Betrieb auf einem ISO27001-zertifizierten Server mit Standort innerhalb der EU/EWR.

Sofern Sie hiernach zulässige KI-Anwendungen einsetzen wollen, belegen Sie die Zulässigkeit in Ihrem Umsetzungskonzept durch geeignete Nachweise.

Durch KI erzeugte bzw. manipulierte Texte sind einer menschlichen Prüfung zu unterziehen oder redaktionell zu kontrollieren, wobei die redaktionelle Verantwortung und Haftung bei dem AN liegt.

2.4 Projektkoordination, Abstimmung und Workshops

Die AG benennt für die Projektlaufzeit eine Hauptansprechperson. Weitere Mitarbeitende des PtX Lab Lausitz sowie gegebenenfalls Vertreterinnen und Vertreter des zuständigen Bundesministeriums können in fachliche Abstimmungen und Feedbackprozesse einbezogen werden.

Der AN setzt die im Angebot benannte Projektleitung und stellvertretende Projektleitung ein. Die Projektleitung ist zentrale Ansprechperson gegenüber der AG und trägt die Verantwortung für die fachliche, technische, organisatorische und terminliche Koordination der Leistungserbringung.

Jour fixe

Während der Projektlaufzeit findet grundsätzlich alle zwei Wochen ein Jour fixe zwischen AN und AG statt. Seitens des AN nimmt mindestens die Projektleitung oder die stellvertretende Projektleitung teil. Der AN organisiert und moderiert die Termine und stellt die erforderliche Videokonferenztechnik bereit.

Die Tagesordnung ist grundsätzlich spätestens zwei Werktage vor dem Termin bereitzustellen. Unterlagen, die für eine Entscheidung erforderlich sind, sind grundsätzlich spätestens fünf Werktage vor dem Termin als Entwurf zu übermitteln. Der AN dokumentiert wesentliche Entscheidungen und Ergebnisse in einem Kurzprotokoll innerhalb von drei Werktagen; die AG kann innerhalb von drei Werktagen Korrekturhinweise übermitteln.

Workshops

Zur fachlichen Steuerung werden vier halbtägige digitale Workshops (siehe folgendes Kapitel) vorgesehen. Der AN stellt die für die Entscheidung erforderlichen Unterlagen spätestens zehn Werktage vor dem jeweiligen Workshop bereit, moderiert den Termin und dokumentiert Entscheidungen und Freigaben in einem Protokoll innerhalb von drei Werktagen.

2.5 Arbeitspakete

Die Leistungserbringung ist in sieben Arbeitspakete gegliedert. Das achte Arbeitspaket ist eine optionale Leistung.

AP 1 – Untersuchungsrahmen und Methodenspezifikation

Es findet innerhalb von 14 Tagen nach Zuschlagserteilung ein halbtägiger Kick-off in Präsenz beim PtX Lab Lausitz in Cottbus statt. Der AN bereitet den Termin vor, moderiert und dokumentiert die Ergebnisse. Die Räumlichkeiten werden durch die AG gestellt. Seitens des AN nehmen die Projektleitung oder deren Stellvertretung sowie die fachlichen Verantwortlichen teil. Im Workshop werden Untersuchungsrahmen, Methodik, Arbeitsorganisation, Verantwortlichkeiten, Zeitplan, benötigte Zuarbeiten der AG, Inhalte der folgenden Workshops sowie offene methodische und technische Entscheidungen abgestimmt. Die Festlegungen sind in die Methodik- und Anforderungsspezifikation beziehungsweise den Projekt-, Daten- und Entwicklungsplan des Analysewerkzeugs zu übernehmen.

AP 1 überführt die Mindestanforderungen in eine projektbezogene Spezifikation. Der AN erarbeitet für Auswahl- oder Abgrenzungsentscheidungen Vorschläge und stimmt diese im Workshop 1 mit der AG ab. Anschließend aktualisiert der AN die Dokumente. Nach Freigabe durch die AG bilden diese die verbindliche Projektgrundlage.

Der AN überführt die Forschungsfragen aus Kapitel 1.2 in eine operationalisierbare Methodik- und Anforderungsspezifikation. Diese umfasst:

- Den technologischen und zeitlichen Bezugsrahmen (u. a. Systemgrenze, Referenzwerte, Umgang mit Infrastruktur- und Mehrproduktbeiträgen),
- Ressourcenindikatoren und Einheiten,

- Datenqualitätsanforderungen (Repräsentativität, Aktualität, Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit, Unsicherheit),
- Anforderungen an die Daten- und Werkzeugarchitektur (u. a. Nutzerprozesse, Schnittstellen, Datenhaltung, Reproduzierbarkeit, Aktualisierbarkeit, Erweiterbarkeit),
- fachliche und softwarebezogene Abnahme- und Validierungskriterien (Prüfkriterien, für Prototyp, Beta-, Arbeits- und Finalversion).

Zusätzlich legt der AN den Entwurf eines detaillierten Projektzeitplans vor. Er konkretisiert den Arbeits- und Personaleinsatzplan und umfasst Arbeitsschritte, Meilensteine, Workshops, Softwarestände, Validierungs- und Anwendererprobungstermine, Berichtsentwürfe und Abschlussprodukte.

Workshop 1 – Methodik und Anforderungsspezifikation: nach Abschluss der wesentlichen Arbeiten aus AP 1. Gegenstand sind insbesondere Untersuchungsrahmen, Systemgrenze, technologischer und zeitlicher Bezugsrahmen, Indikatoren, Datenqualitäts- und Validierungsanforderungen sowie die funktionalen Anforderungen an das Analysewerkzeug.

Laufzeit

M1–M2 (Monat bzw. Projektmonat)

Zusammenfassung der Inhalte

- Operationalisierung der verbindlichen und beispielhaften Vorgaben
- Begründeter Vorschlag der Methodik- und Anforderungsspezifikation
- Entwurf des Projektzeitplans
- Workshop 1 einschließlich Vorbereitung, Moderation und Protokollierung
- Aktualisierung der Dokumente nach Workshop 1

Meilensteine

MS 1.1: Kick-off durchgeführt und protokolliert

MS 1.2: Methodik und Anforderungsspezifikation abgestimmt und freigegeben

MS 1.3: Workshop 1 durchgeführt und protokolliert

Deliverables

D 1.1: Protokoll zu Kick-off

D 1.2: Methodik und Anforderungsspezifikation

D 1.3: Projekt-, Daten- und Werkzeugentwicklungsplan

D 1.4: Protokoll zu Workshop 1

AP 2 – Modulportfolio, technische Konkretisierung und Datenarchitektur

In AP 2 wird Untersuchungsraum systematisch in ein Modulportfolio überführt, indem Prozessketten in abgrenzbare, wiederverwendbare Module zerlegt werden.

Der AN prüft für alle sechs Intermediate ausgehend von der Vorstudie (vgl. Kapitel 2.1 und Anhang, Kapitel 3) per vertiefender Recherche Prozessschritte, Technologievarianten und Querverbindungen zur konsistenten Abbildung von PtX-, BtX- und kombinierter Konfigurationen. Die in Anhang, Kapitel 3.4, aufgeführten Modulgruppen bilden den verbindlichen fachlichen Abdeckungs- und Prüfrahmen des Modulportfolios. Die dort genannten Einzeltechnologien und Verfahrensvarianten dienen der Orientierung und sind nicht als abschließende Vorgabe zu verstehen. Zwischenmodule und Konvergenzpunkte zur Mehrfachnutzung bereits bilanzierter Ressourcenprofile sowie die

Anforderungen an Strom- und Biomassebereitstellung nach Anhang, Kapitel 3.4.1 und 3.4.2, sind bei der Konkretisierung des Modulportfolios zu berücksichtigen. Die konkrete Ausgestaltung des Modulportfolios wird vom AN fachlich begründet vorgeschlagen und mit der AG abgestimmt.

Parallel entwickelt der AN das Datenmodell der Moduldatenbank (inkl. Prozess-, und Ressourcen-daten Metadaten; Mindestanforderungen siehe Anhang, Kapitel 6.4). Für jedes Modul werden Funktionen, Input-/ Outputströme, Mengenbeziehungen, Parameter, Einheiten, mögliche Referenz- und Sensitivitätsparameter sowie die für die Ressourcenbewertung erforderlichen Datenfelder festgelegt. Zulässige Verknüpfungen werden für AP 3 spezifiziert. Zudem identifiziert ein Datenquellen- und Dateninstandsetzungskonzept Primär-/Sekundärquellen, Literatur und Datenbanken hinsichtlich Verfügbarkeit, Aktualität, Repräsentativität und Lizenzabhängigkeit, um die Datenerhebung in AP 4 vorzubereiten.

Laufzeit

M1–M4

Zusammenfassung der Inhalte

- Zerlegung der PtX- und BtX-Routen in Module
- begründeter Modulkatalog
- Festlegung von Modulgrenzen, Input-/ Outputlogik und technischen Verknüpfungsregeln
- Definition von Modulparametern, Referenzwerten und potenziellen Sensitivitätsparametern
- Datenmodell und Datenbankschema
- Metadatenstruktur (Quelle, Bezugsjahr, geografischem Bezug, Datenqualität, Datenstand und Versionskennzeichnung)
- Datenquellen- und Datenstandskonzept
- Konzept für Datenaktualisierung, Import und Erweiterung des Modulportfolios

Meilensteine

MS 2.1: Modulkatalog abgestimmt und freigegeben

MS 2.2: Datenmodell und Datenarchitektur abgestimmt und freigegeben

Deliverables

D 2.1: Modulkatalog

D 2.2: Datenmodell und Datenbankspezifikation

D 2.3: Datenquellen- und Datenstandskonzept

D 2.4: Aktualisierungs-, Import- und Erweiterungskonzept

AP 3 – Entwicklung und Implementierung des Analysewerkzeugs

In AP 3 wird das Analysewerkzeug vollständig umgesetzt. Der AN implementiert die mathematische und bilanzielle Logik in einem funktionsfähigen Softwaresystem (siehe Anhang, Kapitel 5).

Die Entwicklung des Analysewerkzeugs erfolgt iterativ mit AP 2 und 4. Auf einen frühen Prototyp zur Prüfung von Datenmodell, Verknüpfungslogik und wesentliche Nutzerprozessen folgt eine Beta-Version mit allen Kernfunktionen einschließlich Konfiguration, Berechnung, Sensitivität, Dashboard und Export. Datenhaltung, Berechnungslogik und Bedienebene werden strikt getrennt damit Modulparameter und Datensätze ohne Code-Änderungen aktualisiert werden können.

Das Analysewerkzeug umfasst verpflichtend Datenbank, Berechnungskern, Konfigurationsebene, Dashboard- und Exportlayout sowie Funktionen für Speicherung, Laden, Versionskennzeichnung,

Aktualisierung und Erweiterung. Die Mindestanforderungen an die Ergebnisdarstellung sind im Anhang dargestellt (Kapitel 6).

Standardnutzer sollen Prozessketten quellcodefrei konfigurieren, Parameter variieren und Routen vergleichen können. Validierungsregeln weisen auf unzulässige Verknüpfungen, Pflichtfelder oder Inkonsistenzen hin.

Das dynamische Dashboard visualisiert die Prozesskette, das Ressourcenprofil und die Sensitivitäten. Die Daten sind tabellarisch und maschinenlesbar exportierbar. Für Erweiterungen soll ein Standard-Modultemplate integriert werden. Die Architektur soll dokumentiert und wartbar gestaltet sein, sodass die AG oder Dritte das Analysewerkzeug nach Projektabschluss eigenständig betreiben und weiterentwickeln kann. Automatisierte Funktions- und Regressionstests begleiten die Entwicklung, während die parametrisierten Module aus AP 4 fortlaufend integriert und iterativ bereinigt werden.

Workshop 2 – Modul-, Daten- und Werkzeugarchitektur: nach hinreichendem Bearbeitungsstand von AP 2 und AP 3. Gegenstand sind insbesondere Modulkatalog, Datenmodell, Verknüpfungslogik, Softwarearchitektur, Bedien- und Konfigurationskonzept, Update- und Erweiterungslogik sowie der vorliegende Prototyp.

Laufzeit

M2–M8

Zusammenfassung der Inhalte

- Iterativer Entwicklungsprozess für Prototyp bis zur Beta-Version mit allen Kernfunktionen
- Trennung von Datenhaltung, Berechnungslogik und Bedienebene Aktualisierungen; Fokus auf Dokumentation und Wartbarkeit für den eigenständigen Betrieb
- Integration von Datenbank, Berechnungskern, Konfigurationsebene sowie Dashboard- und Exportlayout
- Quellcodefreie Bedienung, Konfiguration und Aktualisierung
- Funktionen zum Speichern, Laden, Versionskennzeichnen, Aktualisieren und Erweitern (mittels Standard-Modultemplate)
- Qualitätssicherung und integrierte Validierungsregeln
- Dashboard und Datenexport
- Fortlaufende Integration parametrisierter Module aus AP 4 und Durchführung von *Workshop 2*

Meilensteine

MS 3.1: Softwarearchitektur und funktionsfähiger Prototyp vorgelegt

MS 3.2: Beta-Version mit Berechnungskern, Konfiguration, Dashboard und Export funktionsfähig

MS 3.3: Analysewerkzeug für technische Gesamtvalidierung vollständig implementiert

MS 3.4: Workshop 2 durchgeführt und protokolliert

Deliverables

D 3.1: Softwarearchitektur- und Implementierungskonzept

D 3.2: Funktionsfähiger Softwareprototyp

D 3.3: Modultemplate sowie Update-/Importmechanismus

D 3.4: Technische System- und Architektur-Dokumentation, Arbeitsstand

D 3.5: Protokoll zu Workshop 2

AP 4 – Datenerhebung, Parametrisierung und technische Modellvalidierung

In AP 4 werden die spezifizierten Module parametrisiert und in das Analysewerkzeug integriert. Für jedes Modul bestimmt der AN die Stoff- und Energiebilanzen, direkte sowie vorgelagerte Ressourcenbeiträge, Infrastrukturbeiträge, Referenzwerte und plausible Parameterbandbreiten.

Die quellenbezogene Datenerhebung nutzt aktuelle Primärquellen, Fachliteratur sowie Datenbanken und dokumentiert für jeden Datensatz Quelle, Bezugsjahr, Geografie, Technologiestand und Datenqualität. Aggregationen mehrerer Quellen werden begründet.

Sämtliche Daten werden auf ihre Repräsentativität und Qualität geprüft. Sobald für einen Teil des Portfolios ein belastbarer Datenstand vorliegt, erfolgt ein Pilotdurchlauf für ein abgestimmtes Intermediat und eine repräsentative Route. Dieser dient der gemeinsamen Prüfung von Datenstruktur, Verkettung, Bilanzierungslogik und Dashboard mit der AG.

Die Erkenntnisse fließen iterativ zurück in die AP 2 bis 4. Die Validierung umfasst Einheiten- und Bilanzkonsistenz, die korrekte Übertragung vorgelagerter Ressourcenprofile, die Handhabung von Multi-Inputs/ -Outputs sowie Plausibilitätsprüfungen auf Modulebene. Begleitende Regressions-tests verhindern unbeabsichtigte Ergebnisänderungen bei der Weiterentwicklung. AP 4 schließt mit einem stabilen, vollständig parametrisierten Werkzeugstand ab, der als Basis für die Plausibilitätsprüfung in AP 5 dient.

Workshop 3 – Technisch validierter Werkzeugstand: nach Abschluss der wesentlichen Arbeiten aus AP 4. Gegenstand sind insbesondere das parametrisierte Modulportfolio, Datenqualität, technische Modell- und Softwarevalidierung, reproduzierbare Testfälle sowie die Freigabe für die fachliche Plausibilitätsprüfung in AP 5.

Laufzeit

M3–M8

Zusammenfassung der Inhalte

- systematische Datenerhebung für Energie/Strom, Wasser, Land, RMC/MF, TMR und ADP
- Stoff- und Energiebilanzen sowie Infrastrukturbeiträge je Modul
- Referenzwerte und plausible Sensitivitätsbandbreiten
- Datenqualitäts- und Repräsentativitätsbewertung
- Befüllung der Moduldatenbank einschließlich Quellen- und Metadatendokumentation
- Integration der Module in das Analysewerkzeug
- Plausibilitäts- und Konsistenzprüfungen der Eingabedaten
- Validierung der mathematischen Bilanzierungs- und Übertragungslogik
- Regressionstests und reproduzierbare Testfälle
- Pilotdurchlauf für ein ausgewähltes Intermediat

Meilensteine

MS 4.1: Vereinbartes Modulportfolio vollständig parametrisiert

MS 4.2: Datenbasis und Analysewerkzeug validiert und für AP 5 freigegeben

MS 4.3: Workshop 3 durchgeführt und protokolliert

Deliverables

- D 4.1:** Befüllte Moduldatenbank
- D 4.2:** Daten- und Parameterdokumentation
- D 4.3:** Validierungs- und Qualitätssicherungsbericht
- D 4.4:** Reproduzierbare Testfälle
- D 4.5:** Protokoll zu Workshop 3

AP 5 – Exemplarische Anwendung und Plausibilitätsprüfung

AP 5 dient der fachlich-inhaltlichen Plausibilisierung des Werkzeugs und seiner Datengrundlage. Hierzu baut der AN in Abstimmung mit dem AG für jedes der sechs Intermediate je eine PtX- und eine BtX-Konfiguration auf. Diese insgesamt zwölf Beispielkonfigurationen erproben unterschiedliche Modulgruppen und Bereitstellungswege, stellen jedoch keine technologische Rangfolge dar.

Anhand dieser Anwendungen prüft der AN die Kettenergebnisse auf plausible Größenordnungen, die Nachvollziehbarkeit technologischer Unterschiede, die korrekte Rückverfolgbarkeit von Hot-spots sowie das Verhalten der Sensitivitäten. Zudem wird die Funktion von Dashboard und Exporten nachgewiesen. Der Abgleich erfolgt auch extern mit unabhängigen Literaturwerten. Auffällige Abweichungen werden untersucht, korrigiert und in die betroffenen Arbeitspakete zurückgespielt.

Ergänzend wird ein fokussierter PtX-/BtX-Vergleich durchgeführt, um die Eignung des Werkzeugs für vergleichende Ressourcenbewertungen zu testen. Für ausgewählte Metalle oder nichtmetallische Mineralien wird exemplarisch geprüft, ob Datenauflösung und Rückverfolgbarkeit eine nachgelagerte Kritikalitätsbewertung (z. B. gemäß EU-Kritikalitätsbewertung) ermöglichen und eine Einordnung in die Kategorien der Planetary Boundaries unterstützen. Eine eigenständige Studie ist nicht geschuldet.

Die Freigabe der Arbeitsversion für AP 6 erfolgt erst nach Behebung wesentlicher Fehler. Der abschließende Plausibilisierungsbericht dokumentiert neben den bestätigten Funktionen ausdrücklich auch bekannte Datengrenzen, Einschränkungen und Nutzungsempfehlungen.

Workshop 4 – Fachliche Plausibilisierung und Freigabe der Arbeitsversion: nach Vorliegen der Ergebnisse aus AP 5. Gegenstand sind insbesondere die zwölf Beispielkonfigurationen, Plausibilität der ausgegebenen Ressourcenprofile und Sensitivitäten, Vergleichbarkeit ausgewählter PtX-/ BtX-Konfigurationen, Eignung der Rohstoffdaten für spätere Kritikalitätsanalysen die AG, bekannte Anwendungsgrenzen sowie die Freigabe der Arbeitsversion für die Anwendererprobung in AP 6.

Laufzeit

M8–M9

Zusammenfassung der Inhalte

- Aufbau und Berechnung von zwölf Beispielkonfigurationen
- Dashboard-Ausgabe und Export für alle Beispielkonfigurationen
- Plausibilitätsprüfung der Modul- und Kettenergebnisse
- exemplarische Sensitivitätsprüfungen für ausgewählte Parameter
- mindestens ein vertiefter PtX-/BtX-Vergleich als Test der Vergleichbarkeit
- exemplarische Prüfung der Eignung der Rohstoffdaten für spätere Kritikalitätsanalysen
- exemplarische Prüfung der Anschlussfähigkeit an die EU-Kritikalitätsbewertung sowie an eine Einordnung in relevante Planetary Boundaries
- Dokumentation von Datenlücken, methodischen Grenzen, Vergleichbarkeitsproblemen und Nutzungshinweisen

- Abgleich wesentlicher Ergebnisse mit unabhängigen Referenzen beziehungsweise plausiblen Größenordnungen
- Korrekturschleife für identifizierte Fehler vor Freigabe der Arbeitsversion
- Freigabe einer plausibilisierten Arbeitsversion für die Anwendererprobung

Meilensteine

MS 5.1: Zwölf Beispielkonfigurationen berechnet und standardisiert ausgegeben

MS 5.2: Plausibilitätsprüfung abgeschlossen und Arbeitsversion für AP 6 freigegeben

MS 5.3: Workshop 4 durchgeführt und protokolliert

Deliverables

D 5.1: Standardisierte Ausgaben der zwölf Beispielkonfigurationen

D 5.2: Bericht zur Plausibilität und Anwendbarkeit des Analysewerkzeugs

D 5.3: Dokumentierter exemplarischer PtX-/BtX-Vergleich einschließlich Kritikalitäts-Eignungsprüfung

D 5.4: Protokoll zu Workshop 4

AP 6 – Bereitstellung, Anwendererprobung und Optimierung der Arbeitsversion

Nach der Plausibilisierung stellt der AN dem AG eine lauffähige Arbeitsversion des Analysewerkzeugs zur eigenständigen Erprobung bereit. Diese enthält alle Kernfunktionen wie Modulkonfiguration, Parameteränderung, Sensitivitätsanalyse, Dashboard und Export. Dem AG wird dafür ein zusammenhängender Nutzungszeitraum von mindestens vier Wochen auf der vereinbarten Zielumgebung eingeräumt.

Zusammen mit der Software werden eine Startanleitung, Testdaten und der dokumentierte Versionsstand bereitgestellt. Der AG kann während der Erprobung eigene Konfigurationen testen, wobei der AN im Rahmen der regulären Jours fixes technische Unterstützung leistet und strukturiertes Feedback entgegennimmt. Eine dauerhafte Supportbereitschaft oder die Auswertung der AG-Szenarien ist nicht geschuldet.

Teil dieses APs ist ein zweitägiger Hands-on- und Anwenderworkshop als Präsenz-Veranstaltung in Cottbus. Der AN bereitet den Termin vor, moderiert und dokumentiert die Ergebnisse. Die Räumlichkeiten werden durch die AG gestellt. Unter Anleitung des AN durchläuft der AG praktische Anwender- und Erweiterungstests: vom Verändern einer Pfadkonfiguration über Datenexporte und einer Sensitivitätsanalyse bis hin zur exemplarischen Integration eines neuen Moduls via Template.

Das Nutzerfeedback wird strukturiert in Softwarefehler, Bedienprobleme und Optimierungswünsche gegliedert. Technische Fehler und im Leistungsumfang enthaltene Anpassungen setzt der AN vor dem Release Candidate um. Weitergehende Funktionswünsche werden lediglich dokumentiert, ohne den Leistungsumfang zu erweitern.

Laufzeit

M9–M10

Zusammenfassung der Inhalte

- Bereitstellung einer nutzbaren Arbeitsversion
- Eigenständige vierwöchige Anwendererprobung durch die AG
- Zweitägiger Hands-on- und Anwenderworkshop

- Sammlung, Dokumentation und Priorisierung des Nutzerfeedbacks
- Fehlerkorrekturen und vereinbarte Optimierungen
- Bereitstellung eines für die Finalisierung freigegebenen Release Candidate

Meilensteine

MS 6.1: Hands-on- und Anwenderworkshop einschließlich Erweiterungstest durchgeführt und protokolliert

MS 6.2: Nutzerfeedback abgestimmt und optimierter Release Candidate für AP 7 freigegeben

Deliverables

D 6.1: Arbeitsversion des Analysewerkzeugs

D 6.2: Schulungs- und Workshopunterlagen einschließlich Protokoll

D 6.3: Dokumentierte Feedback-, Fehler- und Optimierungsliste einschließlich Umsetzungsstatus

D 6.4: Release Candidate des Analysewerkzeugs

D 6.5: Protokoll zum Hands-on- und Anwenderworkshop

AP 7 – Finalisierung, Dokumentation, Abschlussbericht und interne Abschlussveranstaltung mit öffentlichem Release

In AP 7 werden die Ergebnisse der Anwendererprobung eingearbeitet sowie das Analysewerkzeug, die Moduldatenbank, die Dokumentationen und der Bericht finalisiert. Die finale Werkzeugversion muss alle vereinbarten Anforderungen erfüllen und eine eigenständige Nutzung, Datenaktualisierung sowie Modulerweiterung ermöglichen.

Vor der Übergabe erfolgt ein abschließender Abnahmetest. Dabei werden die Reproduzierbarkeit der Beispielkonfigurationen, die Kernfunktionen, Datenaktualisierungen sowie die Modulerweiterung geprüft. Das zu übergebende Softwarepaket enthält alle Quelltexte, Skripte, Konfigurationsdateien, Bibliotheken sowie die finale Datenbank und Testfälle. Die Übergabe von Prototypen, Arbeitsversionen und finalem Analysewerkzeug erfolgt digital als Download.

Die Dokumentation wird als eigenständiges Produkt bereitgestellt und umfasst Benutzerhandbuch, Installationsanleitung, Administrations- und Entwicklerdokumentation sowie Update- und Lizenzinformationen. Sie ist so strukturiert, dass fachlich qualifizierte Dritte alle Berechnungs- und Aktualisierungsschritte nachvollziehen können.

Zudem erstellt der AN einen Abschlussbericht in englischer Sprache, der die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse nachvollziehbar dokumentiert. Dieser dient nicht als umfassende Szenario-studie und ist inhaltlich klar von der technischen Softwaredokumentation abzugrenzen.

Der Abschlussbericht dokumentiert insbesondere folgende Inhalte:

- Ausgangslage, Zielsetzung und Untersuchungsrahmen des Vorhabens,
- projektbezogene Konkretisierung der methodischen Grundlagen,
- Aufbau des Modulportfolios und der Datenarchitektur,
- Vorgehen bei Datenerhebung und Parametrisierung,
- Entwicklung und funktionale Ausgestaltung des Analysewerkzeugs,
- technische Modellvalidierung und Qualitätssicherung,
- Plausibilisierung anhand der zwölf Beispielkonfigurationen,

- Ergebnisse des exemplarischen PtX-/BtX-Vergleichs und der Prüfung der Eignung für weiterführende Ressourcen- und Kritikalitätsauswertungen,
- Durchführung und Ergebnisse der Anwendererprobung,
- aus der Anwendererprobung abgeleitete Anpassungen,
- finaler Funktions- und Datenstand des Analysewerkzeugs,
- bekannte Daten-, Methoden-, Anwendungs- und Aussagegrenzen sowie
- Hinweise für die eigenständige weitere Nutzung und Fortentwicklung durch die AG.

Bereits im Anhang beschriebene Grundlagen werden im Abschlussbericht nicht erneut wiedergegeben. Stattdessen stellt der Bericht nachvollziehbar dar, wie diese Vorgaben konkret umgesetzt wurden, welche fachlichen Entscheidungen getroffen wurden und welche Abweichungen oder Einschränkungen bestehen. Der Bericht ist auf maximal 100 DIN-A4-Seiten begrenzt.

Dem Bericht wird eine eigenständig nutzbare Executive Summary in englischer Sprache (maximal fünf DIN-A4-Seiten) vorangestellt. Diese fasst Zielsetzung, Vorgehen, Ergebnisse, Funktionsumfang, Validierung und Anwendungsgrenzen verständlich zusammen. Für die geplante Veröffentlichung übernimmt der AN ein professionelles Korrektorat, Layout und Satz nach den Design-Vorgaben des AG. Die AG stellt hierfür die einschlägigen Vorlagen, Formatvorgaben, das Corporate Design Manual und den Publikationsleitfaden zur Verfügung. Quellen und Literatur sind einheitlich wissenschaftlich und präzise zuzuordnen.

Für den Bericht und die Executive Summary sind bis zu fünf Feedbackschleifen einzukalkulieren. Die finalen Fassungen werden als offene Quelldateien sowie als barrierefreie PDF-Dateien inklusive Prüfbericht übergeben. Zudem erstellt der AN eine bearbeitbare Ergebnispräsentation im Corporate Design des AG für die Abschlussveranstaltung, die das Projektvorgehen und die Analysewerkzeug-Nutzung auch für ein breiteres Publikum verständlich aufbereitet. Das Analysewerkzeug wird jedoch nicht öffentlich zur Verfügung gestellt.

Abschlussveranstaltung mit öffentlichem Release

Zum Projektende findet eine Abschlussveranstaltung in Präsenz beim PtX Lab Lausitz in Cottbus statt. Sie dient der internen Projektübergabe, der fachlichen Einordnung der Projektergebnisse sowie der öffentlichen Vorstellung des entwickelten Analysewerkzeugs.

Die Veranstaltung gliedert sich in einen internen Teil und einen öffentlichen Release:

- Interner Teil: Der AN bereitet den Termin vor, moderiert und dokumentiert die Ergebnisse. Die Räumlichkeiten werden durch die AG gestellt. Der AN demonstriert die finale Werkzeugversion und erläutert Methodik, Datenbasis, Plausibilisierungsergebnisse, Anwendungsgrenzen sowie Möglichkeiten der Fortentwicklung durch den AG. Offene Punkte der Übergabe werden dokumentiert.
- Öffentlicher Release: In die Veranstaltung wird ein 60- bis 90-minütiger, öffentlich zugänglicher Online-Release des AG integriert. Der AN übernimmt dabei den fachlichen Hauptvortrag und die Werkzeug-Demonstration (Zielsetzung, Funktionsweise, exemplarische Ergebnisse und Grenzen). Organisation, Einladung, Technik und Moderation liegen beim AG.

Der öffentliche und der interne Teil werden inhaltlich so abgestimmt, dass Dopplungen im internen Kreis vermieden werden, sofern sie nicht für die fachliche Diskussion oder Abnahme zwingend erforderlich sind.

Laufzeit

M10–M12

Zusammenfassung der Inhalte

- Einarbeitung des in AP 6 abgestimmten Nutzerfeedbacks und Finalisierung des Analysewerkzeugs
- abschließender technischer Abnahmetest und dokumentierte Projektübergabe
- vollständiges technisches Übergabepaket einschließlich Quelltexten, Testfällen, Versions- und Abhängigkeitsinformationen
- finale Moduldatenbank und maschinenlesbare Modell-/Ergebnisdaten
- vollständige Software-, Nutzer-, Administrations- und Entwicklerdokumentation
- Installations-/Ausführungsanleitung, Update-Anleitung und Anleitung zur Modulerweiterung
- Abschlussbericht in englischer Sprache mit einer Obergrenze von 100 DIN-A4-Seiten
- Executive Summary in englischer Sprache mit einer Obergrenze von fünf DIN-A4-Seiten
- professionelles Korrektorat, Layout und Satz der Veröffentlichungsprodukte
- barrierefreie Veröffentlichungsfassungen einschließlich Prüfbericht und offene Quelldateien
- bearbeitbare Ergebnispräsentation
- Abschlussveranstaltung in Präsenz in Cottbus einschließlich interner Projektübergabe
- öffentlicher Online-Release als integrierter Veranstaltungsteil mit einer Dauer von 60 bis 90 Minuten einschließlich fachlichem Hauptvortrag und Werkzeugdemonstration durch den AN
- vollständige Übergabe aller vereinbarten Quelldateien, Skripte, Konfigurationen und Dokumentationen

Meilensteine

MS 7.1: Finale Version des Analysewerkzeugs und vollständige Softwaredokumentation vorgelegt

MS 7.2: Vollständiger Entwurf des Abschlussberichts einschließlich Executive Summary vorgelegt

MS 7.3: Finale Veröffentlichungsfassungen und technische Übergabe durch die AG abgenommen

MS 7.4: Abschlussveranstaltung einschließlich öffentlichem Release durchgeführt und Projektübergabe abgeschlossen

Deliverables

D 7.1: Finales Analysewerkzeug (physischer Datenträger oder Download)

D 7.2: Vollständige Moduldatenbank und maschinenlesbare Modell- und Ergebnisdaten

D 7.3: Software-, Nutzer-, Administrations- und Entwicklerdokumentation einschließlich Installations-/Ausführungs-, Update- und Erweiterungsanleitung

D 7.4: Technisches Übergabepaket einschließlich Quelltexten, Skripten, Konfigurationsdateien, Testfällen sowie Versions- und Abhängigkeitsinformationen

D 7.5: Abschlussbericht Englisch einschließlich Executive Summary

D 7.6: Executive Summary als eigenständig nutzbare Datei

D 7.7: Bearbeitbare Tabellen-, Grafik- und Publikationsdateien

D 7.8: Bearbeitbare Ergebnispräsentation

D 7.9: Barrierefreie Veröffentlichungsfassungen einschließlich BITV-Prüfbericht

D 7.10: Dokumentation der finalen technischen Abnahme und Projektübergabe

D 7.11: Abschlussveranstaltung einschließlich öffentlichem Release und Dokumentation offener beziehungsweise abschließend geklärter Übergabepunkte

AP 8 Optionale Leistung – Ergänzende GWP-Berechnung

Als optionale Leistung ist die Berechnung des Global Warming Potential (GWP) anzubieten und separat zu bepreisen. Bei Beauftragung wird GWP methodisch und technisch analog zu den übrigen Ressourcen- und Ergebnisgrößen in das Analysewerkzeug integriert, ohne den Leistungsumfang der AP 1 bis AP 7 im Übrigen zu verändern.

Die Option umfasst die Festlegung von Systemgrenze, Charakterisierungsfaktoren und Zeithorizont gemäß Anhang, Kapitel 4.7 sowie die Erhebung der erforderlichen GWP-Daten für das Modulportfolio. Zudem werden die Datenfelder und die Berechnungslogik in Moduldatenbank, Berechnungskern, Dashboard und Ergebnisexport integriert und validiert.

Bei Beauftragung wird GWP in den Beispielkonfigurationen aus AP 5 ausgegeben. Methodik, Datenquellen, Faktoren, Datenqualität und Aussagegrenzen fließen in die technische Dokumentation und die Abschlussunterlagen ein. Die Option stellt keine eigenständige Treibhausgas- oder Klimawirkungsstudie dar.

Beauftragung und Abruf

Die AG entscheidet über die Beauftragung der optionalen GWP-Leistung. Die Option kann mit Zuschlag oder nach Zuschlag bis zur Freigabe der Methodik- und Anforderungsspezifikation in AP 1 durch die AG beauftragt und abgerufen werden.

Es besteht kein Anspruch des AN auf Beauftragung der Option. Die Beauftragung erfolgt in Textform.

Preisliche Abgrenzung

Sämtliche mit der optionalen GWP-Berechnung verbundenen Aufwände sind in einem separaten Optionspreis auszuweisen. Der Preis der Grundleistung darf keine GWP-spezifischen Leistungen enthalten.

Deliverables bei Beauftragung

D GWP.1: Dokumentierte GWP-Methodik und GWP-Datengrundlage für das vereinbarte Modulportfolio

D GWP.2: Vollständig in das Analysewerkzeug integrierter GWP-Indikator einschließlich Dashboard-/Exportfunktion und validierter Beispielausgaben

2.6 Zeitplanung

Der Leistungserbringungszeitraum beginnt mit Zuschlagserteilung und beträgt grundsätzlich zwölf Monate. Die AG kann den Vertrag zweimal um jeweils bis zu drei Monate verlängern; die maximale Vertragslaufzeit beträgt damit 18 Monate. Im Fall der Inanspruchnahme der Verlängerungsoption wird eine diesbezügliche Erklärung spätestens 3 Monate vor Ende der Vertragslaufzeit gegenüber dem AN abgegeben.

Die nachfolgende Planung beschreibt den vorgesehenen Bearbeitungszeitraum der AP. Eine fachlich begründete Parallelisierung innerhalb des Gesamtzeitraums ist zulässig, sofern die beschriebenen Abhängigkeiten, Gate-Entscheidungen und Meilensteine eingehalten werden.

Arbeitspaket	Vorgesehene Laufzeit
AP 1 – Untersuchungsrahmen und Methodenspezifikation	M1–M2
AP 2 – Modulportfolio, technische Konkretisierung und Datenarchitektur	M1–M4
AP 3 – Entwicklung und Implementierung des Analysewerkzeugs	M2–M8
AP 4 – Datenerhebung, Parametrisierung und technische Modellvalidierung	M3–M8
AP 5 – Exemplarische Anwendung und fachliche Plausibilitätsprüfung	M8–M9
AP 6 – Bereitstellung, Anwendererprobung und Optimierung der Arbeitsversion	M9–M10
AP 7 – Finalisierung, Dokumentation, Abschlussbericht und Abschlussveranstaltung mit öffentlichem Release	M10–M12
AP 8 - Optionale Leistung – Ergänzende GWP-Berechnung	<i>bei Beauftragung querschnittlich innerhalb des Projektzeitraums</i>

3 Vergütung und Abrechnung

Die Vergütung der Arbeitspakete 1- 8 sowie der Lizenz-, Software- und sonstige Lizenzkosten erfolgt als Pauschal festpreis. Mit dem Pauschal festpreis sind die Personalkosten sowie sämtliche Material- und Nebenkosten abgegolten. In den Arbeitspaketen 1,6 und 7 sind zusätzlich die anfallenden Reisekosten zu kalkulieren.

Die Vergütung und Abrechnung erfolgt gemäß den im Preisblatt kalkulierten Pauschal festpreisen als Teilzahlung nach erfolgreicher Abnahme der Leistungen der einzelnen Arbeitspakete 1 – 7. Sollten die optionalen Leistungen aus dem Arbeitspaket 8 beauftragt werden, erfolgt die Vergütung und Abrechnung nach vollständiger Erbringung der Leistungen aus dem Arbeitspaket 8 und deren erfolgreicher Abnahme.

Die einmaligen Lizenz-, Software- und sonstige Lizenzkosten werden nach vollständiger Erbringung der Gesamtleistung gemäß Preisblatt vergütet und abgerechnet.

Sämtliche Teil- und Gesamtabnahmen sowie Erklärungen über die Abnahme, die **Abnahme** unter Vorbehalt oder die Verweigerung der Abnahme bedürfen mindestens der **Textform** gemäß § 126b BGB. Mündliche Erklärungen stellen keine Abnahme dar.

Die Rechnungslegung erfolgt gem. § 5 des Dienstleistungsvertrages.