

EN-ROADS – ein Simulator für das Weltklima

Dieser interaktive Simulator erlaubt Voraussagen zur weiteren Entwicklung der globalen mittleren Temperatur bis ins Jahr 2100. Entwickelt wurde er in Harvard, einer der Spitzenuniversitäten der USA, unter Verwendung vieler Modelle von dritter Seite, unter anderem auch von Prognosen der UNESCO.

Das Weltklima hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab, welche sich gegenseitig beeinflussen. Viele unter ihnen können wir steuern, andere nicht. Das kombinierte Modell von EN-ROADS ist deshalb extrem komplex und hat entsprechend auch sehr viele "Schrübli", an welchen man herumschrauben kann. **Da wir nur begrenzte Ressourcen einsetzen können, ist das Wichtigste an derartigen Simulatoren dass wir erkennen, welche Massnahmen vermutlich am meisten bringen, und welche nur wenig.**

En-Roads ist ein Modell für die ganze Erde – wenn wir also Angaben für die Schweiz benützen heisst das, dass wir annehmen dass diese Annahmen für die ganze Welt gültig sein müssten. Das ist klar unrealistisch, zeigt aber immerhin, ob wir mindestens unseren Anteil betragen.

Die **Benutzerschnittstelle von EN-ROADS** ist in **3 Ebenen** gegliedert, wobei die Komplexität der höheren Ebenen schnell zunimmt und häufig spezielles Fachwissen verlangt, um sinnvolle Resultate zu erzielen. Für uns sind die Ebene 1 und gelegentliche Ausflüge in Ebene 2 sinnvoll.

Leider existiert der Simulator nur in Englisch, Spanisch und Portugiesisch aber nicht in Deutsch. Weiter unten siehst Du Abbildungen von Bildschirmfenstern mit teilweise deutschem Text (meine Übersetzung). Je nach Bedarf könnte ich noch weitere Übersetzungen produzieren – dies ist aber etwas mühsam.

EN-ROADS findet man unter der Webadresse

<https://en-roads.climateinteractive.org/scenario.html>

Nach Klicken auf den "Close" Button erscheint folgendes Fenster (allerdings mit englischen Texten und ohne die grünen Markierungen), welches die **Ebene 1** darstellt:

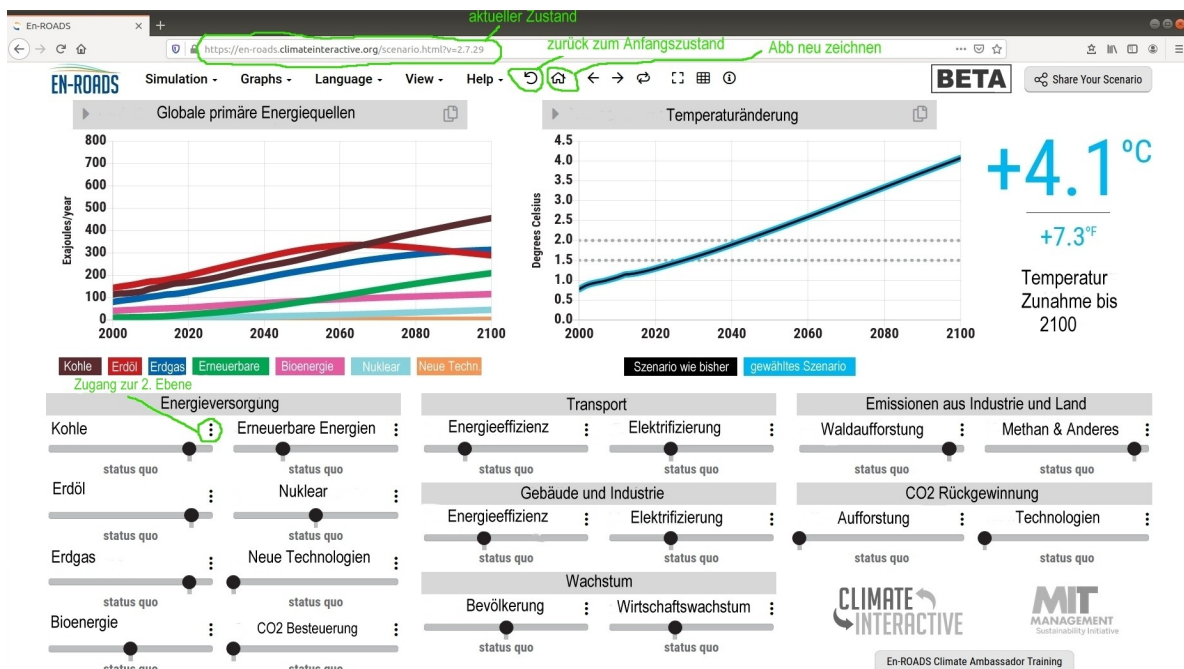


Fig.

1 : Benutzerschnittstelle EN-ROADS Ebene 1, von mir ins Deutsche übersetzt

Ebene 1:

Die rechte Grafik zeigt den Anstieg der mittleren globalen Temperatur bis zu plus 4.1 Grad Celsius im Jahr 2100 (oder 7.3 Grad Fahrenheit für die Amerikaner), einerseits als Referenz die schwarze Linie (falls wir weiterwursteln wie bis jetzt). Andererseits zeigt die blaue Linie den Temperaturverlauf wenn wir aktiv Massnahmen gegen die Klimaerwärmung ergreifen. Dies wird mit den vielen Einstell-Elementen simuliert, welche unterhalb der Grafiken dargestellt sind.

Die linke Grafik zeigt den jährlichen Weltverbrauch der darunter angezeigten **Primärenergiequellen**. Als Massstab gilt die für eine Quelle pro Jahr erzeugte Energie in Exajoule. 1 Exajoule entspricht 277 Milliarden kWh (s. unten unter Begriffe und Abkürzungen).

Die oben erwähnten Einstell-Elemente sind meist Schieberegler, voreingestellt auf die heutigen Verhältnisse (status quo). Wenn Du jetzt zum Beispiel den Regler "Energieversorgung / Kohle" ganz nach links schiebst (entspricht einer Kohlesteuer von 120 \$ pro Tonne), dann flacht sich die blaue Kurve ab und man erreicht eine Endtemperatur-Zunahme von noch plus 3.8 Grad. In der Grafik links daneben sieht man interaktiv beim Verschieben, wie der Markt spielt und die verminderte Kohleförderung zu einem erhöhten Erdöl- und Erdgasverbrauch führt. Wenn Du jetzt zusätzlich die Bevölkerung ("Wachstum / Bevölkerung") maximal wachsen lässt, so erhöht sich die Endtemperatur wieder auf 3.9 Grad und der Verbrauch fossilen Kohlenstoffs nimmt vor allem gegen Ende des Jahrhunderts trotz Steuer wieder zu.

Kannst Du mit all den Reglern auf Ebene 1 das **Klimaziel von max. 1.5 Grad Erhöhung bis 2100** erreichen? Oder **wenigstens die 2 Grad des Pariser Klimaabkommens**? Welche Massnahmen gegen Klimaerwärmung wirken am stärksten, welche kann man fast vergessen?

Zur Bedienung:

Mit den beiden **Resetsymbolen**  und  ganz oben kannst Du zum Anfangszustand der Simulation zurückkehren. Vorher möchtest Du aber vielleicht noch alle Reglereinstellungen sichern? Dazu kopierst Du die **lange Buchstabenkette im Adressfenster oben** in ein normales Winword Dokument und speicherst dieses ab. Später kannst Du sie nach dem Aufstarten von EN-ROADS wieder aus dem Dokument ins Adressfenster kopieren und die gespeicherten Reglereinstellungen werden wieder übernommen. Falls die Buchstabenkette zu lang ist klickst du sie an und gibst Ctrl (resp. Strg) A ein. Damit ist auch der unsichtbare Teil rechts angewählt und kann durch Rechtsklick / Kopieren übernommen werden.

Ebene 2:

Bei jedem Schieberegler kannst Du darüber rechts durch **Anklicken der 3 Punkte zum entsprechenden Menu der Ebene 2** gelangen. Am obigen Beispiel des Menus "Kohle" mit Regler im linken Anschlag (siehe Fig 2., nächste Seite):



Fig. 2 : Benutzerschnittstelle EN-ROADS "Ebene 2 / Kohle", von mir ins Deutsche übersetzt.

In der unteren Hälfte siehst Du zuerst eine kurze Beschreibung der Auswirkung der Kohleförderung auf Klima und Gesundheit. Der Schieberegler darunter wird von der Ebene 1 übernommen. Das Symbol links erläutert die Funktion des Reglers und die Auswirkungen auf den Verbrauch.

Dazu kommen jetzt aber weitere "Schrübli" meist wieder als Schieberegler, welche die globale Temperaturentwicklung beeinflussen. Zum einen kann man die Kohlesteuer/Subvention zeitlich befristen und/oder verzögert beginnen.

Griffigere Massnahmen sind die Reduktion des Kohleverbrauchs um x % (relativ zum Jahr 2020).

Eine weitere Möglichkeit ist das Verbot für den Bau neuer Kohlekraftwerke ab einem bestimmten Jahr. Dazu muss man zuerst den Schiebeschalter durch Anklicken von "No" auf "Yes" umstellen und anschliessend das Anfangsjahr für das Verbot einstellen.

Schliesslich kann man auch Kohlekraftwerke beschleunigt stilllegen.

Die beiden untersten Regler betreffen das Auffangen an der Quelle des ausgestossenen CO₂ (z.B. am Kamin eines Kohlekraft- oder Zementwerks) resp. dessen Rückgewinnung aus der Atmosphäre. Besteuert resp. subventioniert wird hier pro kWh produzierten Strom. Das aufgefangene CO₂ muss anschliessend

noch endgelagert werden. Zusammen wird dies mit CCS abgekürzt ("Carbon Capture and Storage"). Diese Technologien werden erst im kleinen Massstab eingesetzt und sind relativ teuer, so dass der unterste Regler einen noch zu erfindenden Durchbruch zur Kostenreduktion betrifft.

Die Grafik rechts von all diesen Reglern entspricht der Grafik links in der oberen Hälfte, wobei nur die Kurven für die Energieform Kohle dargestellt sind.

Zurück in die Ebene 1 kommst Du immer durch einfaches Klicken in die obere Hälfte der Darstellung, z.B. auf eine der beiden Grafiken. Dabei bleiben die Einstellungen der Ebene 2 weiterhin gültig!

Die detaillierten Eingabemöglichkeiten der 2. Ebene erlauben es herauszufinden, wie sich die direkten Klimaabgaben Kohle, Erdöl und Erdgas auf das Klima auswirken. Hauptproblem dabei sind die Amerikaner mit ihren unmöglichen Masseinheiten, auf welche wir unsere Angaben umrechnen müssen (Der Dreisatz lässt grüssen). Das andere Problem sind oft auch die begrenzten Reglerbereiche.

Wir wollen versuchen herauszufinden, wie sich das neue **"Bundesgesetz über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (CO₂-Gesetz)"** vom 25. September 2020 auf das Klima auswirkt. Es unterscheidet bei den **fossilen Primärenergien** (Kohle, Erdöl, Erdgas) einerseits **Treibstoffe** zum Antrieb von Fahrzeugen und andererseits **Brennstoffe** zur Wärme- und sonstiger Energieerzeugung. Sie werden unterschiedlich besteuert. Im Folgenden wird zur Vereinfachung nur Erdöl als Treibstoff betrachtet und 1 Fr == 1 \$ gesetzt. Für Treibstoffe (Erdölderivate) kann gemäss Gesetz bis 2024 ein Aufschlag von maximal 10, später maximal 12 Rappen pro Liter erhoben werden. Für Brennstoffe erhebt der Bund eine Abgabe von minimal 96 und maximal 210 Fr pro Tonne ausgestossenes CO₂. Damit ist für diese Fragestellung der Regler "CO₂ Besteuerung" in der ersten Ebene besser geeignet als die Regler für verschiedenen Primärenergien.

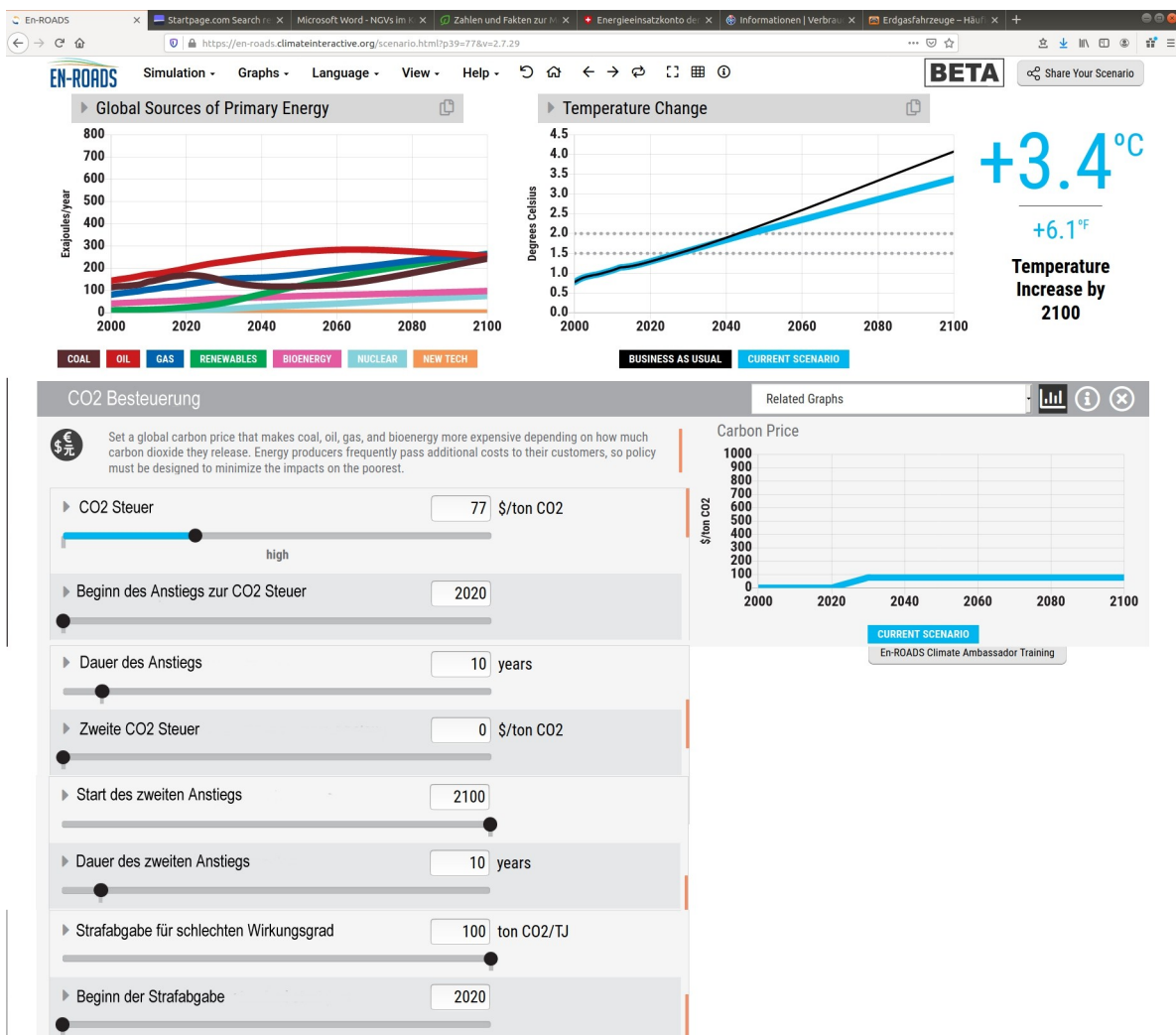


Fig. 3 : Benutzerschnittstelle EN-ROADS "Ebene 2 / Besteuerung CO₂", von mir ins Deutsche übersetzt.

Wenn wir dazu in die 2.Ebene von "CO2 Besteuerung" gehen müssen wir für die importierten fossilen Primärenergieträger eine Mischrechnung für den CO2 Ausstoss ausführen und zwar je nach deren Verwendung (Brennstoffe 39 % , Treibstoffe 61 %). Dabei erzeugen 400 l Erdölprodukte (entspricht 300-320 kg) ca. 1 Tonne CO2.

Minimal: Abgabe von 0 Rp/l Treibstoffe, 96 Fr pro to CO2 für Brennstoffe
 $0 * 0.61 + 96 * 0.39 >>>>> 37 \text{ Fr/ to CO2}$

Maximal: 12 Rp/l also 48 Fr. pro to CO2 für Treibstoffe, 210 Fr / pro to CO2 für Brennstoffe
 $48 * 0.61 + 210 * .39 >>>>> 111 \text{ Fr/ to CO2}$

Folgende Vernachlässigungen (nur für die Schweiz gültig!) wurden dabei gemacht:

- die Kohle wird nicht berücksichtigt, da sie nur ca. 1 % der fossilen Primärenergie darstellt.
- Erdgas erzeugt wegen des grösseren Wasserstoffgehalts pro Tonne ca. 13 % weniger CO2 als Erdöl. Sein Brennstoffanteil beträgt ca. 50 %.
- Der Treibstoffanteil für Erdgas beträgt ca. 3 Promille, kann also ignoriert werden.

Die weiteren Regler ergeben eine feinere Beschreibung (Beginn des Anstiegs, Steilheit) Zusätzlich könnte in einer zweiten Phase eine weitere CO2 Abgabe eingeführt werden, oder eine Strafsteuer für ineffiziente Kraftwerke.

Genügen also die vom Gesetz vorgesehenen CO2 Abgaben zur Erreichung der Klimaziele? Könnte man sie überhaupt mit den maximal möglichen CO2 Abgaben erreichen? Was würden zusätzliche Quoten für Kohle, Eröl, Gas bringen (siehe z.B. unter "Kohle / %Reduktion der Kohlenutzung" und ähnliche Menus unter "Erdöl" und "Erdgas")?

EN-ROADS ist ein mächtiges Werkzeug um viele Hinweise auf mögliche Wege in eine nachhaltige Zukunft zu geben.

Übersetzen von Texten nach Deutsch:

Einzelne Wörter und ganze Texte in einem Bildschirmfenster kann man z.B mit "Google Übersetzer" online übersetzen lassen. Das geht wie folgt:

Am besten startet man den Browser (Internet Explorer, Microsoft Edge, Firefox, ...) ein zweites Mal und geht zur Webadresse

<https://translate.google.com/>

Dann wählt man im EN-ROADS Simulator mit der Maus den gewünschten Text aus und kopiert ihn ins linke Fenster des Google Übersetzters. Rechts davon erscheint die gewünschte Übersetzung, sofern man die beiden Sprachen Englisch und Deutsch richtig eingestellt hat.

The image shows a composite of two screenshots. On the left is the EN-ROADS simulator interface, which includes several charts and a control panel. The 'Global Sources of Primary Energy' chart shows energy sources from 2000 to 2100. The 'Temperature Change' chart shows temperature change in degrees Celsius. The 'Renewables' section has sliders for 'Renewables (tax/subsidy)', 'Renewables tax/subsidy start year', and 'Renewables tax/subsidy stop year'. On the right is the Google Translate web application, showing the translation of text from English to German. The source text is highlighted in the EN-ROADS interface, and the translated text is shown in the Google Translate window.

Kritisches zu Modellen als Beschreibung der "Realität":

En-Roads übernimmt viele Modelle, welche jedes einen Ausschnitt dessen zu beschreiben versuchen, was wir als "Realität" wahrnehmen. **Alle Modelle sind jedoch falsch**, weil keines diese Realität vollständig umfasst – **aber einige Modelle sind nützlich**, weil man damit die Annehmlichkeiten unserer Zivilisation herstellen kann. Die erreichbare Genauigkeit von Modellen variiert enorm. "Die Erde ist eine Scheibe" ist ein ziemlich unnützes Modell, man kann nichts Gescheites damit berechnen. Dagegen gibt es in der Physik Quantenmodelle, welche durch Messungen bis in die 12. Kommastelle bestätigt werden (das ist ein Fehler von einem TausendMilliardstel).

Da En-Roads aus vielen bestehenden Modellen zusammengefügt wurde variiert die Genauigkeit des Einflusses auf die Temperaturkurve zwischen einzelnen Reglern. Ich vermute aber doch, dass in den meisten Fällen die Fehler im Bereich von 10 bis 30 % liegen.

Wir haben leider nichts Besseres, wenn wir Massnahmen für die Zukunft realisieren wollen, Bauchgefühle oder ideologisch geprägte Denkmuster helfen noch viel weniger.

Begriffe und Abkürzungen:

Exajoule	Mass für Energie, entspricht 277 Mia. KWh.
CCS (Carbon(dioxid) Capture and Storage)	Sollte eigentlich CO2 Capture and Storage heissen. Technologie, CO2 an der Quelle (Kraftwerk / Zementfabrik) einzufangen oder aus der Atmosphäre zurückzugewinnen und endzulagern. Der gegenwärtige von Menschen verursachte reine CO2 Ausstoss beträgt 40 Milliarden Tonnen CO2 pro Jahr. Heutige Versuchsanlagen leisten total einige Millionen Tonnen (?).
tce (ton of coal equivalent):	Energie (als Wärme), welche bei der Verbrennung einer Tonne Kohle entsteht. Dies entspricht 1'180'445 kWh. Daraus lassen sich andere Energieformen (el. Strom, etc.) mit einem Wirkungsgrad um die 40 % erzeugen, der Rest von 60 % ist Abwärme. Die Verbrennung von 1 Tonne Kohle ergibt 3.7 Tonnen CO2.