



# 1 Einleitung

Nachhaltigkeit hat Konjunktur. Der Begriff hat nahezu alle Bereiche unseres Alltags und Lebens erfasst. Dieser inflationäre Gebrauch hat den Terminus aber nicht nur zu einem Modewort sondern zu einem Allerweltsbegriff gemacht. Alles und jedes kann mittlerweile als nachhaltig bezeichnet werden. In einer wissenschaftlichen Arbeit wie der vorliegenden Untersuchung ist es dagegen erforderlich, einen spezifischen Begriff von Nachhaltigkeit zu unterlegen.

Im Folgenden geht es um Nachhaltigkeit im Kontext der Energiepolitik und Energieerzeugung, im speziellen bezogen auf die wachsende Bedeutung von erneuerbaren Energien. Donella Meadows und ihre Kollegen prophezeien nach der landwirtschaftlichen und der industriellen Revolution mit der Nachhaltigkeit die nächste Revolution (Meadows, et al., 2006 S. 275ff.). Eine Revolution, deren Ursprung die Autoren in einem kleinen Kreis von überzeugten Befürwortern der Nachhaltigkeit sehen und die sich, wie auch ihre vorangegangenen Revolutionen, über mehrere Jahrhunderte erstrecken wird. Vielleicht ist der aktuelle Diskurs über die Nutzung erneuerbarer Energien bereits Teil dieser Umwälzung.

Unter Bezug auf den Topos einer nachhaltigen Entwicklung fokussiert diese Arbeit das Thema Energie - oder präziser: Strom. Elektrizität hat eine zentrale Funktion in unserer heutigen Gesellschaft eingenommen. Es ist zur Selbstverständlichkeit geworden, dass zu jeder Zeit und in jedem Umfang elektrische Energie zur Verfügung steht. Zugleich sind die weitreichenden Folgen offensichtlich, wenn auch nur einen Tag auf Strom verzichtet werden müsste und nicht immer Angebot und Nachfrage ausgewogen wäre. Die Herausforderungen, die eine stärkere Verlagerung der Erzeugung auf erneuerbare Energieanlagen nach sich ziehen, bleiben meist wenig beachtet. Diese verantwortungsvoll zu bewältigen, ist jedoch für den Erhalt einer höchstverfügbaren Energieinfrastruktur unerlässlich.

## 1.1 Problemstellung

Der weltweite „Energiehunger“ ist so groß wie nie zuvor: Im Jahr 2008 betrug der Primärenergieverbrauch 518 Exajoule und lag damit 41,5 % über dem Wert von 1990. Dass dieser Zuwachs nur zu einem geringen Teil auf erneuerbare Energiequellen zurückgehen kann, belegt die Zunahme des Ausstoßes von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) im gleichen Zeitraum um 40,3 % auf 30.318 Mio.t (U.S. Energy Information Administration, 2011). Sollen Bestrebungen, der Klimaerwärmung und der Zunahme des globalen Ressourcenverbrauchs entgegen zu wirken, ernsthaft verfolgt werden, wird der zunehmende Einsatz erneuerbarer Energiequellen erforderlich sein.

Für die kommenden Jahre und Jahrzehnte wird daher erwartet, dass sich die internationale Energiewirtschaft neu ausrichten muss. Dabei wird angesichts der Klimaschutzdiskussion mittelfristig die Frage nach der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mittelpunkt stehen. Langfristig muss es jedoch angesichts knapper



werdender fossiler Primärenergieträger mehr noch darum gehen, einen Weg in das Post-fossile-Zeitalter zu identifizieren, um der Gesellschaft auch langfristig Zugang zu Energie zu sichern. Kurzfristig sind bereits Entscheidungen zu treffen, die den langfristigen Wandel unterstützen.

Der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energieträger ist allerdings nicht uneingeschränkt positiv zu betrachten. So wird weniger die Frage der Errichtung entsprechender Anlagenkapazität den Erfolg der Transformation der Stromversorgung beeinflussen. Vielmehr wird zu berücksichtigen sein, dass Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen vom nur eingeschränkt beeinflussbaren Dargebot der Primärenergieträger (z.B. Wind, Sonne) abhängt. Dass auch künftig Angebot und Nachfrage nach elektrischer Energie zu jeder Zeit quantitativ übereinstimmen, wird vermutlich die größte Herausforderung der kommenden Jahre sein.

Vor diesem Hintergrund werden Technologien zur Speicherung elektrischer Energie als Element zur Flexibilisierung eines auf erneuerbaren Energieanlagen basierenden Systems zur Stromversorgung diskutiert. Bislang ist die Frage nach dem Speicherbedarf nicht hinreichend beantwortet. Dies jedoch ist erforderlich, um eine langfristig angelegte Integrationsstrategie für Speichertechnologien zu entwerfen, die sich am Transformationsprozess der Stromversorgung orientiert.

Diese Arbeit greift mit den oben genannten Problemstellungen die aktuelle Diskussion um Ressourcenknappheit, globalisierte Energiemärkte und den Klimawandel auf und liefert Ansatzpunkte, an welchen Stellen eine nachhaltige Entwicklung auch auf nationaler Ebene ansetzen kann.

## 1.2 Zielsetzung

Angesichts der weitreichenden Problemstellung werden mit dieser Arbeit einzelne Teilziele verfolgt, deren Abhängigkeiten in Abbildung 1-1 dargestellt sind. Grundsätzlich orientieren sich die einzelnen Ziele an der Leitfrage, ob eine **nachhaltige Stromversorgung** realisiert werden kann.

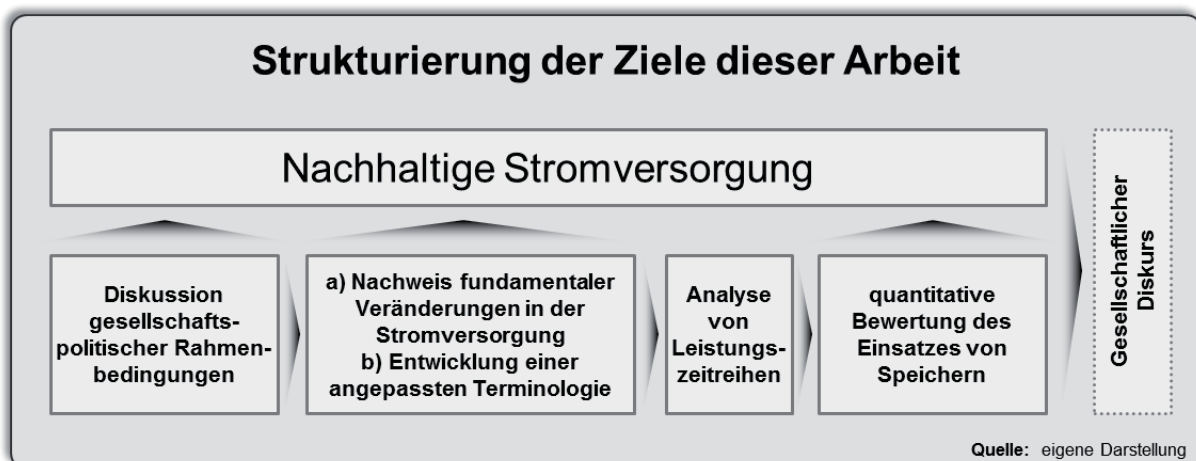


Abbildung 1-1: Strukturierung der Ziele dieser Arbeit



Dazu ist es zunächst erforderlich, den internationalen und nationalen **gesellschaftspolitischen Rahmen** aufzuzeigen, um daraus Indikatoren abzuleiten, die eine nachhaltige Entwicklung erkennen lassen. Ausgehend davon ist für Deutschland anhand von Szenarien zu ermitteln, in welchem Maße sich unterschiedliche Veränderungen des Strom-Mix auf die Nutzung fossiler Energieträger auswirken und geeignet sind, zu einer nachhaltigen Entwicklung der Stromversorgung beizutragen.

In Kenntnis der entworfenen Szenarien ist zu überprüfen, ob die identifizierten politischen Zielsetzungen erreicht werden können. Dazu wird am Beispiel Deutschlands die Stromversorgung in ihrer zeitlichen Entwicklung systematisch analysiert und anhand der Veränderung von Parametern und Kriterien eine **fundamentale Veränderung nachzuweisen** sein. Um auch in einem veränderten Stromversorgungssystem eindeutige Begriffe zur Beschreibung von Leistungszeitreihen und Anlagenkapazitäten zu ermöglichen, besteht ein weiteres Teilziel in der Entwicklung einer an die neuen Anforderungen **angepassten Terminologie**, die bereits in dieser Arbeit angewendet wird.

Zur Beurteilung von Auswirkungen dieser sich abzeichnenden Transformation auf den Einsatz unterschiedlicher Anlagen zur Anpassung von Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie ist eine detaillierte **Analyse von Leistungszeitreihen** erforderlich. Der Nachweis, dass sich die Struktur der Zeitreihen bis zum Jahr 2050 grundsätzlich verändern wird, gilt als weiterer Indikator für die Veränderung der Stromversorgung Deutschlands. Als wesentliche Strukturmerkmale werden sowohl die absolute Wertentwicklung als auch die Amplitude und Häufigkeit von Trendänderungen einer Zeitreihe verstanden. Mit der Entwicklung geeigneter Kennzahlen wird weiterhin das Ziel verfolgt, die Veränderung von langen Zeitreihen auf aggregierte Weise zu quantifizieren und dadurch die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Zeitreihen zu ermöglichen.

Schließlich besteht ein weiteres Teilziel dieser Arbeit in der **quantitativen Bewertung des Einsatzes von Speichern** für elektrische Energie. Es ist zunächst top-down auf Basis unterschiedlicher Szenarien darzulegen, welcher Speicherbedarf erforderlich wäre und in welcher Weise dies Veränderungen der Kennzahlen der Leistungszeitreihen nach sich zieht. In einer bottom-up-Betrachtung ist nachzuweisen, welchen Einfluss dezentral platzierte Speichersysteme in Verbindung mit Photovoltaikanlagen auf die Leistungszeitreihen haben können, wobei auch hier die verfolgte Betriebsstrategie und die Dimensionierung des Speichersystems entscheidende Kriterien sein werden.

Die vorgestellten Ziele lassen sich indes nicht im Rahmen einer einzigen Arbeit umfassend oder abschließend erreichen, dafür sind die Ziele von zu weitreichender Relevanz. Konkrete Strategien, diese Ziele ganzheitlich zu verfolgen, übersteigen in ihrer Komplexität und Diversität den Umfang, den die vorliegende Arbeit anzubieten vermag. Gleichwohl liefert sie Ansätze für weitere Forschungsfragestellungen, die zu einer kontinuierlichen Konkretisierung der skizzierten Szenarien beitragen können.



Staatliche und internationale Absichtserklärungen vermitteln stets das Gefühl, dass bereits von ‚höchster Stelle‘ ausreichend getan wird, die weltweiten Klima- und Energieprobleme zu beherrschen. Allerdings wird die Gesellschaft dabei nicht angeleitet, das Potenzial des eigenen Handelns zu erkennen und auch zu nutzen. Es mangelt vielfach an der Einsicht in die Notwendigkeit nachhaltigen Handelns. Das IPCC hat in diesem Zusammenhang bereits in seinem ersten Bericht genau diesen Aspekt betont: An erster Stelle der Mechanismen zur Umsetzung von Klimaschutzstrategien nennen sie „Public education and information“ (IPCC, 1990 S. xlviii). Wenn diese Arbeit schließlich auch einen Beitrag dazu leisten kann, dass der **gesellschaftliche Diskurs** über die Transformation der Stromversorgung hin zu einem nachhaltigen System fortgesetzt und bereichert wird, adressiert dies ein weiteres, überfachliches Ziel dieser Arbeit.