

HOCHSCHULE LUZERN

ABSCHLUSSARBEIT MAS ENERGIEINGENIEUR GEBÄUDE

**Methoden zur Erstellung angewandter,
regionaler Energiekonzepte –
Üttligen ein Praxisbeispiel.**

Betreuung:
Thomas NUSSBAUMER

Expertin:
Sabine SULZER

Autor:
Thomas SCHLUCK

6. Mai 2016

Luzern, den 6. Mai 2016

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angaben der Quellen, auch der benutzten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht.

Thomas Schluck

*Find out where you are.
Take a small step towards your goal.
Adapt your understanding based on
what you learned.
Repeat.*
– Dave THOMAS

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Kooperation zwischen der BKW Energie AG, der Gemeinde Wohlen bei Bern und der Hochschule Luzern wurde für das Dorf Üttligen ein gesamtheitliches Energiekonzept erstellt. Ein Teilziel dieses Projektes war die Entwicklung und Dokumentation einer einfachen Methode, um regionale Energiekonzepte zu erstellen. Die Entwicklung dieser Methode fußt auf einer Literaturrecherche zur generellen Entwicklung von Methoden wie auch zur Methodenentwicklung von regionalen Energiekonzepten. Die entwickelte Methode ist in dieser Arbeit dokumentiert und mit Praxisbeispielen aus Üttligen illustriert. Die Methode wurde außerdem dahingehend ausgebaut, dass die für sie relevanten Key-Performance-Indicators identifiziert und dokumentiert wurden.

Abstract

In cooperation between the BKW Energie AG, the community of Wohlen and the University of Applied Sciences of Lucerne a holistic energy concept for the village of Üttligen was developed. An objective of this project was the development and documentation of an easy-to-use method for crafting regional and holistic energy concepts. The task is founded in a literature research on general method development as well as on method development for local energy planning. The final developed method is documented within this thesis and illustrated with practical examples from Üttligen. Key-performance-indicators were also identified and documented for this method.

Inhaltsverzeichnis

1	Gegenstand und Ziele dieser Arbeit	1
1.1	Einleitung und Ausgangslage	1
1.2	Inhalt und Ziel dieser Arbeit	1
1.3	Adressierte Interessensgruppen und Abgrenzung	2
1.4	Vorgehensweise	2
2	Theoretische Arbeiten zu Methoden und Konzepten der Problemlösung	3
3	Bestehende Methoden zur Erstellung regionaler Energiekonzepte	4
3.1	Hin zur holistischen Betrachtung – Annex 22, Annex 33 und Annex 51	4
3.1.1	Die Methode – eine Evolution	4
3.2	Regionale Energiekonzepte als Baukastensystem	8
3.3	GIS-basierte Methoden	9
3.4	Energiestadt – Räumliche Energieplanung	9
4	Entwickelte Methode zum Energiekonzept Üttilgens	10
4.1	Ebene 1 – Ausgangslage	10
4.2	Ebene 2 – Zielsetzung	12
4.3	Ebene 3 – Berechnungsgrundlagen	12
4.3.1	Datengrundlagen und Gapanalyse	13
4.3.2	Datenquellen und nutzbringende Informationen	13
4.3.3	Annahmen	15
4.3.4	Werkzeuge	15
4.4	Ebene 4 – Analyse	16
4.4.1	Siedlungstypologie	17
4.4.2	Gebäudestruktur	18
4.4.3	Energieversorgungssystem	19
4.4.4	Energiepotentiale	20
4.5	Ebene 5 – Synthese	21
4.5.1	Gebäudebestandsentwicklung	21
4.5.2	Versorgungskonzepte	22
4.6	Ebene 6 – Variantenbildung	23
4.6.1	Variantenbildung und Bewertung	23
4.7	Ebene 7 – Empfehlung	23
5	KPIs – Key Performance Indicators	24
6	Diskussion	25
6.1	Diskussion zu Kapitel 3 – Bestehende Methoden	25
6.2	Diskussion zu Kapitel 4 – Entwickelte Methode	25
6.3	Diskussion zu Kapitel 5 – KPIs	26
6.4	Ausblick	26

7 Danksagung	I
Curriculum Vitae	VI
Anhang	VII
Anhang A Liste identifizierter Schlüsselkennwerte	VIII
Anhang B Theorie der Methodenentwicklung	XI
B.1 Begrifflichkeiten	XI
B.2 Die Entwicklung von Methoden – verschiedene Vorgehensmodelle	XI
B.3 Selektion eines nutzbringenden theoretischen Ansatzes	XIV
B.4 Informationsqualität	XIV
Anhang C Darstellungen zum Praxisbeispiel Üttligen	XVII

1. Gegenstand und Ziele dieser Arbeit

1.1. Einleitung und Ausgangslage

Der Ausstieg aus der Atomenergie und die Reduktion von Treibhausgasemissionen sind die wesentlichen Ziele der Energiestrategie des Bundes [1]. Um diese Ziele zu erreichen, wird vom Bund auf die konsequente Erschließung der vorhandenen Energieeffizienzpotentiale und den Ausbau der erneuerbaren Energieressourcen gesetzt. Zusätzliches Gewicht wird der Verringerung der Auslandsabhängigkeit und der zusätzlichen, inländischen Wertschöpfung gegeben. Der Grundstein zu dieser Entwicklung wurde aber bereits mit dem im Jahr 1978 vorgestellten Gesamtenergiekonzept für die Schweiz gelegt, das als Reaktion auf die Erdölkrise aus dem Jahr 1973 erarbeitet wurde [2]. Die damals als Postulate aufgeführten mittelfristigen Maßnahmen sind heute wesentlicher Bestandteil der Schweizer Energiepolitik: „Energie sparen“, „Energieträger substituieren“ und „Forschen im Bereich Energie“. Das heute bestehende Forschungskonglomerat SCCER FEEB&D¹ ist Bestandteil der letztgenannten Maßnahme und arbeitet daran, den Energiebedarf des Schweizer Gebäudeparks in den kommenden Jahrzehnten um einen Faktor fünf zu reduzieren, ohne Einbussen bei Funktionalität, Komfort und Wirtschaftlichkeit eingehen zu müssen [3]. Die Hochschule Luzern ist Mitglied in diesem Konglomerat und verfolgt innerhalb dieses Rahmens gemeinsam mit der Gemeinde Wohlten bei Bern als auch der BKW Energie AG ein Projekt, um für die Gegend ein exemplarisches Energiekonzept zu erstellen. Als Studienobjekt wurde das Dorf Üttligen gewählt. Die primären Ziele dieses Projektes sind:

- Die Entwicklung eines möglichst umfassenden Energiekonzeptes für das Dorf Üttligen, inklusive möglicher Geschäftsmodelle, die für die BKW Energie AG interessant sein könnten.
- Die Aufarbeitung und Dokumentation der Methode mit welcher das Energiekonzept erarbeitet wurde. Stakeholder sind sowohl die Gemeindeverwaltung als auch erneut die BKW Energie AG.

Der methodische Aspekt dieses Projektes deckt sich zum Teil mit den an die Hochschule Luzern gestellten Anforderungen innerhalb des SCCER FEEB&D.

1.2. Inhalt und Ziel dieser Arbeit

Inhalt dieser Arbeit ist die generelle Auseinandersetzung mit methodischen Ansätzen regionaler Energieplanung wie auch die konkretisierte Darstellung und Dokumentation der verwendeten Methode im Falle „Üttligen“. Ziele dieser Arbeit sind:

- Die Recherche und Evaluation von bisher entwickelten Methoden.
- Die Identifikation von Schlüsselgrößen².
- Die Ausarbeitung und Dokumentation der Methode und der Schlüsselgrößen im Fall „Üttligen“.

¹Swiss Competence Center for Energy Research – Future Efficient Energy Buildings and Districts

²sog. „key performance indicators (KPI)“

1.3. Adressierte Interessensgruppen und Abgrenzung

Da sich diese Arbeit im Kontext mehrerer Vorhaben mit unterschiedlichen Schwerpunkten bewegt, werden hier explizit die verschiedenen adressierten Interessenten aufgelistet:

- *SCCER FEEB&D*: Das SCCER FEEB&D hat zweierlei Interessen. Es besteht einerseits der Wunsch nach erfolgreichen und dauerhaften Zusammenarbeiten mit seinen Partnern aus Industrie und Gemeinwesen. Andererseits sollen die selbstgesteckten Ziele des Implementationsplans eingehalten werden. Letzteres erfordert die Recherche, Analyse und Synthese von Methoden und Schlüsselgrößen.
- *BKW Energie AG*: Die BKW Energie AG hat großes Interesse am internen Auf- und Ausbau ihrer Kompetenzen und stellt daher die Vorgehensweise bei der Erarbeitung von Energiekonzepten (und Geschäftsmodellen) in den Fokus.
- *Gemeindeverwaltung Wohlen bei Bern*: Die Gemeindeverwaltung wünscht sich ein konkretes Szenario für das Dorf Üttligen und eine Methode, wie diese Erkenntnisse auf andere Dörfer und Quartiere übertragen werden könnten.

Diese Arbeit umfasst somit Methoden zur Erstellung regionaler Energiekonzepte. Methoden zur Auswahl und Erarbeitung von Geschäftsmodellen werden ausgeschlossen und sozio-ökonomische Aspekte höchstens ergänzend thematisiert (keine Methode zur Auswahl und Bewertung von Aspekten wie z.B. der „Akzeptanz“, keine Stakeholder-Betrachtung). Mobilität wird nicht betrachtet.

Die Ortschaft „Üttligen“ betreffend, werden die Systemgrenzen auf das Dorf inklusive der Siedlung „Schüpfenried“ gelegt, wobei die maximale Granularität auf der Gebäudeebene liegt.

1.4. Vorgehensweise

Diese Arbeit folgt in ihrem prinzipiellen Ansatz dem Vorschlag von Pahl et al. [4], „vom Abstrakten zum Konkreten“ zu gehen. Daher werden zunächst generelle Problemlösungsansätze diskutiert, die heute in der Disziplin des Systems engineering verortet werden. Eine Auswahl der recherchierten Methoden zur Erstellung von Energiekonzepten werden vorgestellt und evaluiert. Es werden dann für das Dorf Üttligen die Methodik herausgearbeitet und dokumentiert. Schließlich werden die für ein Energiekonzept als wichtig erkannten KPIs aufgelistet. In einem letzten Schritt erfolgt eine Selektion einer für das vorliegende Praxisbeispiel gut geeigneten Methode.

2. Theoretische Arbeiten zu Methoden und Konzepten der Problemlösung

Die Methode – ein Vehikel seinen Verstand gut zu gebrauchen und die Wahrheit zu suchen. Hierin lag für René Descartes die Bedeutsamkeit des methodischen Vorgehens [5] und brachte dies auch in folgendem Zitat zum Ausdruck [6]:

„ZUR ERFORSCHUNG DER WAHRHEIT BEDARF ES NOTWENDIG DER METHODE.“

Hierbei spricht Descartes natürlich von der Methode selbst im abstraktesten Sinne, wie sie in dieser Arbeit nicht verstanden werden soll. Wenn in diesem Werk von Methode oder Methodik die Rede ist, so ist damit im abstraktesten Sinne eine Vorgehensweise gemeint, die inhärent den Zweck verfolgt ein Problem zu lösen. In diesem Kapitel sollen einige allgemeine Methoden und Modelle zur Problemlösung kurz vorgestellt und einige Begrifflichkeiten erläutert werden, ohne schon spezifisch auf den Aspekt der regionalen Energieplanung bzw. der Erstellung eines regionalen Energiekonzeptes einzugehen. Auf die teils philosophischen Grundlagen der Methoden wird nicht eingegangen. Hier seien z.B. [7, 8] aber auch [9] als Ausgangspunkt empfohlen.

Ein theoretischer Unterbau zur Problemlösung findet sich im sog. *Systems Engineering*, welches auch als ein verallgemeinerter Problemlösungsansatz verstanden wird [10]. Umfassende und einführende Werke zum Systems Engineering sind u.a. [11–13]. Eine prägnantere Darstellung findet sich in [14].

Grundprämisse des Systems engineering ist die Betrachtung des Untersuchungsgegenstands als System, d.h. „als Gesamtheit von Elementen, die zueinander Beziehungen aufweisen und gegen die Umwelt abgegrenzt sind“ [14]. Grundphilosophie ist nach Winzer [12], dass der Mensch und alles was ihn umgibt Systemcharakter habe und sich daraus die Allgemeingültigkeit dieses Lösungsansatzes ableite. Ein Gedanke, der anfänglich besonders von Vesters [7] mit seiner Forderung nach „vernetztem Denken“ popularisiert wurde und heute u.a. als „Systemdenken“ bekannt ist. Die Realität soll demnach mit Systemverständnis strukturiert und komplexe Sachverhalte in deren Einzelaspekte und Vernetzungen untereinander zerlegt werden. Ziel dieses Vorgehen ist die Reduktion oder gar Vermeidung von Komplexität und Kompliziertheit [11, 12].

Näheres zur Methodenentwicklung und deren Theorie finden sich im Anhang B

3. Bestehende Methoden zur Erstellung regionaler Energiekonzepte

Berichte, Artikel und Empfehlungen darüber wie das Energiesystem einer Stadt oder Gemeinde geplant und umgesetzt werden soll, lassen sich aufgrund ihres Schwerpunktes grob in zwei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe fokussiert methodisch auf die technische Erarbeitung und Umsetzung eines Energiekonzeptes und schließlich Energieplans, während die zweite Gruppe sich der Stakeholder-Problematik annimmt. Da sozio-ökonomische Aspekte nicht Inhalt dieser Arbeit sind, wurden Publikationen der Gruppe zwei nicht in Betracht gezogen. Publikationen die in einem holistischen Ansatz beide Aspekte betrachten, wurden nicht ausgeschlossen, jedoch nur im Hinblick auf ihre technischen Ansätze hin untersucht.

3.1. Hin zur holistischen Betrachtung – Annex 22, Annex 33 und Annex 51

Ein derart holistischer Ansatz wurde über die Jahre in drei Annexes des „Energy and Buildings and Communities Program“, der Internationalen Energieagentur entwickelt. Ausgangspunkt stellte das 1994 vorgestellte Annex 22 [15] dar, das mit dem Annex 33 [16, 17] aus dem Jahr 2000 geschärft und dem Annex 51 [18] aus dem Jahr 2013 erweitert wurde. Untersuchungsgegenstand ist das „Local Energy Planning“ (LEP), dessen Umsetzung, Überprüfung und Überwachung. Im Verlaufe dieser über Jahrzehnte andauernden Untersuchung verlagerte sich der Schwerpunkt von ursprünglich klar technischen (Annex 22 und Annex 33) zu immer mehr sozio-ökonomischen Fragestellungen (Annex 51).

So beschäftigt sich Annex 22 in seinen Teilaufgaben mit den damals zur Verfügung stehenden Planungswerkzeugen, Modellen um die Auswirkungen von Energiesystemen auf die Umwelt abzuschätzen, der öffentlichen Akzeptanz und schließlich der Umsetzung eines erarbeiteten Planes. Annex 33 fokussierte stärker auf den methodischen Ansatz und erweiterte die in Annex 22 vorgestellte Methode des LEP um einen systemischen Ansatz, weshalb in diesem vom „Advanced Local Energy Planning“ (ALEP) gesprochen wird. Annex 55 weitet den Blick nochmals und adressiert zusätzlich den Einfluss von Politik, Administration und Stakeholdern. Die Methodik der LEP wird nur noch marginal adressiert.

3.1.1. Die Methode – eine Evolution

Annex 22 – Local Energy Planning

Die Grundidee des LEP sei, für die Versorgung eines definierten Gebietes eine umweltfreundliche und kosteneffiziente Lösung zu entwickeln [15]. Die Systemgrenzen des untersuchten Gebietes seien durch die administrative Grenzen eines Gebietes gegeben. Der Planungsvorgang wird in die folgenden vier grundlegende Schritte unterteilt¹ (vergleiche auch Abbildung 3.1):

1. **Analyse der aktuellen Situation:** Auf Basis einer Situationsanalyse wird ein Zielsystem entwickelt, dass neben den Zielen selbst Messkriterien (Maße und Indikatoren) und

¹Schritte eins bis drei sind noch weiter aufgelöst und finden sich in [15].

Messmethoden bzw. -werkzeuge beinhaltet. Hier seien alle Stakeholder von Beginn an miteinzubeziehen.

2. **Entwicklung eines Rahmenkonzeptes:** Es wird ein Maßnahmenkatalog erarbeitet und die Maßnahmen für die Umsetzung priorisiert.
3. **Detaillierte Analyse von Einzelmaßnahmen:** Als relevant identifizierte Subsysteme oder Einzelmaßnahmen werden genauer untersucht. Die Ergebnisse werden ins Zielsystem zurückgespeist.
4. **Definition des Langzeitplans:** Das erarbeitete Konzept wird in Umsetzungs-Phasen unterteilt.

Jeder der methodischen Schritte sei außerdem durch prozedurale Schritte zu begleiten, um Interessen abzuholen, Konflikte zu lösen und das Konzept auf Kurs zu halten. Eine nähere Definition dieser Schritte findet sich nicht.

Als mögliche zu ergreifende Verbesserungsmaßnahmen werden genannt:

- Der Einsatz neuer Technologien
- Das Energieeinsparpotential bestehender Systeme
- Die Nutzung neuer Energiequellen
- Organisatorische Maßnahmen, die das Verhalten beeinflussen

Jank et al. stellten bereits in dieser ersten Arbeit fest, dass die betrachtete Aufgabe Systemcharakter habe und im Grunde auch einen derartigen Lösungsansatz erfordere. Soweit möglich und den Autoren als praktikabel erscheinend, wurden systemische Ansätze in die Methode integriert. Hier sind vor allem die Forderungen nach einem Zielsystem, einem Maßnahmenkatalog, einer robusten Lösung und dem Arbeiten in Varianten und mehreren Iterationen (Feedback-Prinzip) zu nennen. Es wird betont, dass die Optimierung verschiedener Einzelsysteme i.d.R. zu einem suboptimalen Gesamtsystem führe und erst eine gesamtheitliche Optimierung zielführend sei. Um dies zu erreichen, seien Werkzeuge einzusetzen, die das System ganzheitlich erfassen und simulieren und idealerweise auch optimieren². Außerdem wird sehr deutlich herausgearbeitet wie wichtig die Autoren die Modellierung des untersuchten Systems sehen. Es sei durch iterative Modellierung möglich, einen Lernprozess anzustoßen und am Laufen zu halten, der ein besseres Verständnis für das System unter den Beteiligten schaffe und dadurch die Akzeptanz der schließlich gefundenen Lösung steigere.

Annex 33 – Advanced Local Energy Planning

Der Grundprämisse von Annex 22 folgend wurde das Local Energy Planning (LEP) im Annex 33 zum Advanced Local Energy Planning (ALEP) ausgebaut [16, 17]. Abbildung 3.1 und 3.2 zeigen den LEP und ALEP Ansatz im Vergleich. Erklärtes Ziel des ALEP-Ansatzes sei es, eine gesamtheitliche Systemanalyse zu ermöglichen, und unter Einbezug aller Stakeholder und Interessengruppen optimale Lösungen zu erarbeiten. Hierzu sollen Energieplaner ein rechnerbasiertes Modell des Energiesystems erstellen, das diese in die Lage versetzt das Systemverhalten gesamthaft zu simulieren und optimieren. Dieses Vorgehen trage nicht nur zu einer qualitativ besseren technischen Planung bei, sondern auch zu sozialen Aspekten, u.a. z.B. der internen Kommunikation, der Gruppendynamiken und der Konfliktlösung. Ein Energiesystemmodell, das Energieflüsse und -kosten³ abbilde, könne behilflich sein bei der Etablierung einer gemeinsamen Struktur und

²Ein Repository solcher Werkzeuge wird derzeit in [19] aufgebaut.

³Ressourcen und Schadstoffe werden interessanterweise in dieser Definition nicht erwähnt. 3.2 – S.17

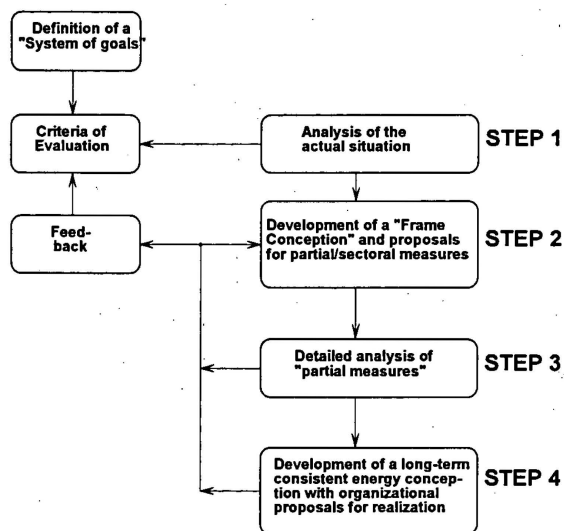


Abbildung 3.1. – Ursprünglich erarbeitete Methode des Local Energy Plannings (LEP) aus Annex 22. [15]

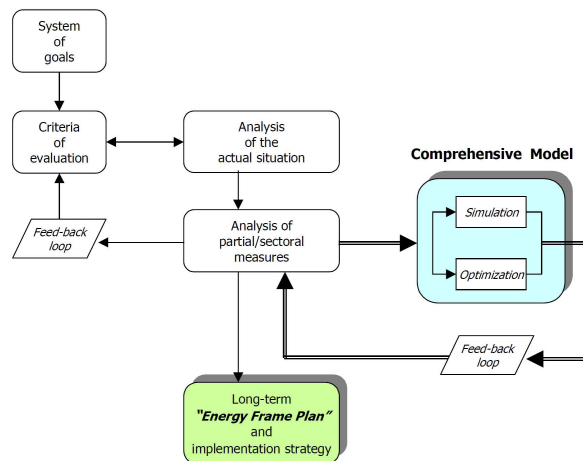


Abbildung 3.2. – Methode des Advanced Local Energy Planning (ALEP) aus Annex 33 [16]. Die Schritte zwei und drei des LEP werden durch den Iterativen Einsatz eines computerbasierten Energiesystemmodell ersetzt.

Sprache. Es könne von allen beteiligten Gruppen genutzt werden als neutraler Bezugspunkt und Prüfstein und auch zur Zusammenführung der Daten im Sinne eines Datenmanagement. Die (technische) Planung soll mit der Analyse des Gesamtsystems beginnen und sukzessive relevante Subsysteme miteinbeziehen. Die Systemgrenzen werden wie beim LEP-Ansatz durch administrative Grenzen vorgegeben. Eine grundlegende Entscheidung ist der Modus operandi nachdem eine ALEP ablaufen soll. Die Autoren unterscheiden zwischen einer strategisch-gesamtheitlichen und einer projektbezogenen Planung. Diese Unterscheidung trägt der Geschichte eines Systems Rechnung. Eine strategisch-gesamtheitliche Betrachtung zielt auf optimale Lösungen des Gesamtsystems während beim projektbezogenen Ansatz die Betrachtung des Gesamtsystems nur gemacht wird, um einzelne und i.d.R. schon laufende Projekte zu optimieren. In letzterem Ansatz liefert die gesamthafte Modellierung im wesentlichen Randbedingungen für Einzelmodellierungen. Rank et al. betonen jedoch, dass der strategisch-gesamtheitliche Ansatz dem projektbezogenen Ansatz vorzuziehen sei, und zwar schon allein aufgrund der folgenden Eigenschaften solcher Energiesysteme:

1. Es gibt verschiedene Akteure mit verschiedenen Vorstellungen einer „optimalen“ Lösung.
2. Die Infrastruktur hat eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten.
3. Es gibt verschiedenste Optionen an Versorgungstechnologien und Energieträgern aus denen gewählt werden kann.
4. Das System besteht aus in Wechselwirkung stehenden Subsystemen.
5. Maßnahmen auf der Versorgungsseite stehen in Konkurrenz zu Energieeinsparmaßnahmen auf der Verbrauchsseite.
6. Unsichere sozio-ökonomischen Faktoren (Wirtschafts- und Preisentwicklung, Steuern, Gesetzgebung)
7. Änderungen am Energiesystem betreffen Bewohner/innen, Industrie und Umwelt.

Während Jank et al. es beim LEP-Ansatz dem Planer überließen, die zeitliche Ein- und Aufteilung des methodischen Ablaufes zu übernehmen, so besteht im ALEP-Ansatz bereits eine detaillierte

Phaseneinteilung. Dies scheint dem Umstand geschuldet, dass die Einbindung von Stakeholdern mehr Gewicht bekommen hat und diese sich viel zeitkritischer darstellt als etwa die Betrachtung des technischen Energiesystems. Die Phasen des Vorgehens sind:

1. **Präparation:** Definieren der Aufgabe, des organisatorischen Aufbaus und des finanziellen Rahmens.
2. **Orientierung:** Analyse des aktuellen Systemzustands und sammeln der Informationen aller Stakeholder. Entwickeln einer detaillierten Beschreibung von Problemen, Zielen, Systemgrenzen, möglichen oder wichtigen Szenarien und Maßnahmen und der groben Struktur des Energiesystems.
3. **Hauptstudie:**
 - a) Modelldefinition (ggf. schon in Orientierungsphase geschehen)
 - b) Zusammenstellen der Datenbasis.
 - c) Modellkalibration an vorhandenen Daten und Simulation eines Business-as-usual-Falls. Dann entwickeln von Szenarien und Maßnahmen auf Basis der Ziele und Vorgaben.
 - d) Modellierung von Subsystemen.
 - e) Sensitivitätsanalyse um die Lösungen auf Robustheit zu testen.
4. **Evaluations- und Entscheidungsphase:** Zusammenstellen der gefundenen Lösungen und Aufbereiten für die Präsentation vor den Entscheidungsträgern.
5. **Implementation**
6. **Monitoring**

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem die Phasen eins bis vier von Relevanz, denen die Autoren ein extra Kapitel zuordnen und sich mit der Analyse des „technischen Energiesystems“ (TES) befassen. Ein TES umfasse alle Energietechnologien denen von außen Energie zufließt, von denen nach außen Energie abfließt, zwischen denen Energie fließt oder von denen Energie zum Endverbraucher abfließt. Die vorgegebenen Ziele sollten hierarchisch, quantitativ, konsistent und realistisch sein. Um eine Analyse durchführen zu können, müsse ein Modell entwickelt werden, wobei drei verschiedene Betrachtungsweisen den Autoren nutzbringend scheinen:

- **Das Reference Energy System (RES)**, das den Energiefluss von der Primärquelle über alle Umwandlungspunkte bis hin zum Endverbraucher darstellt [20].
- **Die Lastkurve**, die den Verbrauch zeitaufgelöst wiedergibt. Eine alternative Darstellung der Lastkurve ist die **Dauerkurve**, die mit dem Zeitpunkt des höchsten Verbrauchs beginnt und dem des niedrigsten Verbrauchs endet.
- **Geoinformationssysteme (GIS)**, die orts aufgelöste Daten verwalten und ebenenweise auf Karten darstellen.

Möglicherweise ist bereits vor der eigentlichen Zieldefinition in Phase zwei ein RES zu erstellen, um eine Diskussion um die Ziele zu erleichtern.

Die zur Analyse von Rank et al. zugrundezulegenden Daten sind:

- Die Energiebilanzen ggf. dargestellt im RES.
- Die Emissionen des Energiesystems.
- Die Nutzenergie insgesamt und aufgeteilt nach Sektoren oder nach Verbraucher wie z.B. Raumheizung, Warmwasser, Ventilation, Licht, Kochen, Industrieprozesse, Heizen, Kühlen usw.

- Die Art der Wärmeerzeugung und deren Effizienzen nach Sektoren oder Verbraucher.
- Das bestehende Verteilsystem dargestellt im RES und GIS.
- Die vorhandenen Produktionstechnologien.
- Die verwendeten Energieträger wie z.B. Öl, Gas, Kohle, Biomasse.

Nach dem Erstellen eines Energiesystemmodells solle eine Pilotstudie durchgeführt werden und der ganze Analyseprozess einmal durchlaufen werden. Innerhalb dieses Prozesses müsse evaluiert werden welcher Zeithorizont in Betracht gezogen wird, welche Szenarien verfolgt und welches der Szenarien als Vergleichsszenario genutzt werde. Strategien, die sich in mehreren Szenarien mehrfach bewähren und nicht von singulären Entscheidungen oder Konstellationen abhängen („Wenn–Dann“-Fälle), seien als robust anzusehen und weiterzuverfolgen.

Annex 51 – Differenzierung des Local Energy Planning

In Annex 51 verschiebt sich der Fokus klar hin zur strategischen Planung und dem übergeordnete Kontext der lokalen Energieplanung. Der Umsetzungsprozess auf regionaler und kommunaler Ebene mit all seinen Interessensgruppen und den Wechselwirkungen mit dem übergeordneten politischen Rahmen steht im Zentrum dieser Studie. Die lokale Energieplanung findet in dieser Untersuchung eine weitere Differenzierung, und zwar in die städtisch-kommunale Energieplanung (MLEP - municipal LEP) und die quartiersbezogene Energieplanung (NLEP - neighbourhood LEP). Während die MLEP das Ziel verfolgt, einen übergeordneten, kommunalen Masterplan zu erstellen, der z.B. eine städtisch-kommunale Planungspolitik und Strategien und Maßnahmen zur Erfüllung nationaler Ziele festschreibt, entspricht die NLEP in ihren Zielen und Methoden dem in Annex 33 erarbeiteten ALEP. Da der Fokus stark auf den sozio-ökonomischen und politischen Aspekten liegt, wird hier maßgebend auf die Originalliteratur verwiesen [18].

Besonders erwähnenswert mit Blick auf die NLEP bzw. regionale Energieplanung ist das innerhalb des Annex 51 und dem Verbundprojekt „EnEff:Stadt“ am Fraunhoferinstitut für Bauphysik (IBP) erarbeitete Entscheidungswerkzeug D-ECA. Es beinhaltet eine ausführliche Dokumentation der zugrundeliegenden Fallstudien, eine Dokumentation möglicher Strategien und Technologien, ein Werkzeug zur schnellen Energiebewertung von Quartieren und Arealen auf der Basis von Gebäudearchetypen und vorkonfigurierte Einstellungen, wie auch ein Werkzeug zur Leistungseinstufung.

3.2. Regionale Energiekonzepte als Baukastensystem

Die Idee verschiedene Gebäudearchetypen zu definieren, um schnell eine Übersicht und Einschätzung eines Quartiers oder Areals zu bekommen und generalisierte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz aufzuzeigen wird u.a. im Rahmen des laufenden TABULA Verbundprojektes verfolgt [21, 22]. Zentraler Punkt ist hier die Einteilung von Gebäuden in energetische Kategorien, die typische Energiekennzahlen oder energetisch relevante bauphysikalische Werte beinhalten. Dieser Ansatz wird von Dettmar, Hegger und Martin in [23, 24] im Rahmen des Verbundprojektes „EnEff:Stadt“ zur Methode ausgebaut. Der Anwender nutzt die von ihnen definierten „energetische Stadtraumtypen“ um im Baukastensystem eine vorliegende Stadt, Siedlung, Quartier oder Areal morphologisch nachzubilden. Die Darstellung ist geographisch. Ähnliche Einzelgebäude werden zu Stadtausschnitten zusammengefasst, und falls nötig mit spezifischen Einzelelementen (wie z.B. einer Kirche, Schule o.ä.) ergänzt. Diese Methode soll in den kommenden Jahren erweitert werden und dann auch die regional zur Verfügung stehenden Energiepotentiale, sowie die Gebäudetechnik umfassen. Ebenfalls soll ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden.

In der Schweiz wurde im Rahmen des „Annex 50 – Prefabricated Systems for Low Energy

Renovation of Residential Buildings“ ebenfalls eine Gebäudetypologie und Morphologie entwickelt, jedoch mit dem Ziel Renovierungsmaßnahmen voranzutreiben [25]. Eine Einteilung in energetische Klassen fand in dieser Untersuchung nicht statt und existiert nach bisheriger Kenntnis für die Schweiz auch nicht.

3.3. GIS-basierte Methoden

Die räumliche Verteilung dezentraler Energiesysteme ist ein wichtiger Faktor, der bei einer regionalen Energieplanung zu beachten ist. Daher kommt der geographischen Darstellung eine besondere Bedeutung zukommt. Um einen möglichst guten Abgleich der zur Verfügung stehenden Energiepotentiale mit den bereitzustellenden Energiedienstleistungen zu erreichen, wurden Methoden verfolgt, die das Ziel haben Geoinformationssysteme, Energiesystemmodellierung und Prozessintegration zu vereinen. Eine der aktuellsten Arbeiten für die Schweiz stammt von Girardin [26] und ist auch Grundlage für die Arbeiten des CREM [27]. Mit Hilfe der GIS-basierten Energieplanung erstellt das CREM heute Energie- und Emissionsinventare in Zusammenarbeit mit Gemeinden und simuliert Energieszenarien. Die Berechnungsansätze die für den Praxisfall Üttligen verwendet wurden decken sich z.T., weshalb hier auf Kapitel 4 und die Originalliteratur verwiesen sei.

3.4. Energiestadt – Räumliche Energieplanung

EnergieSchweiz für Gemeinden hat mit der „Räumlichen Energieplanung“ eine Methode erarbeitet, die sich direkt an Gemeinden richtet und deren Fokus auf der kommunalen Wärmebereitstellung liegt. In acht Schritten wird sehr verständlich durch den Planungsprozess geführt. Es handelt sich dabei um ein klassisches Kaskaden- oder Wasserfallmodell. Besonders erwähnenswert sind die Darstellung von Indikatoren für Wärmeverbunde und die klare Priorisierung bei der Auswahl von Wärmequellen.

4. Entwickelte Methode zum Energiekonzept Üttligens

Dieses Kapitel stellt die Methode vor, die zur Erstellung des Energiekonzeptes für das Dorf Üttligen erarbeitet wurde, und zwar in ihren Teilschritten, Annahmen, Analysen, Berechnungen, sowie den Selektionskriterien. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem Lösungsprozess und den zugrundeliegenden Ideen, die anhand der Resultate und Analysen des Praxisbeispiels illustriert werden. Die Übertragbarkeit und die damit einhergehende generalisierte Darstellung ist eine erklärte Anforderung an die Methode. Um dieser Vorgabe Rechnung zu tragen, wurde einerseits versucht die Methode in ihrer Vorgehensweise möglichst breit und auch über das hier zugrundeliegende Praxisbeispiel hinaus darzustellen. Andererseits wurde angestrebt mit der Methode nicht einen weiteren Grad an Komplexität einzuführen, sondern diese möglichst einfach beherrschbar zu gestalten.

Abbildung 4.1 zeigt die im Laufe des Projektes entwickelte Methode in seiner Übersicht. Die Methode beginnt mit dem Baustein „Ausgangslage“ und setzt sich ebenenweise von oben nach unten fort. Dies impliziert eine Chronologie des Vorgehens wie man sie von Wasserfall- bzw. Kaskadenmodellen kennt. Im Gegensatz zu reinen Kaskadenmodellen wurde jedoch eine zweite Dimension hinzugefügt, sodass jede horizontale Zeile einer Ebene entspricht und auch mehrere Schritte beinhalten kann. Die grundlegende Idee ist, dass in Ebenen zusammengefasste Bausteine inhaltlich voneinander unabhängig und daher ggf. von mehreren Planern parallel bearbeitet werden können. Die Methode ist variantenbasiert und deskriptiv, Iterationen und Feedback zu darüber liegenden Ebenen werden als zulässige und wichtige Elemente verstanden. Dies liegt auch darin begründet, dass projektspezifisch unterschiedliche Iterations- und Feedbackschleifen durchlaufen werden müssen und die Methode je nach Projekt eine Individualisierung erfährt.

4.1. Ebene 1 – Ausgangslage

Methodenebene eins besteht aus einem Baustein.

In diesem Baustein werden Vorarbeiten geleistet und die Ausgangslage sondiert.

Sofern es noch nicht in Vorarbeiten geschehen ist, werden zunächst der organisatorische Aufbau und die Kommunikationswege definiert. Der Planer muss ein übersichtliches Bild bekommen über die verschiedenen Interessensgruppen, Entscheidungsträger und Bezugspersonen, die im Laufe des Projekts z.B. zur Datenerhebung kontaktiert werden können. Nebst den verschiedenen Interessen sollte geklärt werden, ob es eine Vision, ein Leitbild oder ähnliche Vorgaben gibt. Diese können erste Anhaltspunkte für die spätere Definition der Ziele sein oder diese sogar vorweg nehmen. Es werden dann die Systemgrenzen gezogen und die Systeme definiert: Zum einen das geographische System, das kartographisch festgelegt werden kann, und zum anderen das energietechnische System mit seinen Bilanzierungsgrenzen. Des Weiteren wird der zu betrachtende Zeithorizont definiert. Zuletzt stellt sich die Frage nach Randbedingungen und Schnittstellen zur Umgebung des Systems. Bestehen z.B. politische Vorgaben des Kantons oder des Bundes, etc.?

Im Praxisbeispiel *Wohlen (BE)* könnte die Ausgangslage etwa wie folgend beschrieben werden: Die Gemeinde Wohlen bei Bern hat sich ein Leitbild zur Energiepolitik gegeben, dass die

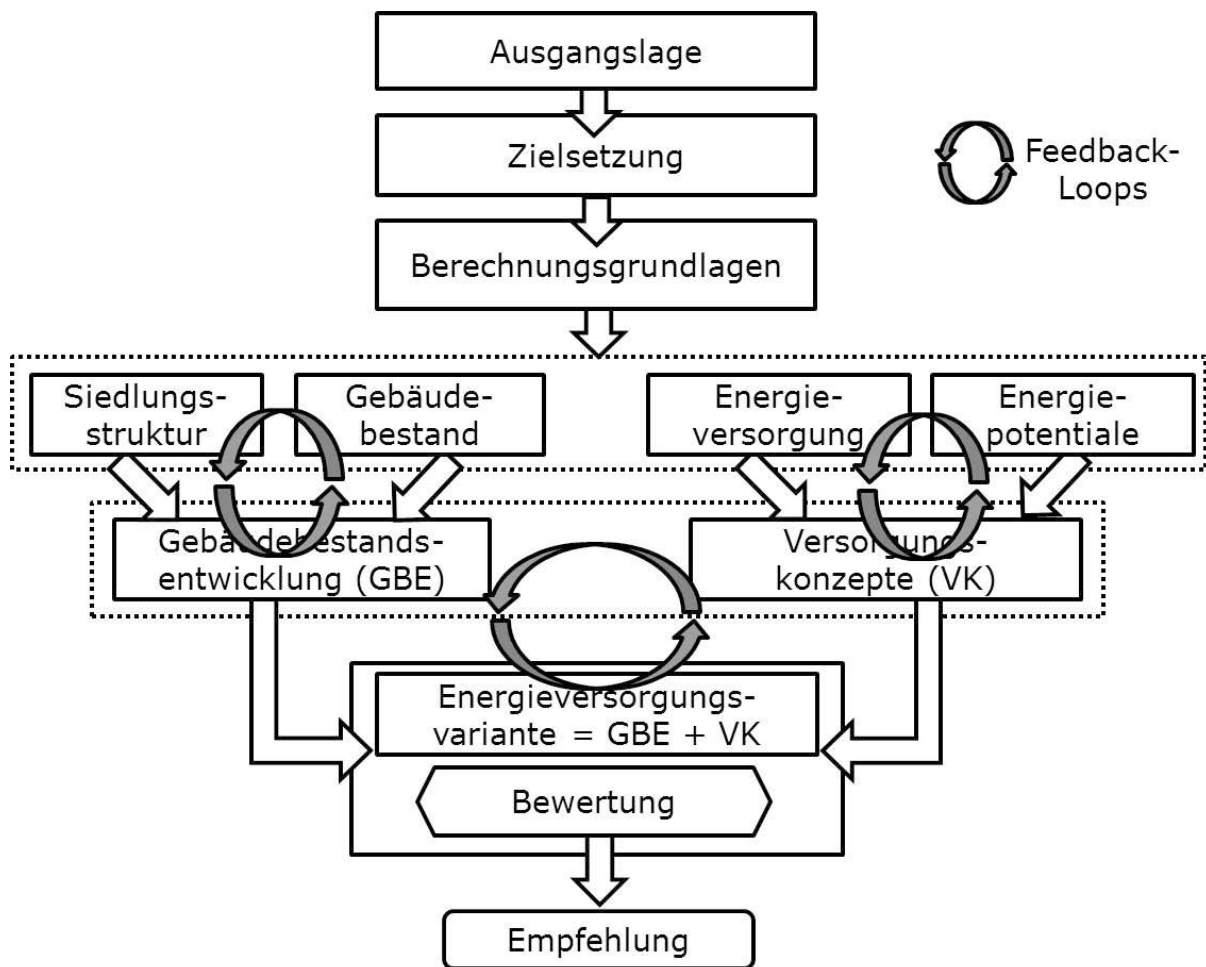


Abbildung 4.1. – Die Methode nach der das Energiekonzept für das Dorf Üttligen entwickelt wurde. Zwischen den verschiedenen Bausteinen ergeben sich mehrere Iterationen. Drei Beispiele für mögliche und höchstwahrscheinliche Iterationen wurden eingezeichnet.

Ziele des Bundes und des Kantons Bern unterstützt. Seit 1999 ist die Gemeinde Mitglied des „Energienstadt“-Programms und mittlerweile auf bestem Wege zum European Energy Award GOLD, eine Auszeichnung, die eine 75%-ige Erfüllung aller Massnahmen des beim Zertifizierungsverfahren erstellten Katalogs voraussetzt [28, 29]. Es ist erklärtes Ziel und Vision eine Vorreiterrolle im Bereich der Nachhaltigkeit zu spielen. Dieses Engagement findet in einigen Vorzeigeprojekten und Massnahmen ihren Ausdruck. So wurde z.B. für gemeindeeigene Liegenschaften der Gebäudestandard 2011 eingeführt [30] und ein Solarkataster erstellt [31]. Private Initiativen wie das Solarkraftwerk Wohlen (SOKW) [32] oder der Bau von Wärmeverbunden, die erneuerbare Energiequellen einsetzen, werden von der Gemeinde unterstützt (wie z.B. [33]). Auch Forschungsmaßnahmen, sei es im Bereich Photovoltaik seitens der BKW Energie AG oder im Bereich holistische Konzepte seitens der Hochschule Luzern werden bereitwillig unterstützt und koordiniert.

Die Rolle des Entscheidungsträger liegt hier deutlich bei der Gemeindeverwaltung. Diese stellt bei Bedarf auch den Kontakt zu den jeweiligen Gemeindestellen her. Aufgrund dieses großen Engagements bestehen auch viele verschiedene Interessensgruppen, die einem übergeordneten Energiekonzept zum Teil skeptisch gegenüberstehen.

4.2. Ebene 2 – Zielsetzung

Methodenebene zwei besteht aus einem Baustein.

In diesem Baustein werden die Ziele für die Konzeptarbeit definiert.

Die Erkenntnisse aus dem Baustein „Ausgangslage“ werden der Zieldefinition zugrunde gelegt. Falls zu wenig über das System bekannt ist oder nur unklare, ungenügende oder keine Vorgaben in Bezug zur regionalen Energieversorgung bestehen, so können zunächst vorläufige Ziele bestimmt werden. Diese dienen als Ausgangslage, um in der Methode bis und einschließlich zur Ebene vier weiterzugehen, in der die aktuelle Situation analysiert wird. Mit den Erkenntnissen der IST-Analyse wird der Methodendurchlauf erneut gestartet, bis man iterativ zu Zielen kommt, die „SMART“¹ sind. Es erwies sich als hilfreich, sich zu überlegen welchen Aspekt ein Ziel abdeckt. Werden zeitliche, örtliche oder inhaltliche Vorgaben gemacht? Je nachdem verschiebt sich der Fokus und die Gewichtung der Untersuchung, die auf unterschiedliche Evaluationskriterien hinführen und auch unterschiedliche Werkzeuge notwendig machen. Schließlich sollte ein Zielsystem erreicht werden, wie es von Jank in [15] vorgeschlagen wurde. Dieses sollte beinhalten:

- Ziele (geordnet nach Ort, Zeit, Inhalt)
- Messgrößen
- Messmethode

Im Falle *Wohlen (BE)* waren die Ziele bereits durch die Teilnahme der Gemeinde am Energiestadt-Label definiert, sodass eine langwierige Zielfindung nicht nötig wurde. Neben dem Maßnahmenkatalog der im Rahmen des Energiestadt-Labels für jede Gemeinde individuell definiert wird, gelten die übergeordneten Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft² [37] zu Treibhausgasemissionen und den Verbräuchen erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Primärenergie [38–40] bis zum Jahr 2050. Ein nicht zu unterschätzender Aspekt an diesen Zielen ist deren breite Etablierung. Dies ist sicherlich auch darin begründet, dass die Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft von der SIA in ihrem Merkblatt 2040 [38] festgeschrieben wurden. Die Ziele zur Primärenergie total finden sich jedoch überraschenderweise nicht in diesem Merkblatt was zum Teil dazu führt, dass in Diskussionen um Primärenergieverbräuche undifferenziert nur vom nicht-erneuerbaren Anteil gesprochen wird. Im schlimmsten Fall könnte dies dazu führen, dass der Verbrauch an Primärenergie total³ in einem Konzept schlicht nicht beachtet würde.

4.3. Ebene 3 – Berechnungsgrundlagen

Methodenebene drei besteht aus einem Baustein.

In diesem Baustein werden die nötigen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Annahmen sondiert und deklariert, sowie die Datenquellen gesichtet und gelistet und schließlich die benötigten Daten bezogen. Es schließen sich Überlegungen zum Einsatz möglicher Werkzeuge an.

Obwohl diese Ebene und die folgende Ebene (Abschnitt 4.4) inhärent miteinander verbunden sind, wurde doch eine Trennung vorgenommen. Der Hauptgrund für diese Aufteilung liegt in

¹Zwei Definitionen des Begriffs „SMART“: a) Specific, Measurable, Accepted, Realistic, Time-based und b) Specific, Measurable, Attainable, Relevant, Time-based

²Zum Bilanzierungs-Ansatz der 2000-Watt-Gesellschaft siehe [34–36]

³Dies ist problematisch, da lokale erneuerbare Energie ebenfalls begrenzt ist und nicht beliebig weit transportiert werden kann.

der Bedeutsamkeit, die der Schaffung einer profunden Ausgangslage zukommt. Diese sollte nach Ansicht des Autors zumindest soweit fortgeschritten sein, dass ein guter Überblick über das Notwendige und Mögliche besteht. Die Idee war, der Versuchung Einhalt zu gebieten, zu frühzeitig mit nicht ausreichenden oder fragmentierten Daten in die tiefe Analyse einzusteigen. Eine Iteration zwischen den beiden Ebenen ist aber notwendig und gewünscht.

4.3.1. Datengrundlagen und Gapanalyse

Welche Daten werden benötigt und stehen überhaupt zur Verfügung, um das Energiekonzept zu erstellen, d.h. eine Zustandsanalyse des Systems durchzuführen, mögliche Entwicklungsszenarien aufzubauen und diese dann später in Varianten zu überführen? Um diese Frage beantworten zu können, muss die Methode in ihren Einzelschritten durchgegangen und ein Datenbedarfsinventar erstellt werden. In jedem Baustein muss hierzu kurz geklärt werden, was und vor allem wie berechnet werden soll. Dabei empfiehlt es sich zunächst vom Vorhandensein eines idealen Datensatzes auszugehen, um sich nicht unnötig bereits zu Beginn im Lösungsprozess zu beschränken oder mit bereits vorhandenen Daten vorschnell zufrieden zu geben. Für technische Betrachtungen ist der gewünschte ideale Datensatz i.d.R. experimentell gemessen, hoch aufgelöst, vollständig, korrekt, präzise und noch nicht aggregiert. Die generellen Kriterien eines solchen Datensatzes wurden in Unterkapitel B.4 thematisiert. Typische Beispiele hierfür wären stündlich aufgelöste Heizlastkurven von Verbrauchern aus Monitoring-Projekten.

Es folgt eine rudimentäre *Gapanalyse*: Das Datenbedarfsinventar wird mit den bisher zugänglichen oder vorliegenden Daten verglichen, sodass Lücken in der Datenlage identifiziert werden können. Folgende Strategien kommen hierauf iterativ zur Anwendung.

- Man analysiert welche Daten absolut notwendig sind.
- Man analysiert welche Aussagen mit der bestehenden Datenlage getroffen werden können.
- Man kann versuchen die Lücken durch Recherche nach entgangenen Datenquellen zu schließen.
- Man sucht nach Werkzeugen und Datenquellen, aus denen die gesuchte Größe abgeleitet oder errechnet / simuliert werden kann.

4.3.2. Datenquellen und nutzbringende Informationen

Mögliche Quellen für qualitativ hochwertige Daten:

Onlinedienste: Ein einfacher und erster Weg sich Daten zu beschaffen, sind Onlinedienste. Hier sind sowohl die Angebote des Bundes als auch die der Kantone zu erwähnen. So bietet z.B. das Bundesamt für Statistik mit ihrem sog. „Datenwürfel“ (STAT-TAB) [41] die Möglichkeit, auf einer aggregierten Ebene auf ihre Daten zuzugreifen. Hiermit kann man sich z.B. einen Überblick schaffen über die zukünftige Bevölkerungsentwicklung oder den Gebäudepark einer Region.

Bestehende Geoinformationssysteme: Das eidgenössische Geoportal ist ein guter Einstiegspunkt, um sich einen ersten Überblick zu verschaffen [42].

Ebenso führen die Kantone in ihren Geoportalen eine Fülle an Daten, wie z.B. Informationen zu vorhandenen Erdsondierungen, Grundwasserkarten und Grundwasserschutzkarten, Windgeschwindigkeitskarten und Solarkatastern. Ein Teil davon kann direkt in WebGIS-Anwendungen dargestellt werden oder stehen sogar direkt im Shapefile-Format für GIS-Anwendungen zum herunterladen bereit. Ein Beispiel für so ein gut ausgebautes Geoportal ist das des Kantons Bern [43].

Aber auch manche Gemeinden wie z.B. die hier exemplarisch betrachtete Gemeinde Wohlen

(BE) stellen wertvolle Informationen bereit, wie z.B. einen umfangreichen Solarkataster, der die möglichen solaren Gewinne pro Dachflächen ausweist und dabei auch Neigung und Ausrichtung vollumfänglich mit in Betracht zieht [44].

Ebenfalls sind private Angebote möglicherweise eine gute Informationsquelle. So finden sich im webGIS des Vereins Fernwärme Schweiz [45] die jährlichen Wärmebedarfsdichten für die ganze Schweiz und es kann somit für eine schnelle und erste Baubeurteilung von Fernwärmenetzen genutzt werden. Das Potential von Windkraftanlagen lässt sich in wenigen Schritten über das wind-data-Portal eruieren [46], das neben den Windgeschwindigkeiten z.B. auch das lokale Terrain mit einbezieht.

Daten von Ämtern und Verwaltung: Eine außerordentlich wertvolle Ressource und wahrscheinlich wichtigste Datenquelle ist das Gebäude- und Wohnungsregister des Bundesamtes für Statistik (BfS). Dieses umfasst alle Wohngebäude und auch Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung. In diesem sind Wohnungen über den eidgenössischen Wohnungsidentifikator (EWID) und Gebäude über den eidgenössischen Gebäudeidentifikator (EGID) eindeutig identifiziert und anhand der Schweizer Landeskoordinaten (CH1903/LV03) verortet [47]. Für regionale Energiekonzepte sind vor allem die Gebäude und deren Daten von Bedeutung, die hier bestellt werden können [48]. Die wichtigsten Datenfelder sind:

Bauperiode, Renovationsperiode, Gebäudekategorie (Nutzung der Gebäude), Grundfläche, Anzahl Stockwerke, Art des Wärmeerzeuger, Energieträger Warmwasser, Energieträger Heizung

Mögliche weitere Datenquellen über Gebäude sind:

GEAK-Anträge, Feuerungskontrollen, Minergie-Anträge, Gebäudeversicherungsunterlagen, Erdsondenbewilligungen, Öltankregister, Baugesuche und Wärmenachweise nach SIA 180 und Förderprogramme. Vor allem die Unterlagen aus Baugesuchen und Wärmenachweisen sind nach Kulawik und Bucher [49] hervorragende Informationsquellen. Diese werden jedoch nicht (Stand 2013) zentral in einer Datenbank erfasst, weshalb Kulawik und Bucher dies mit Dringlichkeit einfordern.

Monitoring-Daten / Energieverbrauchsmessungen: Nur in wenigen Kantonen, wie z.B. dem Kanton Genf [50] sind Liegenschaftsbesitzer verpflichtet ihren jährlichen Energiebedarf den Behörden zu melden. Ansonsten sind selbst jährlich aggregierte Verbrauchsdaten nur unter sehr großem Aufwand und mit den jeweiligen Einzeleinwilligungen der Besitzer zu erhalten. Der Verbrauch an Elektrizität ist bei Möglichkeit vom lokalen Energieversorgungsunternehmen zu beziehen.

Zukünftige Informationsquellen: Laufende akademische Projekte treiben die Entwicklung von GIS im Energiebereich weiter voran. So arbeiten Schneider et al. [51] an einer georeferenzierten Datenbank für die ganze Schweiz, deren Datensatz aus vorhandenen Daten einzelner Regionen extrapoliert wird. Anhand der Bauperioden der Gebäude und dem jährlichen Energiebedarf (Wärme und Elektrizität) wollen sie somit für die ganze Schweiz sowohl räumliche Energiedichten und anhand lokaler Klimadaten sogar stündliche Lastkurven bereitstellen [51]. Ebenso sind Arbeiten im Gange, die Potentiale erneuerbarer Energien für die ganze Schweiz kartographisch darzustellen, und zwar mit einer Auflösung bis hin zur Quartiers- und Arealebene [52].

Aber auch vom Energierat der SIA wird eine GIS-Gebäudeenergiedatenbank vorangetrieben und auf Bundesebene beworben. Diese sieht vor, Energielieferungen über das Abrechnungssystem der Energielieferanten zu erfassen, und zwar für jedes Gebäude in der Schweiz [53, 54]. Mit diesen aggregierten Daten und den von Schneider et al. entwickelten statistischen Verfahren zur Extrapolation ließe sich dann die Datenlage nochmals deutlich verbessern. Eine wesentliche Forderung des Energierates im Rahmen dieser Gebäudeenergiedatenbank ist, dass das Bundesamt für Statistik zukünftig alle Gebäude der Schweiz in ihrer Datenbank systematisch und eindeutig erfasst.

4.3.3. Annahmen

Annahmen sollten generell klar deklariert werden und falls Quellen für diese bestehen, sollten diese angegeben werden. Auch Daten, die aus Quellen bezogen wurden, wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben, unterliegen gewissen Annahmen. Diese sollten von einer verlässlichen Quelle ausgewiesen worden sein, weshalb eine Referenz auf diese Quellen ausreichend sein sollte. In Fällen, in denen diese Fremdannahmen von besonderer Relevanz sind, empfiehlt sich eine kurze Erwähnung. Auch die Systemgrenzen können unter den getroffenen Annahmen nochmals explizit dargestellt werden, und zwar in Hinsicht auf die geographische Ausdehnung des Systems, der Bilanzierungsgrenzen und auch der zeitlichen Auflösung. Speziell letzterer Punkt wird häufig nur implizit angegeben, ist aber einer der Schlüsselindikatoren auf welcher Abstraktionsebene sich das Konzept befindet. Die aus den Zielen abgeleiteten Evaluationskriterien beziehen sich häufig auf Größen, die aus den bezogenen Daten berechnet werden müssen, wie z.B. Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalenzen), Primärenergien (total und nicht-erneuerbar) oder z.B. Umweltbelastungspunkte (UBP). Eine umfassende Zusammenstellung von belastbaren Treibhausgasäquivalenz-, Primärenergie-, und Umweltbelastungspunktefaktoren finden sich in [55–57]. Speziell zu den Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe kann Referenz [58] genutzt werden. Welcher Strommix in der jeweiligen Region vertrieben wird, erfährt man vom lokalen Energieversorger oder sogar direkt von dessen Internetauftritt.

In der Regel beziehen sich diese Faktoren auf den Endenergieverbrauch, sodass diese eine wesentliche zu bestimmende Zielgröße ist. Sollte es die Datenlage zulassen und z.B. der Endenergieverbrauch aus kantonalen Energiekennzahlen errechnet werden können (Abschnitt 4.4.3), so muss die Bilanzierungsgrenze nicht unbedingt bis zum Verbraucher selbst reichen, sondern das Gebäude kann als kleinste Einheit im Sinne einer Black-box verwendet werden. Natürlich sind die bei der Szenariobildung zugrunde gelegten Annahmen ebenfalls zu deklarieren, wie z.B. die energetische Erneuerungsrate von Gebäuden in der Schweiz [59], die Teuerungsrate und der für die Kalkulation genutzte Zinsfuß. Falls die Gemeinde nur ungenügende oder keine Informationen zur Gemeindeentwicklung liefern kann, so können die Bevölkerungsentwicklungsszenarien des BfS als Entwicklungsszenarien der Gemeinde als Basis verwendet werden [41, 60].

4.3.4. Werkzeuge

Wie in Abschnitt 4.3.2 erwähnt, stellen GWR-Daten des BfS wohl die bedeutsamste Grundlage dar, um ein Energiekonzept zu erstellen. Der Datensatz kann und sollte mit einem Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel / MATLAB / Python etc. bereinigt, aufbereitet und erweitert werden. Um aber vom vollen Informationsgehalt zu profitieren, sollte erwogen werden, die Daten in ein GIS-Programm zu migrieren, und geographisch darzustellen. Dies schafft eine vereinfachte gemeinsame Diskussionsgrundlage und eine anders nicht zu erreichende Übersicht über die örtlichen Verhältnisse. Neben kommerziellen (und teuren) Anbieter besteht mit QGIS [61] eine open-source Alternative, die aufgrund ihres stringenten Entwicklungsplans und der treuen Entwicklergemeinde ein produktives und professionelles Arbeiten zulässt. Die Lernkurve ist bei einfachen Anwendungen ausgewogen.

Visualisierungen sind ein weiteres wichtiges Werkzeug. Visualisierungen des Systems dienen zur Steuerung und Entwicklung, sodass es sich lohnt nach Visualisierungen zu suchen, die den Zustand eines Systems gut darstellen. Die dazu nötige Aggregation sollte nicht als notwendiges Übel angesehen werden, sondern als erwünschte Abstraktion, die eine Steuerung und strategische Entwicklung erst ermöglicht. Idealerweise nutzt man für jede gemachte modellhafte Beschreibung eines Systems auch eine entsprechende Visualisierung. Im Falle regionaler Energiesysteme wären das Visualisierungen mit Bezug auf das geographische Modell, das Referenzenergiesystem und die zeitlichen Entwicklungsszenarien. Die gesetzten Ziele sollten in den Visualisierungen klar ersichtlich sein. Sollten sich die Ziele nur auf ein Modell beziehen, wie z.B. das Referenzenergiesystem,

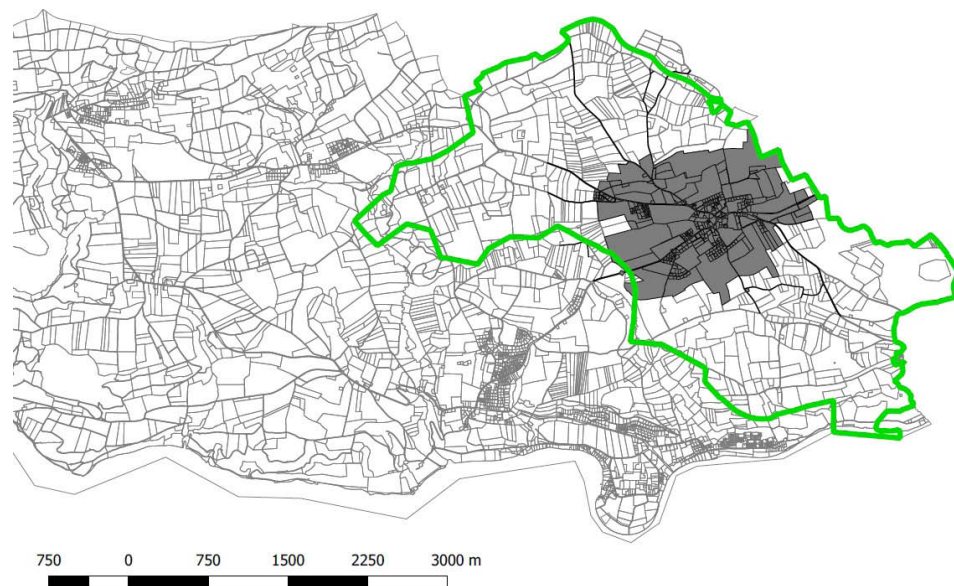


Abbildung 4.2. – Die Gemeinde Wohlten bei Bern. In grün die offiziellen Orts-grenzen Üttligens, in grau das betrachtete System „Dorf Üttligen inklusive Schüpfenried“. Kartensatz der Parzellen des Kanton Bern frei erhältlich unter [43].

dann sind die Visualisierungen dieses Modells das primäre Steuerelement. Visualisierungen der anderen Modelle können dann genutzt werden, um mögliche Lösungsaspekte zu diskutieren oder Unklarheiten zu beseitigen.

Im Fall des Praxisbeispiels *Üttligen* waren die Visualisierungen aus Abbildung 4.3 und 4.4 die primären Steuerelemente. Sie enthalten auf einen Blick die gesetzten Energieziele der 2000-Watt-Gesellschaft und erlauben direkt eine Positionsbestimmung. Strategische Maßnahmen können ebenfalls anhand dieser Darstellungen diskutiert werden. Diagramm 4.3 wird auch häufig als „Non-Sustainable-Exergy“- oder NSE-Diagramm bezeichnet. Auf der Abszisse wird der spezifische Endenergieverbrauch bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF) abgetragen, auf der Ordinate die spezifische Treibhausgasemission bezogen auf die Kilowattstunde Endenergie. Das Produkt der Achsen ergibt die spezifische Treibhausgasemission pro Energiebezugsfläche. Die Zielvorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft mit $5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ entspricht in dieser Darstellung der Hyperbel und grenzt den zu erreichenden Zielbereich (unterhalb der Hyperbel) klar ab. Diese Form der Darstellung hat den Vorteil, dass die Abszisse direkt mögliche Energieeinsparmaßnahmen abbildet und die Ordinate einen möglichen Wechsel der eingesetzten Energieträger. In Abbildung 4.4 wurden die beiden Zielgrößen Primärenergie total und nicht-erneuerbar gegenübergestellt. Die geographische Situation wurde mit QGIS und freien Kartensätzen des Kanton Bern visualisiert. Abbildung 4.2 zeigt die gesetzten geographischen Systemgrenzen in grau, nämlich das Dorf Üttligen inkl. Schüpfenried im Vergleich zu den offiziellen Ortsgrenzen Üttligens in grün. So einfach diese Karte ist, so wichtig war sie zuletzt. Zu Beginn der Arbeiten wurde lediglich vereinbart, die geographische Systemgrenze sei „Üttligen“. Dies führte dann zunächst zum klassischen Fehler, dass ein Teil des Teams sich auf die in Abbildung 4.2 grau gezeigte Region bezog, während der andere Teil die administrativen Ortsgrenzen betrachtete.

4.4. Ebene 4 – Analyse

Diese Modellebene besteht aus vier Bausteinen.

Es werden hier die Siedlungstypologie, die Gebäudestruktur, die bestehende Energieversorgung

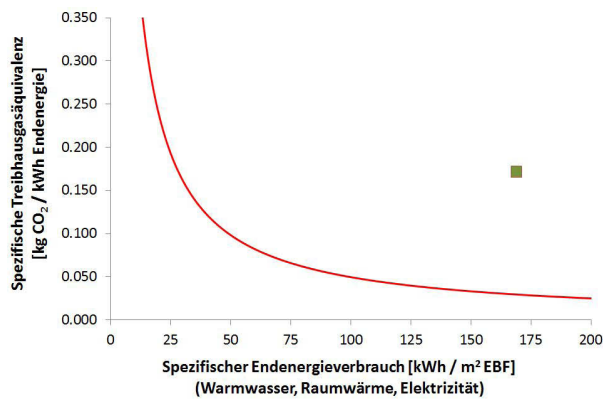


Abbildung 4.3. – „Non-Sustainable Exergy“ (NSE)–Diagramm, dass die spezifische Treibhausgasemissionen $[\text{kgCO}_2(\ddot{a})/\text{kWh a}]$ dem spezifischen Endenergieverbrauch $[\text{kWh}/\text{m}^2\text{EBF a}]$ gegenüberstellt. Alle Zustände unterhalb der Hyperbel erfüllen die Bedingung, dass sie weniger als $5 \text{ kgCO}_2(\ddot{a})/\text{m}^2 \text{ a}$ erzeugen.

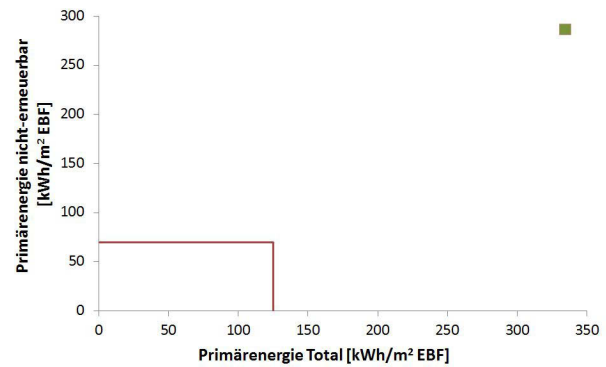


Abbildung 4.4. – Gegenüberstellung der spezifischen Primärenergie total $[\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ EBF a}]$ und der spezifischen Primärenergie nicht-erneuerbar $[\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ EBF a}]$.

und örtlichen Energiepotentiale analysiert. Die hier gestellten Fragen treiben die Datensammlung zum Teil mit an und führen zur Iteration zwischen dieser und der vorherigen Ebenen (siehe Abschnitt 4.3).

4.4.1. Siedlungstypologie

Innerhalb dieses Bausteins nimmt der Betrachter die Vogelperspektive ein und versucht die betrachtete Region näher zu charakterisieren. Das betrachtete System wird in einfacher zu betrachtende Untersysteme unterteilt.

Ist es eine rurale oder urbane Gegend? Auf den ersten Blick scheint klar, ob man ein Konzept für eine ländliche Gegend oder eine Stadt erstellt. Dennoch erscheint es sinnvoll sich diese Frage zu stellen, da sie den Blick nochmals über die Systemgrenzen führt. Wo ordnet man eine Wohngegend zu, die im Einzugsbereich einer Stadt liegt? Besteht ein belebtes Zentrum und hat sie Dorfcharakter oder ist sie Agglomeration? Solche Fragen werden z.B. wichtig, falls man den Aspekt der Mobilität mitberücksichtigen möchte.

Wie lässt sich die Siedlung strukturell unterteilen? Diese Frage schließt an die obere Frage an, fokussiert nun aber auf das betrachtete System. Können Teilbereiche identifiziert werden, wie z.B. ein Ortskern, Wohngegenden, Gewerbe oder sogar Industrie? Insbesondere muss hier auch die Frage nach dem Denkmalschutz von älteren Gebäuden gestellt werden. Mit solch einer Unterteilung lassen sich homogene Untersysteme schaffen, für die dann jeweils für sich eigene Lösungen entwickelt werden können. Gegebenenfalls ist es angebracht auffallend große Einzelverbraucher gesondert zu behandeln.

Üttligen hat Dorfcharakter und lässt sich unterteilen in einen Dorfkern mit alten zum Teil denkmalgeschützten Bauernhäusern, Wohngebieten, die zum grössten Teil aus Einfamilienhäusern bestehen und lose verteilten Bauernhäuser ringsum. Die größten Verbraucher sind der ansässige Coop, die Landi, das Altersheim und die Schule.

4.4.2. Gebäudestruktur

In diesem Baustein wird der Gebäudebestand analysiert im Hinblick auf dessen Bau- und Renovationsperioden, sowie deren Nutzung.

Grundlage für diese Analyse sind in erster Linie die GWR-Daten des BfS. Allerdings zeigten Kulawik und Bucher in ihrer Vergleichsuntersuchung [49] aus dem Jahr 2013, dass die Bauperioden der GWR-Daten für den Kanton Luzern in ca. 19% der Fälle von zur Verfügung stehenden Vergleichsdaten⁴ abwichen. Sogar 78% aller Renovationen nach dem Jahr 2005 waren nicht erfasst. Selbst die Gebäudenutzung ist mit 17% erstaunlich häufig falsch erfasst gewesen. Die Daten sind somit mit einer skeptischen Grundhaltung zu betrachten, wobei davon ausgegangen werden darf, dass aufgrund der gestiegenen Anforderungen und Initiativen in diesem Bereich [53, 54] deren Qualität und Umfang hinzugewinnen werden.

Um die Energiebezugsfläche (EBF) aus den GWR-Daten zu erhalten, bestehen zwei Ansätze:

1. Pro Gebäude werden alle Wohnungsflächen (WAREA) aufsummiert und mit einem empirischen Korrekturfaktor $k_{\text{EFH/MFH}}$ multipliziert.
2. Pro Gebäude wird die Gebäudegrundfläche (GAREA) mit der Anzahl Stockwerke (GASTW) multipliziert.

Der erste Ansatz wurde von Dettli und Bade in [63] publiziert, die eine Methode zur schweizweiten Erhebung von Energiekennzahlen eruierten. Sie folgten dieser Berechnungsvariante, da nur in diesem Fall die Datenlage schweizweit ausreichend gewesen sei. Die so errechneten EBF verglichen sie mit empirisch erhobenen Daten und erstellten daraus Korrekturfaktoren für Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser. Die EBF pro Gebäude ergibt sich dann als

$$\text{EBF} = k_{\text{EFH/MFH}} \sum_{\# \text{Whgen}} \text{WAREA},$$

wobei $k_{\text{EFH}} = 1.15$ bzw. $k_{\text{MFH}} = 1.2$ ist. Für Luzern fanden sich hiervon deutlich abweichende Werte mit $k_{\text{EFH}} = 1.38$ bzw. $k_{\text{MFH}} = 1.3$ [49]. Kulawik und Bucher betonen, dass wenn die Datenlage zu Gebäudegrundflächen genügend gut sei, sei die Berechnung der EBF über die Methode zwei zu bevorzugen, da sie näher an die Definition der SIA 416/1 herankomme.

Energiebedarf: Um den Energiebedarf einer Region zu bestimmen, wären vorhandene Messdaten der Königsweg. Sind diese jedoch nicht zur Hand, so können für den Wärmeverbrauch die nach Bauperioden aufgeschlüsselten Energiekennzahlen herangezogen werden, wie sie z.B. hier [64] für jeden Kanton zu finden sind. Eine aktuellere Darstellung, jedoch nur für den Kanton Zürich findet sich hier [65] (siehe Anhang). Die Energiekennzahlen für Wärme⁵ enthalten den Bedarf für Raumheizung und Warmwasser. Um den Anteil an Wärme für die beiden Nutzungen zu trennen (nach [67]), kann man für den Verbrauch an Warmwasser in etwa davon ausgehen, dass Gebäude, die:

- vor dem Jahr 1970 gebaut wurden ca. 40 kWh/m²EBF benötigen.
- zwischen 1970 und 1998 gebaut wurden ca. 30 kWh/m²EBF benötigen.
- nach dem Jahr 1998 gebaut wurden ca. 20 kWh/m²EBF benötigen.

⁴Die Vergleichsdaten umfassten GEAK-Daten, Energieversorger, Feuerungskontrolle, Minergie, Gebäudeversicherung, kantonale Bauten, Erdsondenbewilligungen per Parzelle, Öltankregister, kommunale Daten, Baugesuch und Wärmenachweis SIA 180 [62], und Förderprogramme.

⁵Bei der Wahl der zugrunde gelegten Energiekennzahl ist Vorsicht geboten. Ein Übersichtsartikel findet sich hier [66].

Damit kann für jedes Gebäude über die Bauperiode, die in Abschnitt 4.4.2 bestimmte Energiebezugsfläche und die Energiekennzahlen der Endenergiebedarf für Raumheizung und Brauchwarmwasser bestimmt werden und anhand der GWR-Daten zusätzlich dem jeweiligen Energieträger bzw. Erzeugersystem zugeordnet werden. Bei einer Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe sollte beachtet werden, dass deren Energiebedarf – gewichtet mit einer mittleren Jahresarbeitszahl – dem Elektrizitätsbedarf zugeordnet werden muss⁶.

Um den Elektrizitätsbedarf zu erhalten, können einerseits Jahresrechnungen zu Rate gezogen werden oder andererseits die Unterlagen des örtlichen Energieversorgers. Sollten diese Zugänge verwehrt sein, so kann man sich zuletzt an den Werten des SIA Merkblatts 2024 [68] orientieren⁷.

Im Beispiel *Üttligen* wurden die GWR-Daten für die Gemeinde Wohlen genutzt, um sowohl die Bauperiode (Abbildung C.1) als auch die Nutzungen (im Anhang Abbildung C.2) geographisch darzustellen. Das Datenfeld zu Gebäuderenovationsperiode war in diesem Datensatz nicht vorhanden. Die EBF konnte aus der Gebäudegrundflächen und der Anzahl Stockwerke bestimmt werden.

4.4.3. Energieversorgungssystem

In diesem Baustein findet eine Erfassung der bestehenden Energieerzeugersysteme und eine Analyse des jährlichen Energiebedarfs statt. Es wird geklärt mit welchen Energieträger und Techniken dieser Bedarf bestehend gedeckt wird.

Welche Infrastruktur besteht? Die Frage nach der bestehenden Infrastruktur wie z.B. bestehende Fernwärmenetze, Gasnetze oder Einzellösungen im Bereich Wärme erörtert, welche dieser Strukturen ggf. gewinnbringend (um)genutzt werden könnten, aber auch ob die bestehenden Strukturen gewisse Lösungen eher behindern. (Die Erstellung eines Wärmeverbundes bei bestehendem Gasnetz zu forcieren, wird stärkere Widerstände generieren als bei einem Ausgangsstatus „grüne Wiese“.) Abwasserleitungen sind ebenfalls zu berücksichtigen, da sie ggf. zur Wärmegegewinnung genutzt werden können. Die Idee, das saisonale und volatile Verhalten vieler erneuerbaren Energiequellen mit Intelligenz und Vernetzung auszugleichen, bedingt die Frage nach bestehenden Informations- und Kommunikationsnetzen und deren Ausbaustand.

Energieerzeugersysteme: Um das bestehende Energiesystem besser zu verstehen, werden die Energieerzeugersysteme der Gebäude näher bestimmt. Die GWR-Daten des BfS führen zwar die Wärmeerzeugersysteme, unterscheiden aber z.B. nicht zwischen Luft-Wasser- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen. Solche Informationen können hingegen aus den kantonalen Geodaten über geologische Sondierungsbohrungen ermittelt werden. Informationen über bestehende PV-Anlagen können vom lokalen Energieversorger bezogen werden.

Zielgrößen und Indikatoren: Mit der Kenntnis über den (End-)Energieverbrauch in den Bereichen Elektrizität und Wärme, sowie den verwendeten Energieerzeugungssystemen kann dann eine Positionsbestimmung im Hinblick auf Treibhausgasemissionen, Primärenergien und Umweltbelastungspunkte erstellt werden.

Temperaturniveau: Eine rein qualitative Betrachtung kann zum benötigten Temperaturniveau des Wärmeerzeugers eines Gebäudes gemacht werden, und zwar nach der Faustformel:

Je älter der Baustandard des Gebäudes, desto höher das benötigte Temperaturniveau.

⁶Mittlere Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen sind nach [55, 58]: Luft-Wasser ≈ 2.8 ; Erdsonden ≈ 3.9 ; Grundwasser ≈ 3.4

⁷Eine weitere Möglichkeit wäre daher, um eine grobe Abschätzung zu erhalten, den Fall *Üttligen* zu nehmen. Dort standen für den elektrischen Bedarf die Jahresbilanzen der BKW zur Verfügung, aus denen sich für ganz Üttligen ein spezifischer Energieverbrauch von 32 kWh/m² ergab.

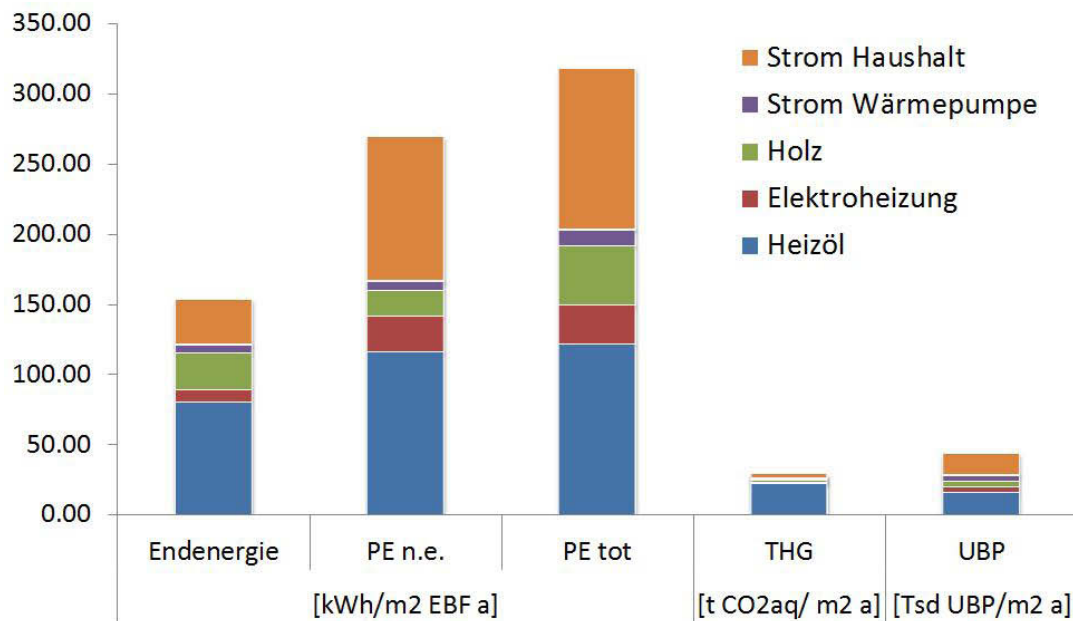


Abbildung 4.5. – Spezifische Indikatoren für das Dorf Üttligen: Endenergie, Primärenergie nicht-erneuerbar und total, Treibhausmissionen (aq) und Umweltbelastungspunkte je auf m²EBF bezogen und nach Nutzung aufgeschlüsselt.

Diese Information wird genutzt, um im Baustein „Versorgungskonzept“ eine geeignete Auswahl zukünftiger Wärmeerzeuger zu treffen und um zu vermeiden, dass z.B. eine Wärmepumpe für ein Temperaturniveau von 90° vorgesehen wird.

Im Falle *Üttligens* besteht kein Gasnetz und noch kein Wärmeverbund. Dieser ist jedoch in aktiver Planung. Es wurden der Endenergiebedarf für Raumwärme, Warmwasser aus den GWR-Daten und Energiekennzahlen bestimmt. Der elektrische Jahresbedarf stellte die BKW pro Gebäude zur Verfügung. Hieraus wurden Treibhausgasemissionen, Primärenergien und Umweltbelastungspunkten berechnet, die aggregiert in Diagramm 4.5 dargestellt sind und auch Grundlagen für die Grafiken 4.3 und 4.4 waren.

4.4.4. Energiepotentiale

In diesem Baustein werden die lokal verfügbaren Potentiale erneuerbarer Energiequellen erhoben.

Um Informationen über lokale Energiepotentiale zu gewinnen sind kantonale und eidgenössische Geoportale eine geeignete Anlaufstelle (vergleiche mit Abschnitt 4.3.2). Hier finden sich u.a. Informationen über:

- Mögliche solare Gewinne, z.B. in [44]
- Das Potential für Windanlagen [46]
- Getätigte und noch mögliche Erdwärmebohrungen, z.B. in [43]
- Das Potential für Grundwassernutzung, z.B. in [43]
- Mögliche Wärmquellen wie Umweltwärme, ARA, KVA, etc. [45]

Falls für die Region kein Solarkataster vorhanden sein sollte, so lassen sich die solaren Gewinne auch über die Dachflächen und das SIA Merkblatt 2028 [69] abschätzen. Informationen zu Erdwärmesondenbohrungen und potentieller Grundwassernutzung, wie auch zur potentiellen

Fluss- oder Seenutzung, können auch von der Gemeinde eingeholt werden.

Im Falle potentieller Abwärmequellen wie Kehrrietsverbrennungsanlagen oder Abwasserreinigungsanlagen sind diese unbedingt in Betracht zu ziehen. Das Webportal des Fernwärmeverbandes [45] weist neben möglichen Wärmequellen vor allem schweizweit die Wärmebedarfsdichten im Hektarraster aus. Die Wärmedichte ist ein guter Indikator für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmenetzes⁸. Anstatt die Wärmedichten aus dem webGIS des VFS zu beziehen, besteht auch die Möglichkeit den Wärmebedarf der Gebäude selbst in Wärmedichten umzurechnen. Um das Potential von Erdwärmesonden überschlägig zu bestimmen, kann so vorgegangen werden, wie unten für das Praxisbeispiel erläutert.

Im Fall *Üttligen* wurde die Wärmedichte selbstständig berechnet. Hierfür wurde in QGIS ein Hektarraster erstellt und der Wärmebedarf aller Gebäude die innerhalb eines Rasterfeldes lagen aufsummiert. Ob ein Wärmeverbund dort wirtschaftlich betrieben werden könnte, ist anhand der Resultate nicht eindeutig zu Bejahen.

Die Wind-, Grundwasser-, Fluss- und Seewassernutzung ist ausgeschlossen. Eine größere Abwärmequelle besteht nicht. Das Potential für Erdwärmesonden wurde zu ca. 9 GW h bestimmt. Hierzu wurde die zur Verfügung stehenden Parzellenflächen in Summe, wie auch die Gebäudeflächen in Summe bestimmt. Um die kantonale Abstandsregelungen der Erdwärmesonden von der Parzellengrenze von 3 m zu berücksichtigen [71], wurde die Vorgabe auf die Parzellenflächen umgerechnet. Im Mittel standen aufgrund dieser Regelung effektiv 30% weniger Fläche zur Verfügung. Hiervon wurde dann noch die Gebäudegrundflächen subtrahiert, die im Mittel um 10% vergrössert betrachtet werden mussten, da die kantonale Regel auch einen Mindestabstand zum Gebäude von ca. 2 m vorsieht. Mit einer angenommenen durchschnittlichen Länge von 200 m, einem radialen Sondenabstand von 10 m und einer angenommenen Leistung von 25 W/m [72] und 2000 Volllaststunden folgte das obige Resultat.

4.5. Ebene 5 – Synthese

Diese Ebene besteht aus zwei Bausteinen.

4.5.1. Gebäudebestandsentwicklung

Dieser Baustein führt die Erkenntnisse der Bausteine „Siedlungstypologie“ und „Gebäudestruktur“ zusammen. Es werden Szenarien entwickelt und selektiert.

Wie wird sich die Fläche der Gemeinde entwickeln? In der Regel besteht ein Raum- bzw. Zonenplan, der eine bestimmte Gemeindeentwicklung vorsieht. Das Energiekonzept muss diese Pläne berücksichtigen und wenn nur als ein mögliches Szenario. Zusätzliche Informationen können aus Energierichtplänen (falls existent), Anschlussdichte und der Bevölkerungsentwicklung [41, 60] gewonnen werden.

Ebenfalls ist mit der Gemeinde die mögliche Entwicklung des Gebäudenutzungsmix abzuklären. Falls zu diesem nichts besteht, so können die seitens des BfS übergeordneten prognostizierten Entwicklungen in Betracht gezogen werden. Zuletzt werden drei mögliche Sanierungsszenarien für die Gemeinde entwickelt.

Bei der Entwicklung solcher Szenarien geht man häufig von einem Szenario „*BAU – business as usual*“, einem Szenario das eine „*verstärkte*“ und einem Szenario, das eine „*verminderte*“ Entwicklung betrachtet. Diese Szenarienbildung ist legitim und kann immer eingesetzt werden. Sie entspricht der klassischen Vorausschau bzw. dem „*fore-casting*“ [18], bei dem nicht klar ist, wo man dann in Zukunft stehen wird. Wurden jedoch zeitliche Ziele definiert, so kann auch

⁸Die Wärmedichte sollte mindestens im Bereich von 500 MW h bis 1000 MW h liegen [70].

ein Rückschau- bzw. „back-casting“ Szenario entwickelt werden. Hier wird aus der Zukunft zurückgeblickt und nach der zur Zielerreichung nötigen Entwicklung gefragt. Der SIA Effizienzpfad 2040 basiert auf so einer Rückschau [73].

Aus den Kombinationen an Entwicklungsszenarien „Flächen“, „Nutzung“ und „Sanierung“ werden drei ausgewählt, sodass eine möglichst große Bandbreite abgedeckt wird. Für einen späteren Vergleich sollte für die Sanierungsmaßnahmen eine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt werden [74–77].

Im Studienfall *Üttligen* wurde das Ortsgebietes einer Umzonung unterzogen, um den Bau von ca. 80 Neubauwohnungen im Minergiestandard zu ermöglichen. Dieser Zubau an Wohnungen hat jedoch keinen großen Einfluss auf die energetisch-ökologische Gesamtsituation Üttligens, weshalb nur wenig verschiedene Flächenentwicklungsszenarien entstanden. Eine wesentliche Änderung des Gebäudenutzungsmixes innerhalb Üttligens wurde seitens der Gemeinde ebenfalls nicht erkannt. Für die Gebäudesanierung wurden drei Szenarien entwickelt: BAU mit einer energetischen Sanierungsrate von 1% [59], ein „erhöhtes“ Szenario mit einer Rate von 2% und einem „back-casting“-Szenario, das der SIA 2040 entspricht⁹. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung auf Annuitätenbasis wurde nach [76] erstellt.

4.5.2. Versorgungskonzepte

In diesem Baustein werden die Erkenntnisse aus den Bausteinen „Energieversorgung“ und „Energiepotentiale“ zusammengeführt und Szenarien für die Versorgung der Region entwickelt.

Nachdem der Bedarf der Region quantifiziert und charakterisiert und auch die Versorgungspotentiale identifiziert wurden, kann ein Abgleich zwischen diesen stattfinden. Eine Lösung für die Energieversorgung des Systems wird aus einer Mischnutzung der identifizierten Potentiale bestehen. Die Eckpunkte dieses Lösungsraumes werden somit von den Extrem Lösungen abgesteckt bei denen nur ein Potential (oder nur eine Versorgungstechnik) für das gesamte System genutzt wird. Ziel innerhalb dieses Bausteins ist es dieses Lösungsfeld abzustecken, und zwar mit den am attraktivsten erscheinenden Potentialen. Hierbei sollten wesentliche Randbedingungen berücksichtigt werden, wie z.B. das benötigte Temperaturniveau der Gebäude. Es sollte daher mindestens eine Extrem Lösung geben, die Wärme auf einem hohen Temperaturniveau bereitstellt. Eine andere Form der Lösung ist die energetische Sanierung des Gebäudes auf Minergie-Standard vorauszusetzen und dann eine Wärmepumpe zu wählen.

Der Ausbau von Photovoltaik ist unter denselben Gesichtspunkten zu betrachten. Eine Randbedingung in diesem Fall ist die verfügbare Netzkapazität bzw. die Frage wie weit ein Zubau möglich ist a) ohne und b) mit Netzausbau¹⁰. Auch hier sollte zum weiteren Vergleich für die Versorgungskonzepte eine Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt werden [74–77].

Im Praxisfall *Üttligen* waren die möglichen Potentiale stark reduziert. Mögliche Lösungen zur Wärme Gewinnung bei den gesteckten Zielen stellten Biomasse, Umweltwärme und Solarenergie dar. Die Dachflächen wurden aber soweit möglich für PV-Anlagen vorbehalten, aus folgenden Gründen:

- Strom ist 100% Exergie und wird über das ganze Jahr benötigt.
- Das Netz dient bei einem Überschuss an Strom als Pufferspeicher. Ein Wärmeüberschuss bei Solarkollektoren im Sommer wird häufig nicht genutzt.
- Strom kann für Wärmepumpen (JAZ 3-4) eingesetzt werden und somit Wärme ebenso effizient wie Solarkollektoren bereitstellen.

⁹Die Sanierungsrate lag in diesem Fall bei $\approx 4\%$, also einem auf heute bezogen völlig unrealistischen Wert. Allerdings entspricht diese Sanierungsrate nebst dem SIA-Energieeffizienzpfad auch Plänen zu „New policies“ [78, 79]

¹⁰Wertvolle Überlegungen hierzu im Speziellen für die Schweiz stellt Bucher [80] an.

- Es kann nicht erwartet werden, dass der Wirkungsgrad von Solarkollektoren aufgrund den physikalischen Gegebenheiten noch weiter erhöht wird, wohingegen bei PV-Anlage eine Erhöhung zu erwarten ist (third generation with multi-layers cells).

Im Anhang finden sich die möglichen Versorgungskonzepte im NSE-Diagramm dargestellt. Eine Standardwirtschaftlichkeitsrechnung auf Annuitätenbasis wurde nach [76] erstellt.

4.6. Ebene 6 – Variantenbildung

Diese Ebene besteht aus zwei eng verknüpften Bausteine, die daher zusammen abgehandelt werden.

4.6.1. Variantenbildung und Bewertung

In diesem Baustein werden die Erkenntnisse aus den Bausteinen „Gebäudebestandsentwicklung“ und „Versorgungskonzepte“ zusammengeführt und Szenarien für die Versorgung der Region entwickelt.

Ausgangspunkt der Bildung von Lösungsvarianten sind die Szenarien der „Gebäudebestandsentwicklung“ und die der „Versorgungskonzepte“. In iterativen Schritten wird nun nach einer guten, wenn nicht der besten Lösung gesucht, die vor allem auch Robust ist gegenüber Schwankungen (vergleiche Abschnitt 3.1.1. Hierzu muss ein Werkzeug zum Einsatz kommen, wie z.B. das Excel „Variantenvergleich Energiesysteme“ der Stadt Zürich [81] oder es wird ein modernes Optimierungsverfahren eingesetzt wie der Energy-Hub [82–86]. Diese Verfahren sind jedoch noch aktuell im Forschungsstadium und sollen in den kommenden Jahren anwenderfreundlicher gestaltet werden.

Die Arbeiten im Fall *Üttiligen* befinden sich derzeit auf dieser Ebene. Zwischenresultate liegen noch keine vor.

4.7. Ebene 7 – Empfehlung

Diese Ebene umfasst einen Baustein.

In diesem Baustein werden die Lösungsvarianten verständlich aufbereitet und den Entscheidungsträgern vorgestellt.

5. KPIs – Key Performance Indicators

Schlüsselkennwerte oder „Key Performance Indicators“ (KPIs) sind vor allem in den Wirtschaftswissenschaften und dort im Bereich Controlling verwendet. Im Bereich der Nachhaltigkeit werden sie i.d.R. im Umgang mit Stakeholdern verwandt [87, 88]. Generell werden KPIs als Größen definiert, um die (Geschäfts-)Entwicklung bzw. den (Geschäfts-)Erfolg zu messen. Erklärtes Ziel ist es, erneut Komplexität zu reduzieren, und komplexe Vorgänge auf einige wenige Größen zurückzuführen, wobei ein Satz an KPIs idealerweise nur die wichtigsten Größen beinhaltet.

Doch wie kommt man zu diesen Größen, was unterscheidet sie z.B. von Zielen und welche Definition und Bedeutung haben sie im Bezug auf regionale Energiekonzepte?

Ein häufig angewandter Weg, um zu KPIs zu kommen, ist laut Marr [89], dass alles identifiziert wird, was man leicht messen und quantifizieren kann, und dann versucht, Schlüsse aus den Daten zu gewinnen. Ein Problem, das dabei auftritt ist die schiere Menge an Daten, die zu sichten, und in irgendeiner Weise zu verstehen ist. Noch viel problematischer ist aber der Umstand, dass man sich die Frage zu erarbeiten versucht, nachdem die Messung bereits gemacht wurde. Die Gefahr ist groß, dass die Fragestellung den Messdaten angepasst wird. Daher schlägt Marr ein alternatives und methodisch korrekteres Vorgehen vor. Nachdem die strategischen Ziele definiert wurden, werden die Indikatoren entwickelt, um diese Ziele auch messen zu können.

Um diese zu entwickeln, empfiehlt er die Verwendung von „KPQ – Key Performance Questions“. Im Fall der **Gemeinde Wohlen**, die das strategische Ziel verfolgen das Label „Energierstadt GOLD“ zu erhalten, könnte so eine Frage sein: „Wie reduzieren wir den Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2035?“ Eine KPQ ist direkt an das strategische Ziel geknüpft, möglichst offen formuliert und erfolgsbezogen. Ein offensichtlich guter KPI im vorigen Beispiel ist der Primärenergieverbrauch selbst. Daraufhin sollte quantifiziert werden, um wie viel sich ein KPI verändern soll.

All die so entwickelten KPIs haben strategischen Charakter. Sie beantworten die Frage:

Wann habe ich meine strategischen Ziele erreicht?

Diese KPIs helfen in der Regel aber nicht bei der Frage nach dem Vorgehen:

Woran orientiere ich mich bei meiner Planung und meinen Entscheidungen?

Diese KPIs haben operativen Charakter und dienen der täglichen Arbeit.

Die Summe strategischer und operativer KPIs bilden ein „Performance Measurement System“ (PMS) [90], das idealerweise so wenig wie möglich, aber so viele KPIs wie nötig umfasst. Eine frei zugängliche Datenbank mit nach Themen geordneten KPIs findet sich unter [91].

KPI-Entwicklung für die hier dokumentierte Methode: Um für die auf *Üttlingen* angewandte Methode einen Satz an KPIs zu finden, wurde die Idee der KPQs leicht abgewandelt, ohne die Idee an sich zu verletzen. Anstatt nur Fragen für die übergeordneten strategischen Ziele zu suchen, wurden alle Bausteine isoliert betrachtet und für jeden Baustein eine oder zwei KPQs entwickelt. Anhand dieser Fragen und den Zielen jedes einzelnen Bausteins ergab sich dann ein Satz an KPIs. Die entwickelten KPQs finden sich in Tabelle A.1, die KPIs im Anhang A.3.

In einem nächsten Schritt steht die Sichtung und Gewichtung dieser KPIs seitens eines Fachgremiums an, wie es z.B. in der Arbeit von ALwaer et al. berichtet wird.

6. Diskussion

6.1. Diskussion zu Kapitel 3 – Bestehende Methoden

Die über zwanzig Jahre andauernden und kontinuierlichen Anstrengungen des IEA-EBC sind nicht nur allein aufgrund der wissenschaftlichen Ergebnisse von besonderem Interesse, sondern sie sind auch ein Zeitzeugnis darüber, wie sich Ziele, Ansätze, Sichtweisen und nicht zuletzt Methoden verändert haben. So setzte die erste Version des „Local Energy Plannings“ aus dem Jahr 1994 [15] den Fokus noch fast gänzlich auf mögliche Energiesparmaßnahmen, und zwar im Anlagenbereich. Potentielle erneuerbare Energiequellen wurden quasi nicht thematisiert. Aber schon damals waren Simulations- und Optimierungswerkzeuge auf einem solchen Stand, dass auch komplexe Energiesystem holistisch abgebildet werden konnten. Eines der ältesten und bedeutsamsten ist MARKAL/TIMES [92], das sicherlich die Entwicklung der Methode des „Advanced Local Energy Plannings“ mit vorangetrieben hat – ist es doch Kernelement dieser Methode. Die Kehrseite dieses Ansatzes ist, dass der Einsatz von derartigen Simulations- und Optimierungswerkzeugen – auch heute noch – in aller Regel Experten vorbehalten ist. Hinzu kommt, dass mittlerweile hunderte von solchen mächtigen Werkzeugen existieren [93], und die Wahl eines Werkzeugs selbst für den fachkundigen Laien nicht oder zumindest kaum zu treffen ist. Die heutige Umfokussierung von technischen hin zu sozio-ökonomischen Aspekten und insbesondere zur Stakeholderanalyse samt der Entwicklung von Methoden für deren Einbindung [18], ist der Erkenntnis zuzuschreiben, dass die Verbreitung solch akademischer Lösungen nicht im gewünschten Maße vorangeht. Wenn Erkenntnisse wie die aus der Doktorarbeit von Girardin [26] den Weg zu einem weiten Kreis an Gemeinden und Entscheidungsträger finden, dann nicht allein wegen ihrer hohen Qualität. Bei Girardin ist es sicher auch der ansprechende Aspekt einer kartographischen Visualisierung, der von einem Energiekonzept überzeugt.

Die Methode der „energetischen Stadtraumtypen“ treibt mit ihrem Baukastenprinzip diese Richtung noch weiter. Es bleibt zu hoffen, dass das Projekt vollumfänglich gelingt, und schließlich ein auf dieser Methode basierendes Werkzeug besteht, das einfache Bedienung mit den geplanten Optimierungen vereint. Im Abschlussbericht der Phase I bestanden jedoch bereits erste Zweifel an der vollumfänglichen Funktionalität.

6.2. Diskussion zu Kapitel 4 – Entwickelte Methode

Aus diesen Überlegungen heraus entstand die Idee, eine Methode zu erarbeiten, die in ihren Grundzügen möglichst einfach und anschaulich ist, sodass sie ggf. nicht nur von Planern, sondern auch von ambitionierten Laien, wie z.B. einem Mitarbeiter der Gemeinde genutzt werden könnte. Die dabei (derzeit) in Kauf genommenen Abstriche sind die reduzierte technische Detailtiefe, der Verzicht auf eine Stakeholder-Analyse bzw. deren methodische Einbindung, der Verzicht auf eine Lebenszyklusanalyse und das Ausklammern des Mobilitätsaspekts. Der Zielfindungsprozess wird z.B. nicht im Detail behandelt, sondern es werden nur die Anforderungen an die Eigenschaften der Ziele formuliert. In der Methodenentwicklung wurde stark auf einen methodischen, klar gegliederten Ablauf geachtet, der möglichst alle Hauptaspekte wie z.B. die unterschiedlichen Entwicklungsszenarien mit beachtet. Es wurde der aktuelle Stand der Forschung (vergleiche Anhang B) in der Methodenentwicklung berücksichtigt und die Datenbeschaffung und Annahmendeklaration gezielt explizit in der Methode verankert. Einfache Werkzeuge wurden kurz

vorgelegt und auf den Aspekt der Visualisierung als Steuerelement hingewiesen. Es wurden zwar GIS-Darstellungen in der Methode erwähnt und auch im Falle Üttligens genutzt, im Gegensatz zu Rank et al. [16] wurde aber auf die explizite Erarbeitung eines Referenzenergiesystems verzichtet. Es ist noch nicht endgültig geklärt, ob dies ein Element ist, das ebenfalls explizit in der Methode festgeschrieben sein sollte.

Für die Berechnungen der Energiebezugsflächen der Gebäude wurden zwei praxisnahe Ansätze präsentiert und kritisch anhand [49] hinterfragt. Die Bestandsaufnahme und -analyse wurde soweit wie möglich einfach und verständlich gehalten. Ein Kritikpunkt ist die derzeit noch fehlende Leistungsbetrachtung der Energieerzeuger bzw. die reine Betrachtung des Systems über seine Gesamtenergiebilanz. Ein weiterer kritischer Aspekt ist, dass die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im bestehenden Modell über zwei Bausteine verteilt abgehandelt werden und nicht explizit festgeschrieben sind.

6.3. Diskussion zu Kapitel 5 – KPIs

Ein Teil dieser Arbeit bestand im Auffinden der „Key Performance Indicators“ (KPIs) für den Fall *Üttligen* und damit für die hier entwickelte Methode. Zur Entwicklung wurde der Ansatz von Marr [89] gewählt und für jeden Baustein der Methode „Key Performance Questions“ (KPQs) formuliert. Aus den KPQs konnten dann die entsprechenden KPIs formuliert werden. KPQs wie auch KPIs befinden sich im Anhang A.1 und A.3.

Indikatoren zu nutzen, ist in der Energiebranche nichts Neues, sie werden aber zum Teil unter anderem, spezifischeren Namen geführt, wie z.B. „Energy performance indicator“ [21]. Obwohl von Einzelexperten Rückmeldungen zu den KPIs erhalten wurden, steht die systematische Gewichtung, Beurteilung und Selektion der verschiedenen KPIs durch ein Fachgremium noch aus.

6.4. Ausblick

Besteht erst einmal eine Methode oder ein Werkzeug so folgt der Test. Hier ist es nicht anders und so wäre es besonders interessant, das jetzt errichtete Vorgehensmodell für eine andere Region oder Ortschaft einzusetzen. Dabei würde der Fokus sukzessive erweitert werden, z.B. auf den Anwender. Welche Werkzeuge sind am besten geeignet, um ein Konzept nach dieser Methode zu erarbeiten? Was muss einem Gemeindemitarbeiter an die Hand gegeben werden, sodass er zuverlässig zu einer frühen Einschätzung kommt? Soll das Modell eher deskriptiv oder präskriptiv sein? Kritiker präskriptiver Methoden (prozessorientiert Methoden) führen ins Feld, dass durch ein zu viel an Vorgaben sich der Innovationsgrad erniedrige. Grund hierfür sei, dass diese allein auf bestehendem Wissen etablierten Methoden und Techniken aufbauen [94]. Wo liegt also das korrekte Maß?

Sicher müssen auch die in der obigen Diskussion erwähnten Kritikpunkte adressiert werden. So könnte ein eigener Baustein für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hinzukommen, die Leistungsbetrachtung wird aufgenommen und ggf. auch das Reference Energy System. Die Berechnungsgrundlagen beinhalten mit der Datensammlung auch das Thema Informationsqualität. Möchte man eine Vorgehensweise wie z.B. im Sinne einer Gapanalyse, um die Qualität der Grundlagendaten zu bewerten, so müsste der Baustein zu einem eigenständigen Modell erweitert werden. Dieses Modell müsste dann über Schnittstellen zum Energiekonzeptmodell Aussagen über die Güte der verwendeten Daten liefern. Mit diesem modularen Ansatz könnten auch Geschäftsmodelle, Stakeholdermodelle und Performance-Management-Systeme angebunden werden.

7. Danksagung

„Die Danksagung gehört Dir allein – und nur die!“

Das waren die Worte, die mir mein erster Betreuer beim gemeinsamen Bier mit auf den Weg gab und die mir bis heute geblieben sind. Darum nutze ich die Gelegenheit und halte fest, was sonst vielleicht verloren ginge. Von ihm und den Erfahrungen, die ich dann noch selbst machen durfte, und sind wir ehrlich, auch musste, lernte ich hautnah, wie viele Menschen an so einer Arbeit beteiligt sind – irgendwie. Diesen Menschen möchte ich danken. In guter Tradition starte ich zuerst mit meinem akademischen Betreuer *Thomas Nussbaumer*. Vielen Dank für die Übernahme des Referates und Ihre dadurch gebundene Zeit. Ebenfalls herzlichen Dank für die gut strukturierten Vorlesungen und ihr tolles Skript.

Herzlichen Dank an *Sabine Sulzer*, die als ich mit dem Vorschlag kam, das BKW-Projekt zu meinem Masterthema zu machen, zum einem zustimmte und zum anderen sich auch bereit erklärte die Expertinnenrolle zu übernehmen.

Vielen Dank an *Martin Bolliger* und ganz besonders *Christine Weber* von der BKW AG für die tolle Zusammenarbeit. Ohne sie wäre all das gar nicht zustande gekommen.

Ebenso herzlichen Dank an Frau *Anita Herrmann* und Herr *Bänz Müller* von der Gemeinde Wohlen für die produktive und freundliche Zusammenarbeit und das Ermöglichen dieses spannenden Projektes.

Im gleichen Atemzug sei auch dem KTI für die Förderung durch den SCCER FEEB&D gedankt.

Für Diskussionen, Ratschläge, Tipps, Motivation, Gegenlesen und Richtungsweisung ein herzliches Dankeschön an *Matthias Sulzer*. Herzlichen Dank für den Themenvorschlag sich methodisch mit diesem Projekt auseinanderzusetzen, was mir die Chance gab mich in ein spannendes Thema zu vertiefen.

Dass alles überhaupt erst soweit kam und überhaupt so möglich war, verdanke ich neben Matthias vor allem auch *Urs-Peter Menti*. Also danke Dir.

Ebenso ein grosses Dankeschön an das ganze ZIG-Team. Seien es *Giani, Nadège, Robert, Philipp, Davide, Franz, Evelyn, etc. etc.* Allen gebührt mein Dank für ihr offenes Ohr bei Fragen fachlicher und nicht fachlicher Art.

Maestro *Diego Hangartner* gebührt aber gerade in Bezug auf diese Arbeit ein Krönchen. Ohne seine Mitarbeit am Projekt, seiner Erfahrung, seinen Tipps, seinem Pragmatismus und manch unaufgeforderten Email mit hunderten von Seiten Literatur, wäre jetzt nicht geschafft, was geschafft ist. Nicht zu vergessen, dass er mir in der Phase des größten Zeitdrucks immer wieder den Rücken frei hielt. Herzlichen Dank.

All denjenigen, die so viel Arbeit investiert haben, dass unser MAS-Studiengang überhaupt möglich war, gilt ebenfalls mein Dank. Da wären die guten Seelen aus dem Sekretariat, allen voran *Judith* und *Evelin Meier*, unser Studiengangleiter *Heiner Manz* und all die guten Dozenten und Dozentinnen¹.

Meinen Studienkollegen danke für die gemeinsame Zeit, aber ganz besonderen Dank an *Mario Stöckli*, und zwar nicht nur für's gemeinsam Käfele, sondern auch für die unzähligen Crashkurs-Lektionen zum Thema Hydraulik. Wenn bei mir jemand keine Wärmepumpe einbauen darf, dann bist Du das Mario.

Wohl am meisten gebührt mein Dank meiner Frau *Judith* und unseren Töchtern *Annina* und *Leopoldina*. Danke für die Unterstützung während der letzten zwei Jahre und vor allem auch während des Abschlusses dieser Arbeit. Danke *Judith*, dass Du so viel getragen hast.

¹die mir hoffentlich verzeihen, wenn ich sie nicht alle namentlich erwähne.

Literatur

- [1] Bundesamt für Energie. *Energiestrategie 2050 des Bundes*. 2016. URL: <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=de>.
- [2] Michel Piot. „Energiestrategie 2050 der Schweiz“. In: *13. Symp. Energieinnovation*. 2014, S. 28.
- [3] *SCCER FEED&D*. URL: <http://www.sccer-feebd.ch/>.
- [4] Gerhard Pahl u. a. *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Springer-Verlag, 2013.
- [5] René Descartes und George Heffernan. *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences*. University of Notre Dame Press, 1637.
- [6] René Descartes und Artur Buchenau. *Regeln zur Leitung des Geistes*. Meiner, 1948.
- [7] Frederic Vester. „Die Kunst vernetzt zu denken“. In: *Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität* 6 (2002).
- [8] Werner Boysen. *Kybernetisches Denken und Handeln in der Unternehmenspraxis: Komplexes Systemverhalten besser verstehen und gezielt beeinflussen*. Springer-Verlag, 2011.
- [9] Wolfgang Krohn. *Selbstorganisation: Aspekte einer wissenschaftlichen Revolution*. Bd. 29. Springer-Verlag, 1990.
- [10] A Terry Bahill und Bruce Gissing. „Re-evaluating systems engineering concepts using systems thinking“. In: *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on* 28.4 (1998), S. 516–527.
- [11] Reinhard Haberfellner, Reinhard Haberfellner und Reinhard Haberfellner. *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung*. Orell Füssli, 2012.
- [12] Petra Winzer. *Generic systems engineering: ein methodischer Ansatz zur Komplexitätsbewältigung*. Springer-Verlag, 2013.
- [13] David Walden u. a. *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. John Wiley & Sons, 2015.
- [14] R Haberfellner u. a. *Projektmanagement auf der Basis des Systems Engineering*. 2002.
- [15] S. Rath-Nagel R. Jank J. Johnsson. *Annex 22 – Energy efficient communities*. Juli 1994.
- [16] Reinhard Jank und Thomas Steidle. *Advanced Local Energy Planning (ALEP): A Guidebook*. 2000. URL: http://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/pdf/ALEP_Guidebook.pdf.
- [17] V. Cuomo u. a. *Energy Efficient Communities & Advanced Local Energy Planning (ALEP)*. Technical Synthesis Report. 2005.
- [18] Reinhard Jank u. a. *Case Studies and Guidelines for Energy Efficient Communities*. Hrsg. von pro:21 GmbH. Fraunhofer IRB Verlag, 2013.
- [19] L. Andrew Bolliger und Ralph Evins. *Holistic Urban Energy Simulation (HUES) platform*. 2016. URL: https://hues.empa.ch/index.php/HUES_Platform_Wiki.
- [20] M. Beller. „Reference energy system methodology“. In: *NASA STI/Recon Technical Report N 77* (Apr. 1976).
- [21] Tobias Loga, Britta Stein und Nikolaus Diefenbach, Hrsg. *TABULA website*. 2016. URL: <http://episcope.eu/building-typology/>.
- [22] Tobias Loga u. a. *Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Institut Wohnen und Umwelt, 10. Feb. 2015.
- [23] Manfred Hegger, Jörg Dettmar und Alexander Martin. *UrbanReNet – Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum*. Abschlussbericht Phase I. Technische Universität Darmstadt, 31. Aug. 2012.
- [24] Jörg Dettmar Manfred Hegger. *Energetische Stadtraumtypen*. EnnEff:Stadt, EnnEff:Wärme, 1. Sep. 2015. URL: <http://www.eneff-stadt.info/de/publikationen/publikation/details/energetische-stadtraumtypen/> (besucht am 15.04.2016).
- [25] Peter Schwehr und Robert Fischer. *Building Typology and Morphology*. Hochschule Luzern, 2010.
- [26] Luc Girardin. „A GIS-based methodology for the evaluation of integrated energy systems in urban area“. Diss. EPFL, 5. Apr. 2012. URL: http://infoscience.epfl.ch/record/170535/files/EPFL_TH5287.pdf.
- [27] Centre de Recherches Énergétiques et Municipales. *Webauftritt*. 2016. URL: <http://www.crem.ch/>.
- [28] Energie Schweiz. *Der European Energy Award GOLD*. 2016. URL: <http://www.energiestadt.ch/das-label/eeargold/>.
- [29] Energiestadt. *Wohlen bei Bern*. Flyer. Energiestadt, 2016. URL: http://www.energiestadt.ch/fileadmin/user_upload/Energiestaedte/wohlen-bei-bern-be/dateien-weitere/Faktenblatt_Wohlen-bei-Bern.pdf.

- [30] Energiestadt. *Gebäudestandard 2011*. Anleitung. Energiestadt, 29. Apr. 2016. URL: http://www.energiestadt.ch/fileadmin/user_upload/Energiestadt/de/Dateien/Instrumente/2_Kommunale-Gebaeude/Gebaeudestandard/anleitung_gebaeudestandard_2011.pdf.
- [31] Gemeinde Wohlen bei Bern. *Solarkataster der Gemeinde Wohlen bei Bern*. 2016. URL: <http://www.wohlen-be.ch/de/verwaltung/dienstleistungen/detail.php?i=255>.
- [32] Christian Cappis u. a. *Genossenschaft Solarkraftwerk Wohlen*. Hrsg. von Silvio Dini. 2016. URL: <http://www.sokw.ch/>.
- [33] Gemeinde Wohlen bei Bern. *Wärmeverbund Uettligen*. 2016. URL: <http://www.wohlen-be.ch/de/gemeinde/energie/projekte-im-energiebereich-waermeverbund-uettligen.php>.
- [34] Severin Lenel. „Nachhaltige Quartiersentwicklung: Positionen, Praxisbeispiele und Perspektiven“. In: Hrsg. von Matthias Drilling und Olaf Schnur. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2012. Kap. 2000-Watt-Gesellschaft in der Schweiz – vom globalen Modell zum einzelnen Gebäude, S. 213–227. ISBN: 978-3-531-94150-9. DOI: 10.1007/978-3-531-94150-9_11. URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-531-94150-9_11.
- [35] Rolf Frischknecht und Franziska Wyss. *Das Bilanzierungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft*. Bericht 7. EnergieSchweiz für Gemeinden, SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Sep. 2014, S. 957–969. DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0897-4>.
- [36] Rolf Frischknecht u. a. „Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach“. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20.7 (2015), S. 957–969. ISSN: 1614-7502. DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0897-4>.
- [37] 2000-Watt-Gesellschaft. *Die 2000-Watt-Gesellschaft für Städte und Gemeinden*. 2016. URL: <http://www.2000watt.ch/fuer-staedte-und-gemeinden/>.
- [38] SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein. *2040: SIA Effizienzpfad Energie*. 2011.
- [39] Daniel Kellenberger u. a. *Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft: Beurteilungsmethode in Anlehnung an den SIA-Effizienzpfad Energie*. Abschlussbericht. Bundesamt für Energie, 2012.
- [40] Daniel Kellenberger u. a. *Arealentwicklung für die 2000-Watt-Gesellschaft. Leitfaden und Fallbeispiele*. Leitfaden. Bundesamt für Energie, 2012.
- [41] Bundesamt für Statistik. *Interaktive Datenbank STAT-TAB*. 2016. URL: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/onlinebd/stattab.html>.
- [42] Bundesamt für Landestopografie swisstopo – KOGIS (Koordination, Geoinformation und Services). *Bundesgeoportal*. 2016. URL: <https://map.geo.admin.ch/>.
- [43] Bau- Verkehrs- und Energiedirektion – Amt für Geoinformation. *Geoportal des Kanton Bern*. 2016. URL: <http://www.apps.be.ch/geo/de>.
- [44] bbp geomatik. *Solarkataster der Gemeinde Wohlen bei Bern*. 2016. URL: <http://www.wohlen-be.ch/de/verwaltung/dienstleistungen/detail.php?i=255&navid=558548558548>.
- [45] Verein Fernwärme Schweiz. *webGIS Datenbank VFS*. 2. Mai 2016. URL: <http://www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch/Dienstleistungen/webGIS.php>.
- [46] ENCO Energie-Consulting AG. *Die Website für Windenergie-Daten der Schweiz*. 2016. URL: <http://wind-data.ch/windkarte/>.
- [47] Bundesamt für Statistik – Gebäude und Wohnungen. *Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister*. 2016. URL: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/00/05/blank/01.html>.
- [48] Bundesamt für Statistik – Gebäude und Wohnungen. *Bestellung eidgenössischer GWR-Daten*. 2016. URL: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/00/05/blank/01/05.html>.
- [49] Moritz Kulawik und Peter Bucher. *Gebäude-Heizenergiebedarf – Methodik zur Schätzung des Heizenergiebedarfs der Wohngebäude*. Bericht. Bau, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement des Kanton Luzern – Umwelt und Energie (uwe), 12. Juni 2013.
- [50] Recueil officiel systématique de la législation genevoise. *Règlement d’application de la loi sur l’énergie (REn) (L 2 30.01)*. Hrsg. von Site officiel de l’Etat de Genève. 2016. URL: http://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_L2_30P01.html.
- [51] Stefan Schneider u. a. „Geo-dependent heat demand model of the Swiss building stock“. Zürich, 13.–17. Juni 2016.
- [52] Nahid Mohajeri. *Data mining: Geo-dependent energy supply in relation to urban form*. 2016. URL: <http://leso.epfl.ch/page-119249-en.html>.
- [53] Erdjan Opan. *Konzept und Nutzen einer nationalen GIS-Datenbank für Energielieferungen in Gebäude*. SIA, OPAN concept SA, 13. Jan. 2016. URL: <http://www.swissbau.ch/~media/swissbau/EventReport/2016/mittwoch-13-01/eine-nationale-gebaeudeenergiedatenbank/p-erdjan-opan.ashx>.
- [54] Erdjan Opan. „Eine Gebäudeenergie-Datenbank für alle“. In: *TEC21* (Feb. 2016).
- [55] Rolf Frischknecht u. a. *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen*. 2011.

- [56] René Itten und Rolf Frischknecht. *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen*. 2014.
- [57] eco-bau. *Ökobilanzdaten im Baubereich*. Techn. Ber. 2016. URL: <http://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=17&ID=46>.
- [58] Rolf Frischknecht u. a. *Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe*. Juni 2012.
- [59] Martin Jakob u. a. *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich*. Synthesebericht. Bundesamt für Energie, 28. Feb. 2014. URL: http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/index.html?lang=de&marker_suche=1&ps_text=Geb%C3%A4&start=30.
- [60] Gérard Calot. *Two centuries of Swiss demographic history*. Graphic album. Bundesamt für Energie, 1998.
- [61] QGIS Development Team u. a. *QGIS geographic information system*. 2013. URL: <http://qgis.osgeo.org/de/site/>.
- [62] SIA Norm. *180-Wärme-und Feuchteschutz im Hochbau (SN 520 180) Schweizerischer Ingenieur-und Architektenverein SIA*. 2011.
- [63] Reto Dettli und Stephanie Bade. *Vorstudie zur Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten*. Vorstudie. Bundesamt für Energie, Nov. 2007.
- [64] Peter Hofer. *Erarbeitung einer dem vorliegenden Bundesergebnis vergleichbaren Darstellung der kantonalen Heizwärmebedarfe nach Gebäudetypen und Baualtersklassen*. Bericht. Bundesamt für Energie, Dez. 2007. URL: <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=en&project=101770#suchergebnisse>.
- [65] Baudirektion Zürich – AWEL, Abteilung Energie. *Energiekennzahlen Wohnbauten*. März 2014.
- [66] Werner Betschart. *Im Labyrinth der Energiestandards*. Juni 2001. URL: http://www.wbg-schweiz.ch/data/01_06_09.pdf.
- [67] energie.ch. *Heizen*. Hrsg. von Rolf Gloor. 2016. URL: <http://www.energie.ch/heizung>.
- [68] SIA Merkblatt. „2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie-und Gebäudetechnik“. In: *Zürich: Swiss Society of Engineers and Architects* (2006).
- [69] SIA Merkblatt. „2028 Klimadaten für Bauphysik“. In: *Energie-und Gebäudetechnik Ausgabe* (2008).
- [70] Joachim Ködel. *persönliche Kommunikation*. 2016.
- [71] Justiz-, Gemeinde- und Kirchendirektion Bern. 2016. URL: http://www.jgk.be.ch/jgk/de/index/baubewilligungen/baubewilligungen/baugesuchsformulare/formularbaugesuchsteller.assetref/dam/documents/JGK/AGR/de/Baubewilligungen/AGR_BAUEN_3_7_Waermeentzug_mittels_Erdsonden_de.pdf.
- [72] Roland Wagner. *Erdsondenpotential in der Stadt Zürich*. Schlussbericht. Stadt Zürich Amt für Hochbauten – Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Mai 2014.
- [73] SIA Merkblatt. „SIA Effizienzpfad Energie 2040“. In: *Zürich, Schweizerischer Ingenieurund Architektenverein* (2011).
- [74] Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel. *Wirtschaftlichkeit, Wertanalyse und Instandhaltung*. 2016. URL: https://www.delta-q.de/cms/de/fuer_studenten/wirtschaftlichkeit.html#LEG.
- [75] Hans-Stefan Müller. *Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen / energetischer Modernisierung*. 2016. URL: <http://www.energie-m.de/info/wirtschaftlichkeit-vdi2067.html>.
- [76] Ostfalia Hochschule in Wolfenbüttel. *Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung*. 2016.
- [77] Urs Held. *Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung*. Skript. Hochschule Luzern, 2015.
- [78] École Polytechnique Fédérale de Lausanne. *EnergyScope – Building Energy Performance*. 7. März 2015. URL: http://wiki.energyscope.ch/doku.php?id=en:heated_surface#references.
- [79] Almut Kirchner u. a. *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050*. Bericht. Bundesamt für Energie, 12. Sep. 2012. URL: http://wiki.energyscope.ch/doku.php?id=en:heated_surface#references.
- [80] Christof Bucher. „Smart-grid statt Netzausbau“. In: *Bulletin* (März 2015).
- [81] Stadt Zürich Amt für Hochbau. *Variantevergleich Energiesysteme*. 2016. URL: https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/beratung/gebaeude_energietechnik/werkzeuge.html.
- [82] Martin Geidl u. a. „Energy hubs for the future“. In: *IEEE Power and Energy Magazine* 5.1 (2007), S. 24.
- [83] M Schulze, L Friedrich und M Gautschi. „Modeling and optimization of renewables: applying the energy hub approach“. In: *Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference on*. IEEE. 2008, S. 83–88.
- [84] Kristina Orehounig, Ralph Evins und Viktor Dorer. „Integration of decentralized energy systems in neighbourhoods using the energy hub approach“. In: *Applied Energy* 154 (2015), S. 277–289. ISSN: 0306-2619. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.114>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915005772>.
- [85] Kristina Orehounig u. a. „Assessment of Renewable Energy Integration for a Village Using the Energy Hub Concept“. In: *Energy Procedia* 57 (2014). 2013 {ISES} Solar World Congress, S. 940–949. ISSN: 1876-6102. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.076>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021401443X>.

- [86] Kristina Orehounig u. a. „Towards an energy sustainable community: An energy system analysis for a village in Switzerland“. In: *Energy and Buildings* 84 (2014), S. 277–286. ISSN: 0378-7788. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.012>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814006549>.
- [87] Marc J. Epstein und Marie-Josée Roy. „Sustainability in Action: Identifying and Measuring the Key Performance Drivers“. In: *Long Range Planning* 34.5 (2001), S. 585–604. ISSN: 0024-6301. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0024-6301\(01\)00084-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0024-6301(01)00084-X). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002463010100084X>.
- [88] O.O. Ugwu und T.C. Haupt. „Key performance indicators and assessment methods for infrastructure sustainability—a South African construction industry perspective“. In: *Building and Environment* 42.2 (2007), S. 665–680. ISSN: 0360-1323. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.018>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305004555>.
- [89] B. Marr. *Key Performance Indicators For Dummies*. –For dummies. Wiley, 2015. ISBN: 9781118913246. URL: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-111891323X.html>.
- [90] Raul Rodriguez Rodriguez, Juan José Alfaro Saiz und Angel Ortiz Bas. „Quantitative relationships between key performance indicators for supporting decision-making processes“. In: *Computers in Industry* 60.2 (2009), S. 104–113. ISSN: 0166-3615. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2008.09.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361508001012>.
- [91] servicenow. *KPI Library*. 2016. URL: <http://kpilibrary.com/>.
- [92] MARKAL and TIMES. 2016. URL: <http://www.iea-etsap.org/web/Markal.asp>.
- [93] D. Connolly u. a. „A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems“. In: *Applied Energy* 87.4 (2010), S. 1059–1082. ISSN: 0306-2619. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.026>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909004188>.
- [94] Matthias Sulzer. *persönliche Kommunikation*. 2016.
- [95] Knut Bleicher. „Das Konzept integriertes management“. In: (1992).
- [96] W Ross. *An introduction to Cybernetics*. Chapman und Hall, 1961.
- [97] Hans Ulrich und Gilbert JB Probst. *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: ein Brevier für Führungskräfte*. Haupt, 1995.
- [98] Henning Bandte. *Komplexität in Organisationen: organisationstheoretische Betrachtungen und agentenbasierte Simulation*. Springer-Verlag, 2007.
- [99] Andreas Häuslein. *Systemanalyse: Grundlagen, Techniken, Notierungen*. VDE Verlag, 2004.
- [100] Gregor Arlt. *Systemansatz eines produkt- und ablauforientierten Qualitätsmanagements durch Integration der Systemtechnik*. Bd. 109. Technik und Wirtschaft. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999. ISBN: 3183109166.
- [101] Reinhard Haberfellner und Olivier de Weck. „10.1.3 Agile SYSTEMS ENGINEERING versus AGILE SYSTEMS engineering“. In: *INCOSE* 15.1 (2005), S. 1449–1465. ISSN: 2334-5837. DOI: 10.1002/j.2334-5837.2005.tb00762.x. URL: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2334-5837.2005.tb00762.x>.
- [102] Robert Sell. *Angewandtes Problemlösungsverhalten: Denken und Handeln in komplexen Zusammenhängen*. Springer-Verlag, 1989.
- [103] Richard Y. Wang und Diane M. Strong. „Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers“. In: *Journal of Management Information Systems* 12.4 (1996), S. 5–33. DOI: 10.1080/07421222.1996.11518099. eprint: <http://dx.doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099>. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099>.
- [104] Carlo Batini und Monica Scannapieca. „Data Quality Dimensions“. In: *Data Quality: Concepts, Methodologies and Techniques* (2006), S. 19–49.
- [105] Carlo Batini und Monica Scannapieca. *Data Quality – Concepts, Methodologies and Techniques*. Springer, 2006.
- [106] Holger Nohr. „Management der Informationsqualität“. In: *Informationswirtschaft: Innovation für die Neue Ökonomie*. Hrsg. von Wolf-Fritz Riekert und Martin Michelson. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2001. Kap. Management der Informationsqualität, S. 57–77. ISBN: 978-3-322-87395-8. DOI: 10.1007/978-3-322-87395-8_4. URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-87395-8_4.
- [107] Deutsche Gesellschaft für Informations- und Datenqualität e.V. (DGIQ). *Anwenderbezogene Definition für 15 IQ-Dimensionen*. Hrsg. von Dr. Winfried Felser. 7. März 2008. URL: <http://www.competence-site.de/die-dgiq-legteine-anwenderbezogene-definition-fuer-15-iq-dimensionen-vor/>.
- [108] Yang W. Lee u. a. „AIMQ: a methodology for information quality assessment“. In: *Information & Management* 40.2 (2002), S. 133–146. ISSN: 0378-7206. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206\(02\)00043-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206(02)00043-5). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720602000435>.

Curriculum Vitae

Lebenslauf

Persönliches

Name	Thomas Schluck
Geburtsdatum	29.07.1980
Geburtsort	Hechingen
Nationalität	deutsch

Beruf

08/2014 - heute Wissenschaftlicher Mitarbeiter, ZIG, Hochschule Luzern

Ausbildung

08/2008 - 12/2013	Doktorarbeit an der Universität Zürich, Titel: "Mechanical Perturbation and Stimulation of <i>Drosophila</i> Wing Imaginal Discs"
01/2008	Diplom in Physik, Titel: "Erzeugung definierter Defekte in metallischen Nanodrähten mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops"
2000	Abitur, Gymnasium Hechingen

Stipendien

09/2004 - 07/2005	Stipendium der „Fudan“ Universität, akademisches Jahr, Shanghai
10/2011 - 07/2012	"Forschungskredit" der Universität Zürich

Luzern, 2. Juni 2016

Anhang

A. Liste identifizierter Schlüsselkennwerte

Tabelle A.1. – KPQs für die verwendete Methode des Praxisbeispiels. Zu den Zielen jeden Bausteins wurden KPQs erstellt, die schließlich zu KPIs für die strategisch und operative Bewertung führten. Die Tabelle mit den KPIs findet sich im Anhang A.3. EK: Energiekonzept, THG: Treibhausgasemissionen, UBP: Umweltbelastungspunkte

Ebene	Baustein	KPQ
1	Ausgangslage	(Vision)
2	Zielsetzung	Wie lassen sich THG-Emissionen, Primärenergien (total / nicht-erneuerbar) und UBP reduzieren?
3	Berechnungsgrundlagen	Welche Qualität haben die Informationen?
4	Siedlungstypologie	Wie lässt sich die Siedlung für das EK strukturieren? Wie kann die Infrastruktur für das EK genutzt werden?
	Gebäudestruktur	Wieviel Energie muss das EK dem Gebäudepark zur Verfügung stellen?
	Energieversorgungssystem	Welche bestehenden Energieerzeuger muss das EK berücksichtigen? Welche Temperaturniveaus muss das EK bereitstellen?
	Energiepotentiale	Welche Energiepotentiale kann das EK nutzen, um die Region mit Energie zu versorgen?
5	Gebäudestrukturentwicklung	Welche Entwicklungen im Gebäudebestand und der Gemeinde muss das EK berücksichtigen?
	Versorgungskonzepte	Mit welchen Techniken kann das EK die vorhandenen Potentiale nutzen, um den Bedarf zu decken?
6	Variantenbildung & Bewertung	Welche Kosten entstehen? Wo steht die Region mit dem EK?

Tabelle A.3. – Liste der identifizierten Key-Performance-Identicators (KPIs) geordnet nach Ebenen und Bausteinen. KPIs wurden immer nur einmal aufgezählt.

Ebene	Baustein	KPI	Einheit	Anmerkung	Ütt- ligen
1	Ausgangslage	—	—		
2	Zielsetzung	Treibhausgasemissionen	kgCO ₂ /m ² EBF		x
		Primärenergie total	kWh/m ² EBF		x
		Primärenergie nicht-erneuerbar	kWh/m ² EBF		x
		Umweltbelastungspunkte	Pkt /m ² EBF		x
3	Berechnungsgrundlagen	Informationsqualität	—	vergleiche Anhang „Informationsqualität“	

A. Liste identifizierter Schlüsselkennwerte

4	Siedlungstypologie	Fläche Wohnen	—		x
		Anzahl Gebäude	#		
		Fläche Industrie			
		Fläche Gewerbe			
		Haushalte	#		
		Haushaltsgrößen	# Personen		
		Einwohnerzahl	#		
		Gasnetz	—	ja / nein	x
	Gebäudestruktur	Wärmeverbund	—	ja / nein	x
		Baustandard	[Jahresperiode]	aus Bau- und Renovationsperiode	x
		Energiebezugsfläche	m ²		x
		Endenergieverbrauch Warmwasser	kWh/m ² EBF		x
		Endenergieverbrauch Raumwärme	kWh/m ² EBF		x
		Endenergieverbrauch Elektrizität	kWh/m ² EBF		x
		Endenergieverbrauch Kälte	kWh/m ² EBF		
		Energieversorgungssystem	Energiesystem Warmwasser	—	Öl, Holz, Strom, Strom WP,...
	Energiesystem Raumwärme		—	Öl, Holz, Strom, Strom WP,...	x
	Strommix		—	Atom, Wasser, PV,...	x
	installierte kWp PV		—		x
	Energiepotentiale	Brennholz aus Region	[kWh]	aus nachhaltiger Forstwirtschaft	x
Abwärme		kWh			
Biogas aus der Region		kWh			
Erdwärme		kWh		x	
Grundwasser		kWh			
Fluss- / Seewasser		kWh			
Abwasser		kWh			
Wärme aus Luft	kWh				
5	Gebäudestrukturentwicklung	Flächenentwicklung Wohnen	m ²		x
		Flächenentwicklung Industrie	m ²		
		Flächenentwicklung Gewerbe	m ²		x
		Neu- und Ersatzbaurate	m ²		x
		Gebäudesanierungsrate	m ²		x
		Energieeinsparung / saniertem Quadratmeter	kWh/m ²		x
		Bevölkerungswachstumsrate	—		

A. Liste identifizierter Schlüsselkennwerte

	Versorgungskonzepte	Nutzungsmixentwicklung	—		x
		Wärmebedarfsdichte	MW h ha ⁻¹	oder Leistungsbedarfsdichte	x
		Alter Gebäudetechnik / Anlagen	[Jahre]		
		Quadratmeter unverschattete Fläche (Dach & Fassade) Ertrag Sonneneinstrahlung	m ² kWh/m ²	für Solar- und PV-Anlagen auf Basis unverschatteter Gebäudehülle	x
		Deckungsgrad Abwärme	—		
6	Variantenbildung & Bewertung	Investitionskosten	CHF / Objekt		x
		Energiegestehungskosten	CHF / kWh		x
		Return-on-Investment	CHF / CHF		x
		Autarkiegrad	—		
		Eigenverbrauchsanteil	—		
		Loss of load expectation	h/Jahr		
		Anteil importierte Energie	—		
		Anteil Primärenergie erneuerbar aus Region	—		

B. Theorie der Methodenentwicklung

B.1. Begrifflichkeiten

Hier werden in kurzer Form einige wichtige Begrifflichkeiten aufgeführt, die für das Denkmodell dieser Arbeit von Relevanz sind und in der Literatur wie auch dem allgemeinen Verständnis unterschiedlich konnotiert sind.

Problem: Im Gegensatz zur wörtliche Bedeutung („das was [zur Lösung] vorgelegt wird“) bietet Haberfellner et al. eine konkretisiertere Definition, und zwar sieht er das Problem als „Differenz zwischen IST und SOLL“ [11, 14]. Der Vorteil dieser Definition ist der inhärente Hinweis auf die nötigen und zu definierenden Ziele.

System: Wie ein System zu definieren ist und was es ausmacht, ist Thema der Systemtheorie. Hier wird die Definition nach Haberfellner et al. [14] verwendet: „Ein System ist die Gesamtheit von Elementen, die zueinander Beziehungen aufweisen und gegen die Umwelt abgegrenzt sind.“

Komplexität: Traditionell verstanden als der Grad, der ad hoc eine umfassende und durchdringende geistige Erfassung erschwert oder gar unmöglich macht. Als Maß dient die Varietät, die als Anzahl der möglichen Zustände eines Systems definiert ist [95, 96]¹. Eine klare Trennung zu Kompliziertheit erfolgt nach [97] und [98]. Komplexe Systeme werden demnach charakterisiert durch eine Vielzahl an verschiedenartigen Elementen und dynamischen Verbindungen.

Kompliziertheit: Systeme werden als kompliziert bezeichnet, wenn sie entweder wenig dynamisch und hochgradig vernetzt oder aber hoch dynamisch und schwach vernetzt sind.

Dynamik: Die Zeit die ein System oder dessen Teile benötigen, um von einem Zustand in einen anderen zu wechseln.

Variante: Eine Variante ist eine mögliche Lösung des vorgegebenen Problems. Varianten können unterteilt werden in Prinzip- und Detailvarianten. Prinzipvarianten unterscheiden sich in ihrer Grundidee, während Detailvarianten auf einer Grundidee beruhen, sich aber in Einzelheiten unterscheiden.

Modell: Ein per se reduziertes oder vereinfachtes Abbild der Realität, das einem funktionalen Zweck dient. Näheres inklusive einer Klassifizierung in [99].

B.2. Die Entwicklung von Methoden – verschiedene Vorgehensmodelle

Während sich die Autoren der einschlägigen Werke des Systems Engineering oder der Kybernetik über die Bedeutsamkeit des Systemansatzes einig sind, divergieren die Ansichten zur Vorgehensweise z.T. stark. Zumindest ist den verschiedenen methodischen Ansätzen gemein, dass

¹Eine alternative Definition ist der Logarithmus zur Basis 2 der Zustände des Systems. Näheres ebenfalls in [96]

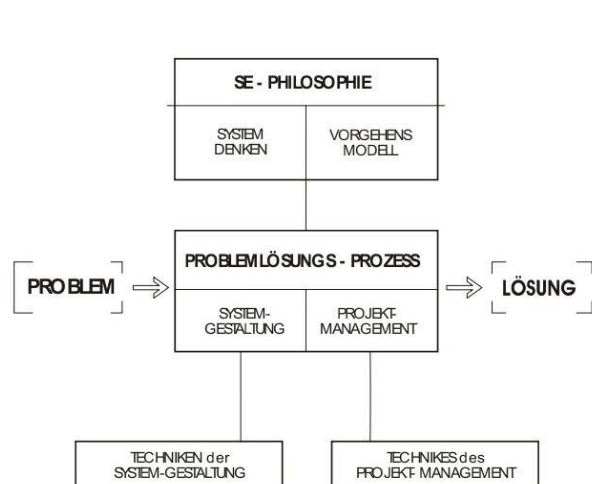


Abbildung B.1. – Abstrakte Darstellung der Inhalte des Systems Engineering nach [14]. Der Disziplin übergeordnet ist die ihr zugrundeliegende Philosophie, die eine Denkweise in Systemen voraussetzt und ein Vorgehensmodell zur Bewältigung komplexer Fragestellungen anbietet. In dieses Gerüst bettet sich der Problemlösungsprozess ein, der sowohl bei der Systemgestaltung als auch dem Projektmanagement unterstützt.

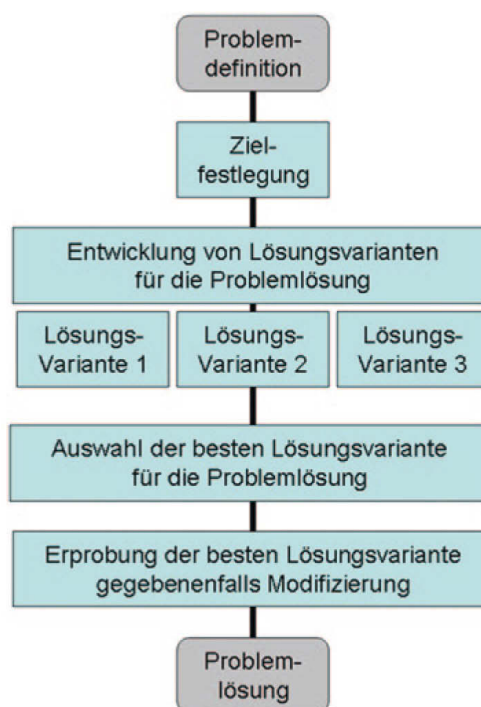


Abbildung B.2. – Durch eine vergleichende Betrachtung verschiedener Vorgehensmodellen wurden typische Kernelemente herausgestellt [10, 100].

sie in Form von Vorgehensmodellen dargestellt werden, d.h. idealisierten Abläufen mit Fokus auf den Inhalt, den zeitlichen Ablauf oder die räumliche Gegebenheiten. Grundlegend kann die Unterteilung gemacht werden in verallgemeinerte methodische Ansätze und in fachspezifische Ansätze. Die verallgemeinerten Ansätze folgen dem Ziel auf möglichst jede Frage- bzw. Aufgabenstellung anwendbar zu sein, wohingegen die fachspezifische Ansätze klar auf die Belange gewisser Branchen zugeschnitten sind. Eine Übersicht über eine Vielzahl an Vorgehensmodellen und den damit verbundenen Denkmodellen findet sich in [12].

Nicht völlig überraschend stellten vergleichende Untersuchungen wie die von Bahill, Gassing und Arlt [10, 100] fest, dass allen Lösungsansätzen gewisse Kernelemente gemein sind. Die Ergebnisse sind in Abbildung B.2 zusammengefasst. Allerdings ginge es zu weit dies als eine generische Lösungsmethode anzusehen. Winzer fordert für eine solche generische Methode:

1. systemisches Denken
2. Transparenz
3. Rückverfolgbarkeit
4. Transdisziplinarität
5. ein zugrundeliegendes Denkmodell an dem sich alle Beteiligten orientieren können

Fast alle der untersuchten Methoden erfüllen diese Anforderungen nur zum Teil.

Die dem systemischen Denkens zugrundeliegende Grundprinzipien sind²:

1. **Das Denken in Systemen:** Dieses soll sicherstellen, dass ein Umgang mit Komplexität gefunden wird und Zusammenhänge wie auch die Wirkung von Vernetzung und dynamischen Prozessen erkannt werden.

²Aggregiert durch Winzer in [12]

2. **Vom Ganzen zum Detail** oder der Top-down-approach: Das System wird im ersten Schritt als Black-box betrachtet und nur dessen Wechselwirkungen mit dessen Umwelt studiert. Dann wird es immer weiter erhellt („grey-box“ bis schließlich „white-box“), was implizit zu einer Hierarchisierung führt.
3. **Die wiederkehrende Reflexion:** Das periodische Hinterfragen soll sicherstellen, dass der Blick für das Ganze nicht verloren geht.
4. **Die Strukturierung:** Sie dient zur Reduktion von Komplexität durch Gruppierung, Hierarchien, Cluster oder Modularisierung.
5. **Vom Abstrakten zum Konkreten:** Sie ähnelt dem Top-down-approach und soll dafür sorgen, dass man sich nicht von Beginn an in Details verliert.
6. **Das minimale Modell:** Dieses fordert ein möglichst einfaches, schlankes Modell, das der Frage- bzw. Problemstellung entspricht. Auch bekannt als KISS³-Prinzip.
7. **Die Verständlichkeit:** Diese fordert, dass Konzepte und Modelle konsistent und überprüfbar, Fragestellungen wohldefiniert und Inhalte eindeutig sind.
8. **Die Anwendung mehrerer Sichten:** Diese soll sicherstellen, dass wichtige Aspekte eines Problems nicht vergessen werden.
9. **Die Neutralität:** Diese bezieht sich auf die strikte Trennung von „was“ gefordert wird und „wie“ dies erreicht wird.
10. **Die Mehrfachverwendbarkeit:** Sie fordert wenn möglich die Modularisierung des Systems und das Wiederverwenden dieser Module innerhalb des Systems
11. **Die Standardisierung:** Sie ist eng verbunden mit der Mehrfachverwendbarkeit und zielt auf die Wiederverwendung von Modulen, Subsystemen o.ä. Einheiten unter anderen Bedingungen und andere Fragestellungen. Dies ist auch die Motivation zur Erforschung generalisierter Lösungskonzepte
12. **Die Informationskapselung:** Sie dient der Austauschbarkeit von Einzelkomponenten des Systems und der Vereinfachung von Schnittstellen.
13. **Das diskursive Vorgehens:** Es fordert die regelmäßige iterative Überprüfung und Konkretisierung der Ziele mit fortschreitender Lösungssuche und Evaluation.
14. **Das Denkens in Alternativen:** Es trägt der Vielzahl an Lösungsmöglichkeiten eines Problems Rechnung.
15. **Der Modalitätenwechsel:** Er ist verbunden mit der Anwendung mehrere Sichten und fordert je nach Erkenntnis die für am besten gehaltene Modalität. Je nach (Teil-)Aufgabe kann ein „top-down-“ oder „bottom-up-approach“ Sinn machen.
16. **Die Problemzerlegung:** Sie fordert die sinnvolle Zerlegung von Problemen in Teilprobleme, um sie für Menschen fassbar und gestaltbar zu machen.
17. **Die Minimierung von Schnittstellen:** Die Problemzerlegung soll derart vorgehen, dass möglichst wenig und möglichst einfache Schnittstellen entstehen. Das Prinzip steht in enger Verbindung zu den Prinzipien der Strukturierung, der Anwendung mehrerer Sichten und der Informationskapselung.

³Keep it simple, stupid.

Es muss angemerkt werden, dass kein Vorgehensmodell zur Lösung von Problem- und Aufgabenstellungen all diese Prinzipien des systemischen Denkens berücksichtigt. Dies zu erreichen ist ein erklärtes Ziel der aktuellen Forschung des generischen Systems Engineering.

B.3. Selektion eines nutzbringenden theoretischen Ansatzes

In einem praxisbezogenen Umfeld mit konkret umzusetzenden Projekten werden in der Regel Methoden verwendet, die sich bewährt haben und die für alle Beteiligten verständlich sind. Eine möglichst vollständige und dem theoretischen Ideal am ehesten entsprechende Methode ist darum nicht unbedingt auch die beste Wahl für ein konkretes Projekt. Nicht ganz ohne Grund sind z.B. in der Softwareentwicklung agile Ansätze populär geworden [101] bis hin zur anscheinenden Auflösung eines geplanten Vorgehens im „Xtreme Programming“. Es bleibt bei derzeitigem Stand der Forschung dabei, dass die Methode zur Lösung einer Frage- oder Aufgabenstellung individuell erarbeitet oder von Aufgaben ähnlichen Charakters angepasst werden muss. Dennoch bieten die hier referenzierten Grundlagenarbeiten einen guten Ausgangspunkt und geben wertvolle Denkanstöße.

Es soll hier nur ein Vorgehensmodell in aller Kürze dargestellt werden auf dem das spezifische Modell für Energiekonzepte letztlich beruht (Abschnitt 4). Das Vorgehensmodell wurde von Haberfellner et al. [11] entwickelt und basiert auf den folgenden vier Komponenten:

1. Vom Groben zum Detail
2. Prinzip der Variantenbildung
3. zeitliche Strukturierung (Projektphasen-Modell)
4. Problemlösungszyklen

Für die Erläuterung der Komponenten eins und zwei wird auf Abschnitt B.2 verwiesen. Die Komponente der zeitlichen Strukturierung sieht Haberfellner als „Makrostrategie“ zur Strukturierung und Planung eines Vorhabens, die letztlich Aufgaben und Tätigkeiten definieren. Die Komponente des Problemlösungszyklus wird von Haberfellner et al. als eine Art „Mikrostrategie“ bezeichnet und wird innerhalb der jeweiligen Entwicklungsphase angewandt. Dieser innere Problemlösungszyklus ist am menschlichen Denkmuster angelehnt und gliedert sich die „Zielsuche“, die „Lösungssuche“ und die „Auswahl“. Andere Autoren wie z.B. Sell [102] orientieren sich mehr am menschlichen Entscheidungsprozess und unterteilt den Lösungsprozess in Phasen der „Orientierung“, der „Ausführung“ und der „Kontrolle“ des Handelnden.

B.4. Informationsqualität

Grundlagen der Empirie, der exakten Wissenschaften und natürlich des Ingenieurwesens sind experimentell erhobene Daten. Der Wert von Daten ergibt sich jedoch erst durch die von ihnen enthaltenen Informationen. Daten und Informationen sind somit eng miteinander verbunden und werden häufig sogar synonym zueinander gebraucht – selbst in einschlägigen wissenschaftlichen Publikationen, wie z.B. [103–105]. Dieser Ansatz ist sicherlich auch tolerierbar, solange das Bewusstsein für diesen Unterschied besteht und der Kontext klar auf die verwendete Bedeutung hinweist.

Betrachtete man Daten als Gefäß und Informationen als deren Füllung, so lassen sich für Daten ohne weiteres technische Qualitätskriterien finden. Solche sind dann z.B., dass die Daten *semantisch und syntaktisch korrekt, vollständig, möglichst frei von Redundanzen, klar interpretierbar und verständlich* sind.

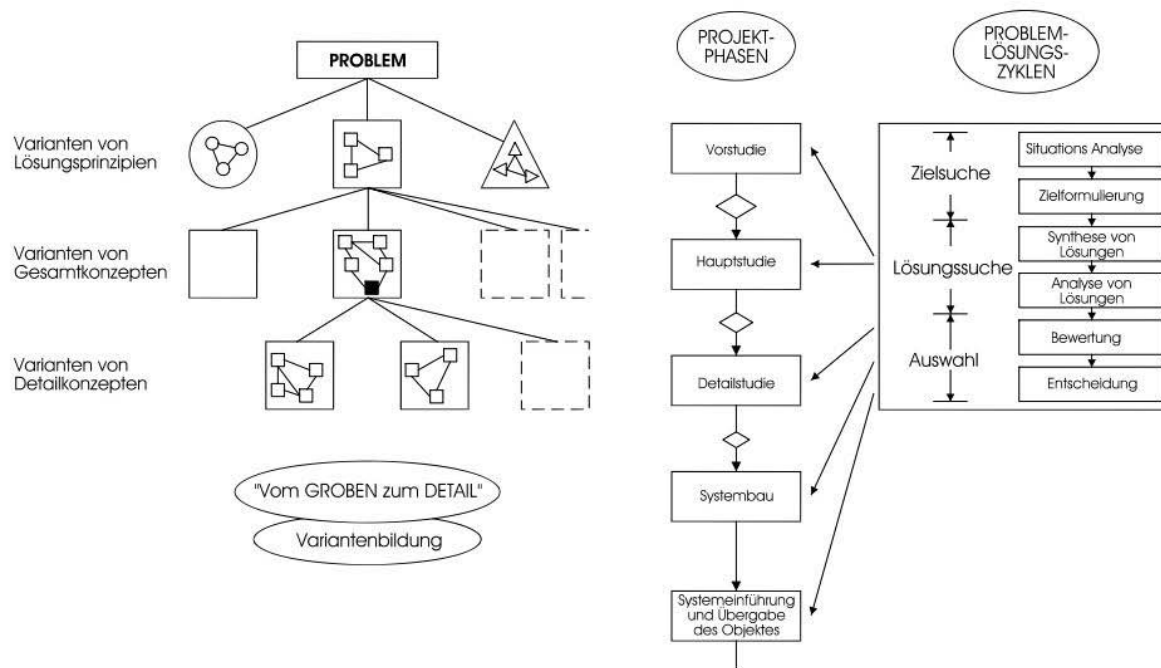


Abbildung B.3. – Darstellung des Vorgehensmodells nach [14] basierend auf den Prinzipien „vom Groben zum Detail“, „Variantenbildung“, „Projektphasen“ und „Problemlösungszyklus“.

Die Qualitätskriterien für Informationen sind vielschichtig und stehen im Kontext ihrer Anwendung [106]. Qualitativ gute Informationen erfüllen die an sie gestellten Bedarfsanforderungen und bilden die Realität soweit verlässlich ab, dass ein Planen und Handeln aufgrund dieser Informationen möglich ist. Eine der bekanntesten Kriterienliste für Informationsqualität stammt von Wang et al. [103], der die Kriterien auch wie folgt kategorisierte (modifiziert nach [107] für den deutschsprachigen Raum):

1. System:

- Zugänglichkeit:* Informationen sind anhand einfacher Verfahren und auf direktem Weg für den Anwender abrufbar.
- Bearbeitbarkeit:* Informationen sind leicht zu ändern und für unterschiedliche Zwecke verwendbar.

2. Inhalt:

- Hohes Ansehen:* Die Informationsquelle, das Transportmedium und das verarbeitenden System stehen im Ruf einer hohen Vertrauenswürdigkeit und Kompetenz.
- Fehlerfreiheit:* Informationen stimmen mit der Realität überein.
- Objektivität:* Informationen sind streng sachlich und wertfrei.
- Glaubwürdigkeit:* Zertifikate weisen einen hohen Qualitätsstandard aus, die Informationsgewinnung und -verbreitung wird mit hohem Aufwand betrieben, Informationen werden von glaubwürdiger Stelle erhoben (z.B. Amt für Statistik).

3. Darstellung:

- Eindeutige Auslegbarkeit:* Informationen werden in gleicher, fachlich korrekter Art und Weise begriffen.
- Einheitliche Darstellung:* Die Informationen werden fortlaufend und auf dieselbe Art und Weise abgebildet.

- i) *Übersichtlichkeit*: Genau die benötigten Informationen werden in einem passenden und leicht fassbaren Format dargestellt.
- j) *Verständlichkeit*: Informationen werden unmittelbar von den Anwendern verstanden und können für deren Zwecke eingesetzt werden.

4. Nutzung:

- k) *Relevanz*: Informationen enthalten für den Anwender die notwendigen Informationen.
- l) *Angemessener Umfang*: Informationen genügen in ihrer Menge den gestellten Anforderungen.
- m) *Vollständigkeit*: Informationen fehlen nicht zu den festgelegten Zeitpunkten; sie stehen in den jeweiligen Prozessschritten zur Verfügung.
- n) *Wertschöpfung*: Ihre Nutzung kann zu einer quantifizierbaren Steigerung einer monetären Zielfunktion führen.
- o) *Aktualität*: Informationen bilden die tatsächliche Eigenschaft des beschriebenen Objektes zeitnah ab.

Die Definition des Kriteriums der „Wertschöpfung“ könnte im Kontext von regionalen Energiekonzepten als zu eng definiert kritisiert werden. Gegenüberstellungen weiterer in der Literatur vertretenen Kategorisierungen findet sich z.B. in [108] oder [104].

C. Darstellungen zum Praxisbeispiel Üttligen

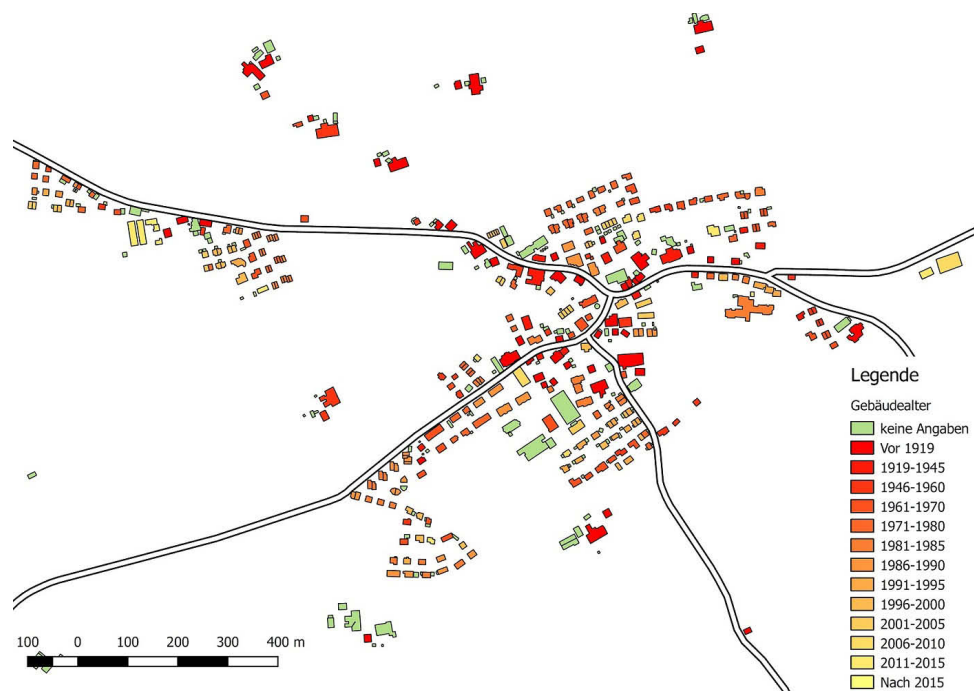


Abbildung C.1. – Farbliche Unterscheidung des Gebäudealters im Dorf Üttligen.



Abbildung C.2. – Farblich Unterscheidung der verschiedenen Nutzungsarten der Gebäude in Üttligen.

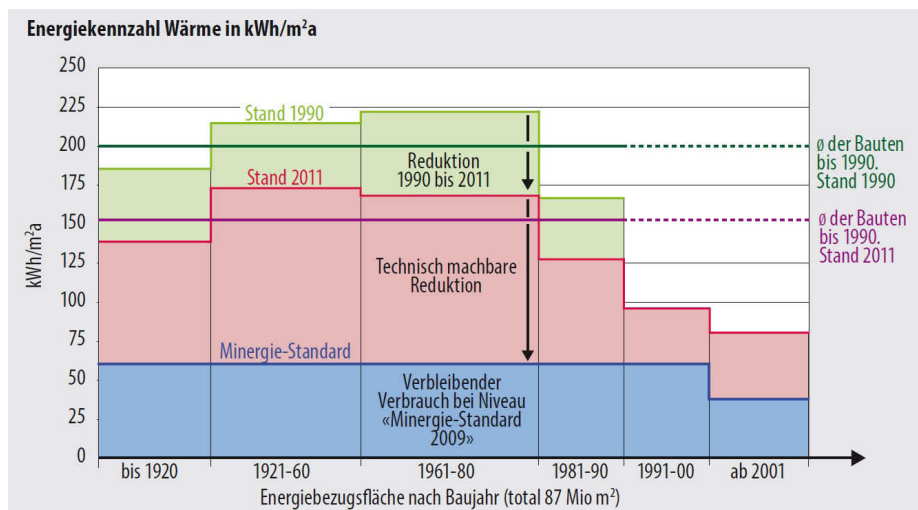


Abbildung C.3. – Für Uettligen verwendeten Energiekennzahlen Wärme für Wohnbauten (Kanton Zürich). [65]

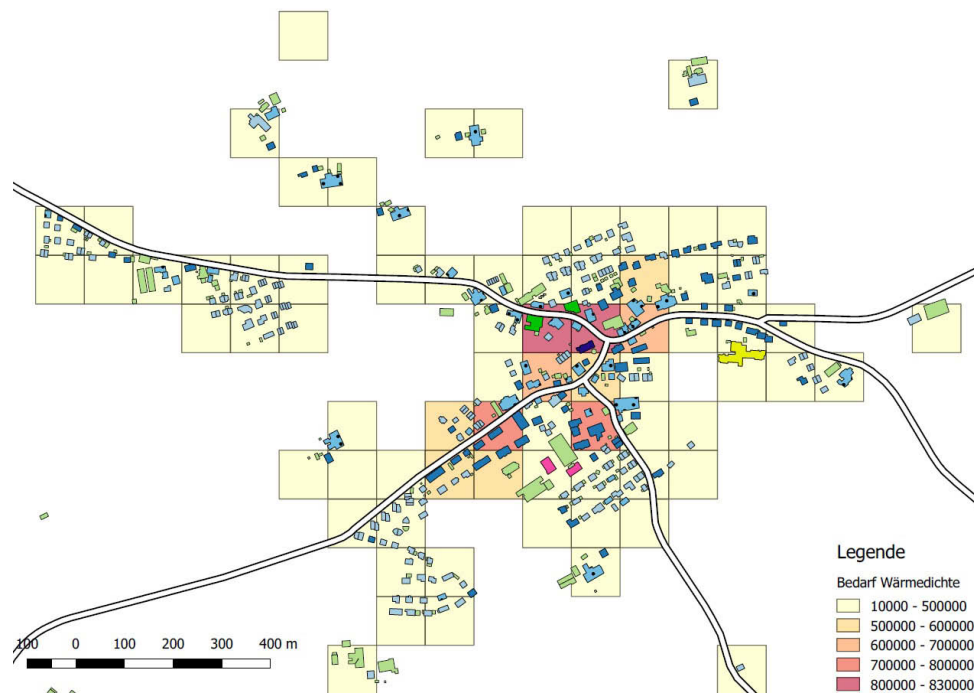


Abbildung C.4. – Wärmedichte pro Hektar für den Fall Üttligen, erstellt mit QGIS [61].

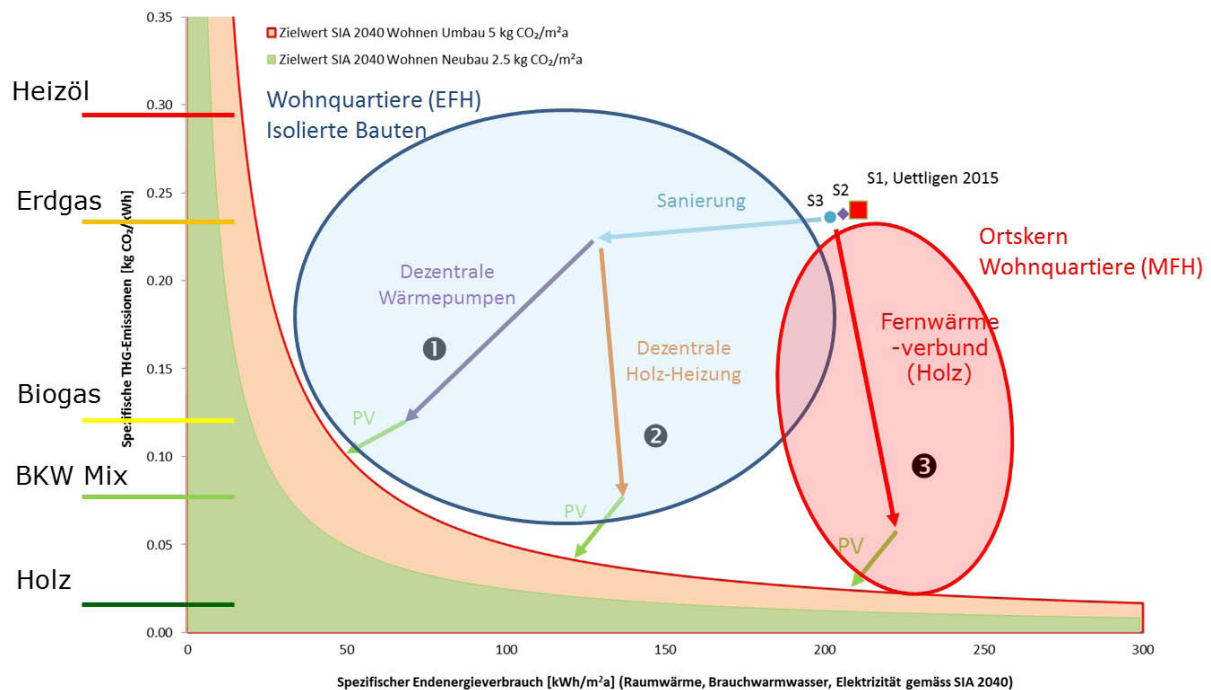


Abbildung C.5. – Versorgungskonzepte für Üttligen. Es sind drei Extremlösungen dargestellt: Der Einsatz eines Wärmeverbundes auf hohem Temperaturniveau ohne Sanierungsmassnahmen, Dezentrale Holz-Heizungen nach vorgenommener Sanierung, sowie der Einsatz von Wärmepumpen nach Sanierungen.