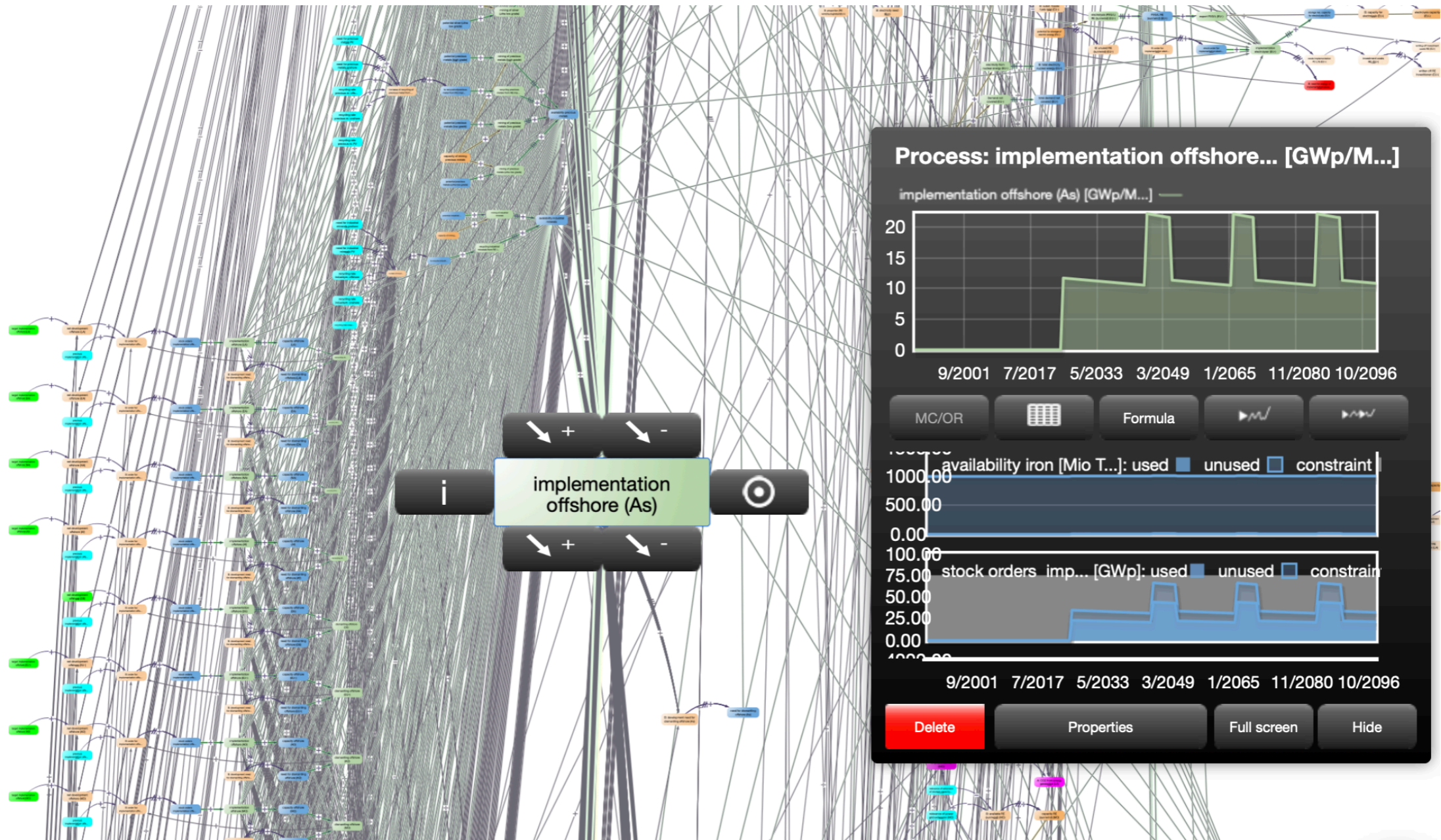




Die ToC und die globale Energiewende

Consideo - Kai Neumann, Franc Grimm



Prozess-Faktor aus dem ICARE Energy Model, der zeigt, dass für Offshore-Windenergie in Asien im ausgewählten Szenario offenbar die Beauftragung und nicht etwa Rohstoffe oder Baukapazitäten Flaschenhals/Constraint (grau hinterlegt) ist.



ToC und erneuerbare Energien

DIE THEORY OF CONSTRAINTS UND DIE GLOBALE ENERGIEWENDE

Zusammenfassung



Onshore-Windkraft - wir haben erst einen Bruchteil der benötigten Kapazitäten errichtet und schon könnte die Akzeptanz in der Bevölkerung der Flaschenhals sein.

Nachdem wir mit dem GEE(R) Modell bereits die globale Transformation hin zu erneuerbaren Energien (Graue Reihe - Teil 1: Erneuerbare Energie - es ginge) untersucht hatten, haben wir mit dem ICARE Modell ein weiteres Mal für das Umweltbundesamt auf die globale Energiewende geblickt und dabei noch mehr die Rolle der Ressourcen exploriert.

Zusammen mit Ecologic Institute haben wir den Nexus zwischen Klimaschutz und Ressourcenschonung zuerst qualitativ untersucht, um dann quantitativ mit Simulationsmodellen nicht nur zu schauen, inwieweit genügend Rohstoffe für den globalen Ausbau erneuerbarer Energien zur Verfügung stehen, sondern auch, welche Effekte Ressourceneffizienz, eine vermehrte Wahl von Photovoltaik, der Import von synthetischen Kraftstoffen oder die Substitution von Treibhausgas-intensivem Stahl und Beton durch biotische Rohstoffe haben.

Auf die inhaltlichen Aspekte dieses Projekts werden wir zuerst mit Peer Reviewed Publikationen an anderer Stelle abheben und erst später dieses Paper erweitern. Mit dem grauen Paper hier beschreiben wir die Anwendung der Theory of Constraints (Goldratt "The Goal") und ihrer weiteren Erkenntnisse. Der iMODELER hat spezielle Faktoren zur Modellierung von Prozessschritten und Ressourcen und zeigt bereits die potentiellen Constraints (limitierenden Faktoren, Flaschenhalse) zu bestimmten Zeitpunkten auf.

Weitere aufschlussreiche Aspekte sind die Gefahren der Denkweise eines kritischen Pfades anstelle einer kritischen Kette (Goldratt "Critical Chain") oder eines "Shifting the burden to the intervenor" Archetyps (Senge "The Fifth Discipline").

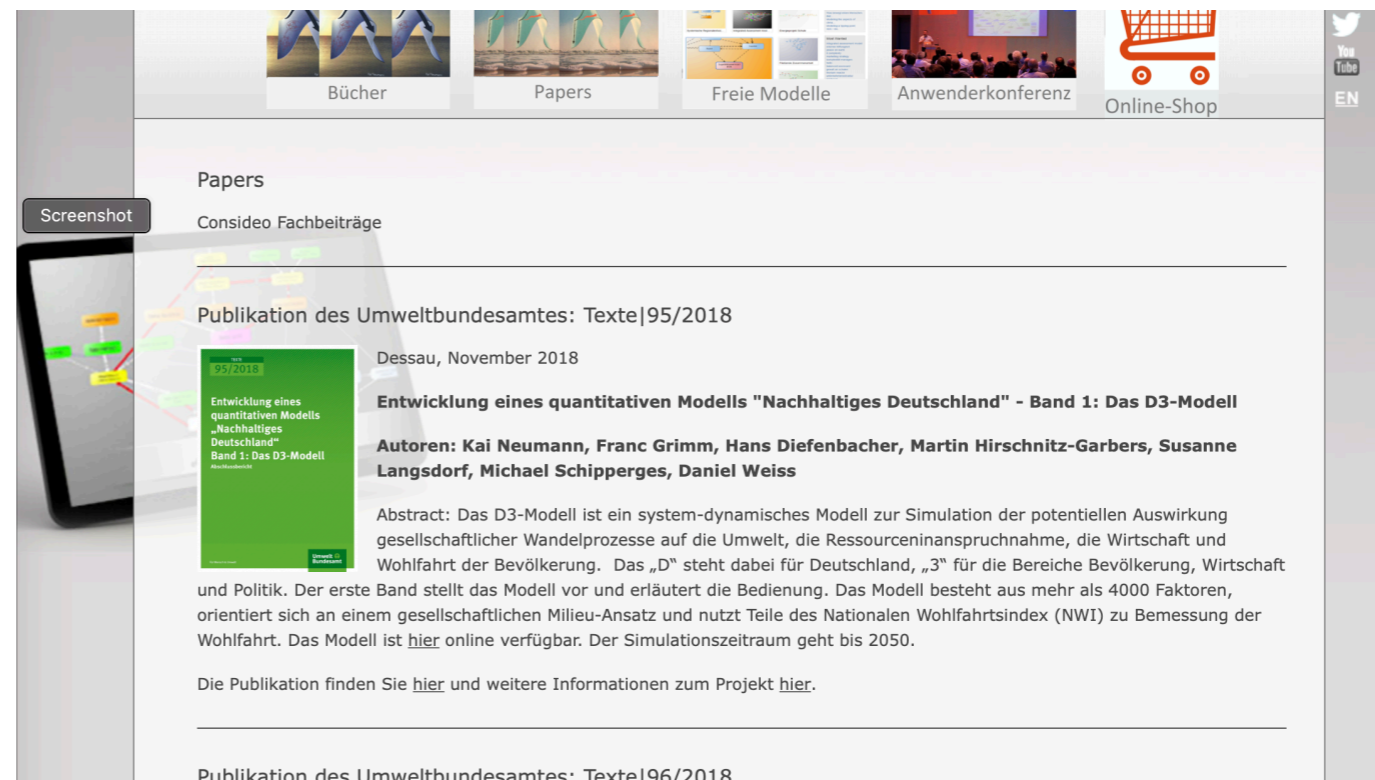
Wir zeigen, dass späte Ziele zur Zielverfehlung führen und dass national sinnvoll erscheinende Energie-Importe von Sonnenstrom oder synthetischen Kraftstoffen international zu potentiellen Constraints führen.

Die graue Serie

Studien erreichen die Politik scheinbar gar nicht, sind für die breite Öffentlichkeit meist zu spezifisch und werden von anderen Wissenschaftlern allzu häufig als Konkurrenz wahrgenommen bzw. dann nicht aufgegriffen.

Die Politik können wir über die Öffentlichkeit erreichen und für die Wissenschaft werden wir weiter offizielle Projektberichte und auch Peer Reviewed Articles schreiben. Aber für die Öffentlichkeit wollen wir ein attraktiv zu lesendes Format anbieten, welches Erkenntnisse und daraus abzuleitendes Handeln auf den Punkt bringt - unsere 'graue Reihe' in Anlehnung an den Begriff "graue Literatur".

Die globale Energiewende benötigt Ressourcen, die ihrerseits Energie benötigen. Flaschenhälse können



Screenshot der Consideo Website mit den dort verlinkten Projektberichten und wissenschaftlichen Veröffentlichungen (www.consideo.de/papers.html)

nicht nur die Rohstoffe sein, sondern auch die Baukapazitäten oder die bezahlbaren Preise. Neben Ressourceneffizienz spielt daher auch die Substitution fossiler durch biotische Rohstoffe, die Kohlenstoff binden können, eine Rolle.

Dieses Paper schaut, wo die potentiellen Flaschenhälse liegen

können, inwieweit diese von den gewählten Pfaden der Transformation auf der Welt abhängen, und welche Schlussfolgerungen wir von den Management-Konzepten hinter der Theory of Constraint (Goldratt) oder den Systemarchetypen (Senge) ziehen können.



Theory of Constraints

Die Theory of Constraints (ToC) von E.M. Goldratt umfasst die Erkenntnis, dass jeder Prozess zu jedem Zeitpunkt einen Flaschenhals hat und dass nur den zu beheben zu einer Verbesserung des Gesamtprozesses führt. Prozesse an anderer Stelle zu verbessern (die Menge) führt zu Verschwendung.

Kritische Kette vs. Pfad

Außerdem weist Goldratt mit dem Konzept der Critical Chain als Alternative zum Critical Path darauf hin, dass beim kritischen Pfad jeder Prozessschritt eine Pufferzeit erhält, während bei der kritischen Kette jeder Prozessschritt so früh wie möglich startet und die Pufferzeiten der einzelnen Prozessschritte am Ende aufsummiert angehängt werden. Auf diese Weise werden Prozessschritte nicht so spät wie

möglich gestartet, um dann doch von unvorhersehbaren Störungen verzögert zu werden, was dann den gesamten Prozess verzögerte.

Der globale Prozess

Die globale Energiewende ist so gesehen eines der größten Gesamtprozesse der Menschheit - letztlich, da wir offenbar die vergleichbar wichtige globale Impstoffbereitstellung zur Corona-Eindämmung gar nicht als Prozess begreifen. Bei dem Ausbau der erneuerbaren Energien können die Constraints die Bereitstellung der Rohstoffe, die Baukapazitäten, der Netzausbau, oder die Speicher zum Ausgleich des schwankenden Angebots erneuerbarer Energien sein.

Komplex wird diese Betrachtung, wenn die Ursachen für die etwaigen

Flaschenhalse eigene Dynamiken haben. So ist die Bereitstellung sowohl der Rohstoffe als auch der Baukapazitäten davon abhängig, ob die Business-Modelle dahinter lohnend sind, ob also gerade zum Ende der Zielerreichung von 100 Prozent erneuerbaren Energien die Nachfrage für eine Investition für Unternehmen lang genug anhält. Wenn die Nachfrage hingegen nur kurz ist, lohnt die Investition erst, wenn der Preis ausreichend hoch ist, was einige Regionen dazu verleiten könnte, den Ausbau mindestens weiter zu verschieben.

Einen weiteren Effekt auf den Preis hat das Erschöpfen von so genannten High Grade Rohstoffvorkommen, etwa beim Kupfer, hernach teurere Low Grade Vorkommen benötigt werden. Es entstehen dann potentielle, wirtschaftliche Flaschenhalse.



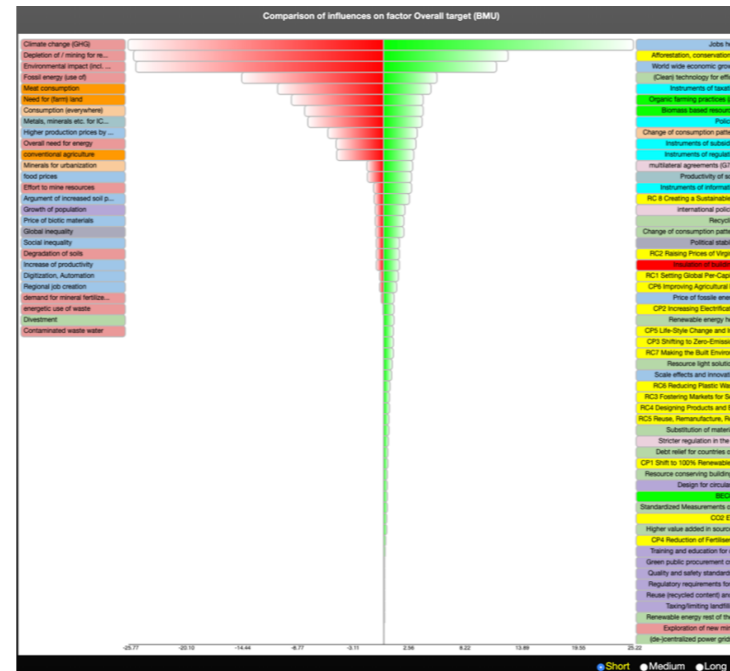
Die ICARE Modelle

Wir haben im Rahmen des Projekts 4 Modelle entwickelt:

- das Qualitative ICARE Modell
- das quantitative ICARE Energy Modell
- das quantitative ICARE LULUCF Modell
- das quantitative ICARE Gametheoretical Modell

Das Qualitative ICARE Modell

Das qualitative Ursache-Wirkungsmodell hat das Wissen aus der Literatur und internationalen Experteninterviews rund um den Nexus aus Ressourcenschonung und Klimaschutz in den Zusammenhang gestellt. Potentielle Gewinner und Verlierer der globalen Energiewende, die Bedeutung von Recycling und Verlagerung von



Tornado-Ansicht der Erkenntnismatrix

Wertschöpfung von Rohstoff fördernden hin zu recycelnden Nationen, die potentielle Rolle biotischer Rohstoffe, die Verteuerung von Rohstoffen, die Beharrungskräfte 'fossiler Industrien', u.v.m. konnten so schon einmal in ihrer potentiellen Wirkung exploriert werden

Das qualitative Modell zeigt auch nach der Gewichtung 'nur' auf, was potentiell mehr als etwas anderes

wirkt. Ob aber die Rohstoffe wirklich reichen, ob es ein Potential für biotische Rohstoffe gibt, und welche Constraints sich wann im Zeitverlauf möglicherweise ergeben, konnten wir erst mit quantitativen Simulationsmodellen erforschen.

Das ICARE Energy Model

Das sehr große Modell ist die Erweiterung des GEE(R) Modells. Es umfasst die Weltregionen gemäß des World Energy Outlooks (WEO) 2015 der International Energy Agency und greift deren Prognose der zukünftigen Entwicklung der Energiebedarfe der jeweiligen Sektoren (Verkehr, Industrie, Gebäude, ...) auf. Es betrachtet den globale Ausbau von Onshore/ Offshore Windkraft, PV, Power-to-Liquid/Gas (P2L/G) und dessen Bedarf an Rohstoffen und Kapazitäten.



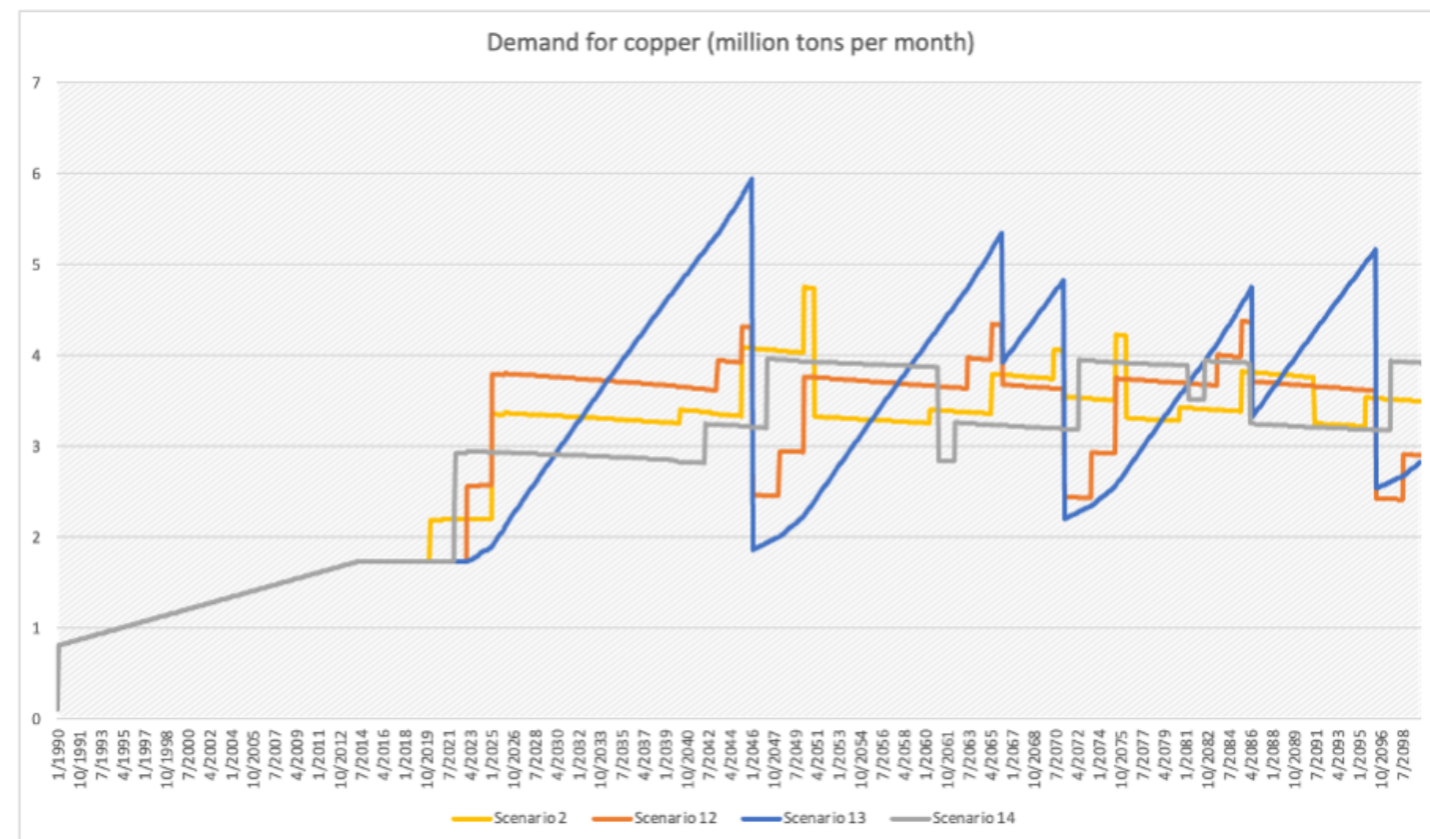
High Grade und Low Grade Rohstoffvorkommen wurden unterschieden, Recycling und Repowering als Prozesse eingebaut, wie auch die Rückverstromung von Überschüssen, die je nach Kapazitäten zu P2L/G umgewandelt wurden, wobei für P2L/G auch ein Weltmarkt vorgesehen ist.

Das Modell ist auf seinem Aggregationsniveau sehr realitätsnah und wir haben 15 Szenarien durchgespielt - mit unterschiedlichen Ausbaupfaden (wann starten, wann zwischen 2045 und 2060 das Ziel von 100% erreichen, konstant hohe oder nach hinten gesteigerte Ausbauraten, Schwerpunkt auf Wind oder PV, weitestgehende Elektrifizierung der Sektoren oder Einsatz von P2L/G) und mit unterschiedlichen Annahmen zur Nachfrage (Suffizienz, Einsatz biotischer Rohstoffe).

Auf den Pfad kommt es an

Wir haben in den Modellen nur die heute bekannten Reserven an Rohstoffen als begrenzenden Faktor angenommen. Die Bau- und Minen-

jeweiligen Szenarien je nach Pfad teilweise extreme Nachfragen nach Kapazitäten, sowohl in der Höhe als auch in dem dann absehbaren Nachlassen der Nachfrage, wenn auf



Die Verläufe der Nachfrage nach Kapazitäten für die jeweiligen Szenarien

sowie auch die Recycling- und Transportkapazitäten wurden erst einmal beliebig hoch gesetzt. Daraufhin ergeben sich für die

von der Wirtschaft auf ein Repowering der installierten erneuerbaren Energien gewartet werden muss.



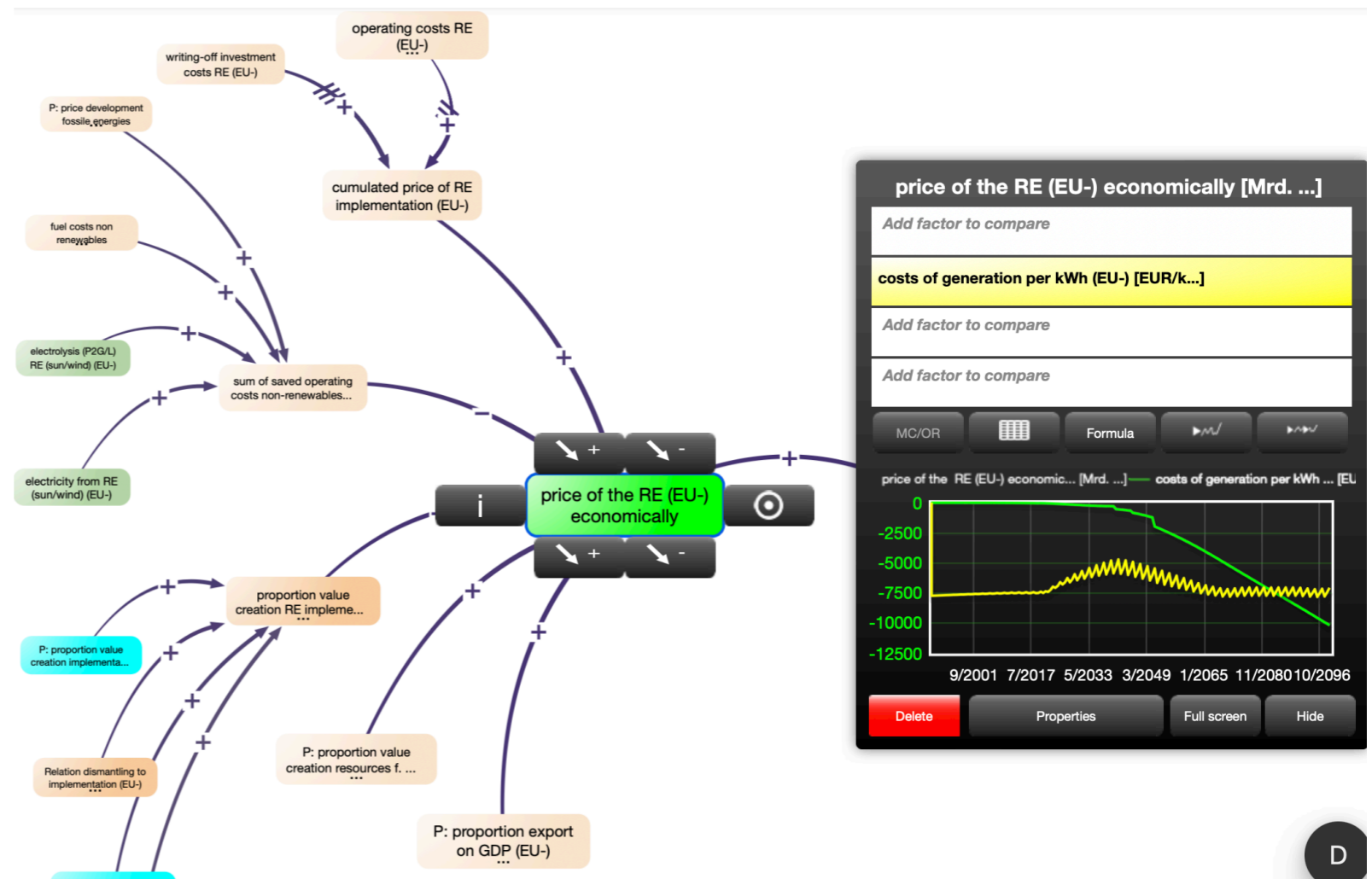
Während High Grade Vorkommen, zum Beispiel von Kupfer, bereits in einigen Jahren erschöpft sein werden, werden so genannte Low Grade Rohstoffvorkommen für den Ausbau der erneuerbaren Energien bis über das Jahr 2100 hinaus zur Verfügung stehen - ein weitestgehendes Recycling vorausgesetzt.

Frage der Ökonomie

Das hat vor allem ökonomische Implikationen. Früh den um ein Vielfaches zu steigernden Ausbau startende Regionen werden sich zu moderaten Preisen mit High Grade Rohstoffen das anthropogene Lager füllen und aus diesem später mit hoher Wertschöpfung zehren können. Später startende Regionen hingegen könnten ob der hohen Rohstoffpreise dann resignieren.

Insgesamt ist für die meisten Regionen - mit Ausnahme massiv Erdöl/-gas exportierender Länder - die Energiewende ein ökonomisches Erfolgsmodell. Zwar steigen die Energiepreise, aber die

Wertschöpfung im Inland wird massiv erhöht, so dass es um eine geschickte Umverteilung zum Ausgleich der gestiegenen Energiekosten gehen wird. Klimapolitik wird Sozialpolitik.



Die Energiepreise in Europa werden erst einmal steigen, aber ökonomisch im Vergleich zu fossilen Energieträgern ist die Energiewende ein deutlicher Gewinn aufgrund erhöhter Wertschöpfung.



Wenn die Regionen später starten, hat es mehr Treibhausgas-Emissionen zur Folge, als wenn sie nach hinten heraus länger benötigen. Eine Steigerung der Ausbaurate erst nach hinten ist also nicht nur ein ökonomisches Risiko, sondern auch ein ökologisches.

Shifting the burden

Ohne einen massiven Start des globalen Ausbaus werden wir also Extreme der Kapazitätsnachfrage erleben oder deswegen schlicht scheitern. Vor diesem Hintergrund müssen die Tendenzen, vermehrt auf P2L/G zu setzen, sehr kritisch gesehen werden. P2L/G über das Maß, wie wir es zur Rückverstromung in so genannten Dunkelflauten oder für den direkten Einsatz in der Industrie oder für synthetische Kraftstoffe für Fernflüge und Seeschifffahrt sowie als Grundstoff

für die Chemieindustrie benötigen, hinaus auch in Bereichen einzusetzen, die auch elektrifiziert werden können (z.B. Gebäudewärme mit Wärmepumpen oder Verkehr mit Batterien), bedeutet aufgrund der Umwandlungsverluste am Ende einen noch weiter erhöhten Bedarf an erneuerbaren Energien und entsprechend Ressourcen.

Die Treiber hinter der Idee, vermehrt auf P2L/G zu setzen, reichen von Teilen der Automobilindustrie über die Gas-Lobby (Leitungen, Heizungen, etc.) bis zu Bürger*innen, die lieber Kraftstoffe importieren als noch mehr Windkraftanlagen in der Landschaft zu sehen oder überhaupt etwas ändern zu müssen.

Die Sinnfrage ist dabei gar nicht so leicht zu beantworten. Photovoltaik ist pro erzeugter Kilowattstunde aktuell ausgesprochen preiswert. Wenn dann zudem PV Anlagen in

sonnigen Regionen (etwa Afrika oder die arabischen Länder) mit hoher Ausbeute betrieben werden, dann könnten vermeintlich die Wirkungsgradverluste bei der Umwandlung in P2L/G oder/und durch den Transport ausgeglichen werden.

Das ICARE Energy Model hat aber in einem Szenario hierzu ergeben, dass die Verdopplung der PV Anteile (gemessen an dem Mix mit Wind in Anlehnung an die UBA RESCUE-Studie) an der Energieerzeugung noch sinnvoll scheint, da die erzeugten P2L/G Mengen eh gebraucht werden, dass darüber hinaus aber eine reduzierte Elektrifizierung der Sektoren am Ende doch massiv mehr Ausbau an erneuerbaren Energien mit sich brächte und die Wahrscheinlichkeit von Flaschenhälsen bei den Kapazitäten deutlich erhöhte!



Die Last des Ausbaus zu sehr auf das sonnige Ausland zu schieben, machte daher wenig Sinn.

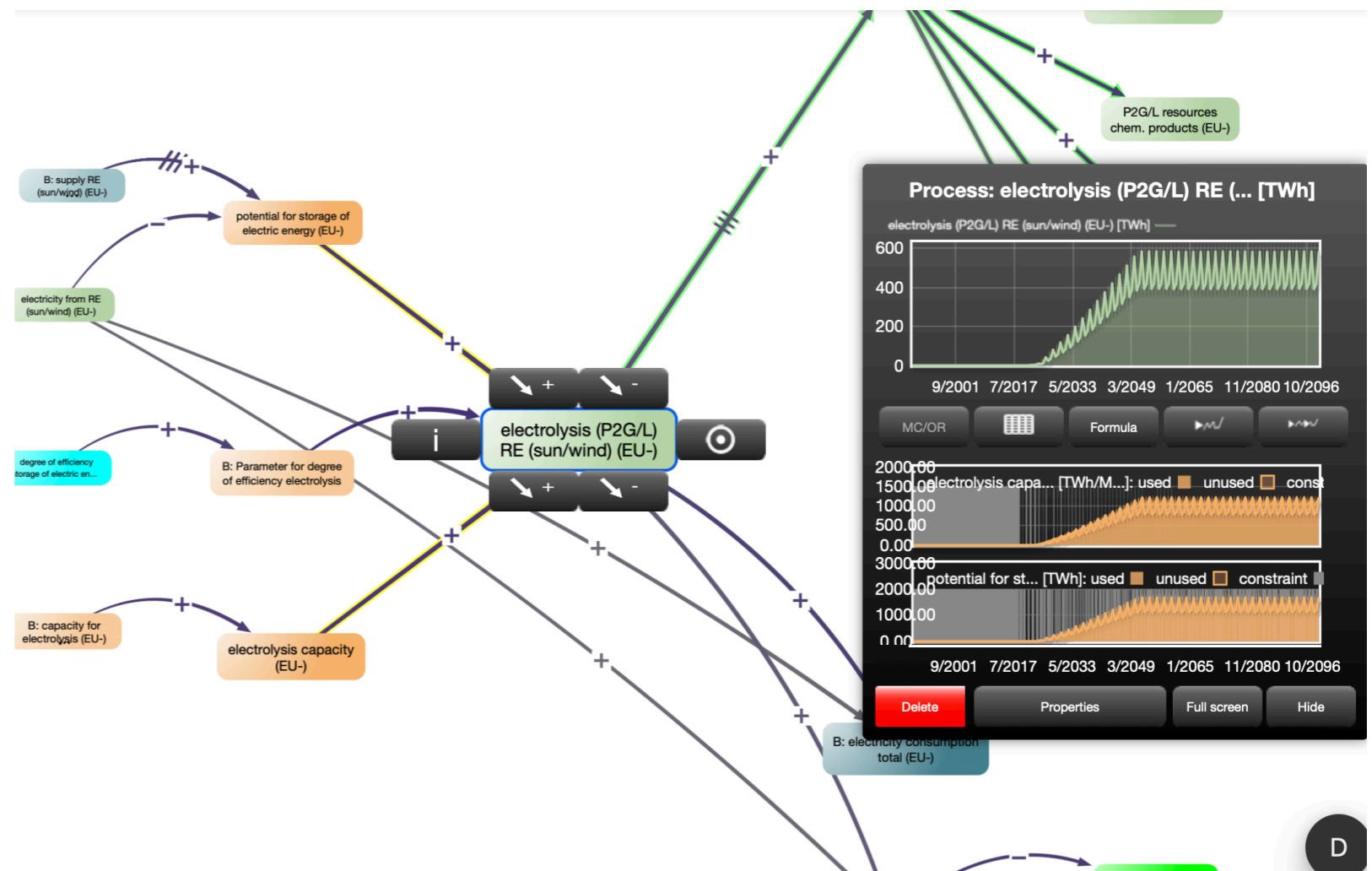
Unausgelastete Elektrolyseure

Ein weiterer Aspekt allerdings ist die Frage der Auslastung der Elektrolyseure. Technisch macht es Sinn, diese nur zur Umwandlung überschüssiger erneuerbarer Energie in P2G (grüner Wasserstoff) zu nutzen. Ökonomisch aber wollen solche Anlagen und die ganze Logistik dahinter ausgelastet sein. Daher wird vielfach argumentiert, mit Hilfe von Erdgas auch so genannten blauen Wasserstoff herzustellen, sogar mit dem Argument, dass darüber dann gleich eine Kohlenstoffquelle für synthetische Kraftstoffe gegeben wäre.

Technisch und ökonomisch scheinen solche Argumentationen plausibel, aber in der Gesamtschau werden

damit letztlich mehr erneuerbare Energien benötigt und es werden Pfadabhängigkeiten generiert, wenn Infrastrukturen und Nachfragen für blauen Wasserstoff aufgebaut werden.

Hochskaliert für alle Regionen wäre laut unseren Szenarien damit der Mehrbedarf an erneuerbaren Energien massiv.



Elektrolyseure werden immer wieder bei viel Sonne und oder Wind gebraucht - und bei Dunkelflauten bzw. fehlenden Überschüssen bleiben sie unausgelastet (grau hinterlegt bedeutet Constraint, also fehlende Kapazität oder fehlende Überschüsse).

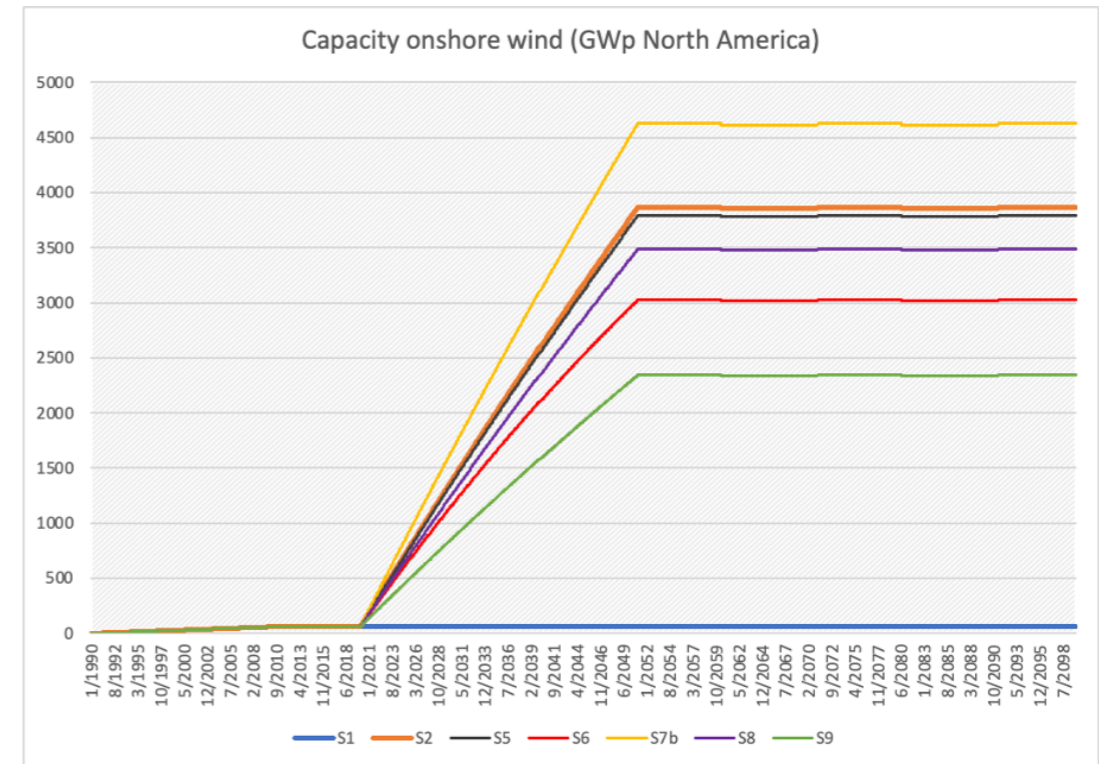


Wir haben in dem ICARE Projekt daher geschaut, wie auch durch Rohstoffeffizienz und Substitution Treibhausgas intensiver Rohstoffe wie Stahl und Beton durch biotische Rohstoffe Energie gespart werden kann.

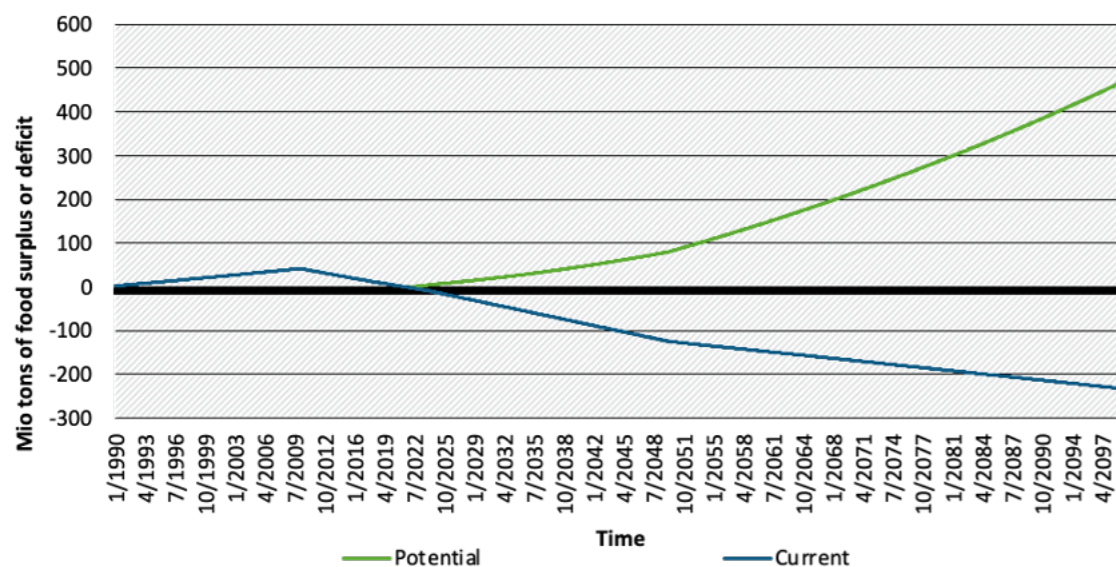
Das ICARE LULUCF Model

Um das stoffliche und energetische Potential biotischer Rohstoffe zu explorieren, haben wir ein globales

LULUCF (Land Use and Land Use Change and Forestry) Modell entwickelt, wieder als Prozessmodell, welches auf die Verfügbarkeit von Ressourcen (Fläche, Dünger, ...) blickt. Es basiert auf den FAO Daten, umfasst Ernährung, Ackerbau, Wald u.v.m.



Nord-Amerika stellvertretend für alle Regionen: S2 das UBA Szenario, S5 die Materialeffizienz, S6 30% Suffizienz S7b mehr P2L/G/weniger Elektrifizierung, S8 biotische Rohstoffe, S9 mehr PV (aber ohne Aussagekraft, da hier nur auf Wind geschaut wird).



Blau zeigt die theoretischen Überschüsse/Mangel pro Monat an Nahrungsmitteln bei heutiger Flächennutzung und Ernährungsweise, grün das Potential bei Halbierung des Konsums tierischer Produkte, Halbierung der Lebensmittelverschwendung und Verdopplung der Nutzung ungenutzter Flächen.

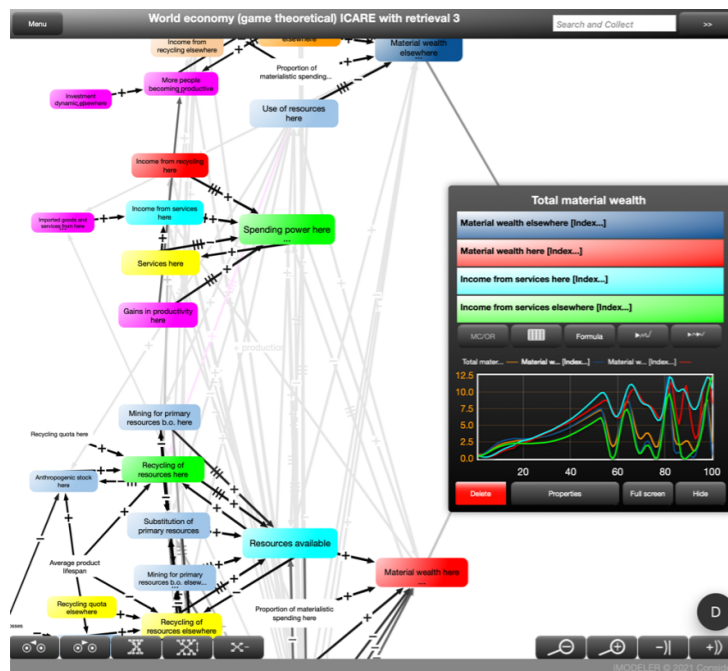
und zeigt, dass wir auch ohne Ernteeinbußen durch den Klimawandel die Welt schon bald nicht mehr werden ernähren können, ohne

Wälder abzuholzen. Wenn wir aber hingegen eine Ernährungswende etc. (siehe Abbildung) starten, haben wir sogar ein Potential für zusätzliche Waldflächen und eine Nutzung biotischer Rohstoffe (statt z.B. Stahl und Beton) in Kaskaden, was dann insgesamt den Bedarf an erneuerbaren Energien reduzieren würde.



Das ICARE Gametheoretical Model

Das Spieltheoretische Modell hat auf ganz abstraktem Niveau aufgezeigt, wie materielles Wachstum logischerweise zu Disruptionen führen muss, wenn mit Erschöpfen von Schlüsselrohstoffen ein Recycling nur auf das Niveau zurückgreifen kann, was eine Lebensspanne der Produkte zurückliegend verbaut wurde - korrigiert um etwaige weitere Effizienzsteigerungen.



Logische Zusammenbrüche der Wirtschaft bei globalem Wirtschaftswachstum

Weiterer Aspekt war die freiwillige Überlassung von Wertschöpfung an sich entwickelnde Länder, da nur so überhaupt Wirtschaftswachstum in die Zukunft hinein möglich wäre. Bei der global zu planenden Energiewende müssen daher politische Maßnahmen national (z.B. für unausgelastete Elektrolyseure) wie international (zum Ausgleich einer Verteuerung der Rohstoffe und zur Überlassung von Wertschöpfung) in den Markt eingreifen.

Es wäre machbar

Die globale Energiewende ist machbar und wir sind schon mittendrin. Allerdings müssen wir ein "Crossing the Chasm" erreichen, eh dann ein "Tipping Point" eintritt, getragen durch "competitive altruism" der Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Hierzu haben wir eigene graue Paper veröffentlicht.

Gleichzeitig gibt es die Gegenkräfte von der Gasindustrie, der subventionierten Atomenergie (ist nicht erneuerbar und nicht regelbar hilft es den Erneuerbaren nicht), von autokratischen Regierungen, und durch bereits heute stark steigende Rohstoffpreisen. Daher muss dieser Prozess staatlich begleitet werden und kann nicht den Marktkräften überlassen werden. Doch wie soll der Staat irgendwann die immer teurer werdende Energiewende finanzieren, wenn die öffentliche Hand mit dem Beheben von Unwetterschäden belastet ist? Beides erhöht das BIP.

Industrie und Politik können mit Hilfe der ICARE Modelle potentielle Engpässe bei den Ressourcen zur Bereitstellung der erneuerbaren Energien identifizieren, wenn für bestimmte Rohstoffgruppen die absehbar realisierbaren Kapazitäten in das Modell eingetragen werden.

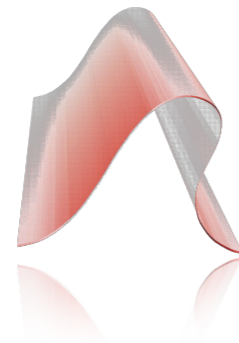


Exkurs: KNOW-WHY

Die metasystemische KNOW-WHY-Denkweise begründet, dass alles letztlich integriert - angepasst an die Rahmenbedingungen - und weiterentwickelnd - in Konkurrenz oder mit dem Wandel - sein muss. Ohne Integration mit zu viel Weiterentwicklung ist etwas genauso zum Scheitern verurteilt, wie mit zu wenig Weiterentwicklung und nur Integration.

Das ICARE Projekt blickt auf eine Weiterentwicklung integriert durch die Annahmen des WEO, dass letztlich die entwickelnden Länder sich dem materiellen Lebensstandard der reichen Nationen angleichen wollen. Lediglich ein Szenario geht von Suffizienz, von 30% weniger von allem aus.

Im Ergebnis zeigt das Projekt, dass aber Integration fehlen könnte, dass



ggf. Kapazitäten zum Umbau der Energiesysteme nicht (zu bezahlbaren Preisen) zur Verfügung stehen werden, dass Flächen nicht reichen werden, dass Politik nicht den Markt gestaltet bzw. der Markt von sich aus keine Moonshot-Projekte initiiert.

Wenn dieses quantitative Wachstum nun nicht integriert werden kann, wie können wir uns ändern, wenn heute die Lebensstile durch die wirtschaftlichen Akteure, die materialistischen Werte der Gesellschaft und die Mindsets von Wissenschaft und Politik integriert sind?

Idealisiertes Systemdesign

Eine Chance bietet der Wandel von unten, die Resilienz-Bewegungen, die das Tun und den Wert der Nachhaltigkeit vor das Haben stellen.

Denkbar aber auch eine 'designte' Zukunft. Die Methode des

idealisierten Systemdesigns fragt ohne Machbarkeitsbeschränkungen, wie eine ideale Zukunft für uns Menschen aussehen würde. Von dieser wird dann systematisch auf das geschlossen, was heute realisierbar ist.

Die Zukunft wäre komplett anders, als die eigendynamische Fortführung von Krieg, Ungerechtigkeit, Umweltverschmutzung, und viel zu viel Arbeit. Nicht machen, was machbar ist, sondern was sinnvoll ist. Bereits heute ist vieles denkbar: Komplette ökologische Landwirtschaft mit mehr Hülsenfrüchten, bedingungsloses Grundeinkommen, Verzicht auf Plastik und Autobesitz, dezentraler 3D-Druck, u.v.m. - ohne, dass Menschen damit auf Integrations- und Weiterentwicklungsgefühle auch durch Besitz verzichten müssten. ... to be continued ...



Referenzen und Links

Die Arbeiten wurden auf unterschiedlichen Konferenzen präsentiert, zum Beispiel der Internationalen System Dynamics Conference 2021 oder der SDEWES 2021.

Link zum ISDC Paper: <https://proceedings.systemdynamics.org/2021/papers/P1183.pdf>

Weitere folgen.

Hier der Link zur Projektseite bei Ecologic Institute: <https://www.ecologic.eu/16062>

Die KNOW-WHY-Denkweise: www.know-why.com

Über Consideo

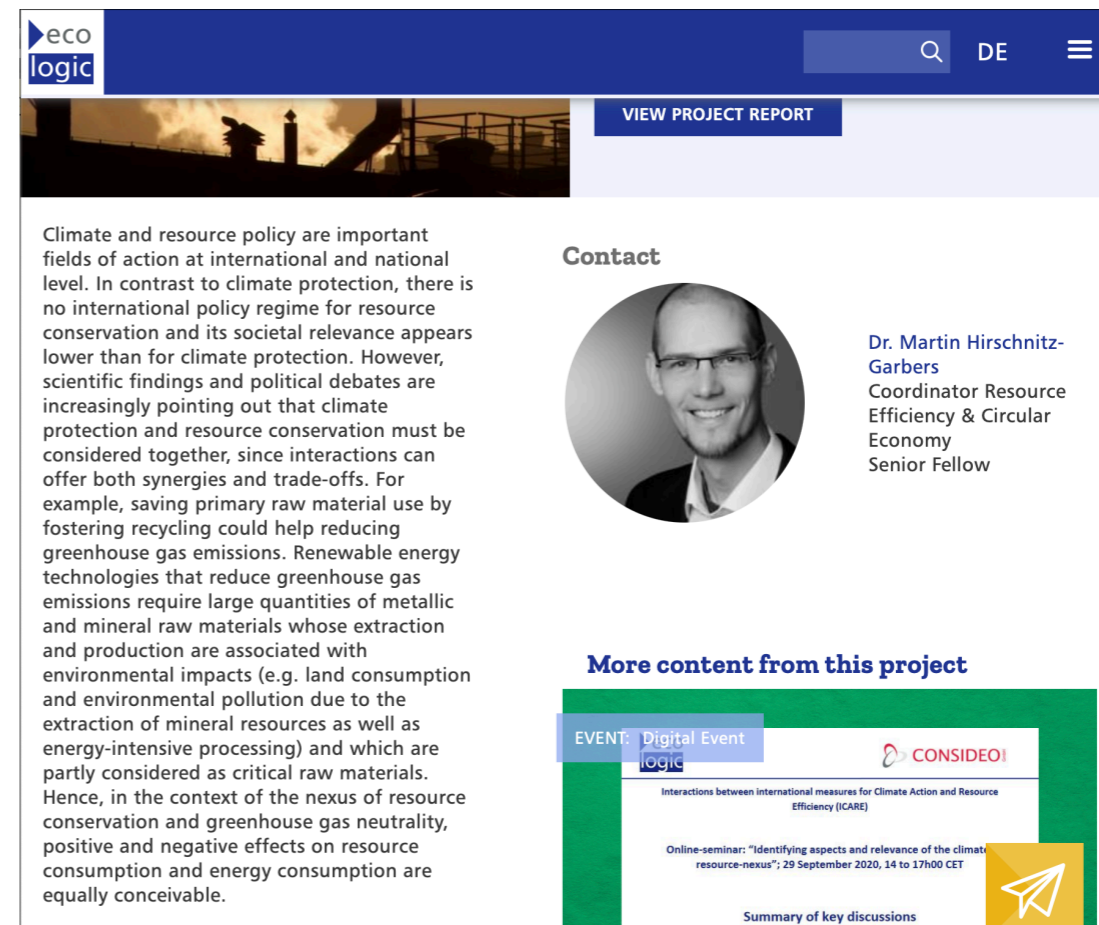
Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren: (neumann@consideo.com; grimm@consideo.com).

Zitieren: Neumann, K.; Grimm, F. (2020). Die Theory of Constraints und die globale Energiewende. Consideo GmbH, Lübeck

Consideo hat die Vision einer besseren Welt. Die Mission ist Menschen zu helfen, die Zusammenhänge zu verstehen. Wir arbeiten mit der preisgekrönten Software iMODELER für Wirtschaft, Forschung, Politik und Privatpersonen.

Mit der Plattform KNOW-WHY.NET bieten wir kollektive Zusammenhänge.

Consideo GmbH
Maria-Goeppert-Str. 1
23562 Lübeck
www.consideo.com



The screenshot shows the 'VIEW PROJECT REPORT' page on the Consideo website. The header includes the 'eco logic' logo, a search bar, and language options for 'DE'. The main content area features a large text block on the left and a 'Contact' section on the right. The text discusses climate and resource policy, highlighting the importance of resource conservation and the need for international policy. The 'Contact' section includes a circular profile picture of Dr. Martin Hirschnitz-Garbers, who is identified as the Coordinator for Resource Efficiency & Circular Economy and a Senior Fellow. Below the contact information, there is a section titled 'More content from this project' which features a card for a 'Digital Event' by Consideo. The event card includes the title 'Interactions between international measures for Climate Action and Resource Efficiency (ICARE)', the date '29 September 2020, 14 to 17h00 CET', and a link to a 'Summary of key discussions'.

