Name: Lukas Emele, Lorenz Moosmann
Bereich: Energie & Klimaschutz
Datum: 10.03.2026

Öko-Institut e.V.

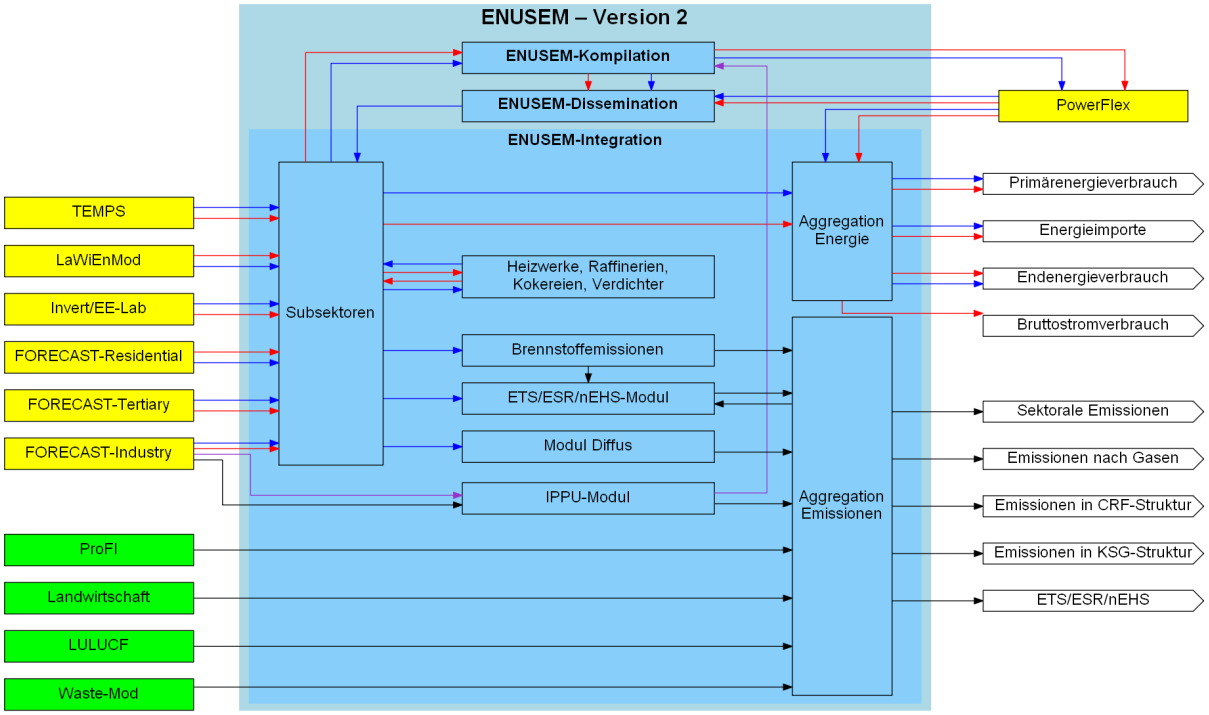
Thema: Modellbeschreibung ENUSEM deutsch / Model description ENUSEM English

1 Modellbeschreibung ENUSEM deutsch

1.1 Überblick

Das Öko-Institut betreibt das Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell (ENUSEM), das die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen der Bundesrepublik Deutschland entsprechend der nationalen Energiebilanz und des nationalen Treibhausgasinventars (Territorialprinzip) modelliert. ENUSEM arbeitet in einer Kopplung mit spezifischen Sektormodellen. Es verbindet dabei die wesentlichen Energieflüsse der einzelnen Energiemodelle und berechnet die Emissionen, die aus der Energienutzung entstehen. Daneben stellt es auch Schnittstellen zu Emissionsberechnungen außerhalb des Energiesystems wie z. B. der Landwirtschaft bereit. Neben der reinen Sektorintegration schließt es Lücken, die nicht durch die einzelnen Sektormodelle abgebildet sind. Teil des Modells ist ein Berechnungsteil, der die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele analysiert. Dieses Modell ist hierfür besonders geeignet, da es sämtliche relevante Energie- und Emissionsdaten aller Sektoren integriert.

Abbildung 1: Struktur von ENUSEM und Interaktion mit anderen Modellen



blaue Kästen: Integrationsmodell ENUSEM
gelbe Kästen: Sektormodelle Energie
grüne Kästen: sonstige Sektormodelle

rote Pfeile: Brennstoffverbräuche
blaue Pfeile: sonstige Energieverbräuche
schwarze Pfeile: Emissionen
lila Pfeile: sonstige Aktivitätsdaten

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

In Abbildung 1 sind die sektorspezifischen Modelle sowie die Elemente des Modells ENUSEM dargestellt. Die gelb dargestellten Energiemodelle liefern den Energiebedarf verschiedener Subsektoren, einerseits aufgeteilt nach Energieträgern und andererseits nach Subsektoren. Die

Nachfrage nach Strom, netzgebundener Wärme und synthetischen Brennstoffen (z. B. Wasserstoff) wird aggregiert und an das Strommarktmodell PowerFlex weitergegeben. PowerFlex liefert als Resultat energieträgerscharfe Strom- und Wärmeerzeugung und die zugehörigen Brennstoffeinsätze. ENUSEM füllt zusätzlich die Teile des Energiesystems, die nicht bereits durch Sektormodelle abgedeckt sind (Heizwerke, Raffinerieunterfeuerungen, Kokereien, Erdgasverdichterstationen).

Insgesamt bildet ENUSEM das Energiesystem mit 23 Subsektoren ab (siehe Tabelle 1). Für jeden Energieträger in jedem Subsektor werden die entstehenden Kohlendioxid-, Methan- und Lachgas-Emissionen berechnet. Dabei erfolgt auch eine Zuordnung, ob die Emissionen dem Europäischen Emissionshandel (EU-ETS), dem nationalen Emissionshandel bzw. der Lastenteilungsverordnung (ESR) unterliegen.

Neben den verbrennungsbedingten Emissionen berechnet ENUSEM auch die flüchtigen Emissionen aus der Brennstoffnutzung. Hier erfolgt eine quellgruppenspezifische Modellierung auf Basis des Mengengerüstes für die Energienachfrage und -bereitstellung sowie der für das Nationale Treibhausgasinventar verwendeten Methoden, soweit es die Datenverfügbarkeit erlaubt.

Ebenso erfolgt eine Berechnung der Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung in Anlehnung an die Methoden des Nationalen Treibhausgasinventars. Basis bilden hierfür die vom Industriemodell ermittelten Produktionsprojektionen für einzelne Produkte. Für die Eisen- und Stahlherstellung geht darüber hinaus die Entwicklung der hier relevanten Energieträger (z. B. Gichtgas) in die Berechnung ein. Die Emissionen fluorierter Treibhausgase hingegen werden in einem separaten Modell berechnet und in das Datengerüst der gesamten prozessbedingten Emissionen integriert.

Die in Abbildung 1 grün dargestellten Modelle liefern anstelle des Energiebedarfs direkt die im entsprechenden Sektor entstehenden Emissionen.

Als finalen Schritt aggregiert ENUSEM die Modellergebnisse und stellt verschiedene Bilanzen in unterschiedlichen Strukturierungen zur Verfügung. Typische Ergebnisse sind:

- Primärenergieverbrauch nach Energieträgern,
- Endenergieverbrauch nach Energieträgern,
- Endenergieverbrauch nach Energiebilanz-Sektoren,
- Bruttostromverbrauch nach Energiebilanz-Sektoren,
- Treibhausgasemissionen nach Gasen,
- Treibhausgasemissionen nach Sektoren der Common Reporting Format (Struktur des Nationalen Inventarberichts),
- Treibhausgasemissionen nach Sektoren entsprechend Anlage 1 des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG),
- Treibhausgasemissionen unterteilt in EU-ETS und ESR.

Da ENUSEM alle wesentlichen Energie- und Emissionsdaten des Modellverbunds enthält, können weitere Ergebnisdaten relativ einfach ermittelt werden. Eingesetzt wird ENUSEM vor allem im Verbund mit weiteren Modellen des Öko-Instituts sowie der FORECAST-Modellfamilie des Fraunhofer-ISI und dem Modell Invert/EE-Lab von IREES.

ENUSEM ist in Microsoft Excel implementiert und benutzt sowohl Standard-Excel-Funktionen als auch eigene in Visual Basic for Applications (VBA) programmierte Funktionen. Es besteht dabei aus drei Modulen:

- ENUSEM-Integration sammelt zentral die Energiedaten aller Modelle und berechnet daraus die verbrennungsbedingten Emissionen. Hier werden auch die Teile der Energiewirtschaft berechnet, die nicht durch das Strommarktmodell PowerFlex abgedeckt werden. Ebenso berechnet das Modul die diffusen Emissionen der Brennstoffe und die Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung.
- ENUSEM-Kompilation bereitet die Verbräuche von Strom, netzgebundener Wärme und synthetischen Brennstoffen als Eingangsdaten für das Strommarktmodell auf.
- ENUSEM-Dissemination teilt die Brennstoffeinsätze der Kraftwerke auf Subsektoren auf und berücksichtigt dabei Randbedingungen, die nicht in PowerFlex implementiert sind, beispielsweise zur Deckung der industriellen KWK-Wärmeeigenerzeugung.

Tabelle 1: Subsektoren des Energiesystems in ENUSEM

Subsektor (internes Kürzel)	CRT-Kategorie	KSG-Sektor	Energiebilanz-sektor
Öffentliche Kraftwerke – Stromerzeugung (ÖffKW_P)	1.A.1.a	Energiewirtschaft	Umwandlung
Öffentliche Kraftwerke – Wärmeerzeugung (ÖffKW_Q)	1.A.1.a	Energiewirtschaft	Umwandlung
Öffentliche Heizwerke (ÖffHW)	1.A.1.a	Energiewirtschaft	Umwandlung
Raffineriekraftwerke – Stromerzeugung (RaffKW_P)	1.A.1.b	Energiewirtschaft	Umwandlung
Raffineriekraftwerke – Wärmeerzeugung (RaffKW_Q)	1.A.1.b	Energiewirtschaft	Umwandlung
Raffineriewärmeerzeuger (RaffWErz)	1.A.1.b	Energiewirtschaft	Umwandlung
Übrige Kraftwerke des Umwandlungssektors – Stromerzeugung (ÜbrUmKW_P)	1.A.1.c	Energiewirtschaft	Umwandlung
Übrige Kraftwerke des Umwandlungssektors – Wärmeerzeugung (ÜbrUmKW_Q)	1.A.1.c	Energiewirtschaft	Umwandlung
Übrige Wärmeerzeuger des Umwandlungssektors (ÜbrUmWErz)	1.A.1.c	Energiewirtschaft	Umwandlung
Industriekraftwerke – Stromerzeugung (IKW_P)	1.A.2	Industrie	Umwandlung
Industriekraftwerke – Wärmeerzeugung (IKW_Q)	1.A.2	Industrie	Endenergie – Industrie[1]
Industrie – Wärmeerzeuger und Prozessfeuerungen (Industrie)	1.A.2	Industrie	Endenergie – Industrie
Bauwirtschaftlicher Verkehr (SVerkehrBau)	1.A.2.g.viii	Industrie	Endenergie – GHD
Inländischer Luftverkehr (Flug)	1.A.3.a	Verkehr	Endenergie – Verkehr
Straßenverkehr (Straße)	1.A.3.b	Verkehr	Endenergie – Verkehr
Schienenverkehr (Schiene)	1.A.3.c	Verkehr	Endenergie – Verkehr
Binnenschifffahrt (Schiff)	1.A.3.d	Verkehr	Endenergie – Verkehr
Erdgasverdichterstationen (SVerkehrPipe)	1.A.3.e	Energiewirtschaft	Umwandlung
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen einschließlich Militär (GHD)	1.A.4.a + 1.A.5	Gebäude	Endenergie – GHD
Private Haushalte (Haushalte)	1.A.4.b	Gebäude	Endenergie – Haushalte
Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei (LaWiEn)	1.A.4.c	Landwirtschaft	Endenergie – GHD
Internationaler Luftverkehr (IntFlug)	1.D.1.a	–	Endenergie – Verkehr
Hochseeschifffahrt (IntSchiff)	1.D.1.b	–	–

CRT: Common Reporting Tables, genutzt in den Treibhausgasinventaren
KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz
GHD: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

1.2 Energiebilanzen

Die Bilanzierung von Primär- und Endenergieverbrauch folgt insgesamt dem Schema der nationalen Energiebilanzen. Primäre Datengrundlagen für die historischen Daten sind

- das Zentrale System Emissionen (ZSE) beim Umweltbundesamt (UBA) für alle brennstoffförmigen Energieträger,
- die Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) für die erneuerbaren Energien jenseits von Biomasse,
- sowie die Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) für alle übrigen Energieträger.

Durch die Kombination dieser beiden Datenquellen kommt es im Folgenden zu Abweichungen gegenüber den von der AGEB veröffentlichten Daten.[2] Eine vollständige Vereinheitlichung zwischen modellierten Daten (Kombination der Datenquellen ZSE und AGEB) mit den von den AGEB veröffentlichten Daten ist nicht möglich. Schon die Energiebilanzen selbst sind in sich nicht vollständig konsistent, sondern weisen teilweise statistische Differenzen aus. Um die Konsistenz zwischen historischen und Projektionsdaten zu wahren, werden auch für die historischen Jahre die Primär- und Endenergieverbräuche in ENUSEM ermittelt. So sind die historischen Energieverbräuche konsistent zu den historischen Emissionen.

Trotz teilweiser gleicher Begriffe verwenden Energiebilanz und Treibhausgasinventar unterschiedliche Sektordefinitionen. Tabelle 1 ordnet alle Subsektoren des Energiesystems in ENUSEM den CRT-Kategorien, den KSG-Sektoren und den Energiebilanzsektoren zu.

Die Bilanz des Primärenergieverbrauchs (PEV) wird aus dem in ENUSEM enthalten Datengerüst generiert und folgt insgesamt dem Schema der Energiebilanzen, allerdings wird in ENUSEM keine vollständige Umwandlungsbilanz berechnet.

Alle fossilen, biogenen und synthetischen Brennstoffe gehen mit ihrem chemischen Energiegehalt, ermittelt über den Heizwert, in den Primärenergieverbrauch ein. Entsprechend der Energiebilanzmethodik wird die Kernenergie nach der verwendeten Wirkungsgradmethode per Konvention primärenergieseitig mit einem Faktor 3 bewertet. Erneuerbare Energieträger, abgesehen von Geothermie (hier erfolgt die primärenergieseitige Bewertung mit dem Faktor 10) und Biomasse, werden mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 % bewertet, ebenso das Stromaußenhandelssaldo.

Entsprechend der Methodik der Energiebilanz werden für die Herstellung von Biogas und Biokraftstoffen keine Umwandlungsverluste berücksichtigt, der Endenergieverbrauch ist hier also identisch zum Primärenergieverbrauch.

In den Primärenergieverbräuchen in ENUSEM ist, entsprechend der nationalen Energiebilanz, der nichtenergetische Verbrauch von fossilen Energieträgern enthalten. Dieser wird entweder über ein in ENUSEM enthaltenes einfaches Modell, basierend auf den projizierten Produktionsdaten der chemischen Industrie, ermittelt. Alternativ können Projektionen zum nichtenergetischen Verbrauch auch direkt aus dem Industriemodell übernommen werden.

[2] Insbesondere der absolute Beitrag biogener Energieträger ist in den ZSE-Daten für manche Jahre deutlich höher als in der Energiebilanz.

1.3 Energieträger

ENUSEM nutzt eine zweistufige Energieträgerstruktur, die in Tabelle 2 dargestellt ist. Die erste Hierarchieebene (in der Tabelle als *ET-Aggregat* bezeichnet) wird für die Ergebnisdarstellung, z.B. von Primär- und Endenergieverbrauch genutzt. Die zweite Hierarchieebene (in der Tabelle als *Energieträger* bezeichnet) stellt den Detaillierungsgrad dar, wie er für die ENUSEM-internen Berechnungen sowie an der Schnittstelle zu den Sektormodellen genutzt wird.

Jedem Energieträger werden zwei Eigenschaften zugeordnet:

- Der Aggregatzustand unterscheidet für Brennstoffe die Attribute *fest*[3], *flüssig*[4] und *gasförmig*[5]. Energieträger, die keine Brennstoffe sind, erhalten das Attribut *ohne*.
- Brennstoffen kann als Ursprung eines der drei Attribute *fossil*[6], *biogen*[7] oder *synthetisch*[8] zugeordnet werden. Erneuerbare Energieträger, die keine Brennstoffe sind, erhalten die erneuerbaren Energieträger das Attribut *erneuerbar*[9], Kernenergie das Attribut *nuklear*[10] und alle übrigen Energieträger das Attribut *ohne*.

Als Interpretationshilfe der Attribute sind in Fußnoten die Definitionen der entsprechenden Konzepte aus der Open Energy Ontology (OEO) angegeben.

Nicht in jedem Subsektor werden alle Energieträger genutzt, sondern jeweils eine Auswahl. Technisch möglich in ENUSEM sind derzeit 30 verschiedene Energieträger pro Subsektor.

[3] OEO_00000390: “The state of being solid. A portion of matter is in solid state if and only if it has a definite shape and volume (at a given temperature and pressure).”
[4] OEO_00000256: “The state of being liquid. A portion of matter is liquid has no definite shape but a definite volume (at a given temperature and pressure).”
[5] OEO_00000182: “The state of being a gas. A portion of matter is in gaseous state if and only if it has has no definite shape and no definite volume and is not electrically conductive.”
[6] OEO_00030002: “Fossil is a geogenic origin of portions of matter created from organic material by geological processes lasting thousands or millions of years.”
[7] OEO_00030001: “Biogenic is an origin of portions of matter made by or produced from life forms.”
[8] OEO_00030005: “Synthetic is an anthropogenic origin of portions of matter created artificially by a chemical process.”
[9] OEO_00030004: „Renewable is an origin of energies that replenish on a human time scale.“
[10] OEO_00010415: “Nuclear is a conventional origin that indicates that the energy comes originally from nuclear binding energy.“

Tabelle 2: Energieträgerstruktur in ENUSEM

ET-Aggregat	Energieträger	Aggregatzustand	Ursprung
Braunkohle	Braunkohle	fest	fossil
Steinkohle	Steinkohle	fest	fossil
Steinkohle	Steinkohlenkoks	fest	fossil
Steinkohle	Gicht- u. Konvertergas	gasförmig	fossil
Steinkohle	Kokerei-/Stadtgas	gasförmig	fossil
Mineralöl	Mineralöl	flüssig	fossil
Mineralöl	Heizöl, leicht	flüssig	fossil
Mineralöl	Heizöl, schwer	flüssig	fossil
Mineralöl	Ottokraftstoff	flüssig	fossil
Mineralöl	Diesel	flüssig	fossil
Mineralöl	Kerosin	flüssig	fossil
Mineralöl	LPG	flüssig	fossil
Mineralöl	Andere Mineralölprodukte	flüssig	fossil
Mineralöl	Raffineriegas	gasförmig	fossil
Erdgas	Erdgas	gasförmig	fossil
Müll	Müll	fest	fossil
Biomasse	Biomasse	fest	biogen
Biomasse	Biogas	gasförmig	biogen
Biomasse	Biomethan	flüssig	biogen
Biomasse	Klärgas	gasförmig	biogen
Biomasse	Flüssige Biomasse	flüssig	biogen
Biomasse	Bio-Kerosin	flüssig	biogen
Biomasse	Ottokraftstoff (Bio)	flüssig	biogen
Biomasse	Diesel (Bio)	flüssig	biogen
Wasserstoff	Wasserstoff	gasförmig	synthetisch
E-Fuels	Power-to-Gas (Methan)	gasförmig	synthetisch
E-Fuels	Power-to-Liquid	flüssig	synthetisch
E-Fuels	Ammoniak	gasförmig	synthetisch
Solarenergie	Solarenergie	ohne	erneuerbar
Solarenergie	Solarthermie	ohne	erneuerbar
Solarenergie	Photovoltaik	ohne	erneuerbar
Geothermie und Umweltwärme	Geothermie	ohne	erneuerbar
Geothermie und Umweltwärme	Umweltwärme	ohne	erneuerbar
Wasserkraft	Wasserkraft	ohne	erneuerbar

ET-Aggregat	Energieträger	Aggregatzustand	Ursprung
Windenergie	Windenergie onshore	ohne	ohne
Windenergie	Windenergie offhore	ohne	ohne
Kernenergie	Kernenergie	ohne	nuklear
Strom	Strom	ohne	ohne
Strom	Stromhandelssaldo	ohne	ohne
Fernwärme	Fern- und Nahwärme	ohne	ohne
Sonstige	Brenngas	gasförmig	fossil
Sonstige	Sonstige hergestellte Gase	gasförmig	fossil
Sonstige	Abwärme	ohne	ohne
Sonstige	Sonstige	ohne	ohne

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut

1.4 Emissionen in ETS, nEHS/BEHG und ESR

Die auf EU-ETS, ESR und nEHS/BEHG entfallenden Emissionen werden in ENUSEM wie folgt ermittelt:

Die verbrennungsbedingten Emissionen (CRT 1.A) werden in den in Tabelle 1 aufgeführten Subsektoren nach jeweils bis zu 18 verschiedenen fossilen, biogenen und strombasierten Brennstoffen unterschieden. In der Modellierung ist die Aufteilung der Emissionen auf EU-ETS und ESR sowie auf nEHS/BEHG eine inhaltlich zusammenhängende und in miteinander konsistente Berechnung. Für jeden Subsektor und jeden Brennstoff werden drei Anteile bestimmt:

- Brennstoffe und deren Emissionen im ETS
- Brennstoffe und deren Emissionen im nEHS/BEHG
- Brennstoffe und deren Emissionen im ESR außerhalb des nEHS/BEHG

In vielen Fällen werden Brennstoffe komplett einem der drei Bereiche zugeschlagen. So werden beispielsweise die Brennstoffeinsätze in Raffinerien und sämtliche hergestellten fossilen Gase (Gichtgas, Kokereigas, etc.) komplett dem EU-ETS zugeordnet. Ebenso werden beispielsweise die fossilen Brennstoffe der privaten Haushalte und des landgebundenen Verkehrs komplett dem nEHS/BEHG zugeordnet. In der Modellierung wird angenommen, dass Emissionen aus der Verbrennung biogener Brennstoffe weder unter den ETS noch unter das nEHS/BEHG fallen. Sie werden daher also als ESR außerhalb des BEHG bilanziert. Diese biogenen CO_2-Emissionen werden in Anlehnung an das Treibhausgasinventar auch nicht in die Summe der Treibhausgasemissionen miteinberechnet, aber nachrichtlich separat ausgewiesen.

Für die Aufteilung der nicht komplett einem Bereich zuordenbaren Brennstoffeinsätze und Emissionen wird eine Vielzahl von Informationen genutzt. Insbesondere sind dies:

- Explizite Berechnungen, wie beispielsweise bei den öffentlichen Kraftwerken die Menge an Erdgas, die durch kleine, nicht dem ETS unterfallende, BHKWs verbraucht wird;

- externe Datenquellen, wie beispielsweise die sogenannte Annex-V-Tabelle und die Artikel-21-Berichte;[11]
- Schätzungen von Expert*innen für die jeweiligen Subsektoren.

Da sowohl ETS als auch BEHG bei Verbrennungsprozessen ausschließlich CO_2 adressieren, werden sämtliche verbrennungsbedingten Methan- und Lachgasemissionen dem ESR außerhalb des nEHS/BEHG zugeordnet.

Für die Emissionen aus Industrieprozessen und der Produktverwendung wird für die mineralische Industrie, die chemische Industrie und die Metallproduktion vereinfacht angenommen, dass deren CO_2-Emission komplett unter den EU-ETS fallen. Ebenso werden die Lachgas-Emissionen der Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion sowie die FKW-Emissionen der Aluminiumproduktion komplett dem EU-ETS zugeordnet. Darüber hinaus werden geringe CO_2-Emissionsmengen aus der Anwendung von Harnstoff dem ETS zugeordnet. Nach dieser Logik hat auch die Landwirtschaft einen geringen Anteil an Emissionen unter dem ETS.

Der Großteil der Emissionen des KSG-Sektors Landwirtschaft jedoch, sowie sämtliche Emissionen des KSG-Sektors Abfallwirtschaft und Sonstiges sind somit dem ESR außerhalb des nEHS/BEHG zuzuordnen.

Die so auf detaillierter Ebene ermittelten Emission werden in einem letzten Schritt aggregiert und ergeben somit die gesamten ETS- und ESR-, sowie BEHG-Emissionen. Auf aggregierter Ebene lassen sich die ETS-Anteile wiederum pro KSG-Sektor angeben.

Zur Modellierung des europäischen ETS-2 wird davon ausgegangen, dass dieser in seiner nationalen Erweiterung deckungsgleich mit dem nEHS.

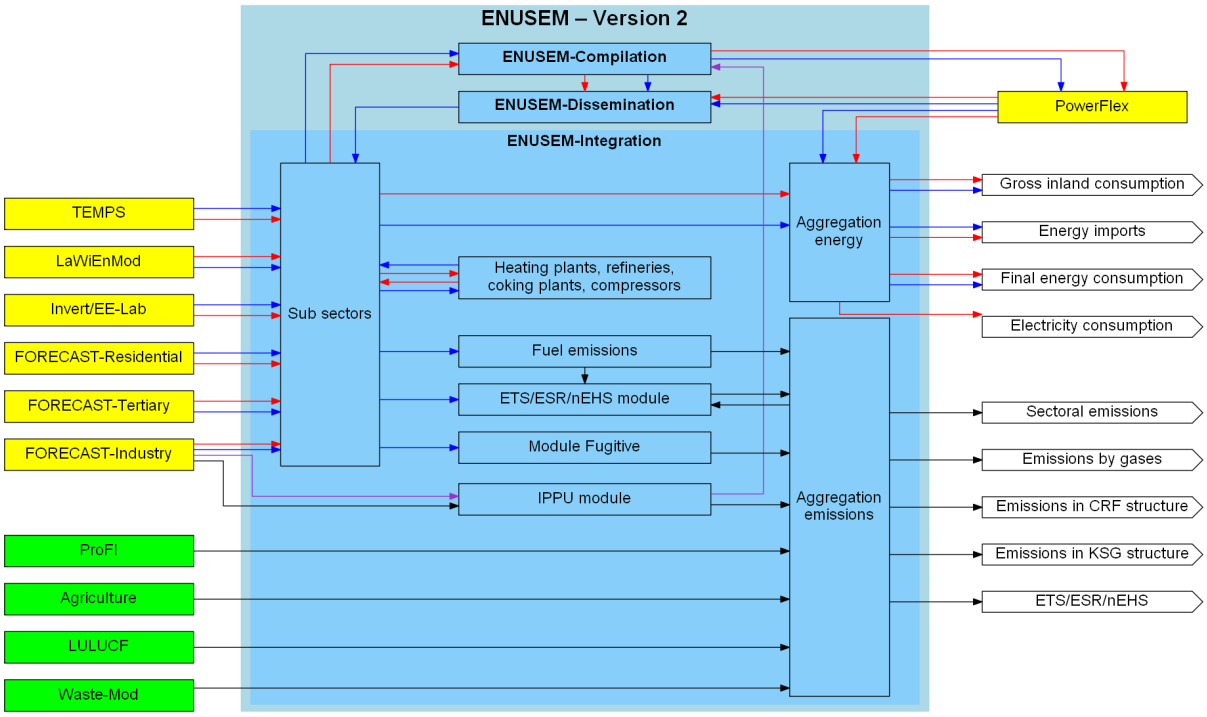
[11] Ein Beispiel hierfür ist der ETS-Anteil des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (CRT 1.A.4.a), der direkt aus den Artikel-21-Berichten abgeleitet wird.

2 Model description ENUSEM

2.1 Overview

Öko-Institut operates the Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell (ENUSEM, German for “energy transformation sector model”) which models energy consumptions and greenhouse gas emissions of the Federal Republic of Germany according to the national energy balance and the greenhouse gas inventory (territorial principle). ENUSEM works in coupling with specific sector models. It connects the essential energy flows of the individual energy-related sector models and calculates the emissions resulting from energy use. In addition, it provides interfaces to emission calculations outside the energy system, such as agriculture. In addition to pure sector integration, it closes gaps that are not represented by the individual sector models. Part of the model is a calculation section that analyses the achievement of energy and climate policy goals. This model is particularly suitable for this purpose, as it integrates all relevant energy and emissions data from all sectors.

Figure 2: Structure of ENUSEM and interaction with other models



blue boxes: integration model ENUSEM
yellow boxes: energy-related sector models
green boxes: other sector models

red arrows: fuel consumption
blue arrows: other energy consumption
black arrows: emissions
purple arrows: other activity data

Source: own illustration Öko-Institut

Figure 2 shows the sector-specific models and the elements of the ENUSEM model. The energy models shown in yellow provide energy demand of different subsectors, split by energy carriers on the one hand and by subsectors on the other. The demand for electricity, derived heat, and synthetic fuels (e.g. hydrogen) is aggregated and transferred to the electricity market model PowerFlex. As a result, PowerFlex delivers energy carrier-specific electricity and heat generation and the associated fuel inputs. ENUSEM additionally fills in the parts of the energy system that are not covered by sector models (heating plants, refinery -combustion plants, coking plants, natural gas compressor stations).

In total, ENUSEM represents the energy system with 23 subsectors (see Table 3). For each energy source in each subsector, the resulting carbon dioxide, methane, and nitrous oxide emissions are calculated. At the same time, an allocation is made whether the emissions are subject to the European Emissions Trading System (EU-ETS), the national emissions trading scheme or the Effort Sharing Regulation (ESR).

In addition to combustion-related emissions, ENUSEM also calculates fugitive emissions from fuel use. Here, source group-specific modelling is carried out based on the data structure of the energy demand and supply and the methods used for the National Greenhouse Gas Inventory, as far as data availability permits.

Likewise, emissions from industrial processes and product use are calculated based on the methods of the national greenhouse gas inventory. This is based on the production projections for individual products determined by the industry sector model. For iron and steel production, the development of the relevant fuel (e.g. blast furnace gas) is also included in the calculation. The emissions of fluorinated greenhouse gases, on the other hand, are calculated in a separate model and integrated into the data framework of the total process-related emissions.

The models shown in green colour in Figure 2 directly provide the emissions generated in the corresponding sector instead of the energy demand.

In a final step, ENUSEM aggregates the model results and provides various balances in different structures. Typical results are:

- Primary energy consumption by energy carriers,
- final energy consumption by energy carriers,
- final energy consumption by sectors defined in the energy balance,
- gross electricity consumption by sectors defined in the energy balance,
- greenhouse gas emissions by gas,
- greenhouse gas emissions by sectors of the Common Reporting Format (structure of the National Inventory Report),
- greenhouse gas emissions by sectors defined in Annex 1 of the German Federal Climate Change Act (Bundes-Klimaschutzgesetz, KSG),
- greenhouse gas emissions split into EU-ETS and ESR.

Since ENUSEM contains all essential energy and emission data of the model network, further result data can be obtained relatively easily. ENUSEM is mainly used in combination with other Oeko-Institut models as well as the FORECAST model family of Fraunhofer-ISI and the Invert/EE-Lab model of IREES.

ENUSEM is implemented in Microsoft Excel and uses standard Excel functions as well as own function programmed in Visual Basis for Applications (VBA). It consists of three modules:

- ENUSEM-Integration centrally collects the energy data of all models and calculates the combustion-related emissions from them. This module also calculates those parts of the energy sector that are not covered by the PowerFlex electricity market model. Likewise, the module calculates the fugitive emissions of fuels and the emissions from industrial processes and product use.

- ENUSEM-Compilation prepares the consumption of electricity, derived heat and synthetic fuels as input data for the electricity market model.
- ENUSEM-Dissemination distributes the fuel inputs of the power plants to subsectors and takes into account boundary conditions that are not implemented in PowerFlex, for example to cover industrial CHP heat autogeneration.

Table 3: Subsectors of the energy sectors in ENUSEM

Subsector (internal abbreviation)	CRT category	KSG sector	Energy balance sector
Public power plants – electricity generation (ÖffKW_P)	1.A.1.a	Energy	Transformation
Public power plants – heat generation (ÖffKW_Q)	1.A.1.a	Energy	Transformation
Public heat plants (ÖffHW)	1.A.1.a	Energy	Transformation
Refinery autogeneration power plants – electricity generation (RaffKW_P)	1.A.1.b	Energy	Transformation
Refinery autogeneration power plants – heat generation (RaffKW_Q)	1.A.1.b	Energy	Transformation
Refinery furnaces (RaffWErz)	1.A.1.b	Energy	Transformation
Other autogeneration power plants in the energy sector – electricity generation (ÜbrUmKW_P)	1.A.1.c	Energy	Transformation
Other autogeneration power plants in the energy sector – heat generation (ÜbrUmKW_Q)	1.A.1.c	Energy	Transformation
Other furnaces in the energy sector (ÜbrUmWErz)	1.A.1.c	Energy	Transformation
Industrial autogeneration power plants – electricity generation (IKW_P)	1.A.2	Industry	Transformation
Industrial autogeneration power plants – heat generation (IKW_Q)	1.A.2	Industry	Final energy – Industry
Industry – boilers and furnaces (Industrie)	1.A.2	Industry	Final energy – Industry
Construction-sector transports (SVerkehrBau)	1.A.2.g.viii	Industry	Final energy – Tertiary
Domestic aviation (Flug)	1.A.3.a	Transport	Final energy – Transport
Road transportation (Straße)	1.A.3.b	Transport	Final energy – Transport
Railways (Schiene)	1.A.3.c	Transport	Final energy – Transport
Domestic navigation (Schiff)	1.A.3.d	Transport	Final energy – Transport
Compressor stations in the gas network (SVerkehrPipe)	1.A.3.e	Energy	Transformation
Commercial and institutional sector including military (GHD)	1.A.4.a + 1.A.5	Buildings	Final energy – Tertiary
Residential (Haushalte)	1.A.4.b	Buildings	Final energy – Residential
Agriculture, forestry, and fisheries (LaWiEn)	1.A.4.c	Agriculture	Final energy – Tertiary
International aviation (IntFlug)	1.D.1.a	–	Final energy – Transport
International navigation (IntSchiff)	1.D.1.b	–	–

CRT: Common Reporting Format, used in the national greenhouse gas inventories
KSG: Bundes-Klimaschutzgesetz (Federal Climate Change Act of Germany)

Source: own illustration Oeko-Institut

2.2 Energy balances

Overall, the balancing of primary and final energy consumption follows the scheme of the German national energy balances. The primary data bases for the historical data are:

- The Central Emissions System (CSE) at the Federal Environment Agency (UBA) for all combustible fuels;
- the time series on the development of renewable energies in Germany from the renewable energy statistics working group (AGEE-Stat) for renewable energies beyond biomass;
- as well as the energy balances for the Federal Republic of Germany of the Working Group on Energy Balances (AGEB) for all other energy sources.

The combination of these two data sources results in deviations from the data published by AGEB.[12] A complete harmonization of the modeled data (combination of the data sources CSE and AGEB) with the data published by the AGEB is not possible. Even the energy balances themselves are not completely consistent but sometimes show statistical differences. To maintain consistency between historical and projection data, the primary and final energy consumption is also determined in ENUSEM for the historical years. In this way, the historical energy consumption is consistent with the historical emissions.

Despite some of the notations being the same, the energy balance and greenhouse gas inventory use different sector definitions. Table 3 maps all sub-sectors of the energy system in ENUSEM to the CRT categories, the KSG sectors and the energy balance sectors.

The balance of the primary energy consumption (PEC) is generated from the data set contained in ENUSEM and generally follows the scheme of the energy balance; however, no complete transformation balance is calculated in ENUSEM.

All fossil, biogenic and synthetic fuels are included in the primary energy consumption with their chemical energy content, determined via the net calorific value. In accordance with the energy balance methodology, nuclear energy is conventionally rated with a factor of 3 on the primary energy side according to the efficiency method used. Renewable energy sources, except for geothermal energy (here the primary energy-related conversion is made with a factor of 10) and biomass, are evaluated with a hypothetical efficiency of 100%, as is the electricity trade balance.

According to the methodology of the energy balance, no conversion losses are included to produce biogas and biofuels, so the final energy consumption in this case is identical to the primary energy consumption.

In accordance with the national energy balance, the primary energy consumption in ENUSEM includes the non-energy consumption of fossil fuels. This is either determined using a simple model contained in ENUSEM based on the projected production data of the chemical industry. Alternatively, projections for non-energy consumption can also be taken directly from the industry model.

2.3 Energy carriers

ENUSEM uses a two-level energy carrier structure which is shown in Table 4. The upper hierarchical level (denoted in the table as *EC aggregate*) is used for presenting results, e.g. of primary and final

[12] In particular, the absolute contribution of biofuels is significantly higher in the CSE data for some years than in the energy balance.

energy consumption. The lower hierarchical level (denoted in the table as *energy carrier*) depicts the level of detail which is used for the internal calculations within ENUSEM and at the interface to the sectoral models.

Every energy carrier has been allocated two properties:

- The state of matter differentiates for fuels the attributes *solid*[13], *liquid*[14] and *gaseous*[15].
- Fuels can be allocated one of the three attributes *fossil*[16], *biogenic*[17] or *synthetic*[18]. Renewable energy carriers that are no fuels get the attribute *renewable*[19], nuclear energy the attribute *nuclear*[20] and all other energy carriers the attribute *none*.

[13] OEO_00000390: “The state of being solid. A portion of matter is in solid state if and only if it has a definite shape and volume (at a given temperature and pressure).”
[14] OEO_00000256: “The state of being liquid. A portion of matter is liquid has no definite shape but a definite volume (at a given temperature and pressure).”
[15] OEO_00000182: “The state of being a gas. A portion of matter is in gaseous state if and only if it has has no definite shape and no definite volume and is not electrically conductive.”
[16] OEO_00030002: “Fossil is a geogenic origin of portions of matter created from organic material by geological processes lasting thousands or millions of years.”
[17] OEO_00030001: “Biogenic is an origin of portions of matter made by or produced from life forms.”
[18] OEO_00030005: “Synthetic is an anthropogenic origin of portions of matter created artificially by a chemical process.”
[19] OEO_00030004: „Renewable is an origin of energies that replenish on a human time scale.“
[20] OEO_00010415: “Nuclear is a conventional origin that indicates that the energy comes originally from nuclear binding energy.“

Table 4: Energy carrier structure in ENUSEM

EC aggregate	Energy carrier	State of matter	Origin
Lignite	Lignite	solid	fossil
Hard coal	Hard coal	solid	fossil
Hard coal	Coke	solid	fossil
Hard coal	Blast furnace gas	gaseous	fossil
Hard coal	Coke oven gas / town gas	gaseous	fossil
Mineral oil	Mineral oil	liquid	fossil
Mineral oil	Heating oil, light	liquid	fossil
Mineral oil	Heating oil, heavy	liquid	fossil
Mineral oil	Gasoline	liquid	fossil
Mineral oil	Diesel fuel	liquid	fossil
Mineral oil	Kerosene	liquid	fossil
Mineral oil	LPG	liquid	fossil
Mineral oil	Other mineral oil products	liquid	fossil
Mineral oil	Refinery gas	gaseous	fossil
Natural gas	Natural gas	gaseous	fossil
Waste	Waste	solid	fossil
Biomass	Biomass	solid	biogenic
Biomass	Biogas	gaseous	biogenic
Biomass	Biomethane	liquid	biogenic
Biomass	Sewage gas	gaseous	biogenic
Biomass	Liquid biofuel	liquid	biogenic
Biomass	Bio-Kerosene	liquid	biogenic
Biomass	Gasoline (Bio)	liquid	biogenic
Biomass	Diesel fuel (Bio)	liquid	biogenic
Hydrogen	Hydrogen	gaseous	synthetisch
Synthetic fuels	Power-to-Gas (Methane)	gaseous	synthetisch
Synthetic fuels	Power-to-Liquid	liquid	synthetisch
Synthetic fuels	Ammonia	gaseous	synthetisch
Solar energy	Solar energy	none	renewable
Solar energy	Solar thermal energy	none	renewable
Solar energy	Photovoltaic energy	none	renewable
Geothermal energy and ambient heat	Geothermal energy	none	renewable
Geothermal energy and ambient heat	Ambient heat	none	renewable
Hydro energy	Hydro energy	none	renewable

EC aggregate	Energy carrier	State of matter	Origin
Wind energy	Wind energy onshore	none	other
Wind energy	Wind energy offhore	none	other
Nuclear energy	Nuclear energy	none	nuklear
Electricity	Electricity	none	other
Electricity	Electricity trade balance	none	other
District heat	District heat	none	other
Other	Fuel gas	gaseous	fossil
Other	Other manufactured gases	gaseous	fossil
Other	Waste heat	none	other
Other	Other	none	other

Source: own illustration Oeko-Institut

2.4 Emissions in ETS, nEHS/BEHG and ESR

The emissions governed by EU ETS, ESR and nEHS/BEHG are determined in ENUSEM as follows:

Combustion-related emissions (CRT 1.A) are broken down into up to 18 different fossil, biogenic and electricity-based fuels in the sub-sectors listed in Table 3. In the modeling, the allocation to EU ETS and ESR as well to nEHS/BEHG that is related in terms of content and consistent with one another. Three shares are determined for each sub-sector and each fuel:

- Fuels and their emissions in the ETS
- Fuels and their emissions in the nEHS/BEHG
- Fuels and their emissions in the ESR but outside of nEHS/BEHG

In many cases, fuels are allocated entirely to one of the three areas. For example, fuel inputs in refineries and all manufactured fossil gases (blast furnace gas, coke oven gas, etc.) are completely assigned to the EU ETS. Likewise, for example, fossil fuel use of private households and land-based transport are completely assigned to the nEHS/BEHG. In the modelling, it is assumed that emissions from the combustion of biogenic fuels are not subject to either the ETS or nEHS/BEHG. They are therefore accounted for as ESR outside of nEHS/BEHG. In accordance with the greenhouse gas inventory, these biogenic CO_2 emissions are not included in the total of greenhouse gas emissions, but are reported separately for information purposes.

Various information sources are used for fuel consumption and emissions that cannot be fully assigned to one area. These are in particular:

- Explicit calculations, such as in the case of public power plants, where the amount of natural gas consumed by small CHPs, that are not subject to the ETS, is determined;[21]
- external data sources such as the so-called Annex V table and the Article 21 reports;
- Estimates by experts for the respective sub-sectors.

[21] An example of this is the ETS share of the tertiary sector (CRT 1.A.4.a) which is derived directly from the Article 21 reports.

Since both the ETS and the BEHG only address CO_2 from combustion processes, all combustion-related methane and nitrous oxide emissions are assigned to the ESR outside of the nEHS/BEHG.

For the emissions from industrial processes and product use, it is assumed for the mineral industry, the chemical industry and metal production that their CO_2 emissions are completely covered by the EU ETS. Likewise, the nitrous oxide emissions from the production of nitric acid and adipic acid as well as the CFC emissions from aluminum production are fully assigned to the EU ETS. In addition, small amounts of CO_2 emissions from the use of urea are assigned to the ETS. Following this logic, agriculture also has ETS emissions.

Following the logic described above, most of the emissions from the KSG sector agriculture and all emissions from the KSG sector waste management and other can therefore be assigned to the ESR outside of the nEHS/BEHG.

The emission shares determined on a detailed level are aggregated in a last step and thus result in the total emissions within the ETS and ESR, as well as nEHS/BEHG emissions. On an aggregated level, the ETS shares can be specified for each sector of the Climate Protection Act (KSG).

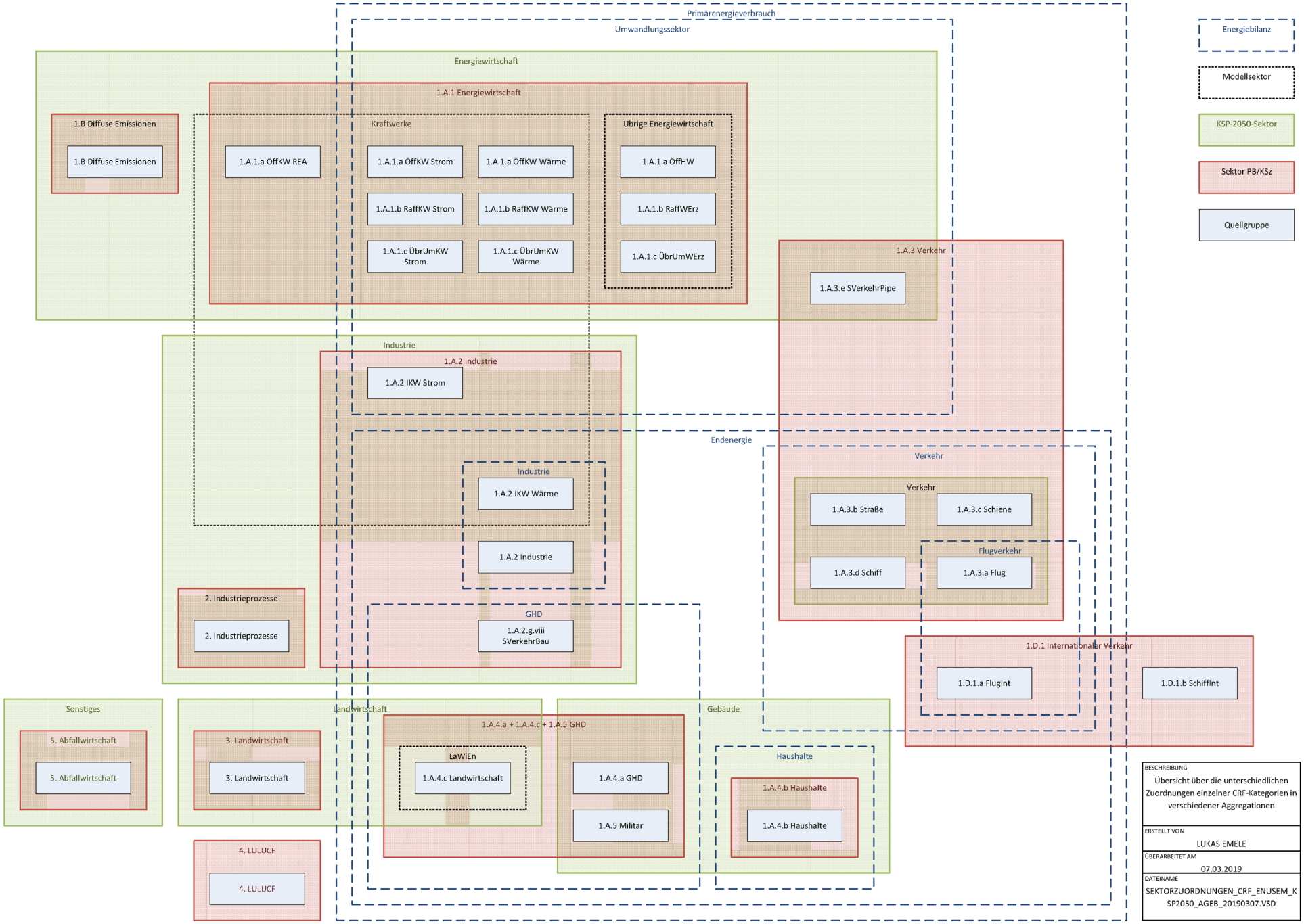
To model the European ETS-2, it is assumed that its national extension has the same scope as the nEHS.

3 Anhang / Annex

Das Diagramm auf der folgenden Seite bietet einen graphischen Überblick über Zuordnungen verschiedener Subsektoren in unterschiedliche Systematiken. Nicht abgebildet ist die Quellgruppe 1.C CO_2-Transport und -Speicherung, die dem KSG-Sektor Industrie zugeordnet wird.

The diagram on the following pages provides a graphical overview of allocation of the various subsectors into different accounting systems. This diagram is only available in German. Not depicted is source category 1.C CO_2 transport and storage that is included in the KSG sector industry.

www.oeko.de



BESCHREIBUNG	Übersicht über die unterschiedlichen Zuordnungen einzelner CRF-Kategorien in verschiedener Aggregationen
ERSTELLT VON	LUKAS EMELE
ÜBERARBEITET AM	07.03.2019
DATEINAME	SEKTORZUORDNUNGEN_CRF_ENUSEM_KSP2050_AGEB_20190307.VSD