

# Der Morphologische Kasten: Eine Vergleichsgrundlage für Netzoptimierende Maßnahmen

Florian Samweber, Simon Köppl und Kristin Wachinger

*Der notwendige umfangreiche Umbau der Netzinfrasturktur stellt nicht nur aus wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Sicht eine große Herausforderung dar, sondern auch in Bezug auf die geeignete Technologie. Um hierbei passende, robuste Maßnahmen identifizieren zu können, müssen alle möglichen Optionen für eine optimierte Netzplanung in Betracht gezogen werden. Der Morphologische Kasten ermöglicht es, neue, innovative Maßnahmen mit bereits etablierten Maßnahmen zu vergleichen, alle relevanten Kriterien zu berücksichtigen sowie spätere Anpassungen einzelner Parameter vorzunehmen.*

Im Rahmen des Umbaus der Netzinfrasturktur können sowohl technische als auch betriebliche Maßnahmen zum Einsatz kommen. Neben der Möglichkeit des konventionellen Netzausbaus stehen künftig zunehmend innovative Maßnahmen zur Netzoptimierung, z. B. steuerbare Komponenten, zur Verfügung. Dies erhöht derzeit die Komplexität des Auswahlprozesses geeigneter Maßnahmen. Um diesen Prozess optimal zu gestalten, bedarf es einer nachvollziehbaren, wertfreien Klassifizierung, die es erlaubt, alle relevanten Aspekte (Wirtschaftlichkeit, Technologie, Umwelt, Akzeptanz etc.) als Grundlage des Vergleichs abzubilden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts Merit Order des Netz-Ausbaus 2030 („MONA 2030“) [1] wird der Morphologische Kasten als Basis für den Auswahlprozess der für den jeweiligen Einsatzfall optimalen Maßnahme vorgeschlagen. Nachfolgend wird die Verwendung am Beispiel des regelbaren Ortsnetztransformators sowie des gesteuerten Ladens von Elektrofahrzeugen verdeutlicht. Diese beispielhafte Bewertung zeigt die Vorteile des Verfahrens.

## Die ganzheitliche Netzplanung

Zahlreiche Faktoren bedingen im aktuellen Energiesystem die Notwendigkeit eines umfangreichen Umbaus der Netzinfrasturktur. Die Komplexität bei der Netzplanung wird durch den technischen Fortschritt in Form von neu geschaffenen Optionen zur Netzoptimierung und durch die notwendige Integration neuer Akteure in das Energiesystem immer weiter erhöht. Zusätzlich ist der notwendige Netzbau nicht nur eine technisch-wirtschaftliche Herausforderung,

sondern bewegt sich zunehmend auch im Spannungsfeld zwischen regulatorischen, ökologischen und gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen.

Für eine vorausschauende, ganzheitliche Netzplanung, die sowohl den Netzausbau als auch eine optimierte Nutzung der bestehenden Infrastruktur umfasst, stehen zahlreiche Maßnahmen zur Netzoptimierung in allen Spannungsebenen zur Verfügung. Deren Beurteilung bzw. Gegenüberstellung ist aufgrund ihrer Diversität komplex.

Unter Netzoptimierenden Maßnahmen (NoM) werden im Rahmen von MONA 2030 alle Maßnahmen verstanden, die im Zuge eines Umbaus der Energieversorgungsnetze zum Einsatz kommen können. Die Maßnahmen können grundsätzlich in zwei Gruppierungen unterteilt werden:

- technische Maßnahmen, die vom Netzbetreiber baulich in das bestehende Stromnetz integriert werden. Sie lassen sich weiter in steuerbare (z. B. Strangregler, regelbare Ortsnetztransformatoren, Blindleistungskompensation, Hybridnetz, Gleichspannung) und nicht steuerbare (z. B. konventioneller Netzausbau, Hochtemperaturleiterseile) Maßnahmen untergliedern.

- betriebliche Maßnahmen, die die Fahrweise einzelner Erzeuger und Verbraucher beeinflussen (z. B. Einspeisemanagement, Redispatch, funktionale Stromspeicher (z. B. Batteriespeicher, DSM etc.), Neuverschaltung der Netzstrukturen, Blindleistungssteuerung, Freileitungsmonitoring).

Um eine Übersicht mit einheitlichen Vergleichskriterien und Kategorien für alle möglichen Netzoptimierenden Maßnahmen

zu erhalten, eignet sich die Methodik des Morphologischen Kastens, welche im Folgenden vorgestellt wird.

## Hilfsmittel für eine strukturierte Analyse

Der Morphologische Kasten ist eine heuristische Methode zur Zerlegung einer konkreten Fragestellung in abgegrenzte Teilaspekte, welche sich in übergeordnete Kategorien und untergeordnete Kriterien aufteilen. Mit der Methode ist es möglich, eine Vielzahl möglicher Bewertungskriterien unterschiedlichster Maßnahmen wert- und vorurteilsfrei zu erfassen. Sie geht auf den Schweizer Astrophysiker Fritz Zwicky zurück. Das Ergebnis wird in Form einer Matrix abgebildet, die alle möglichen Ausprägungen der Kriterien darstellt [2]. Diese Methodik wurde bereits in [3] für die Bewertung von Energiespeichern angewandt.

## Methodik des Morphologischen Kastens

Durch eine strukturierte und analytische Vorgehensweise ist der Morphologische Kasten leicht nachvollziehbar, reproduzierbar und zu späteren Zeitpunkten erweiterbar. Für die Bewertung von NoM eignet sich ein sechsstufiger Prozess: (1) Definition und Verallgemeinerung der Problemstellung; (2) Festlegung relevanter Kategorien; (3) Identifikation von und Untergliederung in relevante Kriterien; (4) Festlegung und Eingrenzung der Ausprägungen der Kriterien; (5) Ausfüllen des Morphologischen Kastens für konkrete NoM; (6) Bewertung und Vergleich der einzelnen Lösungen. Im Folgenden wird der Prozess anhand von Beispielen aus dem Projekt MONA 2030 erläutert und veranschaulicht.

## Definition und Verallgemeinerung der Problemstellung

In einem ersten Schritt wird die Problemstellung, welche mithilfe des Morphologischen Kastens gelöst werden soll, definiert und verallgemeinert. Dadurch wird eine klare Abgrenzung der Fragestellung und somit eine Reduktion des notwendigen Aufwands bei der Bewertung der verfügbaren Optionen vorgenommen.

Im Projekt MONA 2030 lautet die Problemstellung: Systemübergreifender Vergleich von NoM. Sie ergibt sich aus der Herausforderung, dass bei der Netzplanung im bereits fortgeschrittenen Stadium der Energiewende die reine Bewertung der technoökonomischen Kennwerte nicht ausreicht, um das übergeordnete Optimum zu erreichen. Vielmehr müssen zusätzlich gesellschaftliche und ökologische Faktoren miteinbezogen werden, die in hohem Maße die Umsetzbarkeit und die Auswirkungen der Maßnahme auf die verschiedenen Schutzgüter bestimmen.

## Definition relevanter Kategorien

Durch die vielfältigen Auswirkungen von NoM, die beim systemübergreifenden Vergleich zu berücksichtigen sind, ist eine Bewertung von technischen, ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Faktoren notwendig. Dazu werden vier Kategorien definiert:

- Die Kategorie „Technologie“ beschreibt physikalische Parameter und technische Eigenschaften der NoM.
- Die Kategorie „Wirtschaft und Politik“ umfasst die betriebswirtschaftlichen Parameter, das wirtschaftliche Umfeld und die regulatorischen Rahmenbedingungen der NoM.
- Die Kategorie „Gesellschaft und Umwelt“ beschreibt die Auswirkungen auf die Umwelt und die gesellschaftliche Akzeptanz der Maßnahme.
- Zusätzlich wird in der Kategorie „Sekundärer Mehrwert und Beitrag zur Betriebsführung“ untersucht, inwieweit die NoM neben der primären Netzoptimierung (Erfüllung von Versorgungsaufgaben und Gewährleistung des sicheren Netzbetriebes) einen sekundären Mehrwert für das Ener-

giesystem liefern und die Betriebsführung verbessern können, z. B. durch die Erbringung von Systemdienstleistungen.

Im Projekt MONA 2030 werden relevante NoM nach diesen Kategorien für eine optimierte und nachhaltige Auslegung der Stromnetze verglichen.

## Identifikation von und Untergliederung in relevante Kriterien

Jeder der oben beschriebenen vier Kategorien werden in einem nächsten Schritt eine Vielzahl an Kriterien zugeordnet. Die Kriterien sind Merkmale, welche zum einen unabhängig voneinander und zum anderen bestimmbar sein müssen. Dazu werden mithilfe von Expertenbefragungen und einer Literaturrecherche die Kriterien identifiziert, mit der alle relevanten Aspekte einer NoM beschrieben werden können. Im Projekt MONA 2030 konnten mit dieser Methodik mehrere Kriterien identifiziert werden:

- in der Kategorie „Technologie“: z. B. Einsatzort, Technology Readiness Level, Wirkungsgrad oder Überlastfähigkeit;
- in der Kategorie „Wirtschaft und Politik“: z. B. Investition, Wartungskosten, Kostenwälzung oder Lebensdauer;
- in der Kategorie „Gesellschaft und Umwelt“: z. B. Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Lärmemissionen oder Transparenz des Maßnahmenbetriebes;
- in der Kategorie „Sekundärer Mehrwert und Beitrag zur Betriebsführung“: z. B. Erhöhung der Autarkie des Netzgebietes oder Möglichkeit zur Erbringung von Systemdienstleistungen.

Alle Kriterien einer Kategorie zusammen ergeben ein aussagekräftiges Bild der NoM. Dadurch wird eine spätere Bewertung der NoM in Bezug auf die entsprechende Kategorie ermöglicht.

## Festlegung und Eingrenzung der Ausprägungen der Kriterien

Je nach Art des Kriteriums ist eine diskrete oder eine kontinuierliche Ausprägung möglich. Prinzipiell ist die Anzahl denkbarer Ausprägungen der oben beschriebenen Kriterien auch bei diskret darstellbaren Kriterien unüberschaubar groß. Vor allem

dadurch, dass die Ausprägungen eines einzelnen Kriteriums auch in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden können, ergibt sich eine große Variantenvielfalt. Es ist auf diese Weise bspw. möglich, Investitionen einer NoM je Stück, je zusätzlich integrierbarer Energie, je zusätzlich integrierbarer Leistung, pro Jahr, gesamt etc. anzugeben.

Um später alle Maßnahmen einheitlich bewerten zu können, müssen im Prozessschritt „Festlegung und Eingrenzung der Ausprägungen der Kriterien“ des Morphologischen Kastens die möglichen Ausprägungen in Form von diskreten, konkreten Ausprägungen oder eindeutigen Einheiten festgelegt werden.

## Ausfüllen des Morphologischen Kastens für konkrete NoM

Alle bisher beschriebenen Prozessschritte können prinzipiell losgelöst von konkreten NoM erfolgen und stellen die Basis für die weiterführende Bewertung dar. In diesem Schritt wird nun der Morphologische Kasten konkret für alle zur Verfügung stehenden NoM ausgefüllt.

Neben Datenblättern können Erfahrungswerte, Expertenmeinungen, Berechnungen, Umfragen etc. zur Bestimmung der zutreffenden Ausprägungen beitragen. Für eine schnelle, zielführende Abhandlung kann dieser Arbeitsschritt von unterschiedlichen Personen, Unternehmensbereichen, fachlichen Spezialisten für einzelne Themenbereiche etc. parallel bearbeitet werden. Ziel ist dabei immer, eine möglichst objektive, vollständige Einordnung bei allen Kriterien zu erhalten.

In der Abbildung ist die Kombination der Ausprägungen beispielhaft für die beiden NoM „Netzoptimierte Ladesteuerungen für Elektrofahrzeuge“ und „regelbarer Ortsnetztransformator“ mit unterschiedlichen Farben dargestellt [4].

Die Abbildung zeigt, dass beide NoM in jedem Kriterium mit einer eindeutigen, diskreten Ausprägung beschrieben werden können. Eine Ausnahme hiervon ist das Kriterium „Investitionen“: Hier werden für die NoM konkrete Zahlenwerte angegeben.

Technologie	Standort	Standort-unabhängig	erzeugernah	verbrauchernah	im Netz	Transformator
	IKT-Bedarf einer NoM	kein IKT-Bedarf	reiner Informationsabruf an wenigen Stellen	Datenerfassung an vielen Stellen	Datenerfassung und Steuerung an wenigen Stellen	Datenerfassung und Steuerung an vielen Stellen
Gesellschaft und Umwelt	Eingriff in die Privatsphäre des Nutzers	Kein Eingriff	anreizgesteuert und freiwillig	anreizgesteuert mit obligatorischer Option für Netzbetreiber	dauerhafter Eingriff ohne Wahlmöglichkeit des Nutzers	
	Strukturveränderung	Neubau	Netzverstärkung/ Ergänzung	Optimierung von bestehenden Anlagen		
Wirtschaft und Politik	Akteur	Erzeuger	Netzbetreiber	Lieferant	Verbraucher	BKV/ Energieversorger
	Investitionen	18 - 22 t€ je nach Größe des RONT	325 € für zusätzliche IKT			
Sekundärer Mehrwert	Erhöhung der Autarkie eines Netzgebietes	Erhöhung der Abhängigkeit von den oberen Netzebenen	keine Veränderung	geringe Erhöhung der Autarkie	starke Erhöhung der Autarkie	
	Bereitstellung von Blindleistung	ja, nach Bedarf induktiv oder kapazitiv	ja, nur induktiv	ja, nur kapazitiv	im Standardfall keine Q-Bereitstellung	
Abb.	Ausschnitt aus einem ausgefüllten Morphologischen Kasten für die beiden NoM Netzoptimierte Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge (orange) und regelbarer Ortsnetztransformator (grün)					

## Anmerkungen

[1] Das Projekt MONA 2030 wird von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE) im Zeitraum von Oktober 2014 bis September 2017 durchgeführt. Es wird im Rahmen der Forschungsinitiative Stromnetze durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert (Förderkennzeichen: 03ET4015). Neben dem BMWi unterstützen 16 Industriepartner (u. a. Übertragungsnetzbetreiber, Verteilnetzbetreiber, Stadtwerke etc.) das Forschungsvorhaben sowohl finanziell als auch mit Daten und individuellen, praxisnahen Erfahrungen. Darüber hinaus werden sie die Ergebnisse evaluieren und Umsetzungsmöglichkeiten im eigenen Versorgungsgebiet prüfen. Weitere Erläuterungen zum Projekt: Samweber, F.; Wachinger, K.; Köppl, S.: Laufendes Projekt: Merit Order des Netzausbaus im Jahr 2030 (MONA 2030) - Systemübergreifender Vergleich von Netzoptimierenden Maßnahmen. Abrufbar unter: <https://www.ffe.de/mona>

[2] Zwicky, F.: Morphological Astronomy. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1957.

[3] Kanneißer, A.: Entwicklung eines generischen Modells zur Einsatzoptimierung von Energiespeichern für die techno-ökonomische Bewertung stationärer Speicheranwendungen in: UMSICHT-Schriftenreihe Band 69. Oberhausen: Karl Maria Laufen, 2014.

[4] Nobis, P.; Samweber, F.; Fischhaber, S.: PV-Eigenverbrauch mit Elektrofahrzeugen und Hausspeichersystemen – Veröffentlichung im Rahmen der 9. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien 2015 (IEWT). München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE), 2015; Wohlschlagler, D.; Köppl, S.: Kostenanalyse Netzstabilisierungsmaßnahmen – Stand Mai 2015 - Kostenparameter für Komponenten ausgewählter netzstabilisierender Maßnahmen im Niederspannungsnetz. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE), 2015.

Dipl.-Ing. F. Samweber, Dipl.-Ing. S. Köppl, Wissenschaftliche Mitarbeiter, K. Wachinger, M. A., ehemalige Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE), München [FSamweber@ffe.de](mailto:FSamweber@ffe.de)

## Bewertung und Vergleich der einzelnen Lösungen

Im abschließenden Schritt kommt der eigentliche Vorteil des Morphologischen Kastens beim Vergleich der einzelnen NoM zum Tragen. Soweit für den Nutzer klar ist, welche Ausprägung welches Kriteriums für ihn erstrebenswert ist, kann er für jedes Kriterium isoliert die optimale NoM identifizieren. Zusätzlich ist es möglich, mit einer Gewichtung der Kriterien sowie der Kategorien die individuelle Netzplanung an die eigenen Anforderungen anzupassen. Als objektive wissenschaftliche Methode kommt bspw. die Nutzwertanalyse in Frage. Hier sind weitere Erkenntnisse im Rahmen des Projekts MONA 2030 zu erwarten.

## Eignung zeigt sich in der Praxis

Im Projekt MONA 2030 hat die Diskussion mit beteiligten Akteuren aus Industrie und

Energiewirtschaft gezeigt, dass der Morphologische Kasten ein geeignetes Werkzeug für die Bewertung von Netzoptimierenden Maßnahmen darstellt. Er ermöglicht insbesondere einen wertfreien Vergleich der zur Verfügung stehenden Optionen. Die Interpretation der einzelnen Ausprägungen der Kriterien kann dem Nutzer überlassen werden. Für einen systematischen, objektiven Vergleich könnte sich bspw. eine anschließende, ergänzende Nutzwertanalyse eignen. Für eine ganzheitliche Analyse sind jedoch neben dem Morphologischen Kasten ergänzend weitere Methoden, wie bspw. Lastflussberechnungen, notwendig.

Im weiteren Verlauf des Projekts MONA 2030 wird der Morphologische Kasten für alle derzeit in der Netzplanung relevanten Maßnahmen erstellt. Ergänzt wird dieser Prozess durch die Projektbausteine „Szenarioanalyse“, „Basisdaten“ und „Einsatzreihenfolge“.

**ENERGIENEWS ONLINE: [www.et-energie-online.de](http://www.et-energie-online.de)**