

Regelbasierte Modellierung von Anwendungs-Szenarien Kritischer Infrastrukturen für Analyse und Ausbildung

Claudia Ermel¹, Jens Richter², Jan deMeer³

¹Fakultät IV, Technische Universität Berlin Sekr. MAR 5-5, Marchstr. 23, 10587 Berlin, claudia.ermel@tu-berlin.de

²Senior-Berater IT
Fontaneweg 40a, 16547 Birkenwerder, richter.jens@web.de

³Sprecher GI/ACM Regionalgruppe Berlin-Brandenburg,
Vize Vorstandsvorsitzender ACM German Chapter,
smartspacelab.eu GmbH, Berner Str. 21B, 12205 Berlin, demeer@acm.org

Zusammenfassung: Um die komplexen Verhaltensmuster eines landesweit vermaschten Systems, wie sie Infrastrukturen zur Energieversorgung, Wasser- Ver- und Entsorgung, Nah- und Fernverkehr auf der Straße, zur Luft und im Wasser etc., darstellen, zu verstehen und für den Unterricht anschaulich darzustellen, will die GI/ACM Regionalgruppe Berlin-Brandenburg (RGG) ein umfassendes Stakeholder-Modell entwerfen das alle beteiligten Akteure einer Kritischen Infrastruktur (KRITIS) und ihre Beziehungen untereinander mittels ‚Verhaltensregeln‘ definiert und im Verbund mit Schülern und Analysten, KI-werkzeug-gestützt, schrittweise erlebbar, bzw. nachvollziehbar, machen.

Für diesen Lehr- und Analyse-Ansatz werden verschiedene KI-Werkzeug-Typen, je nach Verfügbarkeit, vorgestellt. Entsprechende Anwendungs- und Schulungsbeispiele (use cases) werden z.Z. für das AGG-Werkzeug des dEIn-labs der TUB und für das VSE-Werkzeug des DFKI realisiert.

Flächendeckende Infrastrukturen weisen besondere Eigenschaften auf: Sie sind besonders schützenswert, weil sie für das Funktionieren einer offenen Gesellschaft eines Landes von kritischer Bedeutung sind. Ausfälle, auch Teile von komplexen Infrastrukturen, müssen schnell erkannt werden können und validierte Maßnahmen zur Prüfung, Test und Eindämmung der Auswirkungen nicht verfügbarer Infrastrukturteile müssen in kritischen Situation schnell und unkompliziert anwendbar sein. Daher wird auch der Begriff ‚Eternale Systeme‘ benutzt, um die dauerhafte Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit, auszudrücken.

Schlüsselwörter: Smart Grid, Smart Metering, Eternales System, Kritische Infrastrukturen, Vierpol-Theorie, Closed/Open Loop Kontrolle, KI-Modellierung, Teilhaber/stakeholder Modell, Temporal Logic of Actions, Graph-Theorie, KRITIS Sicherheit, ...

1 Motivation – Anwendung von KI-Methoden und Werkzeugen in Lehre und Betrieb komplexer (eternaler) Systeme und Infrastrukturen

Die Idee, ein „Virtuelles Kraftwerk“ als Ergebnis der Modellierung unsere Elektrizitätsversorgung als Smart Grid darzustellen, wird in [JdM13] als kritisches Closed Loop System beschrieben. In dem modellierten Virtuellen Kraftwerk kann man, aufgrund der Kenntnisse der zurückgeführten Lastbedingungen der Verbraucher, nur so viel Energie einspeisen, wie gerade benötigt wird und damit so das System stabil halten. Dieser Modellierungsansatz ist jedoch sehr sensibel gegenüber starken Änderungen und muß daher sehr sorgfältig in Balance gehalten werden. Daher werden KI-Modelle entwickelt, um zuverlässige Vorhersagen über das Systemverhalten zu bekommen.

Gegenwärtig werden die beiden KI-Modellierungsansätze [VSE12] und [AGG13] verfolgt. Während VSE eine streng getypte Spezifikationsprache auf der Grundlage temporaler Logik für Aktionen ist, beinhaltet AGG eine Logik, die auf Graph-Transformationen beruht. VSE ist geeignet für die Überprüfung sicherheitstechnischer Eigenschaften und AGG für die Überprüfung von Invarianz-Eigenschaften bei System-Rekonfigurationen.

Beide Modellierungsansätze sind geeignet, den Informatikunterricht in den Schulen, mit experimentellen Modellen zu bereichern. Ebenso können sie im praktischen Betrieb Eternaler Systeme, als modell-gestütztes Managementverfahren zum Schutz kritischer Infrastrukturen, als Entscheidungshilfe verwendet werden.

2 Modellierungsmethodik im Informatik-Unterricht

Dem Informatik-Unterricht täte es (nach Mg. der Autoren) gut, wenn man modell-orientierte Vorgehensweisen zur Analyse komplexen Software- oder System-Verhaltens, aus Wissenschaft und Forschung, für Schüler aufbereiten und im Unterricht als Laborarbeiten, anbieten würde.

Ein attraktives Unterrichtsangebot weckt sicherlich Interesse an einer entsprechenden Berufswahl. Im Schuljahr 2012/2013 wurde daher erstmalig eine Unterrichtseinheit zum Thema „Smart Grid“ an zwei Berliner Schulen durchgeführt, die von der GI/ACM-Regionalgruppe Berlin-Brandenburg in Kooperation mit den Universitäten FU und TU Berlin entwickelt wurde [TSB13].

Das KRITIS-Konzept [KRITIS13] eines ‚*Smart Grid*‘ sieht u.a. vor, daß besonders erneuerbare Energiequellen, wie Wind, Sonnenkraft oder Biomasse, kostensparend und umweltschonend genutzt werden sollen.

Ein einfacher, verbraucher-orientierter Ansatz geht davon aus, daß bei Nutzung volatiler „Grüner Energiequellen“, im Falle von Windflauten, Stürmen oder zu schwacher/starker Sonneneinstrahlung, schnell und zuverlässig, in der Leitwarte eines Smart Grid, auf Schwankungen in der Stromerzeugung, reagiert werden kann, indem, zum Beispiel, Lasten, also Stromverbraucher, als schaltbare Komponenten für den Ausgleich zwischen Strom-Erzeugung und Verbrauch mit einbezogen werden können.

Dies sind einfache Zusammenhänge, die in der Wirklichkeit nicht vorkommen. Die Energieversorger eines Landes oder einer Stadt [vgl. Abbildung 1] sind daran interessiert, dass sie die Energie entsprechend des vermessenen Profils, also nach Bedarf, zur Verfügung stellen und kein Verbraucher abgeschaltet wird. Dieser Energiebedarf speist sich dann aus verschiedenen Quellen und man kann dabei, z.B. den Anteil an Grüner Energie, die Kosten oder beides optimieren.

In einem allerersten Modellierungsbestreben einer Unterrichtseinheit haben die Schüler/innen zunächst LEGO-Mindstorms® Roboter programmiert [TSB13] und damit die unmittelbare Abhängigkeiten zwischen volatilen Wind- oder Sonnenenergieerzeugern und davon abhängigen Energiekonsumenten, veranschaulicht.

Die Problematik dieser direkten Abhängigkeiten wurde anschließend durch ein regelbasiertes Modell am Computer analysiert und durch realistischere Modelle ersetzt. Die Schüler/innen konnten so die Erkenntnis gewinnen, dass sich bei einer computergestützten Analyse die beeinflussbaren Parameter eines Smart Grid, wie z.B. die Anzahl der Verbraucher elektrischer Energie (vgl. Abbildung 1 [PEM12]), Zu- oder Abschaltung grüner

oder brauner Energiequellen¹ weit entfernter, mittels HGÜ², oder lokal verfügbarer, mittels Mittelspannungsnetze, zugeschalteter Energiequellen u.U. optimieren lassen.

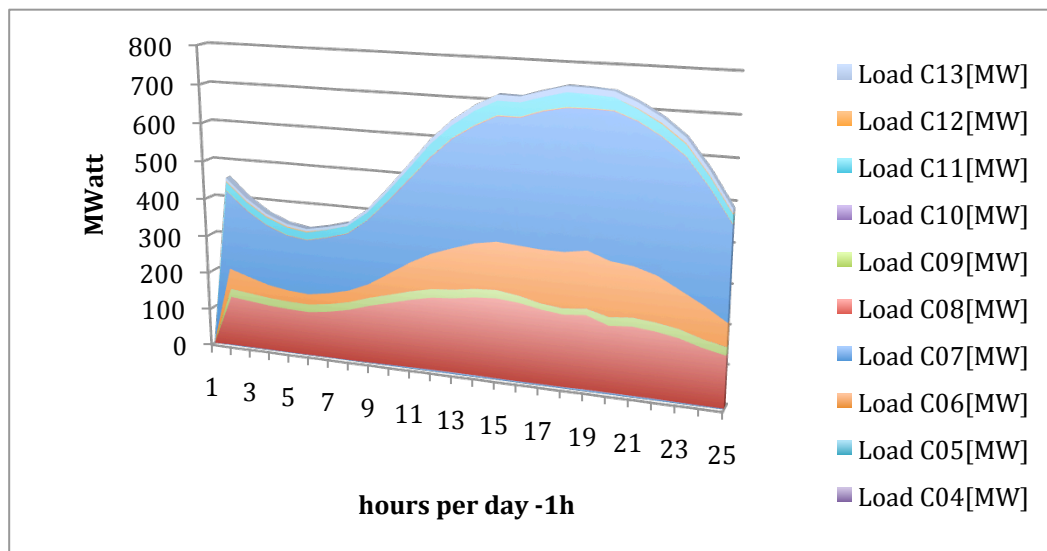


Abbildung 1: Lastprofil eines Tages, eines Ortes mit 13 Individualprofilen³

3 Modellbildung von komplexen, kritischen Infrastrukturen

KRITIS im Allgemeinen und Smart Grids im Besonderen, brauchen eine umfassende IKT-gestützte Vernetzung aller Komponenten zur Energie- Erzeugung, -Transport, -Transformation, -Verbrauch, -Meß und Regeltechnik, z.B. Smart Meter, ggf. Speichertechnik, z.B. Akkumulatoren. Damit sind die 7 Grundtypen der Komponenten eines Smart Grid benannt, die mit entsprechenden Kommunikationsnetzwerken und Management Centers ergänzt werden müssen.

Die Eigenschaften der Smart Grid Grundtypen werden als sog. „Vierpole“ modelliert. Ein Vierpol ist ein elektrotechnisches Modell, in welchem elektrotechnische Eingangs- und Ausgangsbedingungen für die Konstruktion eines Impedanzen-Netzwerk dargestellt werden.

In einem vollständigen Smart Grid Modell müssen diese Basistypen mit ihren meteorologischen, physikalischen, ggf. chemischen und elektrischen Parametern so modelliert werden, dass sie für eine konkrete Untersuchung mit aktuellen Werten, z.B. Wetterdaten, instanziiert werden können und in einem wirksamen Netzwerk miteinander verbunden werden können.

Anschauliche Grundlage der Modellierung ist ein Domänen-Modell, wofür jeweils ein Teilhaber (stakeholder) benannt wird. Ein Teilhaber betreibt z.B. einen Windpark zur Energiegewinnung und versucht seine Kapazitäten im Energiemarkt zu verkaufen. Andere Teilhaber sind Verbraucher, wie Privathaushalte, Produktionsstätten oder *Cloud Computing Centers* mit flexiblem aber auch festem Versorgungsbedarf. Dritte Teilhaber betreiben die Stromtrassen (z.B. HGÜ²) und die örtlichen Netzwerke auf unterschiedlichem Spannungsniveau, andere ggf. vorhandene Pumpspeicherwerke oder Batteriestationen etc.

In einer konzertierten Aktion müssen alle Teilhaber kooperieren und das System zwischen Last, Transport und Erzeugung ausbalancieren, sonst riskiert man Instabilität und damit hohe Ausfallwahrscheinlichkeiten in der Energieversorgung, was zwar kein Teilhaber anstrebt, aber es könnte hierbei einem Angreifer, unbeabsichtigt eine Tür geöffnet werden.

¹ Wir unterscheiden die unterschiedlichen Energiekapazitäts-Erzeugungsformen, farblich, je nach verwendeten, verfügbaren, primärem Stoff. ‚Weiß‘ steht für eingesparte, bzgl. eines Verbrauchers nicht verwendete; ‚Schwarz‘ für atomare; ‚Braun‘ für fossile; ‚Grün‘ für volatile, erneuerbare Energie.

² HGÜ ist die Abkürzung für „Hochspannungs- Gleichstrom- Übertragung“ (High Voltag DC Transmission) und ist die einzige verfügbare Technologie, um elektrische Energie über lange Distanzen verlustarm zu übertragen.

³ Dem Beitrag „Tools for Success, figure 3“ von J.R.Agüero, entnommen, erschienen in der Zeitschrift IEEE Power & Energy Magazine – A 2012 Reprint Journal from PES [PEM12].

In dem verwendeten AGG-Werkzeug [AGG13], das Graphtransformationsmechanismen nutzt, werden beteiligte Teilhaber und ihre Beziehungen als Graph, bzw. als Klassendiagramm, wie in Abbildung 2 dargestellt. Zur besseren Visualisierung können Teilhabern (Klassen) auch Bilder zugeordnet werden.

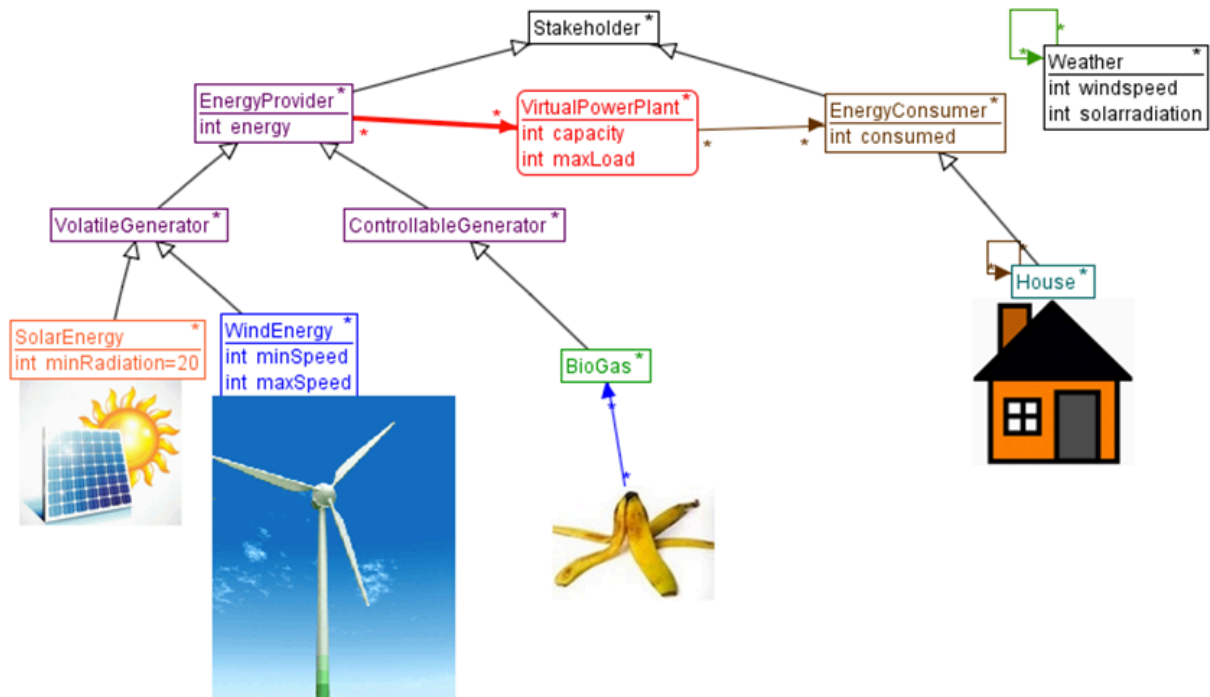


Abbildung 2: Teil des Stakeholder-Modells als Klassendiagramm

4 im Modell ausführbare Anwendungsfälle

Das in Bild 2 dargestellte Modell wird nun durch Regeln, die das Verhalten der spezifizierten Teilhaber in ausgewählten Anwendungsfällen beschreiben, ergänzt. Zum Beispiel stellt der Anwendungsfall ‚*Virtualles Kraftwerk*‘ [JdM13] das Zusammenwirken von kleinen, dezentralen Anlagen in einem regionalen Energieversorgungsverbund, den Einfluß der permanenten Wetteränderungen, dar.

Weitere implementierte Anwendungsfälle sind *Lasten-Management*, um das Zu- und Abschalten von flexiblen Verbrauchern, je nach Energieverfügbarkeit, *Smart Metering* um den Datenfluss (u.U. Datenschutz [BDSG]) im Smart Grid, bei gewisser Berücksichtigung von Zugriffsrechten, zu simulieren.

Die Verhaltensregeln beruhen auf die Darstellung der Abhängigkeiten der Eigenschaften der Komponenten und Wirkungen der Maßnahmen im Smart Grid. Sie werden inform von Guarded Commands [Dijk09], [Hoare10] bestehend aus einem [guard] und einer Regel in der Form "Wenn-Dann". Erst wenn der [guard] erfüllt ist, wird die Regel wirksam und kann schalten.

Ein Beispiel "[Windrad ist nicht abgeschaltet] → (Wenn der aktuelle Wind eine bestimmte Windgeschwindigkeit überschreitet, so wird das Windrad abgeschaltet und kann keine Energie mehr einspeisen)"

Werden solche Regeln dann auf aktuelle Systemzustände angewendet, ergeben sich Modellzustandsänderungen, die das Verhalten des Modells beschreiben. Durch die Vielzahl von Regeln, die zufällige Auswahl der jeweils angewendeten Regeln und der betroffenen Modellanteile können sich dann auch unerwünschte Systemzustände ergeben. Die Simulation des dynamischen Modellverhaltens hilft dabei, solche Systemzustände aufzudecken.

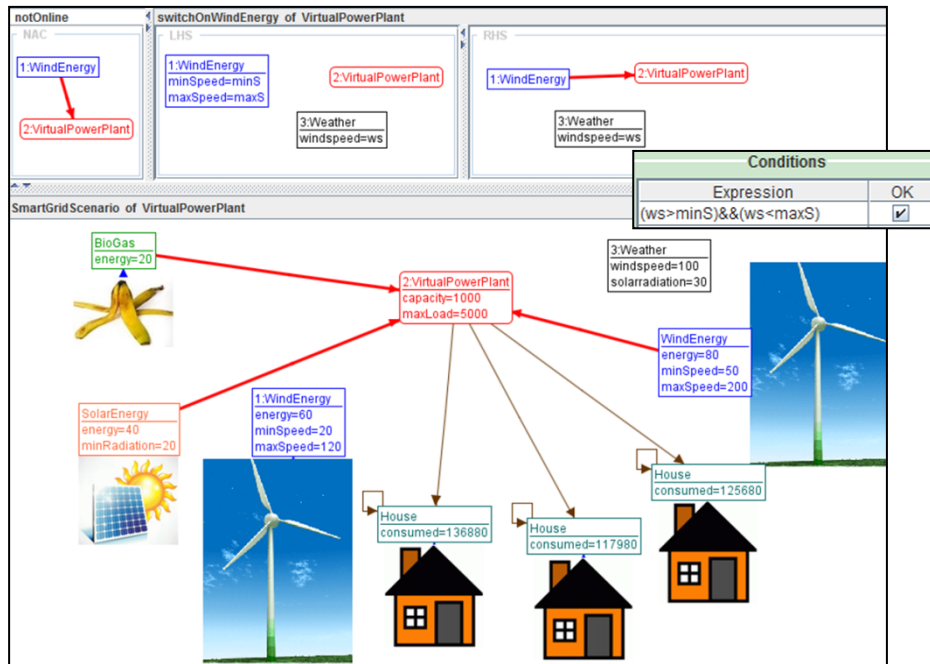


Abbildung 3: Szenario-Systemzustand und Verhaltensregel vor ihrer Anwendung

Ein Beispiel für eine Verhaltensregel wird in Abbildung 3 gezeigt.

Die Regel *switchOnWindEnergy* (im oberen Bereich von Abbildung 2 zu sehen) prüft in der linken Seite (LHS), ob es im aktuellen Systemzustand (im unteren Bereich von Abbildung 2) ein Windkraftwerk gibt, das abgeschaltet ist (nicht mit dem *VirtualPowerPlant*-Knoten verbunden), obwohl die aktuelle Windstärke einen Betrieb zulässt (Bedingung im *Conditions*-Fenster über den Attributwerten der Knoten *WindEnergy* und *Weather*). Dies ist der Fall, die Regel kann auf den mit 1 nummerierten *WindEnergy*-Knoten angewendet werden und verbindet ihn dann mit dem *VirtualPowerPlant*-Knoten, wie in der rechten Regelseite (RHS) gezeigt. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass Windenergie ins Netz eingespeist werden kann.

Weitere Regeln in diesem Anwendungsfall modellieren Wetteränderungen (emuliert durch Auslesen einer Wetterdatenbank), Produzieren und Verbrauchen von Energie. Z.B. kann eine Invariante fordern, dass immer genügend Energie für Verbraucher zur Verfügung steht. Das System bricht die Simulation ab, sobald die Invariante verletzt wird.

5. Ausblick

Zur Zeit haben wir überschaubare Modellsimulationen von Smart-Grid-Szenarien in unserem Tool AGG [AGG13] modelliert. Es ist geplant, realistische Modelle für komplexe Use Cases zu implementieren, damit sie über den Informatik-Unterricht hinaus zur Visualisierung und Validation von komplexen Dynamiken im Bereich KRITIS-Smart Grid, am Beispiel „Optimierung der Nutzung Erneuerbarer Energien Smart Grid“ gezeigt wird, wie Formale KI-Methoden eingesetzt werden können.

Für das VSE-Werkzeug gibt es z.Z. keine implementierten Anwendungsfälle. Es ist jedoch geplant im Rahmen eines KRITIS-Vorhabens, verstärkt auf VSE-gestützte Modellierungen zu setzen.

Die in Abschnitt 3, dieses Beitrags, genannten 7 Grundtypen eines Smart Grid, wollen wir so modellieren, daß sie sowohl Schülern als auch Wissenschaftlern zur Verfügung stehen, um damit konkrete Modelle aus standardisierten Komponenten, instanzieren, bzw. modellieren, zu können. Damit wird n. Mg. der Autoren ein wesentlicher Beitrag zum Verständnis des Zusammenwirkens komplexer Komponenten und daher auch zur Sicherheit Eternaler Systeme [KRITIS13], [TSG13], geleistet.

Nach weiteren geeigneten KI-Werkzeugen zur Analyse und Informatik-Ausbildung wird gesucht.

Literaturverzeichnis

- [AGG13] AGG: Attributierte Graph-Grammatiken, 2013. <http://www.tfs.tu-berlin.de/agg>
- [TSB13] Technologiestiftung Berlin: Erneuerbare Energien im Informatikunterricht – Präsentation einer Unterrichtseinheit, 2013. <http://www.tsb-berlin.de/tsb-berlin/veranstaltung/de/3/0/0/924/erneuerbare-energien-im-informatikunterricht>
- [KRITIS13] BMBF Bekanntmachung zu KRITIS – Kritische Infrastrukturen <http://www.vdivide-it.de/KIS/bekanntmachungen/bm-kritis>
- [VSE12] Serge Autexier et al. DFKI, 66123 Saarbrücken: VSE – Formal Methods meet Industrial Needs
- [Dijk09] Manfred Broy, TUM, Dijkstras Guarded Commands – Bewachte Anweisung und Zusicherung, Vorlesung WS 209/20100
- [Hoare10] Shin-Cheng Mu, Formosian Summer School on Logic, 2010: Program Construction and Reasoning
- [JdM13] Jan deMeer, ISI Specification Club R2GS-SoSo German Chapter c/o smartspacelab.eu GmbH, 12205 Berlin: Model-driven Safe & Secure Operation of a Virtual Power Plant.
- [BDSG] Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) i.d.F.v. 14.1.2003
- [ENWG] Energiewirtschaftsgesetz (EnWG),
- [NABEG] Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG)
- [PEM12] IEEE Power & Energy Magazine (PEM) www.ieee-pes.org Smart Grid – Reinvention the Electrical Power System; a 2012 Reprint Journal from Power & Energy Society (PES)
- [TSG13] IEEE Transactions on Smart Grid, IEEE PES, Vol. 4, No. 3, September 2013