

Räumliche Aspekte in der regionalen Energiesystemoptimierung

Stephan HAUSL und Markus BIBERACHER

Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

1 Grundlagen

Der Zugang zu Energie ist ein Grundbedürfnis ähnlich dem Zugang zu Wasser und Nahrung. Insbesondere in Zeiten einer intensivierten Diskussion um den Wandel des gegenwärtigen Energiesystems kommt der Optimierung von Energiesystemen eine gewichtige Rolle zu. Räumliche Aspekte spielten hierbei von jeher eine entscheidende Rolle.

Da eine räumliche Diversifizierung in einer Systemoptimierung immer mit einem signifikant erhöhten Datenaufkommen wie auch signifikant steigendem Lösungsaufwand verbunden ist, kommt insbesondere der Diskussion um den Einfluss einer räumlich diversifizierten Systemoptimierung eine bedeutende Rolle zu. Fragen, die hierbei zu beantworten sind, lauten:

Welchen Erkenntnisgewinn kann eine räumlich diskrete Systemoptimierung liefern?
Wie kann daraus ein Mehrwert für eine Entscheidungsunterstützung generiert werden?

Insgesamt kann man beobachten, dass die räumliche Skala (global – national – regional/lokal), auf der eine Systembetrachtung stattfindet, einen entscheidenden Einfluss darauf hat, welche Aspekte einer räumlichen Differenzierung bedürfen und welche vernachlässigbar sind. In jedem Teilbereich spielen räumliche Aspekte eine Rolle, die in der Optimierung von Energiesystemen zu hinterfragen und gegebenenfalls entsprechend zu berücksichtigen sind. Im Wesentlichen können dabei folgende Teilbereiche unterscheiden werden:

- Potenzial/Ressource
- Wandlung
- Transport
- Energiebedarf

Eine grundlegende Überlegung bezieht sich auf die Formen der Bereitstellung von Energie und deren spezifische Charakteristika wie in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Eignung von Energieformen für Transport und Speicherung

	Strom (S)	Wärme (W)	Treib-/Brennstoffe (T)
Transport	Gut geeignet	Schlecht geeignet	Gut geeignet
Speicherung	Schlecht geeignet	Bedingt geeignet	Gut geeignet

Räumliche Aspekte des Transports sind entsprechend auf einer globalen und nationalen Skala primär für elektrischen Strom und Treibstoffe von Relevanz, während Wärme, aufgrund der schlechten Eignung für den Transport, auf diesen Skalen nicht transportiert wird. Umgekehrt verhält es sich auf einer regionalen bis lokalen Skala. Hier ist eine dezidierte

Berücksichtigung des Transports von Strom und Treibstoffen in der Optimierung des Systems von untergeordneter Bedeutung, da eine Anbindung an das Verteilsystem als obligat und Effizienzeinbußen durch den Transport als vernachlässigbar angenommen werden können. Dem gegenüber spielt der Transport von Wärme und eine entsprechende Infrastruktur hier nun eine vorrangige Rolle (z. B. Nah- und Fernwärme).

2 Potenziale

Räumliche Informationen zu Potenzialen von Energieträgern sind von signifikanter Bedeutung für die Untersuchung und Optimierung eines Energiesystems. Die Relevanz dieser räumlichen Informationen hängt dabei von der Ausdehnung des untersuchten Gebietes wie auch von der Energieform ab und lässt sich primär aus den Transporteigenschaften ableiten. Im Bereich der regionalen Wärmeversorgung ist, im Gegensatz zur Versorgung mit elektrischem Strom, der Einfluss des Transports von hoher Relevanz. Hier sind Wärmeerzeugungstechnologien wie Solarthermie, Umgebungswärme, Geothermie oder auch die Biomasse-Nutzung von Bedeutung. Teils kommt es auch zu einer Überlappung von Potenzialen, so zum Beispiel bei solarthermischen Anlagen (ST) zur Wärmeengewinnung und Photovoltaik-Anlagen (PV) zur Stromerzeugung, welche sich in Modellen kompetitiv um geeignete Flächen, wie etwa Hausdächer, gegenüberstehen. Möglich ist auch eine Kombination von Wärme- und Strompotenzialen, wie etwa bei Biomasse-Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Im konkreten Fall von **Solarpotenzialen** können aus räumlichen Informationen, wie etwa einem Gebäudekataster, indikativ potenzielle Flächen für Solarkollektoren ermittelt werden. Multipliziert man diese Flächen wiederum mit standortspezifischen Solarstrahlungswerten und angenommenen Wandlungseffizienzen, so erhält man ein technisch nutzbares Potenzial, welches auch in Abbildung 1 dargestellt ist.

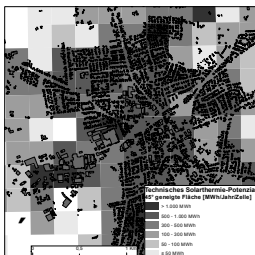


Abb. 1:
Solarpotenzialberechnung anhand eines Gebäudekatasters
(Quelle: BIBERACHER et al. 2011a)

In das Optimierungsmodell RESRO (Reference Energy System Regional Optimization), welches in Kapitel 5 detailliert vorgestellt werden wird, geht die Information über geeignete, verfügbare Flächen für Solartechnologien pro Zelle ein. Hierbei wird die hohe räumliche Auflösung vollständig ausgeschöpft, während Wirkungsgrade und bei regionalen Modellen Strahlungswerte als nicht-räumlich angenommen werden.

In der Außenluft, dem Erdreich und den Gewässern, stecken große Mengen an nutzbarer Wärme, jedoch auf niedrigem Temperaturniveau. Mit Wärmepumpen, welche meist mit Strom betrieben werden, kann diese **Umgebungswärme** auf ein höheres und damit nutzbares Temperaturniveau gebracht werden. Häufigste Vertreter sind Anlagen mit Kollektoren

im Erdreich, sowohl horizontalen Flächenkollektoren als auch vertikalen Tiefensonden. In RESRO wird das Potenzial der Umgebungswärme räumlich explizit verarbeitet, sodass jeder Rasterzelle ein Potenzial zugeordnet werden kann. Diese ergibt sich aus einer detaillierten Analyse, welche Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Entzugsleistung oder auch zur Verfügung stehende Flächen berücksichtigt (s. Abb. 2).

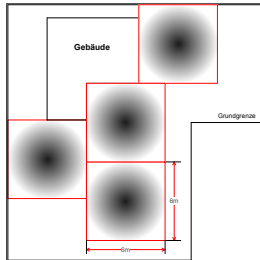


Abb. 2:
Abstandseinhaltung bei Tiefensonden
(Quelle: BIBERACHER et al. 2011b)

Ein weiterer erneuerbarer Energieträger, der im regionalen Kontext eine Rolle spielt, ist **Biomasse**. Um Potenziale des energetisch nutzbaren Biomasseaufkommen zu beziffern, ist man auf räumliche Informationen für forst- und landwirtschaftlichen Flächen angewiesen, welchen mit standortspezifischen bzw. regionstypischen Flächenertragswerten ein Energiewert zugewiesen werden kann. Gerade für die energetische Nutzung von Biomasse stehen verschiedene Wandlungstechnologien zur Verfügung. Da in einem regionalen Energiesystem von geringen Entfernungen beim Transport ausgegangen werden kann, werden die je Rasterzelle gewonnenen Potenzialwerte der Biomasse räumlich aggregiert und in RESRO je Biomasseart ein Wert als Obergrenze für die gesamte betrachtete Region verwendet.

Windkraft wird von vielen Experten als vielversprechende erneuerbare Alternative zu fossilen Stromerzeugungstechnologien angesehen. Will man geeignete Standorte für Windkraftanlagen an Land (onshore) finden, so erkennt man schnell, dass neben den natürlichen Gegebenheiten wie der Windstärke auch Widerstände aus der Bevölkerung zu einem entscheidenden Faktor werden können. Hier können GIS-Methoden zur Anwendung kommen, die etwa einen einzuhaltenden Mindestabstand von Windanlagen zu Siedlungen bei der Standort- und Potenzialbestimmung berücksichtigen. Da die räumliche Komponente von Stromerzeugern (ausgenommen PV) bei regionalen Energiemodellen weitgehend vernachlässigt werden kann, wird die Windkraft, genau wie die **Wasserkraft**, in RESRO bisher exogen behandelt.

In Tabelle 2 ist ein Überblick darüber gegeben, in welcher Form Informationen über die Potenziale in RESRO verwendet werden

Tabelle 2: Anwendung der Potenziale im Optimierungsmodell RESRO

Erneuerbare Energiepotenziale	räumlich disaggregiert	räumlich aggregiert	exogen
Solarthermie	x		
Photovoltaik	x		
Umgebungswärme	x		
Biomasse		x	
Wind-, Wasserkraft			x

Ein weiterer Aspekt der Potenzialbestimmung ist der Einfluss des Klimas bzw. des Klimawandels auf die Höhe der Potenziale. Änderungen der Sonnenstrahlung beeinflussen die Erträge von Solaranlagen, steigende Luft- und Erdoberflächentemperaturen begünstigen die Umgebungswärme und sich verändernde Gletscherschmelzzeiten verändern den aus der Vergangenheit bekannten zeitlichen Rhythmus der Wassermengen in den Flüssen und damit der Wasserkraftpotenziale. Da der Klimawandel und dessen Auswirkungen in unterschiedlichen Regionen unterschiedlich zum Tragen kommen, müssen diese auch auf räumlicher Ebene betrachtet werden.

3 Bedarf

Da, wie in Abschnitt 1 ausgeführt, in einem regionalen Kontext insbesondere die räumlichen Aspekte in der Deckung des Wärmebedarfs von Relevanz sind, kommt der Ermittlung von sogenannten Wärmeatlanten eine besondere Aufmerksamkeit zu. Die dort enthaltenen Informationen sind eine essenzielle Datengrundlage für eine Optimierung regionaler Energiesysteme im Hinblick auf eine Quantifizierung von Handlungsoptionen im Sinne von Sanierung, Nah- und Fernwärmenetzausbau oder Technologieeinsatz.

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass Wärmebedarfsdaten in der Regel nicht räumlich diskret vorliegen oder verfügbar gemacht werden können. Um dennoch räumlich diskrete Aussagen über einen regionalen Wärmebedarf treffen zu können, müssen Bottom-up-Metriken entwickelt werden, um räumlich diskret verfügbare Daten intelligent im Sinne eines korrelierten Wärmebedarfs zu interpretieren. Während zur Abbildung des Strombedarfs in einem Bottom-up-Ansatz primär das Lastverhalten von Einzelpersonen interpretiert wird, ist die Grundlage für eine Abbildung des Wärmebedarfs primär an Gebäude gebunden. Dies bedarf einer Identifikation von relevanten Datensätzen (respektive: Indikatoren). Zu nennen sind hier:

- Gebäudekataster
- Orthophotos
- Fernerkundungsdaten
- Gebäudestatistik (räumlich diskret)
- Energieausweisdatenbanken
- Förderdatenbanken (Hausbrand, Sanierung)
- Standortinformation zu Industrie und Dienstleistung

Intelligent kombiniert mit spezifischen Wärmebedarfsdaten zu kategorisierten Gebäudetypologien und Standards, wird eine auf Indikatoren basierte Ausweisung von räumlich differenzierten Wärmelasten in Form einer Wärmebedarfskarte ermöglicht (s. Abb. 3).



Abb. 3: Ableitung eines Wärmeatlanten von räumlichen Indikatordaten (Quelle: eigene Darstellung)

Aus spezifisch verfügbaren Daten eine Metrik zur Entwicklung eines Wärmeatlanten zu erstellen, ist nur bedingt automatisierbar und somit meist für jeden individuellen Fall gesondert zu betrachten.

Im folgenden Beispiel etwa wurden aufgrund mangelnder Datenlage die über das Gebäudekataster bekannten Gebäude auf drei verschiedene Gebäudearten – Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und Nicht-Wohngebäude(NWG)/Büro – aufgeteilt und daraufhin eine typische Energiekennzahl (EKZ) zugewiesen, welche sich aus dem Bedarf nach Raumwärme und Warmwasser zusammensetzt (Tab. 3).

Tabelle 3: Spez. Wärmebedarf für unterschiedliche Gebäudetypen in kWh/(m²·a)
(Quelle: BIBERACHER et al. 2011)

Gebäudetypen	Raumwärme	Warmwasser	Energiekennzahl
EFH	120	12,8	132,8
MFH	95	12,8	107,8
NWG / Büro	94	4,7	98,7

Da die EKZ flächenspezifisch angegeben ist, wurde im nächsten Schritt dieser Wert mit der Bruttogeschosfläche des betrachteten Gebäudes multipliziert, woraus sich der absolute Jahreswärmebedarf ergibt. Eine Aggregation der gebäudespezifischen Werte innerhalb einer Rasterzelle ergibt einen Überblick des Wärmebedarfs auf Rasterbasis.

Die Kenntnis weiterer Parameter wie etwa des Baualters der Gebäude erlaubt eine weitere Differenzierung, da somit Rückschlüsse auf die Bauweise und Dämmung der Gebäude ermöglicht werden, was großen Einfluss auf den jeweiligen spezifischen Wärmebedarf hat.

Der Klimawandel hat, ebenso wie auf die Potenziale, auch Einfluss auf den Bedarf nach Wärme und Strom. Da von einem Anstieg der Temperaturen ausgegangen werden kann, wird der Bedarf nach Wärme in den Heizperioden sinken, während der Bedarf nach Kühlenergie, die meist über Strom erzeugt wird, in den wärmer werdenden Sommermonaten ansteigen wird. Räumliche Aspekte im regionalen Kontext, die in einer Systemoptimierung zu berücksichtigen sind, beziehen sich hierbei auch auf das regional abweichende Mikroklima, welches insbesondere in urbanen Räumen einen erheblichen Einfluss auf das Energiesystem haben kann.

4 Infrastruktur

In einer Optimierung von Energiesystemen ist neben der Identifikation nutzbarer Potenziale sowie Bedarfsstrukturen noch ein weiterer Aspekt von Bedeutung: Bestehende Infrastruktur und Optionen für eine zukünftige Infrastruktur. Räumlich-relevant in einer regionalen Systemoptimierung ist auch hier primär der Wärmesektor. Man unterscheidet hierbei netzgebundene und nicht-netzgebundene Infrastruktur.

Räumliche Aspekte in nicht-netzgebundener Infrastruktur für eine Systemoptimierung sind eher sekundärer Natur. Einzig standortspezifische Rahmenbedingungen für einen individuellen Technologieeinsatz haben einen direkten räumlichen Einfluss auf ein optimales Sys-

tem-Setup. Dies betrifft insbesondere den optimalen Einsatz von unterschiedlichen Wärmepumpentechnologien (Abhängigkeit von Siedlungsdichten und Geologie) und/oder solarthermischen Technologien (Abhängigkeit von geeigneten Dachflächen in Kombination mit standortspezifisch korrelierten Wärmebedarfsprofilen) im Wettstreit mit sonstigen Technologien – primär mit netzgebundenen Technologien.

Speziell im Einsatz von netzgebundenen Technologien wie Nah-/Fernwärme und Gas kommt die komplette Spannweite räumlicher Aspekte in der Systemoptimierung zu tragen. Eine Netzbindung impliziert in jedem Fall eine Korrelation von zumindest zwei unterschiedlichen Standorten A und B, wohingegen nicht-netzgebundene Technologien an ihrem geographischen Standort als räumlich entkoppelt betrachtet werden können. In der Optimierung von regionalen Energiesystemen kann dem durch entsprechend simplifizierende Aggregationen Rechnung getragen werden, ohne dass ein Verlust von Information damit einhergeht. Im Falle einer Netzbindung und entsprechend räumlichen Korrelationen kann diese Simplifizierung nicht durchgeführt werden ohne einen Verlust an Information zu erleiden. Da jedoch eine Netzinfrastruktur in einer Systemoptimierung nicht entkoppelt von sonstigen räumlichen Aspekten zu Bedarf und Potenzialen betrachtet werden kann, ist eine dezidierte räumliche Berücksichtigung aller Systemparameter notwendig (s. Beispiel in Abb. 4).

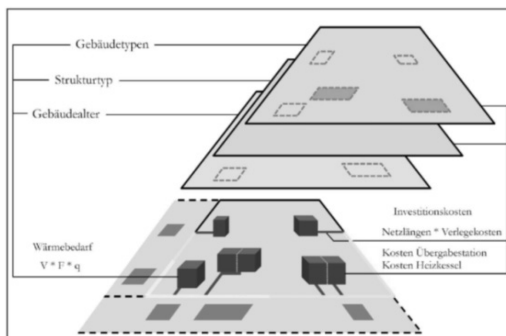


Abb. 4: Kombination der abgeleiteten Informationsebenen für die Berechnung des Wärmebedarfs und der infrastrukturellen Erschließungskosten (Quelle: GEISS 2010)

5 Systemoptimierung

5.1 Allgemein

Die Optimierung eines Energiesystems steht am Ende einer Prozesskette, die zur Entscheidungsfindung bei planerischen und strategischen Fragestellungen beiträgt. Energiesystemoptimierungen sind meist darauf ausgerichtet, die kostenoptimale Lösung der Energiebereitstellung unter Berücksichtigung verbindlicher Nebenbedingungen zu berechnen. Nebenbedingungen können beispielsweise eine Emissionsminderungsvorgabe oder auch Unter- und Obergrenzen bezüglich des Einsatzes gewisser Energieträger oder -technologien sein. Die mathematische Methode, auf der solch ein Energiesystemoptimierungsmodell aufbaut, ist meist eine lineare (LP) oder gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung (GGLP, engl.: mixed-integer, MIP).

Inhalt der Optimierung ist auch, optimale Transportwege für verschiedene Energieformen und -träger zu finden, sei es die Übertragung von Strom oder Brennstoffen über lange Distanzen oder die Verteilung von Wärme in Nah- und Fernwärmenetzen innerhalb eines re-

gionalen Energiesystems mithilfe detaillierter räumlicher Betrachtung. Da die Zusammenhänge in Energiesystemen oft sehr komplex sind, werden hier mathematische Modelle benötigt. Letztlich ist es notwendig, alle Aspekte, auch die genannten räumlichen Aspekte, zu berücksichtigen und zu kombinieren, um ein Energiesystem zu optimieren.

Ergebnisse mit wichtigen räumlichen Informationen beziehen sich auf den Bau und Betrieb von Erzeugungs- und -verteilungsanlagen, wobei einige Standorte bessere Eignung bezüglich der Nutzung gewisser Technologien aufweisen als andere, weshalb hier eine Nutzung Teil der optimalen Lösung ist. Dieser Umstand hat seinen Ursprung oft in den zuvor gewonnen räumlichen Erkenntnissen bzgl. des Bedarf- und Potenzialaufkommens.

5.2 Das Optimierungsmodell RESRO

Im Folgenden soll detailliert auf das im Studio iSPACE entwickelte Energiesystemmodell RESRO (HAUSL et al. 2012) eingegangen werden, welches ein GGLP-Modell ist und das die Optimierung von regionalen Energiesystemen unter Berücksichtigung räumlicher und zeitlicher Komponenten zum Ziel hat.

Motivation der räumlichen und zeitlichen Auflösung in RESRO ist, Wärme räumlich detailliert und Strom zeitlich detailliert zu betrachten. Demnach wird die Wärmeversorgung auf Monats- oder Jahreszeitebene in einem räumlich disaggregierten Raster (Abb. 5, links) dargestellt, während die Stromversorgung räumlich aggregiert innerhalb sog. Typtage berechnet wird, welche repräsentativ für die jeweilige Jahreszeit und die Art des Tages (Werktag, Sonstige) stehen und stundengenaue Auflösung¹ erlauben (Abb. 5, rechts). Folgende Abbildungen zeigen exemplarisch Ergebnisse von Optimierungen mit RESRO.

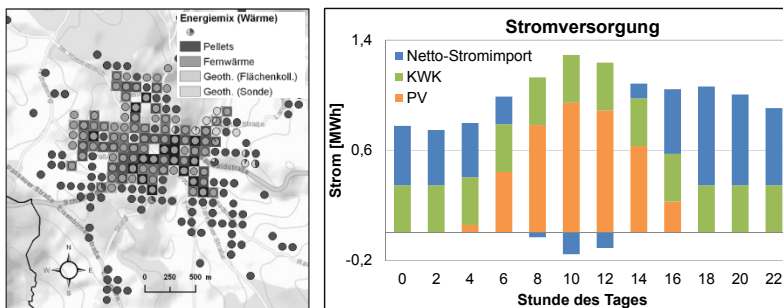


Abb. 5: Rasterbasierte Darstellung der jährlichen Wärmeerzeugung (linke Abb.) und zeitlich detaillierte Darstellung der Stromerzeugung an dem Typtag „Frühling-Werktag“ (rechte Abb.) (Quelle: BIBERACHER et al. 2011b und HAUSL et al. 2012)

Um die Häufigkeit des Auftretens der Typtage innerhalb eines Jahres zu berücksichtigen, wird eine Typtagmatrix (s. Tab. 4) verwendet, mit deren Faktoren die Betriebskosten und auch die erzeugte Energie eines Typtages auf ein Jahr hochgerechnet werden.

¹ Zusammenfassen mehrerer Stunden zu Blöcken (z. B. 2 h oder 4 h Blöcke) möglich, um Rechenzeit zu verringern.

Tabelle 4: Aufkommen der Typtage in einem Jahr
(Quelle: eigene Auswertung, aufbauend auf [EWI])

Art des Tages	Winter (Nov-Feb)	Frühling (Mrz-Apr)	Sommer (Mai-Aug)	Herbst (Sep-Okt)	Σ
Werktage	82,3	41,8	84,3	41,8	250,2
Sonstige	37,7	19,2	38,7	19,2	114,8
Σ	120	61	123	61	365

Mathematische Gleichungen geben die Zusammenhänge innerhalb des Energiesystems möglichst realistisch wieder und erlauben systematische Lösungsverfahren bei der Optimierung. Im folgenden Abschnitt sind die wichtigsten Gleichungen vereinfacht dargestellt.

Die zu minimierende **Zielfunktion Z** (1) beschreibt die innerhalb eines Jahres anfallenden **Gesamtkosten** des Energiesystems und beinhaltet Investitions²-, Wartungs- und Brennstoffkosten, bei Bedarf auch Kosten für CO₂-Zertifikate, außerdem Ausgaben und Einnahmen aus Stroman- und -verkauf.

$$Z = \sum_{Region, Tech} ((k_{Inv} + k_{Wart}) \cdot P_{install} + \sum_{Zeit} (k_{Br} \cdot E_{Prim} + k_{Strom} \cdot Imp_{Netto, Strom})) \quad (1)$$

k_{Inv}, k_{Wart}	Investitions-, Wartungskosten [€/kW]
$P_{install}$	installierte Leistung einer Anlage [kW], Variable
k_{Br}	Brennstoff- bzw. Betriebskosten [€/kWh]
E_{Prim}	Energieeinsatz auf Endenergieebene [kWh], Variable
k_{Strom}	Stromkosten [€/kWh]
$Imp_{Netto, Strom}$	Nettoimport Strom [kWh], Variable

Grundlegende Bedingung für die Modellierung ist die optimale Deckung des Wärme- und Strombedarfs. Im Folgenden sind die jeweiligen **Lastdeckungsbedingungen** dargestellt, sowohl für den Wärmebereich (2) als auch für den Strombereich (3).

für alle *Regionen, Zeitschritte* gilt:

$$\sum_{Tech} E_{Prim} \cdot \eta_{th} = Q \quad (2)$$

für alle *Zeitschritte* gilt:

$$\sum_{Tech} E_{Prim} \cdot \eta_{el} + Imp_{Netto, Strom} = S \quad (3)$$

η_{th}	thermischer Wirkungsgrad
η_{el}	elektrischer Wirkungsgrad
Q	Wärmebedarf [kWh]
S	Strombedarf [kWh]

² Jährliche Tilgungssumme der Investition bei üblicher Verzinsung über die Lebensdauer.

Der Strombedarf S kann durch die Wärmeversorgung auch modellendogen beeinflusst werden, so z. B. beim Einsatz von Wärmepumpen, die den Strombedarf erhöhen.

Ein weiteres Kriterium ist die **Kapazitäts-Aktivitäts-Bedingung** (KAB), welche sicherstellt, dass Anlagen nicht mehr Energie erzeugen (Aktivität) als ihre installierte Leistung (Kapazität) es zulässt, wobei sowohl Aktivität (zugeführte Energie) als auch die Kapazität (installierte Leistung) im Modell zu optimierende Variablen sind.

für alle *Technologien, Regionen* gilt:

$$\sum_{\text{Zeit}} E_{\text{prim}} \cdot \eta_{\text{th/el}} \leq P_{\text{install}} \cdot T_A \quad (4)$$

T_A maximale Volllaststunden in jeweiliger Zeitebene
 $\eta_{\text{th/el}}$ je nach Technologie therm. oder elektr. Wirkungsgrad

Die hier gezeigte KAB (4) ist eine simplifizierte Form der im Modell RESRO berücksichtigten Gleichungen, da für unterschiedliche Technologietypen (thermisch, elektrisch/KWK, Solar, Kraftwerke) und auch für verschiedene Zeitebenen (Jahr, Jahreszeit, Stunde) differenziert werden muss. Bei den Solartechnologien ist der maximale Output zusätzlich durch die Sonneneinstrahlung, welche von Jahreszeit und Tageszeit abhängt, begrenzt.

Da speziell die Nutzung der erneuerbaren Energien durch Obergrenzen bzw. **Potenziale** beschränkt ist (s. Kap. 2), müssen auch hierfür Nebenbedingungen berücksichtigt werden. Für Solartechnologien und Umgebungswärme gelten diese Beschränkungen für jede individuelle Rasterzelle entkoppelt, wobei der Flächenzubau bei den Solartechnologien und der max. Jahresenergieertrag bei der Umgebungswärme die begrenzenden Parameter sind. Für die Limitierung der energetischen Biomassenutzung wird ein Limit nicht für einzelne Rasterzellen sondern als kumulativer Wert für die betrachtete Region angenommen.

Um Netze wie etwa ein Fernwärmenetz³ (FWN) modellieren zu können, werden spezielle Netzgleichungen berücksichtigt. Essentiell ist auch eine Bilanzgleichung (5), welche rasterzellenübergreifende Energieflüsse korrekt abbildet.

für alle *Regionen, Zeitschritte* gilt:

$$\sum_{\text{Nachbarzelle}} \text{Exp} + \sum_{\text{Verbraucher}} E_{\text{in}} = \sum_{\text{Nachbarzelle}} (\text{Imp} \cdot (1 - v)) + \sum_{\text{zentral}} E_{\text{out}} \quad (5)$$

$\sum_{\text{Nachbarzelle}} \text{Exp}$ Export an Nachbarzellen
 $\sum_{\text{Verbraucher}} E_{\text{in}}$ in Zelle verbrauchte Fernwärme
 $\sum_{\text{Nachbarzelle}} (\text{Imp} * (1 - v))$ Import aus Nachbarzellen abzgl. Verluste v
 $\sum_{\text{zentral}} E_{\text{out}}$ zelleninterne Einspeisung aus zentralen Anlagen

Neben den bereits dargestellten Gleichungen, welche zwingend erforderlich sind, um die grundlegende Zusammenhänge in einem Energiesystem abzubilden, werden noch einige Nebenbedingungen zusätzlich betrachtet, um realistische Szenarien rechnen zu können. Diese sind im Folgenden skizziert:

³ Gleichungen sind auch übertragbar auf Strom- oder Gasnetze.

- Begrenzung von Wärmetechnologien:
Unter- und Obergrenze für Anteil an Wärmeerzeugung
Beispiel: Solarthermie muss mind. 10 % des Wärmebedarfs der Region decken
Öl darf höchstens 20 % des Wärmebedarfs decken
- Obergrenze Stromimport:
Maximaler Anteil des Stromimports am Strombedarf
- CO₂-Obergrenze

6 Conclusio

Die dezidierte Berücksichtigung und Einbindung von räumlichen Aspekten in die regionale Energiesystemoptimierung hat eine vielschichtige Relevanz. Im Fokus ist dabei primär die räumlich korrekte Abbildung des Wärmesektors. Ohne die Berücksichtigung von räumlichen Aspekten können insbesondere netzgebundene Technologien auf einer regionalen Skala nur ungenügend in einer Systemoptimierung berücksichtigt werden.

Ein weiterer Punkt einer hohen räumlichen Diversifizierung ist die standortspezifische Aussagekraft von Ergebnissen. Dies macht Ergebnisse leichter nachvollziehbar und auch für eine konkrete technische Planung zugänglich. Eine Systemoptimierung auf regionaler Ebene mit standortspezifischem Aussagepotenzial verbindet die räumlichen Skalen einer regionalen Entscheidungsstruktur mit dem konkreten Umsetzungspotenzial an einzelnen Standorten auf Ebene des privaten Hausbesitzers.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einbindung von räumlich diskreten Informationen in eine Systemoptimierung immer der Abwägung bedarf, welcher Mehrwert damit für die Aussagekraft eines Ergebnisses erzielt werden kann, da die Aufbereitung von räumlichen Informationen auf regionaler Skala mitunter einen sehr hohen Aufwand bedeuten kann.

Literatur

- BIBERACHER, M., SCHARDINGER, I. et al. (2010), RECO2NWK – Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO₂ neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs.
- BIBERACHER, M., HAUSL, S. et al. (2011a), Pilotstudie Energieregion Landkreis Oldenburg (nicht veröffentlicht). Durchgeführt von Research Studios Austria und Jade Hochschule Oldenburg im Auftrag der EWE AG.
- BIBERACHER M., HAUSL, S. et al. (2011b), BioSpaceOpt – Regionale integrative Beurteilung von Bioenergie-Nutzungspfaden auf Basis räumlicher Aspekte.
- ENERGIEWIRTSCHAFTLICHES INSTITUT (EWI) an der Universität zu Köln, DIME – A brief overview. www.ewi.uni-koeln.de (03.05.2010).
- GEISS, C. (2010), Potenzialmodellierung von Nahwärmenetzen auf Grundlage von Fernerkundungsdaten. Dissertation.
- HAUSL, S., BIBERACHER, M. & GADOCHA S. (2012), RESRO – A spatio-temporal model to optimise regional energy systems emphasising renewable energies. In: Proceedings, 2nd European Energy Conference. Maastricht, Holland.