

22 Mathematik in der Modellierung zur Systemanalyse

Wie sollte sich das Energiesystem entwickeln? Welche Zusammenhänge gibt es zwischen unserem Konsum und Emissionen? Mathematische Modelle können in der Systemanalyse helfen, solche Fragen zu beantworten.

Die Modellierung hilft uns immer dann, wenn Zusammenhänge zu komplex sind, um sie intuitiv zu verstehen. In diesem Zusammenhang spricht man von der Systemanalyse. Zum Beispiel ist Wasserstoff ein wichtiger Baustein der Energieversorgung der Zukunft. Aber nur wenn ausreichend grüner Strom vorhanden ist kann auch grüner Wasserstoff erzeugt werden. Was ist dann eine sinnvolle Strategie, sollte man so bald wie möglich Elektrolyseure für die Wasserstofferzeugung bauen? Welche Wechselwirkungen ergeben sich dann, wird dann der Strom in Deutschland teurer? Oder werden vielleicht sogar mehr Emissionen verursacht, wenn dadurch mehr Strom aus Kohle erzeugt oder aus dem Ausland bezogen wird? Zur Beantwortung solcher Fragen können wir Modelle nutzen, die auf mathematischen Methoden beruhen, und damit die Zusammenhänge darstellen und untersuchen.

Hier zeigen wir zwei Beispiele, wie unterschiedliche mathematische Modelle in der Systemanalyse genutzt werden: Optimierende Energiesystemmodelle zur Bestimmung kostenoptimaler Entwicklungen und Input-Output-Modellierung zur Abbildung gesamtwirtschaftlicher Auswirkungen von Konsum und Produktion.



Abbildung 25: Die Wechselwirkungen und Zusammenhänge im Energiesystem sind komplex und nicht immer intuitiv zu verstehen – hier können Modelle helfen.

Optimierende Energiesystemmodelle

Ziel solcher Modelle ist die Beantwortung von Fragen wie beispielsweise „Wie sollte die kostengünstigste Deckung des Strombedarfe in den nächsten Jahrzehnten gestaltet werden?“, „Wie könnte sich die Energieversorgungsstruktur verändern, wenn man annimmt, dass die Preise für Emissionszertifikate stärker steigen?“ oder „Wie werden Stromspeicher optimal genutzt?“. Dafür bauen Forscher wie Christine Krüger und José Acosta Fernandez vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie ein Modell auf, in dem die Bestandteile des Energiesystems durch Gleichungen dargestellt werden.

Die Stromerzeugung aus Windenergie beispielsweise ist eine Zeitreihe, die sich aus der installierten Leistung der Windenergieanlagen und dem Verlauf der Windgeschwindigkeit ergibt. Ein Heizkraftwerk ist eine Einheit, die einen Brennstoff wie Kohle umsetzt und in Strom, Wärme und Emissionen umwandelt, eine Stromleitung wird beschrieben durch die Leistung, die sie transportieren kann, und die Verluste, die dabei entstehen. Auf diese Art werden alle Zusammenhänge des Systems in Gleichungen gefasst. Auch Randbedingungen werden als Gleichungen formuliert: Der Strombedarf muss zu jeder Stunde immer gedeckt werden, die Emissionen müssen im vorgegebenen Rahmen sinken. Ein wichtiges Element eines solchen Modells sind die Kosten: Brennstoffpreise, Preise für Emissionszertifikate, Kosten für Wartung und so weiter.

Mit diesem System aus Gleichungen wird dann ein Optimierungsproblem formuliert: Minimiere die Kosten des Gesamtsystems, und zwar so, dass die Randbedingungen eingehalten werden. Das Ergebnis ist dann das unter den getroffenen Annahmen günstigste System. Und mit diesen Annahmen kann man dann spielen: Wie hoch muss der Emissionspreis sein, damit die Stromerzeugung in 2040 klimaneutral wäre? Wie verändert sich der Ausbau und Einsatz von Kraftwerken, wenn man eine andere Entwicklung der Brennstoffpreise annimmt? Oder welche Auswirkungen hat es, wenn man Mindest- oder Maximalmengen für Wasserstoff vorgibt? Aus solchen Untersuchungen können dann zum Beispiel Energieversorger ihre Strategien ableiten oder Empfehlungen für die Politik formuliert werden.

Erweiterte Input-Output-Modelle

Modelle werden auch eingesetzt, um die verschiedenen Auswirkungen der menschlichen Produktions- und Konsumaktivitäten zu beziffern, ob erwünschte und unerwünschte. Mit Hilfe dieser Modelle werden sowohl die Ursachen als Möglichkeiten zur Veränderung des Ausmaßes dieser Auswirkungen untersucht. Außerdem werden damit geeignete Indikatoren definiert, um die Veränderungen im Lauf der Zeit zu verfolgen und dann auf dieser Basis entsprechende politische Strategien entwerfen zu können.

Für Treibhausgase ist ein solcher Indikator beispielsweise der „Carbon Footprint (CF)“. Um diesen zu berechnen, wird die „Erweiterte Input-Output-Analyse (E-IOA)“ angewendet. Aus der Perspektive des Konsums drückt der Carbon Footprint den gesamten Ausstoß von Treibhausgasen aus, der entlang der globalen Liefer- und Herstellungskette durch die Verwendung (Konsum) einer Produktgruppe verursacht wird. Es werden also

alle Treibhausgase einbezogen, die unmittelbar, aber auch mittelbar entlang der gesamten Herstellungskette anfallen. Der Zusammenhang dieser Produktionsaktivitäten kann alle Wirtschaftssektoren überspannen. Diese Interdependenzen, also die wechselseitigen Zusammenhänge, der verschiedenen Wirtschaftssektoren sind das Herzstück der E-IOA. Ein Beispiel dafür: Pkw-Nutzung → Herstellung von Autos → Herstellung von verschiedenen Maschinen → Produktion von Stahl für die Autos und die Maschinen → Produktion von Kunststoffen → Abbau von Mineralien, Kohle, Erdöl, Benzin → Herstellung von Lkw für den Transport der Mineralien ...

Die Grundlage der E-IOA bilden „Erweiterte Input-Output-Tabellen (E-IOT)“. Eine E-IOT ist im Prinzip eine Matrix, in deren Zeilen und Spalten die Zusammenhänge von Leistungen und Produkten in einer Volkswirtschaft detailliert abgebildet und mit Zahlen versehen werden – wie hoch ist beispielsweise die Erhöhung des Energieverbrauchs bei einer Erhöhung der Stahlproduktion um 5%? Dazu kommen sozio-ökonomische und umweltbezogene direkte Effekte (z.B. Treibhausgase). Die komplexen Zusammenhänge führen zu sehr großen Matrizen, für deren Umgang geeignete mathematische Methoden gebraucht werden.

Dies sind zwei Beispiele für die große Welt der mathematischen Modelle in der Energiesystemanalyse. Für alle Modelle gilt: Ein Modell ist nicht die Realität, es ist immer ein vereinfachtes, abstraktes Abbild. Die Kunst liegt darin, ein Modell so zu gestalten, dass es trotz dieser Einschränkung eine Antwort geben kann, die der jeweiligen Frage gerecht wird. Deswegen gibt es nicht nur eine Vielzahl an Modellen für die verschiedensten Zwecke, sondern auch meist mehrere Modelle für denselben Gegenstand.