

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME, ISE

SCHLUSSBERICHT ZUM VORHABEN METHODEN UND WERKZEUGE ZUR BERECH- NUNG NACHHALTIGER ENERGIESYSTEME FÜR CHINESISCHE UND DEUTSCHE STÄDTE

Sachbericht Teil II entsprechend Nr. 4.1 NKBF 2017, Stand August 2018

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Vorhaben Methoden und Werkzeuge zur Berechnung nachhaltiger Energiesysteme für chinesische und deutsche Städte

Sachbericht Teil II entsprechend Nr. 4.1 NKBF 2017, Stand August 2018

Das Vorhaben
wurde gefördert durch: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Projektträger: DLR Projektträger

Förderkennzeichen: 01DO19004A / 01DO19004B

Projektlaufzeit: 01.02.2019 – 30.06.2021

Ausführende Stellen: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

Mondas GmbH
Emmy-Noether-Straße 2, 79110 Freiburg

Autoren: Gerhard Stryi-Hipp
Marc-André Triebel
Vicky Albert-Seifried
Bin Xu-Sigurdsson
Christian Reetz

Veröffentlicht: Januar 2022

Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Erläuterung zum Bericht

Der hier vorliegende Schlussbericht zum Projekt Methoden und Werkzeuge zur Berechnung nachhaltiger Energiesysteme für chinesische und deutsche Städte ist der gemeinsame Sachbericht Teil II entsprechend Nr. 4.1 NKBF 2017, Stand August 2018 für die Teilvorhaben des Fraunhofer ISE unter dem FKZ 01DO19004A und der Mondas GmbH unter dem FKZ 01DO19004A.

Der Schlussbericht wurde gemeinsam erstellt, wobei das Kapitel 2.7 Webtool CHESOT zur Energiesystem-Optimierung unter der Leitung der Mondas GmbH und die restlichen Kapitel unter der Leitung des Fraunhofer ISE erstellt wurden.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Forschungsprojektes „Methoden und Werkzeuge zur Berechnung nachhaltiger Energiesysteme für chinesische und deutsche Städte“ unter dem Förderkennzeichen 01DO19004A / 01DO19004B sowie dem Projektträger DLR für die Betreuung und Begleitung des Vorhabens.

Weiter danken wir den chinesischen Projektpartnern, die im Partnerprojekt des 2+2-Vorhabens in China die Arbeiten dieses Vorhabens unterstützt haben. Dies sind vor allem das Shenzhen Institut für Building Research (IBR) als auch verschiedene Institutionen der Stadt Jingmen, die Daten bereitgestellt haben.

Inhalt

1	Zusammenfassung	6
2	Inhaltliche Ergebnisse	7
2.1	Motivation und Stand der Technik	7
2.2	Erstellung von Energiekonzepten und Klimaschutzbilanzen für chinesische Städte	8
2.3	Energie – und THG-Bilanz für Jingmen	11
2.4	Vergleich Energie- und Klimaschutzkonzepte in deutschen und chinesischen Städten	15
2.5	Ermittlung der Potenziale klimaneutraler Energiequellen	16
2.6	Optimierung kommunaler Energiesystems mit dem KomMod	18
2.7	Webtool CHESOT zur Energiesystem-Optimierung	19
2.7.1	Konzeption und Aufbau des Webtools CHESOT	20
2.7.2	Funktionalitäten des Webtools CHESOT	22
3	Rahmenbedingungen des Vorhabens	29
3.1	Zahlenmäßiger Nachweis	29
3.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	29
3.3	Verwertbarkeit der Ergebnisse	30
3.4	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	30
3.5	Veröffentlichungen der Projektergebnisse	31
4	Literaturverzeichnis	32

Abkürzungsverzeichnis

BISKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CASS	Chinese Academy of Social Sciences
CHESOT	Chinese Urban Energy System Analysis and Optimisation Tool
GPC	Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories
KomMod	Kommunales Energiesystemmodell
Mt	Megatonne
MoST	Chinesisches Ministerium für Wissenschaft und Technologie (engl. Ministry of Science and Technology)
SKE	Steinkohleeinheiten
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
WIR	World Resources Institute

Deutschland als Industrieland hat mit 681 Mt energiebedingter CO₂-Emissionen (8,2 Mt pro Einwohner) und China als weltgrößter Emittent mit 9.806 Mt (7,0 Mt pro Einwohner) wichtige Akteure beim Kampf gegen die Erderhitzung mit dem Ziel, den globalen Temperaturanstieg möglichst auf 1,5°C zu begrenzen (Emissionsdaten aus dem Jahr 2019 [1]). Dies erfordert eine fundamentale Transformation ihrer Energiesysteme. Hierzu sind systemische Lösungen notwendig, die die Sektorenkopplung von Elektrizität, Wärme, Kälte und Mobilität sowie die Dynamisierung der Energiesysteme durch Nutzung von Sonnen- und Windenergie berücksichtigen. U.a. aufgrund der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien ist eine Dezentralisierung der Energieversorgung erforderlich, weshalb kommunale Energiesysteme und deren Transformation von zentraler Bedeutung für die Energiewende sind.

Vor diesem Hintergrund verfolgt das Projekt das Ziel, in Deutschland entwickelte Methoden und Werkzeuge zur Beratung von Kommunen bei der Transformation ihrer Energiesysteme weiterzuentwickeln und auf die Randbedingungen in chinesischen Städten anzupassen. Damit soll eine fundierte Planung und Transformation nachhaltiger Energiesysteme chinesischer Städte unterstützt und eine Grundlage für die künftige wissenschaftliche und wirtschaftliche deutsch-chinesische Kooperation zur Beratung von Kommunen zur Energiesystemtransformation geschaffen werden.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die Methoden zur Erstellung von kommunalen Energie- und Klimaschutzbilanzen erarbeitet und mit den chinesischen Partnern auf chinesische Randbedingungen angepasst. Durch die Anwendung auf die Stadt Jingmen im Rahmen des Projektes wurde die Praxistauglichkeit der Methoden und Werkzeuge gewährleistet. Als Ergebnis wurde ein Leitfaden zur Erstellung von Energie- und Treibhausgasbilanzen sowie der Optimierung von kommunalen Energiesystemen erarbeitet. Weiter steht die webbasierte Software CHESOT (Chinese Urban Energy System Analysis and Optimisation Tool) zur Verfügung, die chinesische Städte bei der Erhebung von Energiedaten, Erstellung von Energie- und Klimaschutzbilanzen und Berechnung von Ziel-Energiesystemen unterstützt.

Das Projekt wurde im Rahmen der strategischen Projektförderung mit der Volksrepublik China unter der Beteiligung von Wissenschaft und Wirtschaft als sogenanntes "2 + 2-Projekt" im Schwerpunktthema Energiesystemforschung durchgeführt. Dies bedeutet, dass das chinesische Forschungsministerium MoST parallel ein Projekt gefördert hat mit dem Ziel, die Forschungs-, Entwicklungs- und Innovations-Partnerschaft zwischen den Forschungspartnern aus Deutschland und China zu stärken. Das chinesische Projekt mit dem Titel „The Key Technology and Demonstration of Comprehensive Study of Urban Energy System and Carbon Emission“ wurde von dem Forschungsinstitut Shenzhen Institute for Building Research (IBR) in Peking durchgeführt, wobei die Stadt Jingmen in der Provinz Hubei und deren Wohnbauunternehmen Hubei Jingmen Urban Construction Group (HJUCG) mit beteiligt waren.

2

Inhaltliche Ergebnisse

Die Ziele des Vorhabens „Methoden und Werkzeuge zur Berechnung nachhaltiger Energiesysteme für chinesische und deutsche Städte“ sind die Beschreibung einer Methodik zur Ermittlung von künftigen klimafreundlichen Energiesystemen für chinesische Städte sowie die Bereitstellung eines Online-basierten Werkzeuges zur Durchführung von entsprechenden Berechnungen.

Die Methodik umfasst im ersten Schritt die Erfassung des aktuellen Energiesystems und die Erstellung einer aktuellen Energie- und Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz). Im zweiten Schritt folgt darauf aufbauend die Abschätzung des künftig erwarteten Energiebedarfs. Im dritten Schritt ist die Ermittlung der verfügbaren klimaneutralen Energiequellen durchzuführen. Danach schließt sich die Optimierungsrechnung des optimierten klimafreundlichen Energiesystems an, das für ein bestimmtes Zieljahr angestrebt wird.

Die Methodik wurde in einem Leitfaden beschrieben und wird im Folgenden skizziert. Sie wurde beispielhaft auf die Stadt Jingmen in China angewendet, die entsprechenden Ergebnisse sind im Folgenden ebenfalls dargestellt.

2.1

Motivation und Stand der Technik

Voraussetzung für die Erstellung klimafreundlicher oder klimaneutraler Energiekonzepte für Städte ist das Wissen um den aktuellen Energieverbrauch und die -versorgungsstrukturen. Durch den Vergleich des heutigen Energiesystems mit dem angestrebten Ziel-Energiesystem kann der Handlungsbedarf zur erfolgreichen Transformation der Energiesysteme identifiziert werden. Somit sollten Städte ihre heutigen Energiedaten in einer systematischen Energiestatistik erfassen und diese auch regelmäßig aktualisieren.

Die meisten Städte verfügen allerdings bislang nicht über eine eigene Energiestatistik und Energieplanung, da generelle Energieversorgungsstrukturen vornehmlich auf überregionaler Ebene geplant und lokale Verteilungs- und Versorgungsstrukturen von Energieversorgungsunternehmen entwickelt und betrieben werden. Städtische Bilanzgrenzen spielen dabei bislang kaum eine Rolle, so dass auch keine Notwendigkeit für eine eigenständige Bilanzierung städtischer Energiesysteme bestand. Erst aus der Setzung eigener Klimaschutzziele verbunden mit der Dezentralisierung der Energieerzeugung resultiert der Bedarf einer eigenen Energiestatistik für Städte.

Die Setzung eigener Klimaschutzziele in Städten wird auch durch die im Jahr 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedeten Agenda für Nachhaltige Entwicklung bis zum Jahr 2030 unterstützt. Das Ziel 11 (SDG 11) „Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable“ enthält das Unterziel 11.b, bereits bis zum Jahr 2020 die Zahl der Städte und Gemeinden substanziell zu erhöhen, die integrierte Pläne und Politiken u.a. zum Klimaschutz und der Klimaanpassung verabschieden [2].

Mehrere internationale Organisationen haben im letzten Jahrzehnt Methoden zur Erstellung von THG-Bilanzen auf städtischer Ebene entwickelt, um die kommunalen Klimazielsetzungen einordnen und die Maßnahmen planen zu können. Basis hierfür ist die Erstellung einer Energiebilanz, da die meisten Treibhausgasemissionen energiebedingt sind. Das World Resources Institute (WRI) mit ICLEI und C40 haben auf globaler Ebene, die

Weltbank für Südostasiatische Länder und der Covenant of Mayors for Climate and Energy auf europäischer Ebene Konzepte für THG-Bilanzierungen erarbeitet [3–5]. Das Ziel ist die Vergleichbarkeit der Statistiken durch eine einheitliche Vorgehensweise der Datenerhebung, eine einheitliche Setzung von Bilanzgrenzen und die Einbeziehung derselben Sektoren. Der Fokus der Konzepte liegt dabei auf der Erstellung von THG-Bilanzen, so dass die Konzepte zur Erarbeitung von Energiestatistiken als Grundlage für eine fundierte Energiesystemplanung meist nicht detailliert genug sind.

In Deutschland wurde mit dem BSKO-Standard und dem Klimaschutz-Planer vom Umweltbundesamt die Entwicklung eines einheitlichen Bilanzierungsstandards gefördert [6]. Werkzeuge zur Endenergie- und THG-Bilanzierung von Kommunen werden aber auch von drei weiteren Akteuren angeboten [6–9]. Von den etwa 11.000 Kommunen in Deutschland erstellen bislang etwa 15 % eine Energie- und THG-Bilanz [10].

Auch in China wird zunehmend die Bedeutung der Städte für den Klimawandel erkannt und werden vergleichende Studien mit THG-Bilanzen von chinesischen Städten erstellt [11, 12]. Das WRI hat mit dem Institute of Urban and Environmental Studies of the Chinese Academy of Social Sciences (CASS) und anderen ein das Treibhausgas-Bilanzierungstool „Greenhouse Gas Accounting Tool“ für chinesische Städte angepasst [13]. Wie viele chinesische Städte dieses bisher angewandt haben, ist nicht bekannt.

Die beschriebenen Initiativen haben vornehmlich das Ziel, THG-Bilanzen zu erstellen, um in den Städten die Klimaschutzzielsetzungen ins Verhältnis zur Ausgangsbasis zu setzen, Klimaschutzmaßnahmen zu planen und Umsetzungsfortschritte zu monitoren. Die Verschärfung der Klimaschutzziele beispielsweise von Deutschland, bereits im Jahr 2045 die Klimaneutralität zu erreichen [14] und von China, das die Klimaneutralität vor dem Jahr 2060 und den Emissionspeak vor dem Jahr 2030 anstrebt [15], führt aber in den Städten zunehmend zur Frage, wie sie die geforderter Klimaneutralität tatsächlich erreichen können.

Dieses Vorhaben hat deshalb das Ziel, Hilfestellung bei der Planung von klimaneutralen Energiesystemen in Städten zu geben. Auch hierfür werden städtische Energiebilanzen benötigt, allerdings ist teilweise ein höherer Detaillierungsgrad der Bilanzen erforderlich als zur Berechnung der THG-Bilanz. Für letztere sind beispielsweise Jahresverbrauchswerte der verschiedenen Energieträger ausreichend, für die Energieplanung müssen die täglichen Schwankungen oder zumindest die saisonalen Schwankungen des Energiebedarfs berücksichtigt werden. Das Vorhaben baut somit auf den beschriebenen Arbeiten zur Energie- und THG-Bilanzierung auf, geht aber deutlich darüber hinaus, indem künftige Energiebedarfe prognostiziert werden, Potenziale von Erneuerbaren Energiequellen erfasst und künftige Energiesystemstrukturen berechnet werden.

2.2 Erstellung von Energiekonzepten und Klimaschutzbilanzen für chinesische Städte

Für die Erstellung eines Energiekonzeptes sind folgende Schritte erforderlich:

1. Erstellung einer aktuellen Energiebilanz und Analyse der aktuellen Energieversorgungssituation
2. Definition der Rahmenbedingungen für die Berechnung des Ziel-Energiesystems

3. Berechnung des erwarteten Energiebedarfs im Zieljahr
4. Ermittlung der erneuerbaren Energien-Potenziale
5. Berechnung des Ziel-Energiesystems

Im Folgenden sind die Schritte zur Erstellung einer aktuellen Energiebilanz skizziert (1.). Die Vorgehensweise wurde in einem Leitfaden beschrieben, der den chinesischen Partner für künftige Projekte zur Verfügung steht. Die Punkte 2-5 werden in den folgenden Kapiteln erläutert. Zum Abschluss dieses Kapitels wird auf die Erstellung einer THG-Bilanz eingegangen.

Die vorgeschlagene energetische Bilanzierung orientiert sich am bewährten BSKO Standard. Erfasst werden dabei die innerhalb des Territoriums der Stadt erfolgenden Energieverbräuche. Angewandt wird dabei die sogenannte endenergiebasierte Territorialbilanz, d.h. es werden alle im betrachteten Territorium der Stadt anfallenden Endenergieverbräuche (Energie, die z.B. am Hauszähler gemessen wird) berücksichtigt und den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet. Für die THG-Bilanz werden die CO₂-Emissionen dann über spezifische Emissionsfaktoren den Verbräuchen zugerechnet [16]. Für die Energiebilanz bedeutet dies, dass die Umwandlungsverluste in den Kraftwerken und die Verteilungsverluste nicht berücksichtigt werden, was aus volkswirtschaftlicher Sicht problematisch erscheinen könnte. Da allerdings die Entwicklung einer möglichst klimaneutralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien das Ziel ist und diese im Fall von Windkraft- und Photovoltaikanlagen keine Umwandlungsverluste aufweisen, ist die Bilanzierung der Endenergie folgerichtig ist.

Neben den Sektoren Strom, Wärme und Kälte, die im Wesentlichen an den Verbrauch in Gebäuden gebunden sind, wird auch der Energiebedarf des Sektors Verkehr berücksichtigt. Die Erfassung der Mobilitäts-Energiebedarfe ist zwar mit größeren Unsicherheiten behaftet, allerdings für die Konzeption des künftigen Energiesystems unverzichtbar, da durch den künftig erwarteten hohen Anteil der Elektromobilität der dadurch verursachte Strombedarf berücksichtigt werden muss. Der Energiebedarf wird hierbei durch die Erfassung der Verkehrsaktivitäten ermittelt, die mit dem spezifischen Energiebedarf der Fahrzeuge multipliziert werden. Festzulegen ist dabei, welche Strecken (bei Anwendung des Territorialprinzips die innerhalb des Territoriums zurückgelegten Strecken) und welche Verkehrsmittel (Personenverkehr privat und öffentlich sowie Güterverkehr) erfasst werden.

Für die Erfassung der Endenergieverbräuche werden Tabellen zur Erfassung bereitgestellt, die sich an den 30 Arten von Energieträgern orientieren, die das Nationale Statistikamt in China ausweist. Die Erhebung der Daten und die nutzbaren Quellen hängen von der Situation in der jeweiligen Stadt ab, so dass nur allgemeine Hinweise gegeben werden können. Am ehesten können die Daten der leitungsgebundenen Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme) ermittelt werden, ggf. müssen sonstige Energieträger (Kohle, Öl, Benzin, Biomasse, etc.) abgeschätzt werden. Besonders wichtig ist es, darauf zu achten, dass sich alle Verbrauchsdaten auf dasselbe Gebiet beziehen, da die Energiedaten oftmals für unterschiedliche geografische Räume erfasst werden und somit die Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammengesetzt oder umgerechnet werden müssen (z.B. unterscheidet sich das Abrechnungsgebiet des Stromnetzbetreibers von der Ausdehnung des Fernwärmenetzes).

Das National Bureau of Statistics in China unterteilt die Endverbrauchssektoren in der nationalen Energiebilanztafel in 7 Haupttypen: (1) Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Tierhaltung und Fischerei, (2) Industrie, (3) Baugewerbe, (4) Verkehr, Lagerung und Post,

(5) Großhandel, Einzelhandel und Hotel- und Gaststättengewerbe, (6) Sonstige und (7) Privater Verbrauch (Stadt und Land). Aus Gründen der Konsistenz der Daten wurde auf die Nutzung dieser Klassifizierung bei der Entwicklung der städtischen Energiebilanz geachtet. Chinesische Energiebilanzen wird üblicherweise in Steinkohleeinheiten (SKE) erstellt.

Auf Basis der erfassten Daten wird ein Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm) mit den ermittelten Werten für die Energieflüsse erstellt. In Abbildung 1 ist ein allgemeines Energieflussdiagramm mit allen möglichen Energieflüssen und Umwandlungstechnologien ohne Energiewerte dargestellt. Links befinden sich die im Stadtgebiet verfügbaren Energiequellen, in der Mitte die Umwandlungs- und Speichertechnologien sowie der Import und Export von Energie und rechts die Verbrauchssektoren.

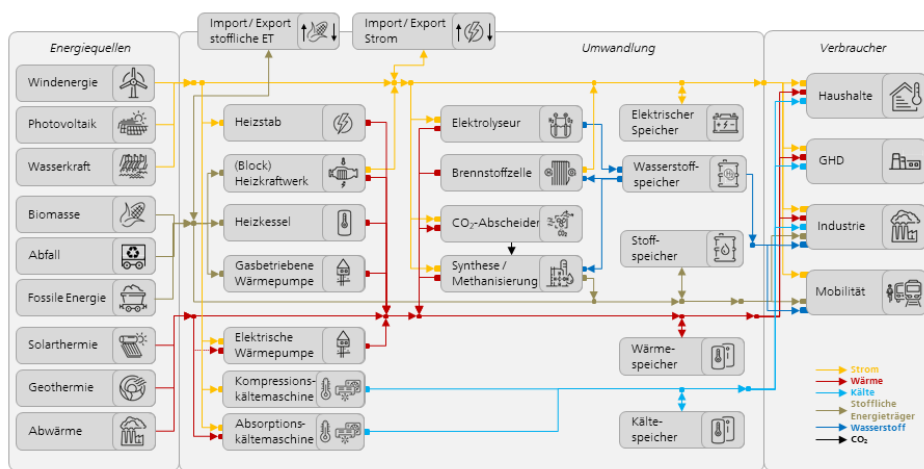


Abbildung 1: Allgemeines Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm) einer Stadt mit Energiequellen in der Stadt (links), den Umwandlungstechnologien und Import/Export (Mitte) sowie den Verbrauchssektoren (rechts). Quelle: Fraunhofer ISE

Entwicklung einer THG-Emissionsbilanz

Aus der erstellten Energiebilanz lässt sich die THG-Bilanz errechnen. Hierzu wird empfohlen, die GPC-Methode (*Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*) des WRI auch auf städtischer Ebene zu nutzen, die im Einklang mit den IPCC-Richtlinien steht [3]. Hierzu wurde ein spezielles Werkzeug für chinesische Städte veröffentlicht [13].

Berechnet werden die THG-Emissionen durch Multiplikation der Aktivitätsdaten (= Energieverbräuche) mit einem Emissionsfaktor. Da die Emissionsfaktoren stark länderabhängig sind, werden die chinaspezifischen Emissionsfaktoren des WRI-THG-Bilanzierungstool verwendet, die für die Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O sowie für die am häufigsten verwendeten Energieträger vorhanden sind. Weiter stehen die Emissionsfaktoren für Strom und Wärme auf Provinzebene zur Verfügung [14]. Da die THG-Bilanz nicht im Fokus des Vorhabens steht, wird sie hier nicht weiter beschrieben.

2.3

Energie – und THG-Bilanz für Jingmen

Für die Stadt Jingmen in der Provinz Hubei in China wurde mit der in Kapitel 2.2 skizzierten Methode eine Energiebilanz mit Energieflussdiagramm erstellt sowie eine THG-Bilanz berechnet. Die Stadt war chinesischer Partner des 2+2 Projektes. Die Datenerhebung wurde im Wesentlichen vom Institut für Building Research (IBR) aus Shenzhen, das das chinesische Projekt geleitet hat, durchgeführt.

Jingmen ist eine von 293 bezirksfreien Städten in China, die eine Verwaltungseinheit unterhalb der Provinzebene darstellen. Sie hat 2,9 Mio. Einwohner bei einer Fläche von ca. 12 Tausend km². Die Unterschiede der deutschen und chinesischen Verwaltungsstrukturen werden dadurch deutlich, dass die Stadt Jingmen keinen kompakten urbanen Raum darstellt, sondern sich aus zwei Stadtbezirken (Dongbao und Duodao, zusammen 0,7 Mio. EW und 2,2 Tkm² Fläche), dem Kreis Shayang mit 0,6 Mio. EW und 2,0 Tkm² Fläche sowie den Städten Jingshan und Zhongxiang mit zusammen 1,6 Mio. EW und 7,9 Tkm² umfasst. Jingmen besteht somit sowohl aus urbanen Bereichen als auch aus ländlichen Gebieten, wie auch auf Abbildung 2 deutlich wird). Die Stadt liegt auf dem 31. Breitengrad und ist durch ein feuchtes subtropisches Klima (Köppen-Klimaklassifikation: Cfa) mit reichlich Niederschlag gekennzeichnet. Da sie in der südlichen Region von China liegt, ist Raumheizung unüblich. Die Wirtschaft der Stadt wird von der chemischen Industrie und anderen Schwerindustrien wie der Ö Raffinerie und der Zementherstellung dominiert. Das Energiesystem stützt sich in erster Linie auf Kohle und Öl, der Anteil der erneuerbaren Energien liegt bei etwa 12 % im Jahr 2020 [17].

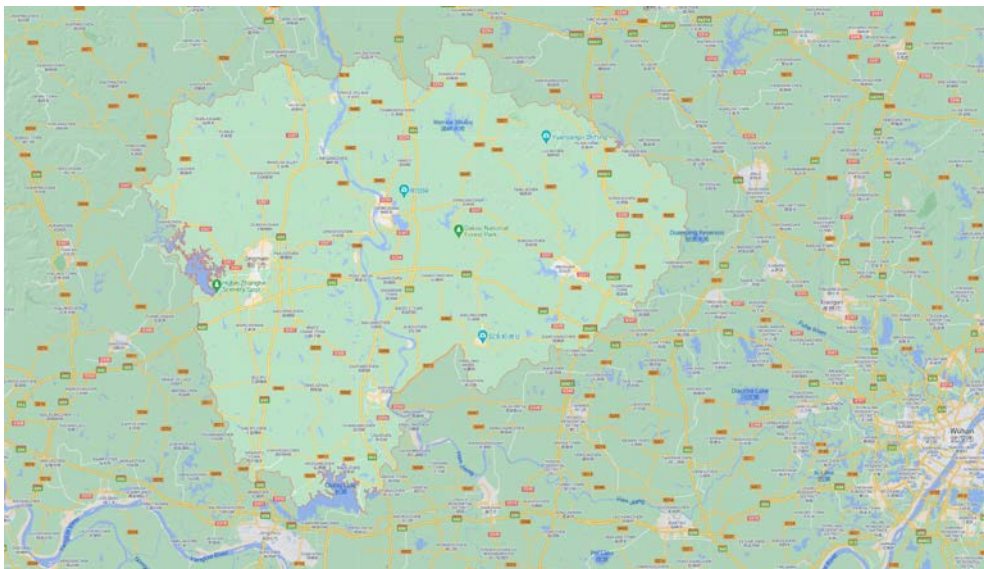


Abbildung 2: Karte der Stadt Jingmen (hellgrünes Gebiet) mit den Stadtbezirken Dongbao und Duodao (Verwaltungszentrum, mit Jingmen bezeichnet), westlich von Wuhan gelegen (© Google Maps)

Zur Erstellung der Energiebilanz wurden Daten zur Energieerzeugung und dem -verbrauch erhoben. Für 10 Energieträger (Rohkohle, saubere Kohle, Koks, andere Kohleprodukte, Rohöl, Ölprodukte, Erdgas, Wärme, Elektrizität und andere Quellen) konnten Quellen identifiziert werden. Die Klassifizierung der Endverbrauchssektoren entspricht weitgehend der Klassifizierung des Nationalen Statistikamtes, nur dass die Kategorien "Großhandel, Einzelhandel und Hotel- und Gaststättengewerbe" und "Sonstige" zu

einer neuen Kategorie "Handel und Sonstige" zusammengefasst wurden. Somit wurden 6 Verbrauchssektoren unterschieden. Die Daten wurden dem Statistischen Jahrbuch der Stadt entnommen sowie von lokalen Regierungsstellen wie das Statistikamt, der Wohnungskommission, die Wirtschaftskommission und den Kraftwerksbetreibern bezogen. Dabei hat sich gezeigt, dass vielfältige Daten vorliegen, diese aber auf viele verschiedene Stellen verteilt sind und aktiv zusammengeführt und abgeglichen werden müssen, um eine Gesamtbilanz zu erstellen.

Die Energiedaten wurden von IBR mit einer Online-Plattform erhoben, Abbildung 3 zeigt die Struktur der Daten und einen Screenshot des Online-Werkzeuges. Das Tool wurde in Jingmen getestet und soll auch von anderen chinesischen Städten genutzt werden.



Abbildung 3: Struktur der erhobenen Daten (links) und Screenshot des Online-Tools (rechts), Quelle: IBR

Nach Konsistenzprüfung und Bereinigung der Rohdaten konnte die in Tabelle 1 dargestellte Energiebilanz für das Jahr 2015 erarbeitet werden. Sie zeigt unter I. Supply, dass außer den erneuerbaren Energien und Abwärme ($6,34 \times 10^4$ t SKE) keine Energiequellen im Gebiet von Jingmen genutzt werden (3. Primary production). Mit $480,89 \times 10^4$ t SKE wird in großem Umfang Kohle importiert, wobei davon nur $2,08 \times 10^4$ t SKE „Clean Coal“ mit geringeren Emissionen sind. Rohöl wird in großem Umfang importiert ($685,36 \times 10^4$ t SKE), wobei zwei Drittel davon nach Verarbeitung zu Ölprodukten wieder exportiert werden. Insgesamt werden $772,85 \times 10^4$ t SKE Primärenergie verbraucht, wobei $99,55 \times 10^4$ t SKE aus dem Abbau von Lagermengen stammen.

Zur Erzeugung von $90,05 \times 10^4$ t SKE Strom wurden $209,33 \times 10^4$ t SKE Kohle und $14,17 \times 10^4$ t SKE andere Energieträger genutzt (Wirkungsgrad der Stromerzeugung: 40,3 %). Die Umwandlungsverluste, die hauptsächlich aus der Stromerzeugung stammen, belaufen sich insgesamt auf $136,16 \times 10^4$ t SKE und damit der Endenergieverbrauch auf $620,52 \times 10^4$ t SKE (III. Final Energy Consumption). Hierunter hat die Industrie mit 62,4 % den größten Anteil, der private Energieverbrauch (Residential) beträgt nur $63,74 \times 10^4$ t SKE (10,3 %). Ölprodukte machen mit $245,35 \times 10^4$ t SKE 39,5 % des Endenergiebedarfs aus und verteilen sich nicht nur auf den Sektor Transport, sondern alle Sektoren. Deshalb ist davon auszugehen, dass darunter im wesentlichen Benzin und Diesel für Fahrzeuge zu verstehen sind, wobei unter dem Sektor Transport nur der öffentliche Verkehr und der Verkehr der anderen Sektoren (privat, Industrie, ...) jeweils unter den anderen Sektoren verbucht wird. Die Kohle macht mit $252,66 \times 10^4$ t SKE 40,7 % des Endenergiebedarfs aus, wobei davon 87,5 % in der Industrie verbraucht wird.

Berechnet man den Endenergiebedarf pro Einwohner ergibt sich für den Gesamtverbrauch von $620,52 \times 10^4$ t SKE ein Wert von 17,4 MWh/EW pro Jahr. Wird nur der Privatsektor (Residential) mit $63,74 \times 10^4$ t SKE betrachtet, ergibt sich ein Wert von 1,8 MWh/EW und für den privaten Stromverbrauch mit $13,99 \times 10^4$ t SKE ein Wert von 390 kWh/EW pro Jahr. Im Vergleich dazu betrug der Endenergieverbrauch pro Einwohner in Deutschland im Jahr

2020 bezogen auf den Endenergieverbrauch gesamt 27,9 MWh/EW, bezogen auf den Privatsektor (ohne Verkehr) 8,1 MWh/EW und der private Stromverbrauch betrug 1.513 kWh/EW.

Tabelle 1: Energiebilanz der Stadt Jingmen im Jahr 2015 (Einheit: 10⁴ t SKE = 10.000 t SKE)

Energy Sources	Coal	Raw Coal	Clean Coal	Coke	Other Coal Products	Natural Gas	Liquified Natural Gas	Crude Oil	Oil Products	Electricity	Heat	Other Sources	Total
I. Supply	480.89	478.81	2.08	1.51	0.69	8.25	0.00	685.36	-444.38	17.97	-3.47	26.03	772.85
1. Start of year stock	53.59	53.59			0.03			4.16	1.17				58.95
2. End of year stock	-39.28	-39.28							-1.32				-40.60
3. Primary production	98.14	98.14								6.34			104.48
- Hydro										0.20			0.20
- Wind										0.97			0.97
- Solar										0.01			0.01
- Biomass										1.89			1.89
- Waste heat										3.27			3.27
4. Import (+) / Export (-)	368.44	366.36	2.08	1.51	0.66	8.25		681.20	-444.23	11.63	-3.47	26.03	650.02
II. Transformation Input(-) Output(+)	-216.80	-216.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-685.36	689.72	90.05	5.98	-19.75	-136.16
1. Electricity generation	-209.33	-209.33							-1.29	90.05		-12.88	-133.45
- Biomass												-4.70	
- Waste heat												-8.18	
2. Heat generation	-7.47	-7.47							-1.22		5.98		-2.71
3. Oil refinery and coal products								-685.36				-6.87	-692.23
4. Conversion output									692.23				692.23
5. Recovery for utilisation													0.00
III. Final Energy Consumption	252.66	250.58	2.08	1.51	0.69	8.25	0.00	0.00	245.35	103.32	2.46	6.28	620.52
1. Agriculture, forestry and fisheries	3.51	3.51							22.44	2.13		0.20	28.28
2. Industry	221.03	218.95	2.08	1.51	0.69	3.19			73.55	78.84	2.41	5.91	387.13
3. Construction Industry													
4. Transport						1.20			72.13	1.56			74.89
5. Commercial and Public	20.50	20.50				0.80			38.38	6.80			66.48
6. Residential	7.62	7.62				3.06			38.85	13.99	0.05	0.17	63.74
IV. Losses	11.43	11.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.71	0.04	0.00	16.18
V. Statistical Differences	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.01

Jingmen Energy Balance 2015 荆门市能流系统平衡图2015年

Unit: 10,000 tonnes of standard coal (TCE)
单位: 万吨标准煤 (TCE)

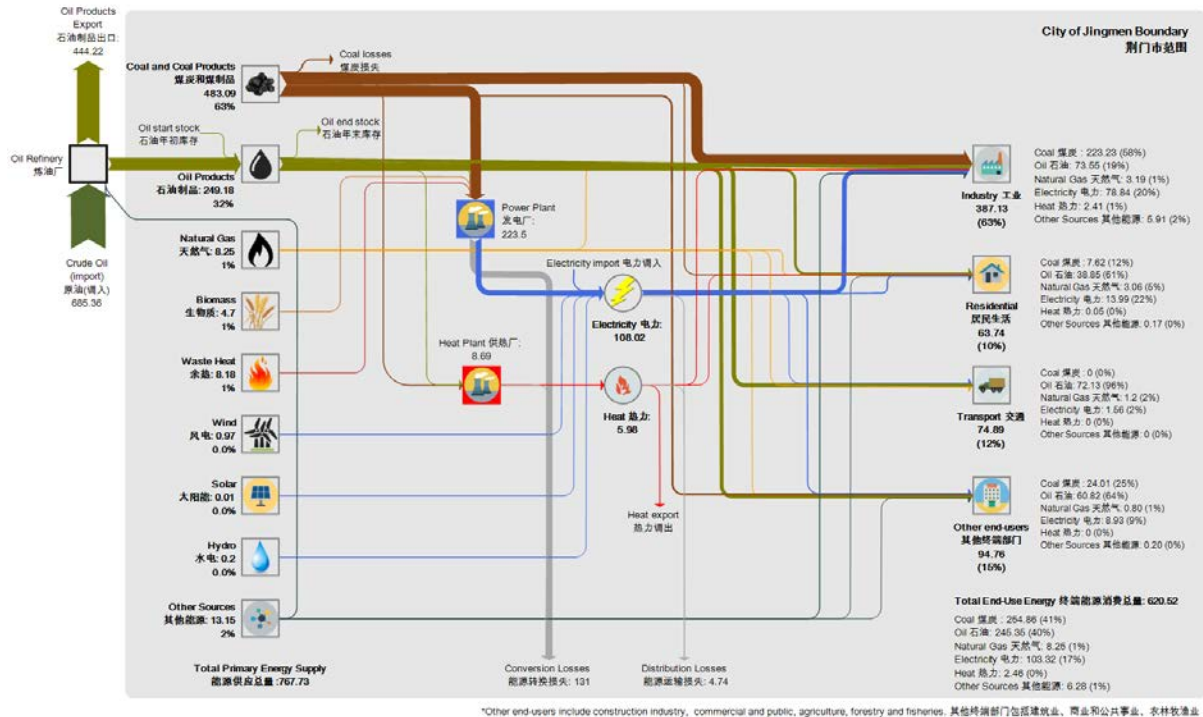


Abbildung 4: Energieflussdiagramm für Jingmen im Jahr 2015 (in 10.000 t SKE)

In Abbildung 4 sind die Energieflüsse der Energiebilanz für Jingmen im Jahr 2015 als Sankey-Diagramm dargestellt. Die Verarbeitung von Rohöl und der Export der Ölprodukte ist am linken Rand außerhalb des eigentlichen Bilanzraumes dargestellt, da sich diese Ölmengen nicht energetisch verwendet werden. Innerhalb des Bilanzraumes wird dann die Dominanz der Kohle auf der Versorgungsseite mit 63 % und die Dominanz der Industrie auf der Verbrauchsseite ebenfalls mit 63 % deutlich. Wie oben schon beschrieben, enthält der Transport-Sektor nicht den Treibstoffbedarf der anderen Sektoren, so dass der Verkehr nach deutscher Bilanzierung einen deutlich größeren Anteil einnehmen würde. Erdgas und erneuerbare Energien spielen im Jahr 2015 eine sehr geringe Rolle.

Erstellung der THG-Bilanz

Die Erstellung der THG-Emissionen erfolgte auf der Grundlage der Energiebilanztafel (Tabelle 1). Nach der in Kapitel 2.2 skizzierten Methode wurden die THG-Emissionen durch Multiplikation der Aktivitätsdaten (Energieverbrauchswerte) mit chinaspezifischen Emissionsfaktoren berechnet. Hierzu wurden die 10 Energieträger zu den 6 Energieträgern Kohle, Öl, Erdgas, Wärme, Strom und andere Quellen zusammengefasst. Als Endverbrauchssektoren wurden Industrie, Haushalte, Verkehr und andere ausgewiesen. Die CO₂-Emissionsfaktoren wurden in erster Linie aus dem WRI-THG-Accounting-Tool für chinesische Städte entnommen. Für den importierten Strom wurden dagegen die Emissionsfaktoren der regionalen und provinziellen Stromnetze 2010 verwendet, die vom chinesischen National Climate Strategic Centre veröffentlicht wurden [18]. Tabelle 2 zeigt die verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren.

Tabelle 2: China-spezifische CO₂-Emissionsfaktoren, die zur Berechnung der THG-Bilanz verwendet wurden [13, 18].

Energieträger	CO ₂ Emissionsfaktor
Kohle	1,981 t CO ₂ / t
Öl	3,020 t CO ₂ / t
Erdgas	21,622 t CO ₂ / 10.000 m ³
Wärme importiert ⁺	0,163 t CO ₂ / GJ
Strom importiert *	0,8845 t CO ₂ / MWh
Andere Quellen	2,773 t CO ₂ / t

⁺Wärme importiert: Emissionsfaktor der Hubei-Region

*Strom importiert: Emissionsfaktor des nordchinesischen regionalen Netzes

Unter Nutzung der Emissionsfaktoren wurden die von den einzelnen Verbrauchssektoren verursachten energiebedingten CO₂-Emissionen berechnet wie in Tabelle 3 dargestellt. Da die Industrie einen großen Teil der Kohle verbraucht, ist ihr Anteil an den CO₂-Emissionen mit 68 % noch höher als am Energiebedarf. Die anderen Verbrauchssektoren haben jeweils etwa denselben Anteil, wobei zu beachten ist, dass nach der in China üblichen Praxis der Endverbrauchssektor "Verkehr" nur den Energieverbrauch des Transportgewerbes umfasst. Die CO₂-Emissionen pro Einwohner betragen in Jingmen 6,6 t im Jahr 2015. Im Vergleich dazu betragen die CO₂-Emissionen pro Einwohner in Deutschland 7,9 t im Jahr 2019. Die nicht energiebedingten CO₂-Emissionen machen 17,5 % der gesamten THG-Emissionen in China im Jahr 2018 aus, ein ähnlicher Anteil wird auch für Jingmen erwartet [19].

Tabelle 3: THG-Bilanz Jingmen 2015: Energiebedingte CO₂-Emissionen

Verbrauchssektor	Energiebedingte CO ₂ Emissionen	
	Gesamte Emissionen	pro Einwohner
Industrie	13.050.429 t CO ₂	4,5 t CO ₂ / EW
Privathaushalte	1.787.698 t CO ₂	0,6 t CO ₂ / EW
Verkehr*	2.413.459 t CO ₂	0,8 t CO ₂ / EW
Andere Sektoren	1.937.102 t CO ₂	0,7 t CO ₂ / EW
Gesamt	19.188.688 t CO ₂	6,6 t CO ₂ / EW

Inhaltliche Ergebnisse

* Verkehr enthält nur die Emissionen des Verkehrsgewerbes

2.4

Vergleich Energie- und Klimaschutzkonzepte in deutschen und chinesischen Städten

Energieplanung und Energiestatistik in deutschen Städten

Die Entwicklung von Plänen für eine nachhaltige Energieversorgung ist für Städte seit Anfang der 1990er Jahre ein zunehmend relevantes Thema. So wurde im Jahr 1990 der Grundstein für das Klima-Bündnis der Städte in Frankfurt gelegt, in dem heute 1.800 Städte in 27 Ländern organisiert sind. Die Motivation war der Einsatz für die weltweite Klimagerechtigkeit, wobei sich jede Klima-Bündnis-Kommune verpflichtet, alle 5 Jahre ihre CO₂-Emissionen um 10 Prozent zu reduzieren [20]. Auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro wurde die Agenda 21 verabschiedet. Darin wurden auch die Städte weltweit aufgefordert, in einer „Lokalen Agenda“ kommunale Lösungen u.a. zum Schutz der Erdatmosphäre zu entwickeln [21].

Für die Entwicklung von städtischen Klimaschutzkonzepten werden in Deutschland Förderprogramme und Leitfäden angeboten [22]. Die Erstellung fundierter Energiekonzepte geht jedoch über die Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes deutlich hinaus. Bei den Städten wächst jedoch die Erkenntnis, dass ambitionierte Klimaschutzziele nur mit einem fundierten Energiekonzept erreicht werden können. Deshalb hat das Bundesumweltministerium mit dem Programm "Masterplan 100% Klimaschutz" seit 2012 Städte gefördert, die bis zum Jahr 2050 eine 95-prozentige Reduzierung der Treibhausgasemissionen erreichen wollen. In diesem Rahmen wurden beispielsweise für die Städte Frankfurt und Kaiserslautern Ziel-Energiesysteme berechnet [23, 24].

Eine aktuelle Energiestatistik ist sowohl für ein Klimaschutzkonzept als auch ein Energiekonzept erforderlich. Die Erstellung von Energiestatistiken gehört jedoch nicht zu den traditionellen Aufgaben einer Stadtverwaltung, weshalb Strukturen und Know-how hierfür erst aufgebaut werden müssen. Mehrere Anbieter bieten Werkzeuge zur Unterstützung an. Das Institut für Umweltforschung Heidelberg (ifeu) bietet beispielsweise in Kooperation mit dem Institut dezentrale Energietechnologien (ide) unter Federführung des Klima-Bündnis e.V. den „Klimaschutz-Planer - Kommunalen Planungsassistent für Energie und Klimaschutz“ an [6]. Die Software erlaubt es den teilnehmenden Städten, eine Endenergie- und THG-Bilanzierung nach dem BSKO-Standard zu erstellen, der zu einem wichtigen Bilanzierungsstandard für Kommunen geworden ist [10]. Weitere drei Anbieter von

Software zur Erstellung von kommunalen Energie- und THG-Bilanzen sind: Grenited (Klima-Navi für Kommunen in Schleswig-Holstein), Ecospeed (ECOSPEED Region) und die Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg KEA (BICO2BW) [6–9]. Von den etwa 11.000 Kommunen in Deutschland erstellen bislang etwa 15 % eine Energie- und THG-Bilanz [10].

Energiestatistiken und Energieplanung in chinesischen Städten

In China ist die Energiepolitik und -planung im Wesentlichen in der Verantwortung von nationalen Ministerien und Provinzregierungen, die Städte folgen in der Regel den Vorgaben der übergeordneten Behörden. Allerdings gibt es einzelne Städte, die eigene, ehrgeizigere Energieziele festlegen, die von den Provinzregierungen unterstützt werden. So haben nur 25 von 1.300 chinesische Städte erneuerbare Energien-Ziele und nur 6 Städte entwickeln Ziele, die Klimaneutralität zu erreichen [25]. Weiter werden auch im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit Städte dabei unterstützt, klimafreundliche Energiekonzepte zu entwickeln, beispielsweise hat die Die Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) mit Hilfe deutscher Experten die Pilotstädte Dunhuang, Xintai und Jiaxing-Xiuzhou unterstützt [26].

Die Erstellung von Energiestatistiken ist in China auf städtischer Ebene unüblich. Es werden in vielen Städten zwar Energiedaten erfasst und teilweise alle fünf Jahre ein lokaler Entwicklungsplan aufgestellt, doch erfolgt die Erhebung energierelevanter Daten selten systematisch und diese werden meist nicht zusammengeführt. Somit fallen auch Inkonsistenzen von Daten nicht auf. Nur wenige chinesische Städte erstellen Energiebilanzen, was vermutlich auch auf die teilweise schlechte Qualität der lokalen Daten zurückzuführen ist [27]. Über vollständige Energiebilanzen verfügten im Jahr 2012 nur 4 Megacities und etwa 250 Städte wiesen eine Energiebilanz auf, die nicht konsistent war [28].

2.5

Ermittlung der Potenziale klimaneutraler Energiequellen

Wichtige Eingangsdaten für die Berechnung eines klimafreundlichen Energieversorgungssystems sind die Potenziale der klimafreundlichen Energiequellen innerhalb des Stadtgebiets und ggf. in der größeren Region um das Stadtgebiet herum. Dies sind die Solarenergie (Erzeugung von Solarstrom und Solarwärme), Windenergie, Wasserkraft, Biomasse (fest, flüssig oder gasförmig) und Geothermie sowie die Abwärme und Umweltwärme. Deren Energieerzeugungspotenziale hängen stark von den lokalen Gegebenheiten ab, sowohl in Bezug auf die verfügbaren Aufstellflächen der Anlagen als auch der Verfügbarkeit der Energiequelle, also den klimatischen Bedingungen des Standortes wie der Solareinstrahlung, der Windhöflichkeit (durchschnittliche Windgeschwindigkeit), den Niederschlagsmengen und den Biomasse-Wachstumsbedingungen sowie den Temperaturniveaus in den verschiedenen Erdtiefen.

Für eine fundierte Analyse müssen die lokalen Bedingungen im Detail untersucht und die Potenziale zusammen mit den Werten für die Klimabedingungen sowie Annahmen zur verfügbaren Anlagentechnik berechnet werden. Dabei sind die Randbedingungen für die Berechnungen und dabei insbesondere das betrachtete Einzugsgebiet eindeutig festzulegen. Die Potenziale innerhalb der Grenzen der Stadt, für die das Energiesystem berechnet wird, sind immer zu berücksichtigen. Dabei ist darauf zu achten, dass dieselben Stadt- und Bilanzgrenzen für die Ermittlung der Energiebedarfe wie der

Energiepotenziale verwendet werden. Ob auch die Potenziale in der weiteren Region um die Stadt herum berücksichtigt werden, muss ebenfalls vereinbart werden. Der Import von Energie in Ergänzung zur eigenen klimaneutralen Energieerzeugung, sowohl zeitweise im Jahresverlauf als auch Netto im Gesamtjahr, ist für die allermeisten Städte notwendig. Allerdings können beispielsweise die Windenergie- und Biomassepotenziale, die sich in ländlichen Gebieten um die Stadt herum befinden, auch dezidiert berücksichtigt und im Rahmen einer Stadt-Region Kooperation gezielt genutzt werden. Dies kann die Versorgungssicherheit deutlich erhöhen. Darüber hinaus sollte auch die technologische Weiterentwicklung einbezogen werden. Da die Effizienz der Anlagen kontinuierlich zunimmt, kann beispielsweise am selben Standort auf derselben Fläche mit einer Solarstromanlage in Zukunft mehr Strom erzeugt werden als heute.

Studien zu Potenzialen an erneuerbaren Energien stehen im globalen, nationalen und Bundesländer-Maßstab zur Verfügung, siehe z.B. [29–33], allerdings variieren die Potenziale in den verschiedenen Landesteilen teilweise stark, so dass eine eigene Potenzialerhebung bei Erstellung einer Energiebilanz unumgänglich ist. Dabei können überregional oder global verfügbare Atlasse zu der Solareinstrahlung und Windhöflichkeit sehr hilfreich sein [34, 35]. Im Folgenden sind die Vorgehensweisen der Potenzialermittlung und die zu berücksichtigenden Faktoren im Überblick dargestellt.

Für die Berechnung der Solarpotenziale sind vor allem die verfügbaren Installationsflächen auf den Dächern und auf Freiflächen zu ermitteln. Solaranlagen können aber auch an Gebäudefassaden, auf Wasserflächen (Schwimmende PV) und über landwirtschaftlichen Flächen (Agri-PV) installiert werden. Eine genaue Ermittlung der Flächen ist mit 3D Stadtmodellen und mit Hilfe von GIS-Daten zu Freiflächen möglich. Stehen diese Daten nicht zur Verfügung, müssen weniger genau Abschätzungen vorgenommen werden. Für die Berechnung der installierbaren Leistung sind auch die Montageart und damit die Dichte der Belegung der Flächen mit Solarmodulen, die Ausrichtung der Module, die mögliche Verschattung sowie die Einstrahlungsstärke im Jahresverlauf zu berücksichtigen. Für die Berechnung der Solarwärmepotenziale ist zusätzlich der Wärmebedarf in der Nähe zu untersuchen, da die Wärme nicht über weitere Strecken transportiert werden kann.

Für die Berechnung der Windenergiepotenziale sind zuerst die geeigneten Aufstellflächen für Windkraftanlagen zu ermitteln. Diese werden einerseits durch Mindestabstände z.B. zur Wohnbebauung und Verkehrsinfrastruktur eingeschränkt und andererseits sind auch ungeeignete Geländeflächen, z.B. steile Hänge oder Flächen mit zu geringer durchschnittlicher Windgeschwindigkeit oder auch Naturschutzgebiete auszuschließen. Welche Flächen zulässig sind, hängt von den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in der jeweiligen Region ab, so dass diese ebenfalls ermittelt werden müssen. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass sich politische Rahmenbedingungen, z.B. die Mindestabstände zur Wohnbebauung, künftig auch ändern können. Im zweiten Schritt sind für die möglichen Aufstellflächen geeigneten Größen der Windkraftanlagen zu identifizieren und dafür die notwendigen Abstände zwischen den einzelnen Anlagen zu ermitteln.

Das Wasserkraftpotenzial muss, wenn Fließgeschwindigkeiten und Durchflussmengen der Wasserläufe durch das Bilanzierungsgebiet nicht bekannt sind, für das gesamte Einzugsgebiet eines Flusssystemes ermittelt und dann Teile davon dem Bilanzierungsraum zugewiesen werden. Hierfür ist ein Geländemodell erforderlich zur Ermittlung der Höhenunterschiede und der Fließrichtung der Gewässer. Durch die Berücksichtigung von

Niederschlagsmengen lassen sich durchschnittliche Abflussmengen an bestimmten Standorten berechnen. Die Daten lassen sich meist mit Messwerten von vorhandenen Wasserkraftwerken abgleichen.

Zur Ermittlung der Biomassepotenziale werden die jährlich verfügbaren Mengen an fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse aus der Waldwirtschaft und der Holzverarbeitung, aus Energiepflanzen oder Pflanzenresten aus der Landwirtschaft, aus der Tierhaltung und aus biogenen Siedlungsabfällen erfasst. Hierzu werden die jeweiligen Wachstumsflächen und die anfallenden Biomasse mengen untersucht und abgeschätzt, welche Anteile davon zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehen. Dabei sind die Nutzungskonkurrenzen z.B. zur Nahrungsmittelproduktion und zur stofflichen Verwertung, z.B. als Bauholz, zu berücksichtigen. Darüber hinaus sollten auch die möglichen künftigen Änderungen des Biomasseanfalls aufgrund des Klimawandels, der die Wachstumsbedingungen z.B. durch erhöhte Temperaturen und geringere Niederschlagsmengen stark beeinflussen kann, abgeschätzt werden. In einem weiteren Schritt müssen die Umwandlungsschritte und -verluste von der Biomasse zur Endenergie für die verschiedenen Nutzungsarten in die Berechnung einbezogen werden.

Das Potenzial an Tiefengeothermie (tiefer als 400 m) zur Gewinnung von warmem Wasser, z.B. mit 70 °C zu Heizzwecken, lässt sich durch Auswertung von geologischen Untersuchungen abschätzen. Entscheidend ist, wie leicht die Potenziale erschließbar sind, d.h. wie nahe die warmen Schichten der Erdoberfläche sind. Großräumig sind die geologischen Bedingungen meist bekannt, allerdings ist die Abschätzung von lokalen Potenzialen mit größeren Unsicherheiten verbunden, die in der Ausweisung der Potenziale berücksichtigt werden müssen. Dabei geht es im Wesentlichen nicht um die Frage, ob die Potenziale vorhanden sind, sondern in welcher Tiefe und zu welchen Kosten sie erschlossen werden können. Zusätzlich ist auch das Potenzial der oberflächennahen Geothermie bis 400 m Tiefe, z.B. für Erdwärmesonden mit 100 m Tiefe als Wärmequelle für Wärmepumpen abzuschätzen.

Die Potenziale der Nutzung von Abwärme z.B. aus Industrie und Gewerbe erfordert eine gute Erkenntnis der vorhandenen Industriebranchen und Produktionsverfahren, da die Verfügbarkeit der Potenziale von den Mengen an Abwärme, deren Temperaturen und dem zeitlichen Verlauf der Bereitstellung sowie den Möglichkeiten der Wärmeauskopplung abhängt. Für eine Potenzialbetrachtung muss auch berücksichtigt werden, dass Unternehmensaktivitäten und Produktionsverfahren sich mit der Zeit ändern, so dass eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit einer dauerhaften Bereitstellung notwendig ist. Auch die Nutzbarkeit der Abwärme muss in die Bewertung einbezogen werden, sowohl was die Distanz zwischen Abwärmequelle und möglichen Abnehmern als auch das zeitliche Bereitstellungsprofil und das Temperaturniveau angeht.

2.6

Optimierung kommunaler Energiesystems mit dem KomMod

Klimafreundliche und klimaneutrale kommunale Ziel-Energiesysteme weisen sich durch hohe Effizienz, dem Einsatz teilweise fluktuierender dezentraler erneuerbaren Energiequellen, der Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Mobilität, dem Einsatz von Speichern und einer intelligenten Steuerung aus. Die Optimierungsrechnung solch komplexer Zielenergiesysteme erfordert eine neue, leistungsfähige Software, wie sie vom Fraunhofer ISE mit dem kommunalen Energiesystemmodell KomMod seit dem Jahr 2012

entwickelt wird. KomMod ist ein Expertensystem, das von den Entwicklern zu bedienen ist. Deshalb wurde im Webtool CHESOT (Chinese Urban Energy System Analysis and Optimisation Tool) die Möglichkeit geschaffen, über Schnittstellen die KomMod-Software auf dem Server des Fraunhofer ISE anzusteuern und Berechnungen durchführen zu lassen.

Das Energiesystemmodell KomMod wurde am Fraunhofer ISE im Rahmen einer Doktorarbeit entwickelt und wird seit dem Jahr 2014 in Projekten in Deutschland, Europa und weltweit (Asien, Südamerika, Afrika) eingesetzt [24, 26, 36–39]. KomMod beantwortet die Frage, wie ein kommunales Energiesystem langfristig, das heißt nach erfolgter Transformation strukturiert sein muss, um bei Erhalt einer hohen Versorgungssicherheit die gewünschten Ziele möglichst kostengünstig zu erreichen. Ein mögliches Ziel ist die klimaneutrale Versorgung mit einem möglichst hohen Anteil an lokalen erneuerbaren Energien. Doch auch andere Zielsetzungen, wie z.B. die Autarkie des Gebietes, sind möglich.

KomMod berechnet also nicht, wie das vorhandene Energiesystem transformiert werden sollte, sondern wie das Zielenergiesystem strukturiert sein muss, um im Zieljahr z.B. die Klimaneutralität am kostengünstigsten zu ermöglichen. Nach der erfolgten Festlegung des Zielzustandes kann dann in einem weiteren Prozess der Transformationspfad von der aktuellen Situation ausgehend bis zur Erreichung des Zielenergiesystems erarbeitet werden. Dabei sind die Maßnahmen so zu wählen, dass die Transformation im angestrebten Zeitraum erfolgen kann [40].

2.7

Webtool CHESOT zur Energiesystem-Optimierung

In der Zusammenarbeit mit Städten zur Entwicklung klimaneutraler Energiesysteme ergeben sich u.a. zwei Herausforderungen. Erstens ist zur Entwicklung eines guten Verständnisses der kommunalen Akteure für das Energiekonzept und seiner Implikationen Transparenz sowohl bei den Eingangsdaten, als auch bei den Berechnungsergebnissen und deren Rahmenbedingungen erforderlich. Zweitens ergibt sich üblicherweise nach Fertigstellung des Berichts der Wunsch und die Notwendigkeit, Eingangsdaten zu aktualisieren oder Rahmenbedingungen zu ändern und damit erneute Optimierungsrechnungen durchzuführen. Beides kann ein gedruckter bzw. PDF-Abschlussbericht nicht leisten.

Um die Zusammenarbeit mit chinesischen Städten zu erleichtern und die Nutzbarkeit der Ergebnisse deutlich zu erhöhen, wurde im Rahmen des Vorhabens aufbauend auf Vorarbeiten in anderen Projekten das Webtool CHESOT (Chinese Urban Energy System Analysis and Optimisation Tool) entwickelt. Dabei oblag dem Fraunhofer ISE die Konzeption und inhaltliche Entwicklung und der Mondas GmbH die softwaretechnische Entwicklung und Umsetzung.

Das Webtool CHESOT begleitet die Erstellung eines Energiekonzeptes mit Datenerhebung, Berechnung der Energiebilanz und Darstellung des Energieflussdiagramms, Prognose des künftigen Energiebedarfs, Ermittlung der erneuerbaren Energien-Potenziale und Berechnung des optimierten Energiesystems in verschiedenen Szenarien sowie Darstellung der Ergebnisse.

Die Berechnung optimierter Energiesysteme erfolgt mit KomMod (Kommunales Energiesystemmodell), das von Fraunhofer ISE entwickelt wurde. Da dieses als Expertensystem nur auf den ISE-Servern läuft, wurde im Webtool CHESOT eine Schnittstelle zum ISE-

Server eingerichtet. Damit lassen sich aus CHESOT Neuberechnungen des Energiesystems auf dem ISE-Server anstoßen. Hierzu werden die Eingangs- und Rahmendaten für die Berechnungen an den ISE-Server gesendet und dieser sendet nach erfolgter Berechnung die Ergebnisse an das Webtool zurück. Im Folgenden werden die programmtechnische Umsetzung und danach das Webtool selbst beschrieben.

2.7.1

Konzeption und Aufbau des Webtools CHESOT

Um die skizzierten Anforderungen zu erfüllen, muss das Webtool neben der Eingabe von Parametern, der Verwaltung verschiedener Szenarien basierend auf der Parametereingabe, der Darstellung statisch berechneter Ergebnisse des aktuellen und der dynamisch berechneten Ergebnisse zukünftiger Energiesystemlösungen, auch die Steuerung von Berechnungen und Verwaltung der dazu notwendigen Prozesse übernehmen. Die an den Prozessen beteiligten Simulationen zukünftiger Energiesystemlösungen sind naturgemäß mit längeren Berechnungszeiten verbunden und erfordern daher eine Softwareinfrastruktur, die eine Parallelisierung der Prozesse möglich macht und ein Nutzerinterface, das die Steuerung der Berechnung in einfacher Weise erlaubt. Hierfür wurde ein modularer, auf Netzwerkprotokollen aufbauender Ansatz gewählt. Grob lassen sich die Module Frontend (Nutzerinterface und Darstellung von Ergebnissen), Backend (Durchführung von formelbasierten Berechnungen und Schnittstelle zur Berechnung zukünftiger Energiesystemlösung mit KomMod), sowie ein sogenannter Scheduler (Prozessmanager für die KomMod Berechnungen) identifizieren. Folgende Schritte zur Eingabe, der Berechnungskette und der Darstellung von Ergebnissen werden von diesen Komponenten von CHESOT übernommen:

1. Auswahl und Eingabe von Parametern für das aktuelle Energiesystem
2. Berechnung von für die Ergebnisdarstellung wesentlichen, abgeleiteten Größen des aktuellen Energiesystems auf Basis der Eingabeparameter
3. Darstellung von Ergebnissen in tabellarischer und grafischer Form (z.B. Sankeydiagramme)
4. Eingabe von Parametern (z.B. Bedarfsentwicklung und Lastprofile) für die zu optimierende zukünftige Energiesystemlösung, sowie die Auswahl von Entwicklungsszenarien hierfür
5. Prozessmanagement der Berechnungen von Energiesystemlösungen auf dem ISE-Server
6. Darstellung der gefundenen Energiesystemlösung in tabellarischer und in Diagrammform

Die möglichst intuitive und übersichtlich Darstellung der Ergebnisse im Frontend der Software spielt eine zentrale Rolle (siehe Kapitel 2.7.2). Darüber ist die durchgängige Implementierung eines internationalisierten Frontends mit den Sprachen Chinesisch, Englisch und Deutsch für die erfolgreiche Zusammenarbeit in deutsch-chinesischen Projekten von großer Bedeutung. Die Implementierung fußt auf Übersetzungstabellen und kann bei Bedarf einfach erweitert werden.

Statische Berechnungen und Parameterraumabbildungen

Die Schritte 2 und 5 beinhalten die Restrukturierung und Verarbeitung der Eingabedaten, um Formate und Strukturen zu erhalten, die für die Darstellung von Ergebnissen und die Eingabe für den Optimierer (KomMod) erforderlich sind. Das gleiche gilt für die Rückabbildung der von KomMod erzeugten Ergebnisse auf geeignete Strukturen sowie die Berechnung der für die Darstellung der Ergebnisse geeigneten Größen. Die hierfür gewählte Implementierung verfolgt mehrere Ziele. Zum einen soll die Definition der Abbildungen und Berechnungen deskriptiv und damit ohne Anpassungen des Sourcecodes änderbar sein. Dies ist insbesondere für eine flexible Erweiterbarkeit und Wartung der Anwendung eine wichtige Voraussetzung. Beispielsweise ermöglicht dieser Ansatz eine sehr einfache und transparente Übertragung der Software auf eine andere oder angepasste Datenbasis. Zum anderen erfordert die Vielzahl der Parameterabbildungen und Berechnungen deren softwaregestützte Überprüfung und Validierung. Das Backend von CHESOT verwendet hierfür ein tabellarisches, deskriptives Format für die Spezifikation der Parameterräume und deren Abbildungen durch Formel­ausdrücke. Hierdurch werden Erweiterungen und Anpassungen der Berechnungen ohne Änderung des Sourcecodes des Webtools ermöglicht. Mittels eines Graphen basierten Werkzeugs als integraler Bestandteil der Nutzeroberfläche können diese Spezifikationen leicht nachvollzogen, getestet und Fehler schnell identifiziert werden (siehe als Beispiel Abbildung 5 links).

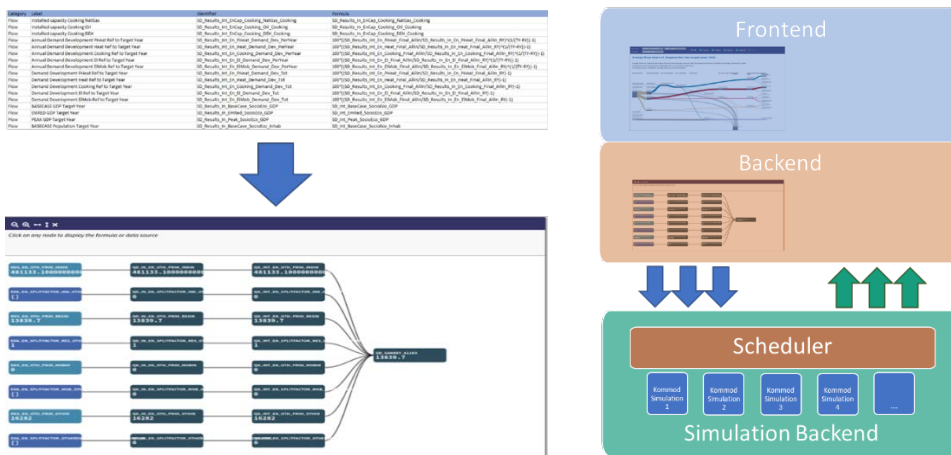


Abbildung 5: Deskriptive Definition von Berechnungen und Graphen basiertes Analysetool (links) und Modulare Struktur und schematische Berechnungskette des Webtools CHESOT (rechts), Quelle: Mondas

Prozesskontrolle und Parallelisierung

Die dem Webtool CHESOT zugrunde liegende Prozessstruktur erforderte die Implementierung einer mehrschichtigen, modularen Softwarestruktur, bestehend aus dem Frontend (basierend auf dem React framework [41]) und einem Backend (node.js [42]), das die über das Frontend ausgelösten Prozesse ausführt und koordiniert. Das Backend kommuniziert schließlich mit einem getrennt implementierten Prozessmanager (dem Scheduler implementiert mit Python) über ein Netzwerkschnittstelle und ein eigens entwickeltes Protokoll (auf Basis der Bibliothek ZeroMQ [43]). Der Scheduler ist für die Ausführung, Parallelisierung, sowie die Überwachung und Rückmeldung der Ergebnisse der Prozesse der Optimierungsrechnungen mit KomMod auf dem externen ISE-Server verantwortlich. Die oben beschriebene Methode der deklarativen Parameterraumabbildungen übernimmt dabei wichtige Zwischenschritte. So werden die Eingabeparameter des

Frontends in den von KomMod benötigten Parameterraum überführt und umgekehrt die Ergebnisse des KomMod-Optimierers in eine für die Präsentation für die web-basierte Darstellung geeignete Form „übersetzt“ (siehe auch Abbildung 5 rechts).

2.7.2 Funktionalitäten des Webtools CHESOT

Frontend und Graphical User Interface der Software

Die entwickelte Softwarelösung CHESOT steht als Webtool im Internet zur Verfügung. Der Zugang erfordert die Eingabe von Zugangsdaten auf der Login-Page. Der Testzugang mit den erarbeiteten Daten von Jingmen ist:

URL: <https://jingmen.mondas.io/>

Nutzername: demo

Passwort: > zur Demoversion ohne Passwort einloggen <

Im Folgenden werden der Aufbau der CHESOT-Software und die Berechnungsschritte anhand von Screenshots beschrieben. Die Arbeitsschritte der Energiekonzepterstellung sind in einzelnen Webpages innerhalb des Webtools aufgeteilt, ein Diagramm auf der Startseite des Webtools stellt diese im Überblick dar (siehe Abbildung 6). Die Arbeitsschritte sind unten in dunkelgrau dargestellt und die zugehörigen Webseiten in hellgrauen Feldern in der Mitte. Die roten Felder zeigen, ob es sich um Schritte im Rahmen des heutigen oder des zukünftigen Energiesystems handelt.



Abbildung 6: Screenshot der Eingangsseite des Webtools CHESOT mit Bedienelementen sowie der Übersichtsdarstellung von Arbeitsschritten zur Berechnung von Ziel-Energiesystemen

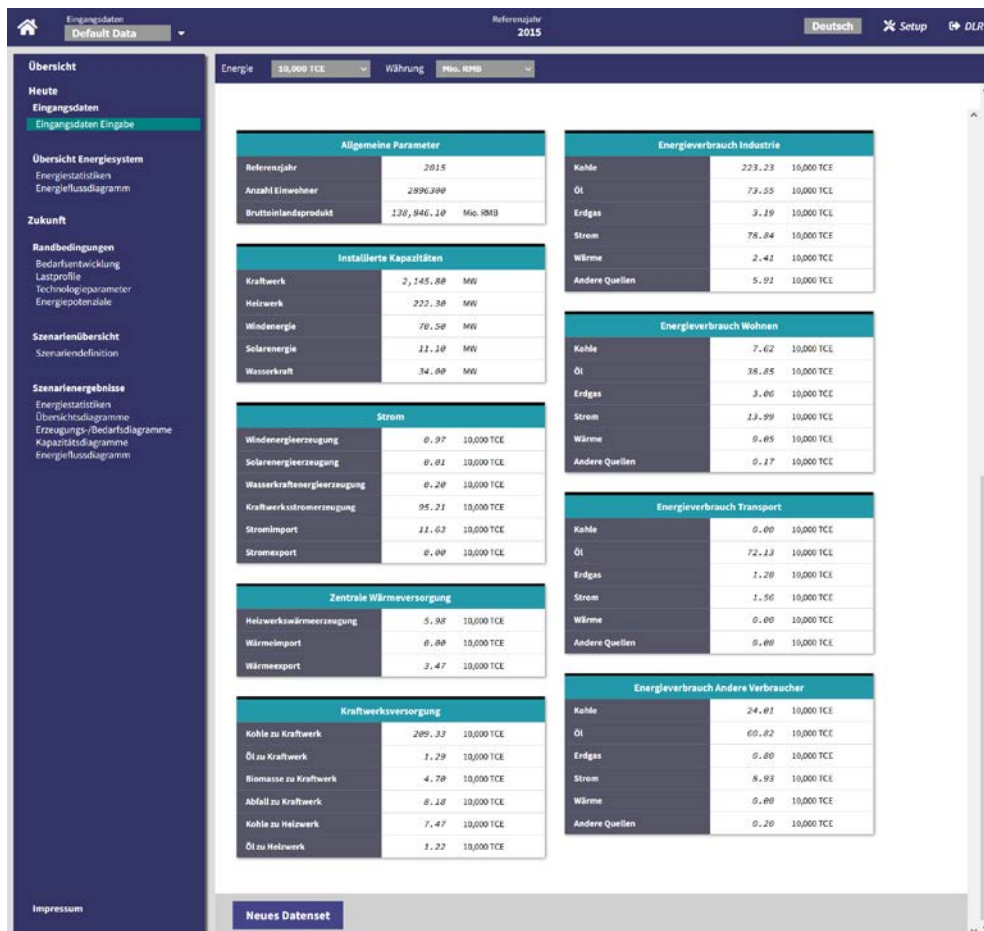
Allgemeine Einstellmöglichkeiten

Zur Bedienung des Webtools sind folgende generelle Einstellungen möglich:

- Eingangsdaten: es können unterschiedliche Eingangsdatensätze ausgewählt werden, z.B. für unterschiedliche Städte
- Bedarfsentwicklung: Auswahl unterschiedlicher Sets von Rahmenbedingungen zur Berechnung der Energiebedarfe im Zieljahr
- Referenzjahr: Jahr, aus dem die aktuellen Energiedaten stammen
- Zieljahr: Jahr, für das die Optimierungsrechnungen erstellt werden
- Sprache der Webseite: Deutsch, Englisch und Chinesisch
- Setup: Administratoren können die Nutzerzugänge verwalten
- Seiten mit Energiedaten: Auswahl der Energieeinheiten (GJ, ktoe, kWh, TCE = SKE) sowie Währungen (EUR, USD, RMB)
- Szenarienseiten: Auswahl der Bedarfsszenarien für das Zieljahr mit Basisszenario (Basecase), Emissions-Reduktionsszenario (EmRed) und einem Szenario mit noch stärkeren Einsparungen, die den CO₂-Peak im Jahr 2030 ermöglichen (Peak)
- Erneuerbare-Energien-Szenarien: Für die Anzeige der Energiesystem-Berechnungsergebnisse kann zwischen den Szenarien Minimale Kosten (Min. Cost), sowie einem Anteil von 20 %, 40 %, 60 %, 80 % oder 100 % Erneuerbare Energien ausgewählt werden.

Eingangsdaten

Unter Eingangsdaten sind die ermittelten und hinterlegten Daten aus der Energiebilanz von Jingmen im Jahr 2015 hinterlegt und überprüfbar. Bei Bedarf kann unter „Neues Datenset“ ein eigenes Set von Eingangsdaten zur Berechnung eines optimierten Energiesystems hinterlegt werden (siehe Abbildung 2).

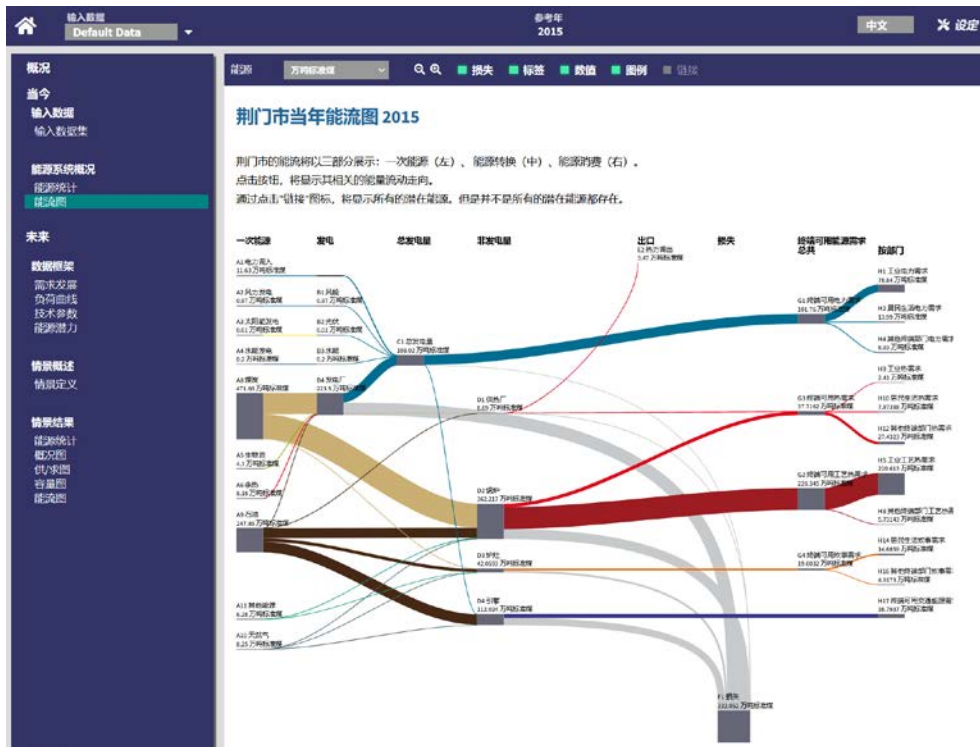


Inhaltliche Ergebnisse

Abbildung 7: Screenshot der Seite „Eingangsdaten“

Übersicht Energiesystem

Die bereitgestellten Eingangsdaten werden verarbeitet und die wichtigsten Indikatoren zusammenfassend auf der Seite „Energistatistiken“ in tabellarischer Form aufgelistet. Auf der Seite „Energieflussdiagramm“ werden die Energiedaten grafisch dargestellt (siehe Abbildung 8). Es lassen sich dabei verschiedene Grafikteile zu- und abschalten.



Inhaltliche Ergebnisse

Abbildung 8: Screenshot des Energieflussdiagramms für das Jahr 2015 (in chinesisches)

Definition der Randbedingungen

Zuerst sind hier die Parameter zur Berechnung der künftigen Energiebedarfe für die drei Bedarfsszenarien „Base Case“, „Emission Reduction“, „Peak CO2 2030“ zu definieren, mit denen die künftigen Bedarfe für das Zieljahr ausgehend vom Referenzjahr berechnet werden. Dabei werden das Wachstum der Bevölkerung und der Wirtschaft (BIP), die Effizienzfortschritte und der Anteil der E-Fahrzeuge berücksichtigt (siehe Abbildung 4).

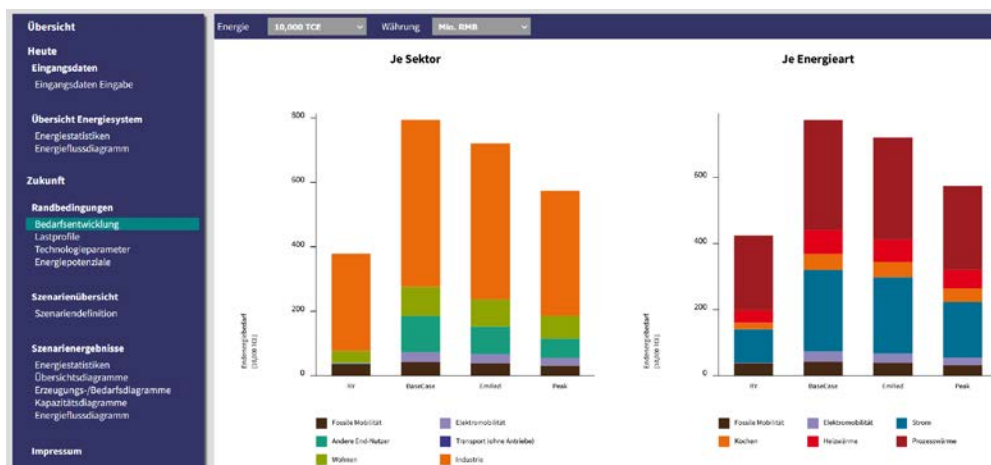


Abbildung 9: Screenshot der Seite Bedarfsentwicklung mit Grafik der berechneten Bedarfe im Zieljahr

Auf den Seiten „Lastprofile“, „Technologieparameter“ und „Energiepotenziale“ sind sonstige Rahmenbedingungen für die Szenarienberechnungen dargestellt. Diese sind in der Software hinterlegt und können nur durch Administratoren verändert werden.

Szenarienübersicht

Nach Definition der Szenarien und der Rahmenbedingungen können mit KomMod die entsprechenden Ziel-Energiesysteme berechnet werden. Die Berechnungsvorgänge werden auf der Webseite „Szenariendefinition“ gesteuert und überwacht. Für jede der drei Bedarfsszenarien werden sechs Varianten mit unterschiedlichen Anteilen an Erneuerbaren Energien berechnet, so dass sich je Datenset insgesamt 18 unterschiedliche Ziel-Energiesysteme ergeben (siehe Abbildung 10).

Inhaltliche Ergebnisse

Übersicht der Energieszenarien für Jingmen

CHESOT berechnet, wie der projizierte Energiebedarf im Zieljahr mittels verfügbaren Energiequellen gedeckt werden kann. Die Berechnungen werden mit den Zielen 20%, 40%, 60%, 80% und 100% Anteil der erneuerbaren Energien an der Energieerzeugung durchgeführt. Sollten die erneuerbaren Energiepotenziale nicht ausreichen, um einen bestimmten Anteil zu erreichen, so können keine Ergebnisse berechnet werden. Zusätzlich wird das Szenario mit den niedrigsten Kosten berechnet und die zugehörigen erneuerbaren Energieanteile angezeigt. In den Berechnungen wird das Energiesystem so ausgelegt, dass eine sichere Energieversorgung für jede Stunde des Jahres sichergestellt ist. Hierbei werden die Lastprofile von Jingmen wie auch die volatile Stromerzeugung durch Solar- und Windenergie berücksichtigt.

Bemerkung: Nur das erneuerbare Energiepotenzial innerhalb Jingmens wird betrachtet, der Import erneuerbarer Energien nach Jingmen wird nicht betrachtet.

Die folgende Tabelle listet alle Energieszenarien auf. Es werden 3 Basiszenarien für die 3 Bedarfsszenarien "Base Case", "Emission Reduction" und "Peak CO2 2030" berechnet. Der Status zeigt an, ob die Berechnungen ausgeführt wurden (grün), fehlerhaft waren (rot), oder noch nicht berechnet wurden (weiß).

Durch Klicken auf den Szenariennamen werden die jeweiligen Varianten angezeigt.

Name	Bedarf	EE Anteil (%)	Status
▼ Basis 1	BaseCase		6/6 Varianten berechnet
Basis 1 Min. Cost	BaseCase	Min. Cost	Calculated
Basis 1 20%	BaseCase	20%	Calculated
Basis 1 40%	BaseCase	40%	Calculated
Basis 1 60%	BaseCase	60%	Calculated
Basis 1 80%	BaseCase	80%	Calculated
Basis 1 100%	BaseCase	100%	Calculated
► Basis 2	EmiRed		5/6 Varianten berechnet
► Basis 3	Peak		6/6 Varianten berechnet

Abbildung 10: Screenshot der Seite „Szenariendefinition“, aufgelistet sind die Varianten, die durch den Button „Neustart“ neu berechnet werden, unter „Status“ wird angezeigt, ob die Berechnung durchgeführt wurde

Szenarienergebnisse

Die Ergebnisse der Optimierungsrechnungen werden auf fünf Unterseiten in unterschiedlichen Grafiken und Tabellen dargestellt. Unter „Energiestatistiken“ sind die wichtigsten Energieindikatoren für das Zieljahr 2030 aufgelistet.

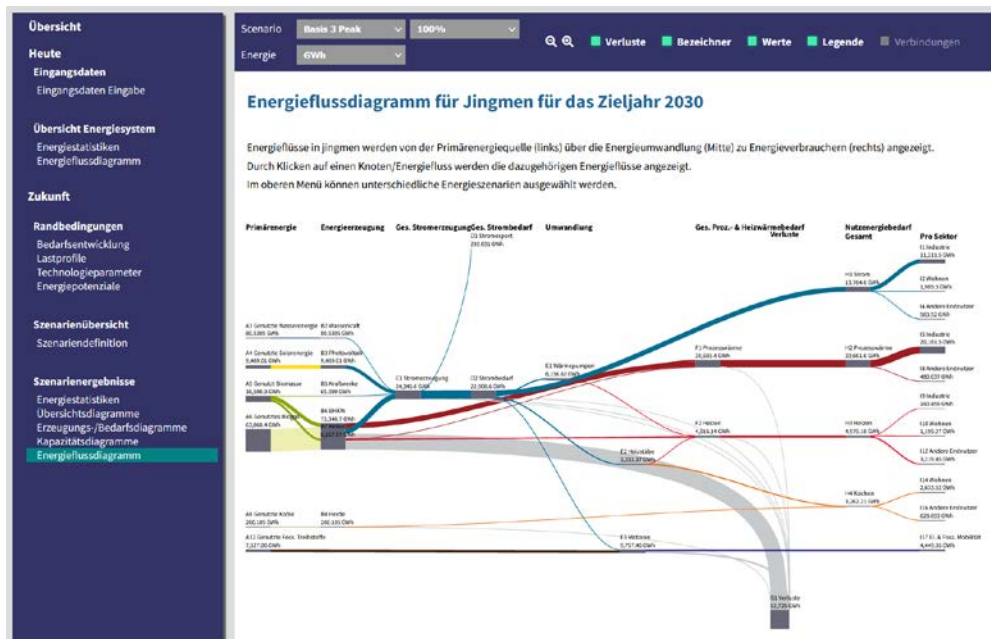
Unter „Erzeugungs-/Bedarfsdiagramme“ sind die Ergebnisse der Optimierungsrechnungen für je ein Bedarfsszenario grafisch dargestellt, in Abbildung 11 für das Bedarfsszenario „Peak“. Den Grafiken ist zu entnehmen, dass der Energiebedarf in diesem Szenario im Jahr 2030 um etwa ein Drittel höher ist als im Referenzjahr 2015. Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien nimmt zuerst die Photovoltaik, dann das Biogas zu, in der 100 % Variante kommt noch die feste Biomasse hinzu. Für alle Varianten werden Wärmespeicher installiert, nur für die Variante 100 % kommen noch zusätzlich elektrische Speicher hinzu.



Inhaltliche Ergebnisse

Abbildung 11: Screenshot der Seite „Erzeugungs-/Bedarfsdiagramme“ mit den Ergebnissen der Optimierungsrechnungen für das Bedarfsszenario „Peak“ mit Anzeige des Energiebedarfs 2015 und 2030 (links), dem Energieerzeugungsmix für die Varianten Min. Cost sowie 20 % bis 100 % Erneuerbare Energien (rechts oben) und der Anzeige der zugehörigen Speicherkapazitäten (unten rechts)

Auf der Seite „Energieflussdiagramm“ werden die verschiedenen Varianten wieder in einem Sankey-Diagramm dargestellt, in Abbildung 12 als Beispiel für das Bedarfsszenario „Peak“ und die Variante „100 %“ erneuerbare Energien. In diesem Fall ist das PV-Potenzial weitgehend ausgeschöpft und das Biogas und die feste Biomasse, die in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen genutzt werden, leisten den größten Beitrag zur Strom- und Wärmeerzeugung.



Inhaltliche Ergebnisse

Abbildung 12: Screenshot der Seite „Energieflussdiagramm“ für das Bedarfsszenario „Peak“ und die Variante „100 %“ Erneuerbare Energien

Das Webtool CHESOT erlaubt somit die umfassende Abbildung des Entwicklungsprozesses von Ziel-Energiesystemen bei großer Transparenz, was die verwendeten Eingangsdaten und Randbedingungen angeht. Als Online-Tool ermöglicht es eine gemeinsame Entwicklung und Optimierung von Szenarien von den Energieexperten mit den jeweiligen Zuständigen in den Städten, da CHESOT hilft, die Vorgehensweise zu erläutern und zu verstehen und erlaubt, kontinuierlich Eingangsdaten und Rahmenbedingungen zu korrigieren und auf die Bedarfe und Wünsche der Stadtexperten anzupassen.

Ein großer Vorteil ist die Dreisprachigkeit, die die internationale Zusammenarbeit, z.B. von deutschen mit chinesischen Experten deutlich erleichtert.

3 Rahmenbedingungen des Vorhabens

3.1 Zahlenmäßiger Nachweis

Das Verbundprojekt wurde unter dem Förderkennzeichen 01DO19004A mit einer Fördersumme von 127.631 EUR für das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Förderquote 100 %) und unter dem FKZ 01DO19004B mit 68.752 EUR für die Mondas GmbH (Förderquote 60 %) gefördert. Aufgrund des Eigenanteils von 45.835 EUR betrug das Budget der Mondas GmbH 114.567 EUR.

3.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Notwendigkeit, dass Städte und Gemeinden Konzepte zur Transformation ihrer Energiesysteme hin zur Klimaneutralität entwickeln, hat sich während der Projektlaufzeit deutlich erhöht. Der Deutsche Bundestag hat die deutschen Klimaschutzziele im Jahr 2021 verschärft und strebt die Klimaneutralität nun schon im Jahr 2045 an [14], der chinesische Präsident Xi Jinping hat vor den Vereinten Nationen im September 2020 bekundet, dass China vor dem Jahr 2060 klimaneutral sein wird [15] und die UN hat bereits im Jahr 2015 im Sustainable Development Goal 11 die Notwendigkeit festgehalten, das Städte bis zum Jahr 2020 u.a. Energiepläne für eine nachhaltige Energieversorgung entwickeln sollen [2]. In Deutschland haben bislang nur ca 15 % der Städte und Gemeinden eine Energie- und THG-Bilanz erstellt, was den Handlungsbedarf auch hier unterstreicht [10]. Chinesische Städte stehen diesbezüglich, soweit das bislang zu ermitteln war, noch ganz am Anfang. Somit ist die Notwendigkeit zur Entwicklung und Vereinheitlichung von Methoden zur Erstellung von Energie- und THG-Bilanzen und vor allem zur Entwicklung von nachhaltigen Energiekonzepten dringender denn je, sowohl in China, als auch in Deutschland.

Der Fokus der Projektarbeiten lag auf der Entwicklung des Webtools CHESOT, das bei künftigen deutsch-chinesischen Projekten eingesetzt werden soll. Parallel dazu wurde eine Energie- und THG-Statistik sowie ein zukunftsweisendes Energiekonzept für die Stadt Jingmen erarbeitet. Die geleisteten Projektarbeiten waren angemessen, da eine wirkungsvolle Unterstützung chinesischer Städte bei der Planung klimafreundlicher Energiesysteme nur durch moderne Werkzeuge möglich ist, die die spezifischen Bedingungen der chinesischen Städte auch berücksichtigen, was durch die Vorgehensweise gewährleistet wurde. Die Projektarbeiten waren aber auch sehr effektiv, da die Entwicklung eines solchen Webtools ein Vielfaches der aufgewandten Ressourcen benötigt hätte, wenn nicht sowohl das Fraunhofer ISE als auch die Mondas GmbH auf umfangreiche Vorarbeiten hätten zurückgreifen können.

3.3

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Rahmenbedingungen des
Vorhabens

Mit dem Projekt wurde die Grundlage geschaffen für den Ausbau der deutsch-chinesischen Zusammenarbeit bei der Erstellung von Energie- und Klimaschutzkonzepten und nachhaltiger Energiesystemanalyse und –planung für Städte und Gemeinden. Der erarbeitete Leitfaden und das Webtool können sowohl von chinesischen Experten genutzt als auch die Grundlage für Beratungsprojekte zur Entwicklung klimaneutraler Energiekonzepte von chinesischen Städten durch die deutschen Projektpartner sein.

Die Abstimmung mit den chinesischen Partnern konnte während der Projektlaufzeit nicht wie geplant durchgeführt werden, da die Webtoolentwicklung zeitaufwändiger war als erwartet. Ursache waren u.a. die deutlich erhöhten Anforderungen, die in der Planungsphase identifiziert worden waren und die Komplexität der Softwarearchitektur deutlich gesteigert haben. Als dann im Jahr 2020 erste Ergebnisse vorlagen, waren aufgrund der COVID 19-Pandemie die Kontakte mit den chinesischen Partnern stark reduziert. Die geplante Durchführung von Reisen und Vorstellung der Entwürfe der Methodik und des Webtools bei Workshops in China in den Jahren 2020 und 2021 musste leider entfallen.

Bei ausreichendem Interesse der chinesischen Seite ist es geplant, den Leitfaden und das Webtool im Jahr 2022 dem chinesischen Forschungspartner IBR und möglicherweise anderen interessierten chinesischen Akteuren in einem oder mehreren Webmeetings vorzustellen und zu klären, ob der erreichte Stand für eine eigenständige Nutzung ausreicht oder ob weitere Entwicklungen und Anpassungen notwendig sind. Soweit die Pandemieentwicklung es zulassen und die Perspektiven der deutsch-chinesischen Zusammenarbeit in diesem Feld optimistisch beurteilt werden, wird auch ein Besuch in China und die Durchführung eines Workshops im Jahr 2022 oder 2023 geprüft.

Inwieweit für ISE und Mondas Anschlussaufträge erwartbar sind, lässt sich aktuell noch nicht abschätzen. Das Webtool ist zwar für eine webbasierte Zusammenarbeit konzipiert, doch erscheint ein Aufbau von neuen Geschäftsbeziehungen ohne persönliche Treffen in China nur schwer möglich zu sein. Insofern wird bis 3 Jahre nach Projektende geprüft, ob sich Möglichkeiten zur Anwendung der Werkzeuge und die Entwicklung neuer Projekte möglich sein wird.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse konnten bereits auf zwei Konferenzen präsentiert und veröffentlicht werden. Die Einreichung einer zusammenfassenden Veröffentlichung der Projekterkenntnisse ist in einem wissenschaftlichen Journal im Jahr 2022 geplant.

3.4

Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Aufgrund der dargestellten wachsenden Relevanz der Fragestellungen sind zunehmende Fortschritte in den verschiedenen Aspekten des Vorhabens bei anderen Stellen in Deutschland, China und weltweit zu verzeichnen. Beispielsweise wurde in Deutschland die Diskussion um die Weiterentwicklung des BSKO Standards mit Unterstützung des Umweltbundesamtes fortgeführt [10]. In China und weltweit gibt es zunehmend wissenschaftliche Untersuchungen zu THG-Emissionen in Städten (siehe z.B. [11, 27, 28, 44, 45]). Die GIZ hat im Rahmen der Internationalen Klimaschutzinitiative Projekte zur Transformation kommunaler Energiesysteme in den Städten Changzhi, Zhengzhou, Dunhuang, Xintai und Jiaxing-Xiuzhou auch in Kooperation mit deutschen Partnern

durchgeführt [46]. Das World Resource Institute hat im März 2021 ein Update seines GHG emissions calculation veröffentlicht [47]. Weiter hat z.B. auch die IRENA in mehreren Publikationen auf Lösungsansätze zur Nutzung erneuerbarer Energien in Städten veröffentlicht [48, 49]. Allerdings sind keine Aktivitäten bekannt, in denen andere Akteure praxisnahe Werkzeuge wie das Webtool CHESOT zu Optimierung von kommunalen Energiesystemen in chinesischen Städten erarbeitet haben.

3.5

Veröffentlichungen der Projektergebnisse

Folgende Veröffentlichungen sind bislang erfolgt:

1. The Key Technology and Demonstration of Comprehensive Study of Urban Energy System and Carbon Emission, Abschlussbericht des chinesischen Partnerprojektes, 2019 veröffentlicht vom Shenzhen Institute of Building Research (IBR), Autoren: Li, Fen; Lai, Yu-Pei; Peng, Rui; Yang, Shi-Qi; Stryi-Hipp, Gerhard; Albert-Seifried, Vicky; Xu-Sigurdsson, Bin [50]
2. Evaluation of the Carbon-Emission Risks for the Urban Energy System: The Example of Jingmen, China, Veröffentlichung im chinesischen Journal Urban Development Studies, Vol. 27, No. 05, Autoren: Lai, Yupei; Li, Fen; Peng, Rui; Albert-Seifried, Vicky; Yang, Shi-Qi [51]
3. Data-Driven Energy Planning in Practice: A Comparison between German and Chinese Cities, Presentation and Paper veröffentlicht bei der 16th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), 10. – 15. Oktober 2021, Dubrovnik/ Kroatien, Autoren: Vicky Albert-Seifried, Bin Xu-Sigurdsson, Gerhard Stryi-Hipp [52]
4. Evidence-based energy system planning for cities: a case study, Abstract und Präsentation bei der International Conference on Sustainable Technology and Development (ICSTD), 31.10. – 02.11.2021, Shenzhen, China, Autoren: Autoren: Vicky Albert-Seifried¹, Fen Li², Gerhard Stryi-Hipp¹, Bin Xu-Sigurdsson¹, Shi Qi Yang² and Marc-André Triebel¹ (¹ Fraunhofer ISE ² Shenzhen Institute of Building Research (IBR)) [53]

Im Jahr 2022 ist die Einreichung einer abschließenden, zusammenfassenden Veröffentlichung der Projektergebnisse in einem wissenschaftlichen Journal vorgesehen.

4 Literaturverzeichnis

- [1] BMWi: *Zahlen und Fakten: Energiedaten, Nationale und internationale Entwicklung* : letzte Aktualisierung 27.09.2021. 2021
- [2] UNITED NATIONS: *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. 2015
- [3] WORLD RESOURCES INSTITUTE: *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities*. 2014
- [4] JOINT RESEARCH CENTRE: *Guidebook `How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP)*. 2018
- [5] OSTOJIC, Dejan R ; BOSE, Ranjan K ; KRAMBECK, Holly ; LIM, Jeanette ; ZHANG, Yabei: *Energizing Green Cities in Southeast Asia: Applying Sustainable Urban Energy and Emissions Planning*. Washington, DC, US, 2013
- [6] KLIMA-BÜNDNIS E.V.: *Klimaschutz-Planer* : Software des Klima-Bündnis zum Monitoring des kommunalen Klimaschutzes. URL <https://www.klimaschutz-planer.de/> – Überprüfungsdatum 2021-03-08
- [7] HANSEWERK: *Raus aus der Grauzone - mit dem HanseWerk Klima-Navi* : Kennen Sie die CO₂-Bilanz Ihrer Kommune? Schaffen Sie Transparenz und identifizieren Sie CO₂-Einsparpotentiale vor Ort! URL <https://www.hansewerk.com/de/fuer-kommunen/klima-navi.html> – Überprüfungsdatum 2021-11-08
- [8] KEA: *CO₂-Bilanzierung mit BICO2BW*. URL <https://www.kea-bw.de/kommunaler-klimaschutz/angebote/co2-bilanzierung> – Überprüfungsdatum 2021-03-08
- [9] ECOSPEED: *ECOSPEED Region* : Transparente Energie- und CO₂-Bilanzierung für Regionen. URL <https://www.ecospeed.ch/region/de/> – Überprüfungsdatum 2021-03-08
- [10] GUGEL, Benjamin ; HERTLE, Hans ; DÜNNEBEIL, Frank ; HERHOFFER, Vanessa: *Weiterentwicklung des kommunalen Bilanzierungsstandards für THG-Emissionen* : Bilanzierungssystematik kommunal - BSKO, Abschlussbericht. Climate Change 19/2020. 2020
- [11] ZHOU, Zhongbao ; LIU, Cenjie ; ZENG, Ximei ; JIANG, Yong ; LIU, Wenbin: *Carbon emission performance evaluation and allocation in Chinese cities*. In: *Journal of Cleaner Production* 172 (2018), S. 1254–1272
- [12] CAI, Bofeng ; CUI, Can ; DA ZHANG ; CAO, Libin ; WU, Pengcheng ; PANG, Lingyun ; ZHANG, Jihong ; DAI, Chunyan: *China city-level greenhouse gas emissions inventory in 2015 and uncertainty analysis*. In: *Applied Energy* 253 (2019), S. 113579
- [13] WORLD RESOURCES INSTITUTE: *Guidance for GHG Accounting Tool for Chinese Cities*. 2013
- [14] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Bundes-Klimaschutzgesetz* (idF v. 18. 8. 2021 BGBl. I S. 3905) (2021)
- [15] VOLCOVICI, Valerie: *China pledges to achieve CO₂ emissions peak before 2030, carbon neutrality before 2060 -Xi*. URL <https://www.reuters.com/article/un-assembly-climatechange-idUSL2N2GJ105> – Überprüfungsdatum 2021-11-12

Rahmenbedingungen des
Vorhabens

- [16] HERTLE, Hans ; DÜNNEBEIL, Frank ; GEBAUER, Caroline ; GUGEL, Benjamin ; HEUER, Carsten ; KUTZNER, Frank ; VOGT, Regine: *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland : Im Rahmen des Vorhabens „Klima- schutz-Planer – Kommunalen Planungs- assistent für Energie und Klimaschutz“*. 2014
- [17] JINGMEN GOVERNMENT: *The 14th Five-Year Plan and Outline of the 2035 Vision (in Chinese)*. Jingmen, 2021
- [18] NATIONAL CLIMATE STRATEGIC CENTRE: *Average carbon dioxide emission factors of regional and provincial electricity grid 2010 (in Chinese)*. 2010
- [19] CLIMATE WATCH: *Historical GHG Emissions*. URL https://www.climate-watchdata.org/ghg-emissions?end_year=2018&gases=all-ghg®ions=CHN&start_year=1990 – Überprüfungsdatum 2021-11-18
- [20] KLIMA-BÜNDNIS E.V.: *30 Jahre Klima-Bündnis : Eine Reise im kommunalen Klimaschutz - Rückblick und Perspektiven*
- [21] VEREINTE NATIONEN: *AGENDA 21 : Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro, Juni 1992*. 1992
- [22] DIFU: *Klimaschutz in Kommunen : Praxisleitfaden, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage*. 2018
- [23] SCHUMACHER, Patrick ; STRYI-HIPP, Gerhard ; RAATZ, Armin: *"Masterplan 100 % Klimaschutz" - Frankfurt am Main : Generalkonzept Kurzfassung*. 2016
- [24] KURZROCK, Björn-Martin ; SPELLERBERG, Annette ; STRYI-HIPP, Gerhard ; ALDENHOFF, Dennis ; EGGERS, Jan-Bleicke ; GAUER, Tillman ; MÜLLER, Philipp Maximilian ; SREBALL, Ann-Christin ; WASSER, Nils-Magnus ; WOHNINSLAND, Lena: *Masterplan 100 % Klimaschutz: Energiewende Kaiserslautern Gemeinsam zum Ziel : Vernetzung von Technologie, Raum und Akteuren 2017-2050*. 2017
- [25] REN 21: *Trends in China : Facts from the Renewables in Cities 2021 Global Status Report*. 2021
- [26] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH: *Energy Concepts for the Pilot Cities Dunhuang, Xintai and Jiaxing-Xiuzhou : Summary of Important Results*. 2018
- [27] SHAN, Yuli ; LIU, Jianghua ; LIU, Zhu ; SHAO, Shuai ; GUAN, Dabo: *An emissions-socioeconomic inventory of Chinese cities*. In: *Scientific Data* 6 (2019), Nr. 1, S. 190027
- [28] SHAN, Yuli ; GUAN, Dabo ; LIU, Jianghua ; MI, Zhifu ; LIU, Zhu ; LIU, Jingru ; SCHROEDER, Heike ; CAI, Bofeng ; CHEN, Yang ; SHAO, Shuai ; ZHANG, Qiang: *Methodology and applications of city level CO2 emission accounts in China*. In: *Journal of Cleaner Production* 161 (2017), S. 1215–1225. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617312453>
- [29] BOSCH & PARTNER: *Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland : BMVI-Online-Publikation, Nr. 08/2015*. 2015
- [30] SCHMIDT, Janine ; MÜHLENHOFF, Jörg: *Erneuerbare Energien 2020 : Potenzialatlas Deutschland*. 2010

- [31] FH NORDHAUSEN ; EKP ENERGIE-KLIMA-PLAN: *Neue Energie für Thüringen : Ergebnisse der Potenzialanalyse*. 2011
- [32] IRENA: *Renewable Energy Prospects for the European Union : Based on the REmap analysis*. 2018
- [33] IRENA: *Renewable Energy Prospects: China : REmap 2030 analysis*. 2014
- [34] DTU: *Global Wind Atlas*. URL <https://globalwindatlas.info/> – Überprüfungsdatum 2021-06-15
- [35] SOLARGIS: *Global Solar Atlas*. URL <https://globalsolaratlas.info/map> – Überprüfungsdatum 2021-06-12
- [36] EGGERS, Jan-Bleicke ; STRYI-HIPP, Gerhard: *KomMod as a tool to support municipalities on their way to becoming Smart Energy Cities*
- [37] CITY OF FRANKFURT AM MAIN: *Masterplan 100 % Climate Protection – Frankfurt am Main: General Concept (Summarised version)*. 2015
- [38] STRYI-HIPP, Gerhard ; TRIEBEL, Marc-André ; EGGERS, Jan-Bleicke ; JANTSCH, Martin ; TAANI, Rania ; BEHRENS, Jochen: *Energy Master Plan for Ulaanbaatar : Final Report*. 2018
- [39] STRYI-HIPP, Gerhard ; STEINGRUBE, Annette ; TRIEBEL, Marc-André ; ALBERT-SEIFRIED, Vicky: *Key features of climate-neutral energy systems for municipalities in different climate zones*. In: *Journal of Physics: Conference Series* 2042 (2021), Nr. 1, S. 12044
- [40] COORS, Volker: *Urbane Energiesysteme und Ressourceneffizienz ENsource*. 2021
- [41] FACEBOOK OPEN SOURCE: *React : A JavaScript library for building user interfaces*. URL <https://reactjs.org/> – Überprüfungsdatum 2021-07-15
- [42] OPENJSFOUNDATION: *Node.js : JavaScript runtime built on Chrome's V8 JavaScript engine*. URL <https://nodejs.org/en/> – Überprüfungsdatum 2021-07-15
- [43] THE ZEROmq AUTHORS: *ZeroMQ : high-performance asynchronous messaging library*. URL <https://zeromq.org/get-started/> – Überprüfungsdatum 2021-07-15
- [44] TONG, Kangkang ; FANG, Andrew ; LI, Yang ; SHI, Lei ; WANG, Yangjun ; WANG, Shuxiao ; RAMASWAMI, Anu: *The collective contribution of Chinese cities to territorial and electricity-related CO2 emissions*. In: *Journal of Cleaner Production* 189 (2018), S. 910–921. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618310503>
- [45] WEI, Ting ; WU, Junliang ; CHEN, Shaoqing: *Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide*. In: *Frontiers in Sustainable Cities* 3 (2021)
- [46] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ) GMBH: *Sino-German Cooperation on Climate Policies*. URL <https://www.giz.de/en/worldwide/78761.html> – Überprüfungsdatum 2021-03-25
- [47] GREENHOUSE GAS PROTOCOL: *The GHG Emissions Calculation Tool : Beta Version, March 2021*. URL <https://ghgprotocol.org/ghg-emissions-calculation-tool> – Überprüfungsdatum 2021-06-20
- [48] IRENA: *Rise of Renewables in Cities : Energy Solutions for the Urban Future*. 2020

- [49] IRENA: *Renewable Energy Policies for Cities: Experiences in China, Uganda and Costa Rica*. Abu Dhabi, 2021
- [50] LI, Fen ; LAI, Yu-Pei ; PENG, Rui ; YANG, Shi-Qi ; STRYI-HIPP, Gerhard ; ALBERT-SEIFRIED, Vicky ; XU-SIGURDSSON, Bin: *The Key Technology and Demonstration of Comprehensive Study of Urban Energy System and Carbon Emission : Final report of the National Key R&D Program of China Nr. 2017YFE0101700*. Shenzhen, China, 2019
- [51] LAI, Yupei ; LI, Fen ; PENG, Rui ; ALBERT-SEIFRIED, Vicky ; YANG, Shi-Qi: *Evaluation of the Carbon-Emission Risks for the Urban Energy System: The Example of Jingmen, China*. 2020
- [52] ALBERT-SEIFRIED, Vicky ; XU-SIGURDSSON, Bin ; STRYI-HIPP, Gerhard: *Data-Driven Energy Planning in Practice: A Study based on German and Chinese Cities : Presentation and Paper at the 16th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), 10. – 15. Oktober 2021, Dubrovnik/ Kroatien*. 2021
- [53] ALBERT-SEIFRIED, Vicky ; FEN, Li ; STRYI-HIPP, Gerhard ; XU-SIGURDSSON, Bin ; YANG, Shi Qi ; TRIEBEL, Marc-André: *Evidence-based energy system planning for cities: a case study : Abstract and Presentation, published at International Conference on Sustainable Technology and Development, 31 Oct. - 3 Nov. 2021, Shenzhen, China*. 2021

Rahmenbedingungen des
Vorhabens
