

Konzeption und Entwicklung eines webbasierten Werkzeugs für die Nachhaltigkeitsbewertung der Biokraftstoffproduktion

Tobias Ziep, Volker Wohlgemuth, René Weichbrodt

Fachbereich II, Ingenieurwissenschaften, Betriebliche Umweltinformatik
HTW Berlin, University of Applied Sciences
Wilhelminenhofstraße 75A
D-12459 Berlin
tobias.ziep@htw-berlin.de
volker.wohlgemuth@htw-berlin.de
rene.weichbrodt@htw-berlin.de

Abstract: Der Beitrag behandelt die Konzeption und technische Entwicklung des „Sustainability Quick Check for Biofuels“ (deutsch: Nachhaltigkeitsschnelltest für Biokraftstoffe, im Folgenden abgekürzt mit SQCB). Das SQCB ist ein Werkzeug mit dem sich die Auswirkungen der Biokraftstoffproduktion auf die Umwelt bewerten lassen. Vor dem Hintergrund einer Mineralölsteuerbefreiung in der Schweiz können Produzenten bzw. Anbieter von Energiepflanzen legal unverbindlich überprüfen, ob ihre Produkte für diese Befreiung in Frage kommen. Zu diesem Zweck wird ein webbasiertes Berechnungsmodell entwickelt, das eine vereinfachte Stoffstromanalyse durchführt. Die für den Evaluierungsprozess benötigten Daten lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Der erste Teil wird vom Benutzer in einem Online-Fragebogen angegeben. Der zweite Teil beinhaltet stoff- und energiebezogene Lebenszyklusdaten (LCI) sowie die dazugehörigen Wirkungsfaktoren aus der *ecoinvent*-Datenbank und andere für die Berechnung benötigten Daten aus Literaturquellen oder wissenschaftlichen Studien. Die LCI Daten werden über eine XML Schnittstelle ins System importiert. Um einen leichten, weltweiten Zugang zu gewährleisten wird das SQCB als webbasiertes, datenbankgestütztes Modul für das Web-Content-Management-System *Drupal* implementiert. Im ersten Berechnungsschritt werden die Emissionen und Materialflüsse für jede Lebenszyklusphase berechnet. Im nächsten Schritt werden die errechneten Mengen mit Hilfe der Wirkungsfaktoren verschiedener Bewertungsmethoden evaluiert. Die Ergebnisse jeder Phase werden kumuliert, in Beziehung zu einer Referenz gesetzt und visualisiert.

1 Betrachtungsgegenstand und Zielstellung

Die Verknappung fossiler Energiequellen und der Klimawandel beschäftigen sowohl die Öffentlichkeit als auch die Industrie und rücken die Nutzung von alternativen Energiequellen in den Mittelpunkt des Interesses. Der Transportsektor ist innerhalb der EU-15 Staaten für ca. 20% des gesamten Treibhausgasausstoßes verantwortlich [Sc06]. Weiterhin werden heutzutage nahezu alle Fahrzeuge von Diesel- oder

Benzinverbrennungsmotoren angetrieben. Um die ökologische Situation zu verbessern und die Abhängigkeit von fossilen Energiequellen zu verringern, scheinen Kraftstoffe aus Biomasse kurz- bzw. mittelfristig eine vielversprechende Alternative zu sein.

Die Tatsache, dass Biokraftstoffe aus erneuerbarer Biomasse bestehen, bedeutet nicht zwangsläufig, dass ihre Produktion umweltfreundlich ist. Die Studie „Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen“ die von der Empa (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) im Mai 2007 veröffentlicht wurde, zeigt, dass die Biokraftstoffproduktion und -nutzung die Umwelt potenziell stärker belasten kann als die Herstellung und Nutzung von konventionellen Kraftstoffen [Za07]. Um die Produktion und Nutzung von umweltfreundlichen Biokraftstoffen zu fördern, wird daher eine Mineralölsteuerbefreiung für „nachhaltig“ hergestellte Biokraftstoffe in der Schweiz geplant.

Aus diesem Grund benötigen die Produzenten bzw. Anbieter von Energiepflanzen in Südamerika, Afrika oder Asien, die Hauptzielgruppe dieser Steuerbefreiung sind, eine Möglichkeit, die Umweltauswirkungen, die durch ihr Handeln entstehen, zu bewerten. Da die detaillierte Ökobilanzierung ein sehr komplexer und zeitkonsumierender Prozess ist, dessen Durchführung im hier beschriebenen Kontext unangemessen erscheint, entwickelt die Empa das SQCB in Kooperation mit der HTW Berlin. Um den Eintritt in den globalen Markt der nachhaltig produzierten Biokraftstoffe zu unterstützen, führt das SQCB eine schnelle aber rechtlich unverbindliche Überprüfung einer Biokraftstoff-Wertschöpfungskette hinsichtlich ihrer Qualifikation für eine Steuerbefreiung durch. Das zugrunde liegende Berechnungsmodell führt eine vereinfachte Stoffstromanalyse auf Basis der vom Benutzer in einem Onlinefragebogen eingegebenen Daten und LCI-Daten aus der schweizerischen *ecoinvent*-Datenbank¹ durch. Des Weiteren soll das SQCB den Lerneffekt auf der Benutzerseite unterstützen. Die Bewertungsergebnisse werden in grafischer Form für jede Phase des Lebenszyklus dargestellt. Der Nutzer kann seine Eingaben variieren und so sehen, welche Phasen die größten Auswirkungen auf die Umwelt haben. Dadurch kann der Benutzer wichtige Wirkungszusammenhänge erkennen und lernt, welche Auswirkungen seine Entscheidungen auf die Umweltleistung seines Biokraftstoffs haben.

Die technische Konzeption und Implementierung dieses Software-Tools ist der Hauptfokus dieses Beitrags. Daher wird in Kapitel 2 die technische Umsetzung der Anwendung skizziert, dabei kurz auf die zugrundeliegenden Datenstrukturen eingegangen und in Kapitel 3 die einzelnen Komponenten und ihre Beziehungen aufgezeigt.

2 Technische Umsetzung

Um einen leichten, weltweiten Zugang zu gewährleisten, wird das SQCB als webbasiertes, datenbankgestütztes Modul für das Web-Content-Management-System

¹ ecoinvent, <http://www.ecoinvent.org/>

*Drupal*² implementiert. Alle Funktionen des SQCB können so mit einem normalen Webbrowser verwendet werden. *Drupal* und seine Zusatzmodule werden in der Programmiersprache *PHP*³ implementiert. Die Datengrundlage bildet das quelloffene Datenbankverwaltungssystem *MySQL*⁴. Die Validierung und Steuerung des Online-Fragebogens ist mit *Javascript* und der *Javascript* Bibliothek *jQuery*⁵ umgesetzt.

Drupal bietet leistungsstarke Programmierschnittstellen (APIs, engl. Application Programming Interfaces), mit denen Entwickler Kernfunktionalitäten wie z.B. Formularaufbau und Datenbankzugriff und –manipulation in einfacher und sicherer Form implementieren können. *Drupal* wird stetig durch eine aktive Gemeinschaft weiterentwickelt und kommt wegen seiner sehr guten Skalierbarkeit auch auf hochfrequentierten Webseiten zum Einsatz.

Insbesondere aus diesem Grund wurde *Drupal* als geeignete Basisplattform ausgewählt, da es zum einen in der Lage ist, einfache statische Inhalte zu verwalten, und zum anderen die Möglichkeit bietet, über ein Zusatzmodul das komplexe Rechenmodell auszuführen.

2.1 SQCB als Drupal-Modul

Die Architektur von *Drupal* ist konsequent modular gestaltet. Es besteht aus obligatorischen Kernmodulen, die zwingend für den Betrieb benötigt werden und optionalen Modulen, die die Funktionalität einer Basisinstallation erweitern. Die Kernmodule stellen die grundlegenden APIs sowie Funktionen, wie z.B. das Benutzermanagement, ein Menüsystem und ein Vorlagensystem zur Darstellung und einfachen Anpassung der Benutzungsoberfläche [Bu08] zur Verfügung. Die Interaktion zwischen den einzelnen Modulen wird durch sogenannte „hooks“ (deutsch: Haken) ermöglicht, die einen flexiblen Rückfragemechanismus anbieten. Das bedeutet, dass jedes installierte Modul spezielle Funktionen eines anderen Moduls implementieren kann. Diese hooks werden zu vordefinierten Momenten ausgeführt.

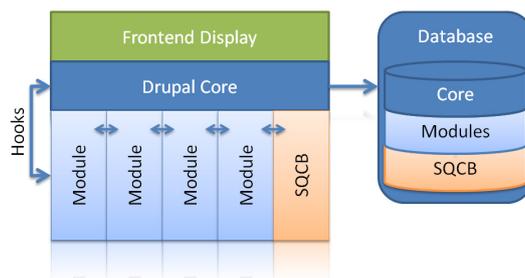


Abbildung 1: Das SQCB als *Drupal*-Modul (vgl. [Bu08])

² About Drupal, <http://drupal.org/about>

³ PHP: Hypertext Preprocessor, <http://www.php.net/>

⁴ MySQL The world's most popular open source database, <http://www.mysql.com/>

⁵ jQuery: The Write Less, Do More, JavaScript Library, <http://jquery.com/>

Wie bereits erwähnt ist das SQCB ein optionales *Drupal*-Modul. Es werden nur Kernmodule für den Betrieb benötigt und es existieren keine Abhängigkeiten zu anderen optionalen Modulen. Daher kann es mit jeder *Drupal 6* Installation verwendet werden. Das SQCB Modul implementiert den „Menu - hook“ des entsprechenden Kernmoduls, um die Menüstruktur zu erweitern und seine einzelnen Komponenten im System zu registrieren. Daneben wird der „Block-Hook“ implementiert um kontextsensitiven Inhalt in kleinen Blöcken auf der Benutzungsoberfläche darzustellen. Die *Drupal* Grundinstallation nutzt weitere optionale Module. Diese stellen z.B. Entwicklungswerkzeuge, eine erweiterte Mehrsprachunterstützung oder grafisch verbesserte Menüs auf der Oberfläche zur Verfügung.

2.2 Zugrundeliegende Daten und Modelle

Die im SQCB genutzten Daten lassen sich in zwei Bereiche unterteilen. Der erste Teil sind Stammdaten, die in den Datenbanktabellen gespeichert werden. Die Stammdaten lassen sich wiederum in Strukturdaten, Lebenszyklus-Inventardaten und Lebenszyklus-Wirkungsdaten aus der *ecoinvent*-Datenbank und geographische Daten und Berechnungsparameter unterteilen. Die *ecoinvent*-Lebenszyklusdaten, die einzelne Flussdatensätze beinhalten, werden über eine XML Schnittstelle in die Datenbank importiert. Die *ecoinvent*-Datenbank stellt die Daten im standardisierten EcoSpold Format bereit⁶.

Das SQCB nutzt ein vereinfachtes geographisches Modell, das in erster Linie dazu verwendet wird, *ecoinvent*-Prozesse und Flussdaten einem Land zuzuordnen. Dabei wird die Welt in Weltregionen eingeteilt, die mehrere Länder beinhalten können. Eine Weltregion hat eine oder mehrere Ökozonen. Dadurch können einem Land mehrere Ökozonen zugeordnet werden, die dann vom Benutzer wählbar sind. Die Ökozonen werden für die Berechnung der Emissionen benötigt.

Der zweite Teil der genutzten Daten wird vom Benutzer im Online-Fragebogen eingegeben und temporär in Form von *PHP* Session-Variablen gespeichert. Der Benutzer muss Angaben über die verwendete Energiepflanze, das Anbauland, klimatische Rahmenbedingungen, genutzte Düngemittel und Pestizide sowie Material- und Energieeinsatz der Verarbeitungsschritte machen.

Das SQCB nutzt Rechenmodelle, um Emissionen und Effekte von direkter Landtransformation zu berechnen. Dazu wird vom realen Sachverhalt abstrahiert, um ein vereinfachtes Rechenmodell zu erhalten. Die grundlegende Herausforderung bei der Modellbildung ist es, eine Balance zwischen der Komplexität der einzugebenden Daten und der Qualität der Ergebnisse zu finden. Wie der Name bereits deutlich sagt, soll das SQCB eine schnelle Bewertung ermöglichen. Daher ist es vertretbar, weniger wichtige Faktoren unter bestimmten Voraussetzungen zu vernachlässigen. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsmodelle würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen und wird somit nicht gegeben (siehe dazu[FRZ09]).

⁶ EcoSpold data format, <http://www.ecoinvent.org/we-about-us/ecospold-data-format/>

3 Komponenten des SQCB

Wie in Abbildung 2 dargestellt, ist der Programmablauf innerhalb des SQCB ein linearer Prozess. Die einzige Ausnahme bildet die Administrationskomponente, die dazu genutzt wird, die Stammdaten zu verwalten. Diese soll hier nicht weiter betrachtet werden. Näherer Informationen dazu werden in [ZWW09] gegeben. Alle anderen Komponenten verarbeiten Eingaben, die vom direkten Vorgänger stammen und sind dadurch von ihm abhängig. Die Komponenten verarbeiten Daten aus der Datenbank bzw. aus den *PHP* Session-Variablen (Nutzereingabe).

Der Ausgangspunkt ist die Fragebogenkomponente (engl.: questionnaire component). Die hier vom Nutzer eingegebenen Daten werden in der *PHP* Session gespeichert. Die Validierungskomponente (engl.: validation component) überprüft diese Eingaben. Wenn keine Fehler auftreten, wird die Berechnung gestartet (engl.: calculation component). Hier werden Daten aus der Datenbank und aus der *PHP* Session gelesen, nach den vorgegeben Modellen miteinander verrechnet und anschließend in die Ergebnistabellen der Datenbank geschrieben. Die Evaluierungskomponente (engl.: evaluation component) bewertet diese Berechnungsergebnisse und speichert die Ergebnisse wiederum in der Datenbank. Die Präsentationskomponente (engl.: presentation component) stellt die bewerteten Endergebnisse dar.

Der gesamte Bewertungsprozess ist somit in zwei Teile unterteilt. Im ersten Schritt werden die stofflichen Input- und Outputflüsse mengenmäßig berechnet. Im zweiten Schritt werden diese Ergebnisse mit Wirkungsfaktoren bewertet. Diese Trennung der Sach- und Bewertungsebene erlaubt es, unterschiedliche Bewertungsansätze zu verfolgen und das SQCB um weitere Bewertungsmethoden zu erweitern.

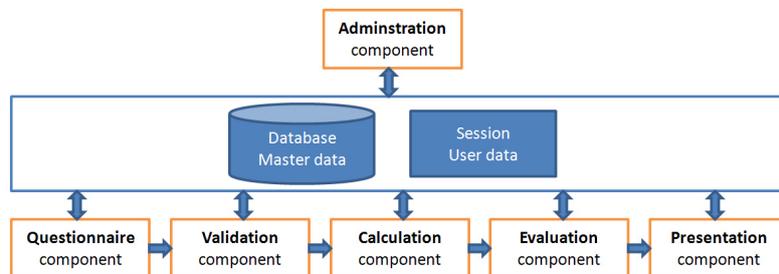


Abbildung 2: Interaktion der Komponenten des SQCB

3.1 Fragebogenkomponente

Die Fragebogenkomponente ist ein Teil der Benutzungsoberfläche. Sie generiert einen dynamischen, mehrseitigen Fragebogen, der logisch in die Seiten Grunddaten (Basic Data), Anbau (Cultivation), Weiterverarbeitung (Processing) und soziale Kriterien (Social Criteria) strukturiert wird (vgl. Abbildung 3). Der Benutzer kann Daten für mehr als einen Anbieter von Energiepflanzen eingeben. Diese Anbieter können sich nur in der Anbauweise der Pflanze unterscheiden. Aus diesem Grund müssen die Daten für die

Anbauphase für jeden Provider angegeben werden. Da für die Berechnung der Auswirkungen der Anbauphase die meisten Daten benötigt werden, ist dieser Teil des Fragebogens wiederum in 4 Schritte unterteilt, die auch durch Fragebogenseiten repräsentiert werden. Demnach ist die Gesamtanzahl der Fragebogenseiten, die vom Benutzer ausgefüllt werden müssen, abhängig von der Anzahl der Anbieter (vgl. Abbildung 3).

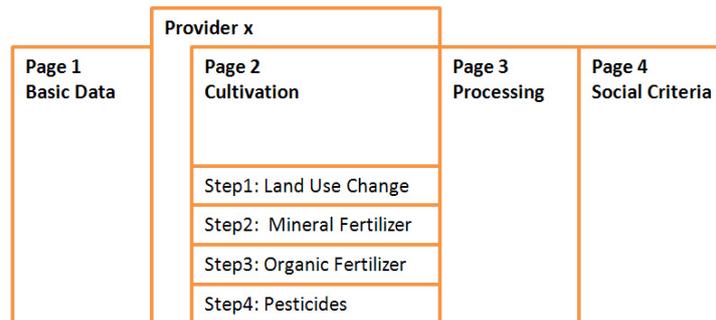


Abbildung 3: Interaktion der Komponenten des SQCB

Abbildung 4 zeigt ein Anwendungsbeispiel mit zwei Anbietern. In der Navigationsleiste auf der linken Seite sind die Formularseiten, die für den Anbau (Cultivation Data) relevant sind, für jeden Benutzer aufgeführt.

Die Fragebogenseiten werden mit der von *Drupal* bereitgestellten Forms API⁷ definiert. Diese API behandelt die Definition und Anordnung von Elementen und das Absenden, Speichern und Validieren der Daten. Weiterhin bietet diese eine einfache Möglichkeit Fragebogen dynamisch zu verändern, ohne dabei die komplette Seite neu zu laden. Diese AHAH⁸ genannte Funktionalität ermöglicht es dem SQCB, an manchen Stellen wie eine Desktopanwendung zu reagieren und somit dem Benutzer eine direkte Rückmeldung zu geben.

Die vom Benutzer eingegebenen Daten können über ein strukturiertes, mehrdimensionales Array in der *PHP* Session abgerufen werden. Die eingegebenen Daten werden bei jedem Wechsel der Fragebogenseite gespeichert. Diese Daten werden im weiteren Verlauf als Nutzerdaten bezeichnet. Wird eine Formularseite geladen, werden bereits gefüllte Felder mit den entsprechenden Werten vorbelegt. Der Benutzer kann also ohne Datenverluste frei im Fragebogen navigieren.

Spezielle Funktionen auf den Fragebogenseiten werden mit *Javascript* gesteuert, um die Benutzbarkeit zu verbessern. Hier werden z.B. je nach Nutzerwahl nicht benötigte Formularelemente ausgeblendet oder deaktiviert. Weiterhin wird so bereits eine Validierung bei der Eingabe durchgeführt. Alle eingegeben Kommas werden automatisch in Punkte umgewandelt, um Fehler zu vermeiden.

⁷ Drupal Programmierschnittstelle zur Formulargenerierung

⁸ AHAH ist ein Akronym für „Asynchronous HTML und HTTP“

Alle Fragebogenfelder haben einen Titel und eine kurze Beschreibung. Felder, die mit einem kleinen Hilfesymbol gekennzeichnet sind, bieten einen weitergehenden Hilfetext an, der durch einen Klick auf die Beschreibung in einer Pop-Up-Ebene erscheint. Um dem Benutzer die Navigation durch den Fragebogen oder die Bestimmung seiner aktuellen Position zu erleichtern, existiert der bereits erwähnte Navigationsblock auf der linken Seite. Dieser zeigt alle Fragebogenseiten in hierarchischer Ordnung an und hebt die aktuelle Position hervor. Eine Funktion bewertet die Qualität der bereits eingegebenen Daten für jede Fragebogenseite und stellt diese grafisch dar (vgl. Abbildung 4). Die Titel im Navigationsblock sind anklickbar und können für eine schnelle Seitennavigation verwendet werden. Über dem Fragebogen befindet sich ein weiterer Navigationsblock der die Position des Benutzers zusätzlich grafisch darstellt.

Abbildung 4: Interaktion der Komponenten des SQCB

Wie bereits erwähnt unterstützt *Drupal* mehrsprachige Inhalte. Alle statischen Texte in der Benutzungsoberfläche können übersetzt werden. Die Texte können in einem GNU-gettext-kompatiblen⁹ Format (.po Datei) extrahiert werden. Diese Datei kann dann mit einem speziellen Übersetzungseditor oder mit einem einfachen Texteditor übersetzt werden. Text, der in der Datenbank gespeichert wird, (Strukturdaten, geographische Daten oder *ecoinvent*-Daten) ist nicht auf diesem Weg übersetzbar. Die Übersetzungen werden hier in separaten Spalten der entsprechenden Datenbanktabellen hinterlegt.

3.2 Validierungskomponente

Die Validierungskomponente prüft die Benutzerdaten auf Vollständigkeit, Plausibilität und Korrektheit der benutzten Datentypen. Wenn Fehler gefunden werden, wird eine

⁹ gettext, <http://www.gnu.org/software/gettext/>

Seite generiert, die jeweils eine kurze Fehlermeldung und eine Verknüpfung zur jeweiligen Fragebogenseite ausgibt.

3.3 Berechnungskomponente

Bevor die eigentliche Berechnung gestartet wird, werden die temporären Ergebnistabellen von vorherigen Berechnungsergebnissen gesäubert. Fast alle Berechnungsstufen außer „Anbau – Landtransformation“ sind mit einem importierten *ecoinvent*-Prozess verknüpft. Weil es diese Prozesse nicht für jede Energiepflanze und jedes Land gibt, wird zuerst automatisch der beste verfügbare Datensatz ausgewählt. Im ersten Schritt wird nach einem exakten Treffer bezüglich des Anbaulandes gesucht. Wird hier kein Prozess gefunden, wird im zweiten Schritt ein Datensatz für ein Land in der gleichen Weltregion gesucht. Erzielt diese Suche auch keinen Treffer, wird der vordefinierte Standardprozess genutzt.

Für jede Berechnung wird eine Menge unmodifizierter Standardflüsse (Transport und Arbeitsprozesse) aus dem *ecoinvent*-Anbauprozess in die globale Flussresultatstabelle geschrieben. Alle resultierenden Flussdatensätze aller Berechnungsstufen werden mit der eindeutigen Session-ID des ausführenden Benutzers versehen, um eine Mehrbenutzerfähigkeit zu gewährleisten.

Die Landtransformationsberechnung wird danach auf Basis der Nutzerangaben ausgeführt und die dadurch errechneten CO₂-Emissionen werden in die Ergebnistabelle geschrieben. Entscheidet sich der Nutzer für die Nutzung von Standardwerten für mineralische Dünger, organische Dünger und Pestizide, werden die Input-Flüsse der jeweilig verknüpften *ecoinvent*-Prozesse in die Ergebnistabelle geschrieben. Auf dieser Basis erfolgt die Emissionsberechnung für die Standardwerte. Gibt der Benutzer detaillierte Werte für mineralische Dünger, organische Dünger und Pestizide an, werden diese Werte als Input-Flüsse genutzt. Die Emissionsberechnung erfolgt hier auf Basis der Benutzerangaben. Die Berechnung des Anbauprozesses wird für jeden Anbieter durchgeführt. Alle Ergebnisflüsse und deren Entstehungspunkt werden, wie erwähnt, in die Flussresultatstabelle geschrieben. Somit kann jeder Fluss einem Anbieter und einer Berechnungsstufe zugeordnet werden.

Im nächsten Schritt werden die Auswirkungen der Verarbeitungsprozesse der angebauten Energiepflanze errechnet. Analog zum Anbau wird auch hier der beste verfügbare *ecoinvent*-Prozess für den jeweiligen Verarbeitungsschritt ausgewählt. Die Berechnungsprozedur ist für beide Schritte identisch. Wenn die Nutzung von Standardwerten gewählt wird, werden alle Flussdaten aus den korrespondierenden *ecoinvent*-Prozessen in die Ergebnistabelle geschrieben. Zusätzlich wird hier noch der Hauptinputfluss markiert. Gibt der Benutzer detaillierte Werte für einen Verarbeitungsschritt ein, hat er die Möglichkeit, Informationen über die genutzte Energie (Stromnetz, fossile Energie, erneuerbare Energie) und den Einsatz und die Menge von Chemikalien bereitzustellen. Weiterhin muss er angeben welche Menge Ausgangsmaterial in welche Menge Produkte und Nebenprodukte umgewandelt wird. Zur Allokation muss er zusätzlich Informationen über den Marktpreis der Nebenprodukte angeben.

Der Hauptinputfluss für den nächsten Prozess in der Berechnungsordnung, die der Struktur des Fragebogens gleicht, und die Eingaben für Energie und Chemikalien werden mit dem so errechneten Allokationsfaktor multipliziert.

Der *ecoinvent*-Prozess für den Transport wird in Abhängigkeit von Land und Energiepflanzentyp ausgewählt. Ein Pflanzentyp impliziert einen Kraftstofftyp. Da der Transportprozess eine verhältnismäßig geringe Auswirkung auf die Umwelt hat [FRZ09], ist er universell für eine Weltregion und einen Kraftstofftyp. Das bedeutet, dass die Transportentfernung ein Mittelwert ist. Auch hier wird der Hauptinputfluss für den nächsten Prozess gekennzeichnet und alle beinhalteten Flüsse werden in die Flussergebnistabelle geschrieben.

Der *ecoinvent*-Prozess für den Betrieb eines Fahrzeugs mit Biokraftstoff (im Folgenden Operation) ist nur abhängig vom Kraftstofftyp. Aus diesem Grund gibt es nur einen Prozess pro Kraftstofftyp. Auch hier wird der Hauptinputfluss für den nächsten Prozess gekennzeichnet und alle beinhalteten Flüsse werden in die Flussergebnistabelle geschrieben. Der *ecoinvent*-Prozess für die Nutzung des produzierten Biokraftstoffes bezieht sich auf die Fahrt von einem Personenkilometer (1pkm). Dieser Prozess ist für jede Berechnung gültig und existiert daher nur einmal. Auch dieser Prozess wird direkt in die Flussergebnistabelle geschrieben. Für die spätere Auswertung werden die Nutzungsprozesse (Operation, Nutzung für 1pkm) zusammengefasst.

Die Flüsse für jede Berechnungsstufe beziehen sich jeweils auf den Output einer Einheit des jeweiligen Hauptprodukts des entsprechenden Prozesses (z.B. 1kg Rapssamen). D.h., diese Stoffflüsse beziehen sich nicht auf die Funktionale Einheit von „einem mit Biokraftstoff gefahrenen Personenkilometer“. Die Ergebnisse aller Berechnungsstufen außer der Nutzung für 1pkm müssen also normalisiert werden, um sie vergleichen zu können. Dazu werden die zuvor gekennzeichneten Hauptinputflüsse verwendet. Das Beispiel in Abbildung 5 zeigt die Lebenszyklusphasen eines Biokraftstoffes aus Rapsmethylester in unnormalisierter und normalisierter Form. Die Normalisierungsberechnung verläuft im Vergleich zur Berechnung der Stoffflüsse und Emissionen in die entgegengesetzte Richtung. Der Startpunkt ist der Nutzungsprozess, dessen Flüsse sich bereits auf die funktionale Einheit von 1pkm beziehen.

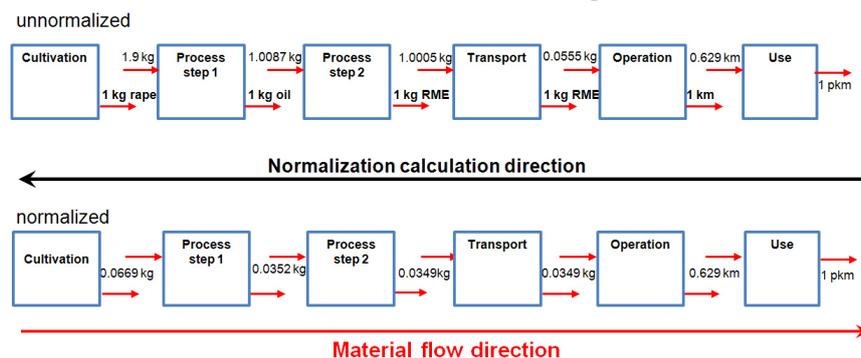


Abbildung 5: Interaktion der Komponenten des SQCB

Soll z.B. der Operationsprozess normalisiert werden, müssen alle beinhalteten Flüsse mit dem Wert des Hauptinputflusses des Nutzungsprozesses multipliziert werden. Im nächsten Schritt muss dann die vorhergehende Phase (z.B. Transport) normalisiert werden, indem alle Ihre Flüsse mit dem (bereits normalisierten) Hauptinputfluss des Operationsprozesses multipliziert werden (vgl. Abbildung 5). Die normalisierten Ergebnisse werden in eine entsprechende Ergebnistabelle geschrieben.

3.4 Evaluierungskomponente

Die unnormalisierten Ergebnisflüsse aus der Anbauphase und alle normalisierten Ergebnisflüsse werden mithilfe von *ecoinvent*-Wirkungsfaktoren aus der korrespondierenden Tabelle bewertet. Diese enthält zu allen Flüssen Wirkungsfaktoren, die nach den Methoden UBP06 und GWP100 ermittelt wurden. Diese Wirkungsfaktoren gelten für den entsprechenden Fluss und eine funktionale Einheit und werden durch einfache Multiplikation mit den Mengenflüssen angewandt.

3.5 Präsentationskomponente

Die Präsentationskomponente visualisiert die Ergebnisse in unterschiedlichen Grafiken. Der Benutzer kann die Bewertungsmethode und optional die Lebenszyklusphase auswählen, die er im Detail betrachten möchte. Die grafischen Auswertungen werden mit Hilfe des *PHP PEAR image_graph* Paketes erstellt, das viele unterschiedliche Darstellungsformen anbietet¹⁰. Die Daten, die dargestellt werden, stammen aus den Tabellen mit normalisierten und unnormalisierten Bewertungsergebnissen. Auf diese Weise kann sowohl ein Vergleich des Anbauprozesses auf Anbieterebene (funktionelle Einheit: 1kg) als auch eine Darstellung des Gesamtergebnisses im Vergleich zur fossilen Referenz (funktionelle Einheit: 1pkm) durchgeführt werden. Die grafischen Auswertungen werden als Objekte definiert, die dann in Bilddateien übersetzt werden. Diese können im Webbrowser dargestellt werden.

Die für den Benutzer wichtigste Information, die durch die Präsentationskomponente dargestellt werden muss, ist der Qualifikationsstatus für die Steuerbefreiung in der Schweiz. Eine Biokraftstoff-Wertschöpfungskette wird befreit¹¹, wenn der berechnete GWP-Gesamtwert unter 60% und der berechnete UBP06 Gesamtwert unter 125% des Wertes der entsprechenden fossilen Referenz liegt. Abbildung 6 zeigt die totalen kumulierten Werte und zeichnet den voraussichtlichen Bereich der Steuerbefreiung als grüne Fläche ein. In der nächsten Detailstufe werden die Ergebnisse für Anbau, Weiterverarbeitung, Transport und Nutzung aggregiert, zur entsprechenden *ecoinvent*-Referenz in Beziehung gesetzt und in einem gestapelten Balkendiagramm dargestellt. Neben diesen Auswertungen existieren noch einige weitere, die hier aber nicht näher erläutert werden sollen, da sie sich in erster Linie in ihrer Aggregationsstufe unterscheiden.

¹⁰ PHP Pear Image Graph, http://pear.php.net/package/Image_Graph

¹¹ Bisher existiert keine verbindliche gesetzliche Regelung unter welchen Umständen ein Biokraftstoff von der Mineralölsteuer befreit wird. Die im Text verwendeten Zahlen stellen nur vorläufige Annahmen dar.

Alle Auswertungsergebnisse können in einer einzigen PDF-Datei heruntergeladen werden. Dieses Dokument beinhaltet die zusammengefassten Benutzereingaben und alle Auswertungsdiagramme in strukturierter Form. Zur Generierung des PDF-Dokuments wird die freie PHP-Klasse *fpdf*¹² genutzt.

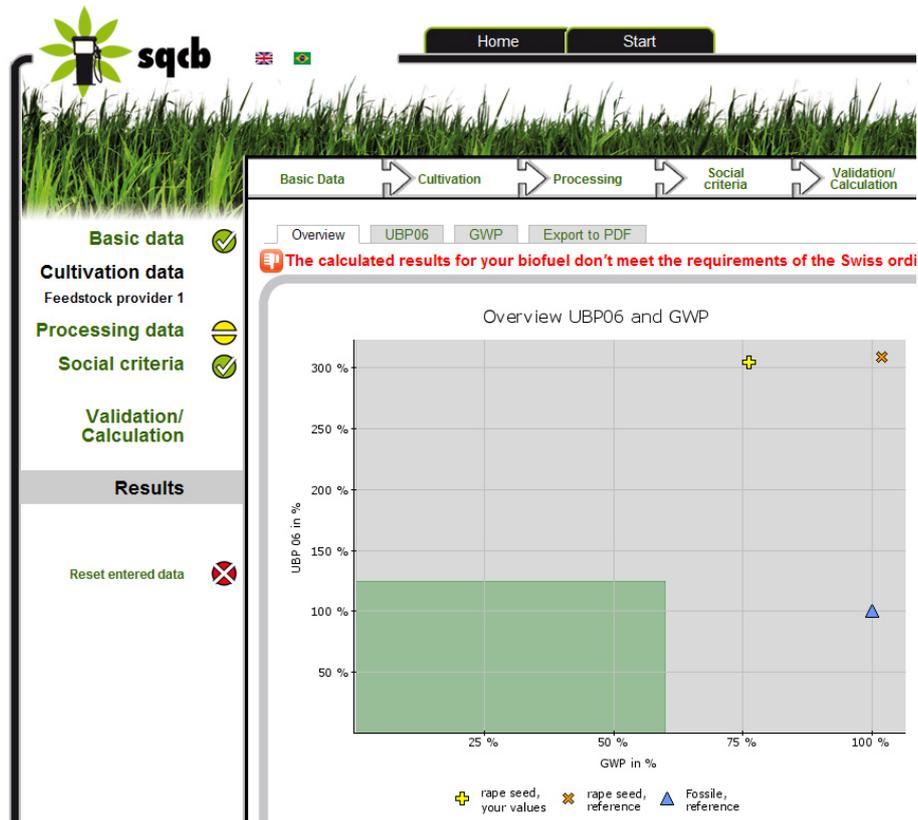


Abbildung 6: Beispielhaftes Auswertungsdiagramm des SQCB

4 Fazit und Ausblick

Die SQCB Webanwendung bietet eine schnelle und einfache Möglichkeit, die Umweltauswirkungen, die bei der Biokraftstoffproduktion entstehen, zu bewerten. Die Anwendung ist jedoch nicht als vollständiger Ersatz für eine detaillierte Lebenszyklusanalyse eines Biokraftstoffes zu sehen. Der große Vorteil vom SQCB als webbasiertes Rechenmodell liegt jedoch in der Geschwindigkeit, mit der eine erste Bewertung eines solchen Szenarios durchgeführt werden kann.

¹² <http://www.fpdf.de/>

Der Benutzer erhält mit dem SQCB die Möglichkeit sich mit relativ geringem Aufwand einen ersten Überblick über die Eignung seiner Produkte für eine Steuerbefreiung zu verschaffen. Er kann aus den Ergebnissen bereits erste Handlungsmaßnahmen ableiten, die zu einer Verbesserung der Umweltleistung seines Biokraftstoffes beitragen.

Aufgrund der Komplexität der Problemstellung war es die größte Herausforderung, einen schnellen, universellen und verlässlichen Berechnungsprozess zu implementieren. *Drupal* als Rahmenwerk und *MySQL* als Datenbank erfüllen die grundsätzlichen technischen Anforderungen sehr gut.

Eine wichtige Eigenschaft des SQCB ist seine Erweiterbarkeit. So ist es ohne Programmieraufwand möglich, weitere Treibstoffpfade hinzuzufügen. Weiterhin besteht die Möglichkeit die Anwendung um weitere Bewertungsverfahren zu erweitern oder die Bewertung auf andere gesetzliche Grundlagen zu stützen.

In zukünftigen Versionen vom SQCB kann die Qualität der Berechnungsergebnisse durch die Verfeinerung der zugrundeliegenden Berechnungsmodelle oder durch die optionale Abfrage zusätzlicher Daten verbessert werden. Wie bereits erwähnt, kann auch der Fundus der Bewertungsmethoden erweitert werden. Da jede Methode eine unterschiedliche Herangehensweise hat und den Fokus unterschiedlich setzt, kann es von Interesse sein unterschiedliche Bewertungen miteinander zu kombinieren und zu vergleichen.

Ein weiterer Bereich, der verbessert werden kann, ist die Benutzbarkeit (engl.: Usability). Hier könnten z.B. die Benutzereingaben gespeichert oder exportiert werden, um eine Sitzung zu einem anderen Zeitpunkt fortzusetzen und die erneute Dateneingabe zu vermeiden. Außerdem könnten Berechnungsergebnisse gespeichert werden, um sie miteinander vergleichen zu können. Wenn der Benutzer zustimmt, könnten seine Eingaben und Rechenergebnisse anonym gespeichert werden und für die Validierung, für statistische Auswertungen oder wissenschaftliche Analysen genutzt werden.

Danksagung

Die Entwicklung vom SQCB wurde vom SECO (Eidgenössisches Staatssekretariat für Wirtschaft) initiiert und in Auftrag gegeben. Es basiert auf vorhergehenden Arbeiten der Empa, die das Projekt leitet und das Konzept und die Berechnungs- und Normalisierungsmodelle entwickelte. Die Nitrat- und Phosphatemissionsmodelle wurden von agroscope¹³ entwickelt. Das technische Konzept und die technische Umsetzung erfolgte durch die HTW Berlin unter Leitung von Prof. Dr. Volker Wohlgenuth. Die Autoren möchten sich bei allen Projektpartnern bedanken.

¹³ Forschungsinstitut des eidgenössischen Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)

Literaturverzeichnis

- [Sc06] Schallaböck, K.-O.; Fishedick M.: Klimawirksame Emissionen des Verkehrs und Bewertung von Minderungsstrategien. Wuppertal Institut f. Klima, Umwelt, Energie, 2006
- [Za07] Zah, R.; Böni, H.; Gauch, M.; Hischer, R.; Lehmann, M.; Wäger, P.: Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen – Schlussbericht. EMPA Abteilung Technologie und Gesellschaft, 2007
- [Bu08] Butcher, M.: Learning Drupal 6 – Module Development. Packt Publishing, 2008
- [FRZ09] Faist Emmenegger, M.; Reinhard, J.; Zah, R.: Sustainability Quick Check for Biofuels (SQCB): A Web-based tool for streamlined biofuels' LCA. In (Wohlgemuth, V. Hrsg) Proc. 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, Berlin, 2009 (in print)
- [ZWW09] Ziep, T; Wohlgemuth, V.; Weichbrodt, R.: Conceptual Design and Development of a web-based Tool for Sustainability Assessment of Biofuels. In (Wohlgemuth, V. Hrsg) Proc. 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, Berlin, 2009 (in print)