



# White Paper: Empfehlungen für die Definition von Szenarien für die Netzplanung

Noah Pflugradt, Urs Muntwyler, Stephan Koch, Andreas Ulbig, Hans-Rudolf  
Röthlisberger, Birgit Kurz, Benedict Wyss  
Version 2.0, 01.05.2020

source: <https://doi.org/10.24451/arbtor.13945> | downloaded: 12.10.2021

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	3
3	Szenarien im Projekt	3
4	Ergebnisse aus dem Projekt	4
5	Wichtigste Megatrends	7
6	Definition von Szenarien	9
7	Empfohlenes Vorgehen	11
8	Versionskontrolle	13

# 1 Zusammenfassung

Dieses White Paper beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Projekt «SimZukunft» für die Definition von Szenarien. Es soll als Diskussionsgrundlage für andere Netzbetreiber und Forschungsprojekte in diesem Bereich dienen.

## 2 Einleitung

Das Ziel des Projekts SimZukunft war, die Vorteile fortgeschrittener Planungsmethodik für die Stromnetzplanung zu demonstrieren. Die dafür verwendete Methode ist die detaillierte Modellierung der Stadt Burgdorf in einer Zusammenarbeit des Labors für Photovoltaiksysteme an der Berner Fachhochschule mit der Baudirektion Burgdorf, dem lokalen Energieversorger Localnet und der Netzplanungsfirma Adaptricity für den Zeitraum bis 2050. Dabei wird zum einen die Energiestrategie 2050 konkret auf eine schweizerische Kleinstadt angewandt. Zum anderen wird mit zusätzlichen Szenarien die Parametersensitivität der Ergebnisse geprüft.

Die Motivation ist der rapide, weltweite Umbruch der Energieversorgungssysteme und der drohende Klimawandel. Eine Fehlplanung kann hier bei den langen Investitionszeiträumen von 30-50 Jahren sehr teuer und langfristig sein.

Eine gute Simulation der Zukunft mit Berücksichtigung der sich abzeichnenden Entwicklungen ist essentiell, da viele Entwicklungen zum Teil gegenläufige Auswirkungen haben und einfache Abschätzungen von z.B. Spitzenlasten zu starken Überdimensionierungen oder die fehlende Berücksichtigung wichtiger Änderungen zu deutlichen Unterdimensionierungen führen können.

## 3 Szenarien im Projekt

Dieser Abschnitt stellt kurz die im Projekt «SimZukunft» verwendeten Szenarien vor für ein besseres Verständnis und Einordnung des Projekts.

### 3.1 Szenario 1: ES2050-NEP-E

*Szenario Neue Energiepolitik, Variante E aus den Energieperspektiven 2050*

Dieses Szenario bildet die Werte aus der Studie «Energieperspektiven 2050» auf Burgdorf ab. Das Dokument stammt von Prognos, und ist die Grundlage für die Energiestrategie 2050. Dabei wird das Szenario «Neue Energiepolitik» in der Variante «E» für «Erneuerbare Energien» gewählt. Dabei handelt es sich um einen (aus heutiger Sicht) relativ moderaten Ausbau an erneuerbaren Energien, einen gewissen Anteil an Elektromobilität und eine weitgehende Sanierung des Häuserbestands zur Reduktion der Heizkosten. Die Wirtschaft wächst langsam, aber stetig. Kernkraftwerke werden abgeschaltet und mit einer Mischung aus erneuerbaren und Energiekäufen aus dem Ausland ersetzt.

### 3.2 Szenario 2: ES2050-POM-E

*Szenario Politische Massnahmen, Variante E aus den Energieperspektiven 2050*

Dieses Szenario bildet ebenfalls Werte aus der Studie «Energieperspektiven 2050» auf Burgdorf ab, hier für das Szenario «Politische Massnahmen», Variante E. Es handelt sich dabei bezüglich der Lastmodellierung um eine leicht abgeschwächte Version von ES2050-

NEP-E, d.h. etwas weniger Gebäudesanierungen, etwas weniger dezentrale Photovoltaik und relativ wenig Elektromobilität.

### 3.3 Szenario 3: Utopia

*Alles läuft bestmöglich: PV überall, billigste Energiespeicher, alles Elektroautos, moderater Klimawandel mit Klimatisierung, keine Flüchtlinge, viele energieautarke EFH*

Dieses Szenario dient zusammen mit dem Szenario Dystopie zur Sensitivitätsprüfung der Parameter. Dafür werden alle Parameter auf (aus heutiger Sicht) unrealistisch gute / oder schlechte Extremwerte gesetzt. Damit wird geprüft, wie gross der Einfluss der Parameter auf die Gesamtsimulation ist und welche Parameter möglichst genau in den nächsten Jahren beobachtet werden müssen, da diese den grössten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben werden.

Ziel bei der Gestaltung von Utopia war eine vollständige Dekarbonisierung und eine Plus-Energiestadt, d.h. die dezentrale Einspeisung sollte insgesamt über das Jahr mehr Energie erzeugen, als die Stadt verbraucht.

### 3.4 Szenario 4: Dystopia

*Alles geht schief: Kaum erneuerbare, keine Energiespeicher, Klimawandel mit viel Klimatisierung, kaum Elektroautos, schlechte Wirtschaft, Flüchtlinge*

Dieses Szenario soll abbilden, was passiert, wenn genau das Gegenteil des Utopia-Szenarios eintritt. Das bedeutet, dass in dem Szenario der Ausbau der erneuerbaren relativ gering bleibt, aber der Energieverbrauch deutlich erhöht wird, durch Elektromobilität, Wärmepumpen zur Beheizung von schlecht isolierten Gebäuden und grosse Klimatisierungslasten im Sommer durch den Klimawandel.

## 4 Ergebnisse aus dem Projekt

Dieser Abschnitt stellt einige der Ergebnisse aus dem Projekt kurz vor, um zu zeigen, welche Ergebnisse die dort gewählten Szenarien hatten.

### 4.1 Lasten am Umspannwerk

Abbildung 1 zeigt die maximale und Abbildung 2 zeigt die minimale Last am Umspannwerk. Dabei wird keine dezentrale Energiespeicherung oder intelligente Laststeuerung berücksichtigt. Man sieht, dass je nach Szenario die Last am Umspannwerk sich mehr als verdoppeln kann gegenüber der Gegenwart. Auch sieht man, dass die Einspeisung mit zunehmendem PV-Ausbau in allen Szenarien gegen 2050 zumindest gelegentlich leicht negativ wird, aber im Szenario Utopia bis zu 500% der gegenwärtigen Maximallast zurückgespeist wird, wenn die PV-Anlagen nicht abgeregelt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass diese extremen Lasten nur wenige Stunden jedes Jahr auftauchen.

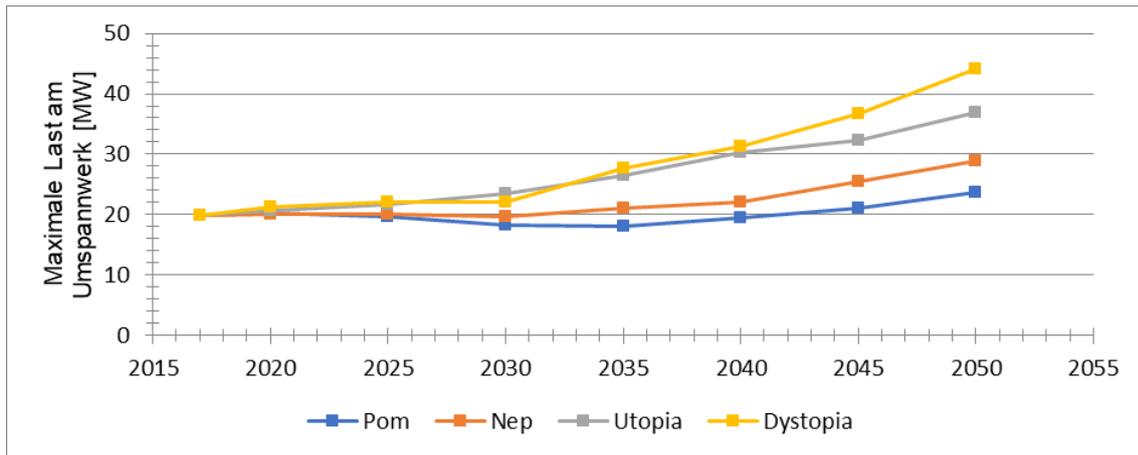


Abbildung 1: Maximale Last am Umspannwerk für die vier Szenarien im Projekt SimZukunft in Burgdorf

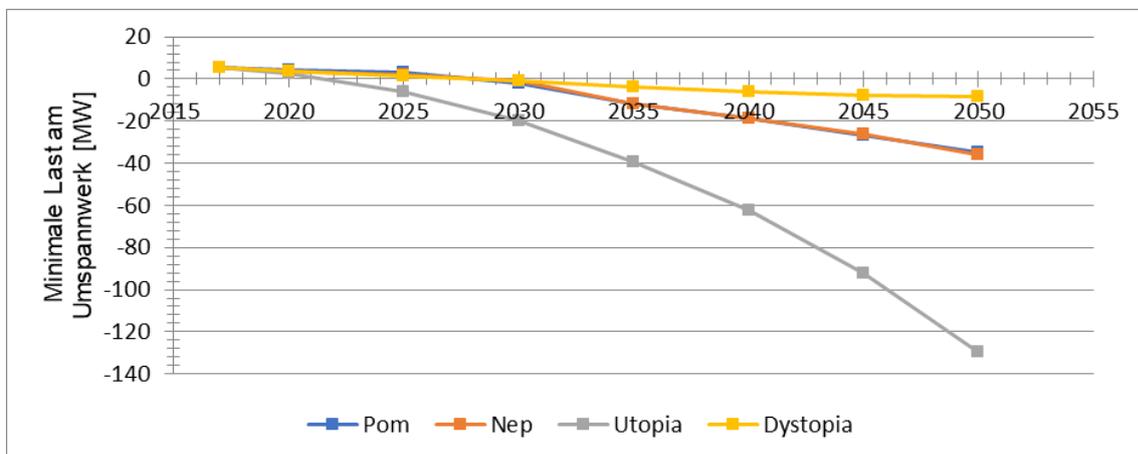


Abbildung 2: Minimale Last am Umspannwerk für die vier Szenarien im Projekt SimZukunft in Burgdorf

## 4.2 Energiebedarfe

Abbildung 3 zeigt den Netto-Energiebedarf der verschiedenen Szenarien. Man sieht, dass der Netto-Energiebedarf der Stadt entweder bis zu 50% steigen oder auch sich ins Negative verkehren kann. Bemerkenswert ist, dass sich auch den relativ moderaten NEP und POM-Szenarien der Netto-Energiebedarf der Stadt halbiert.

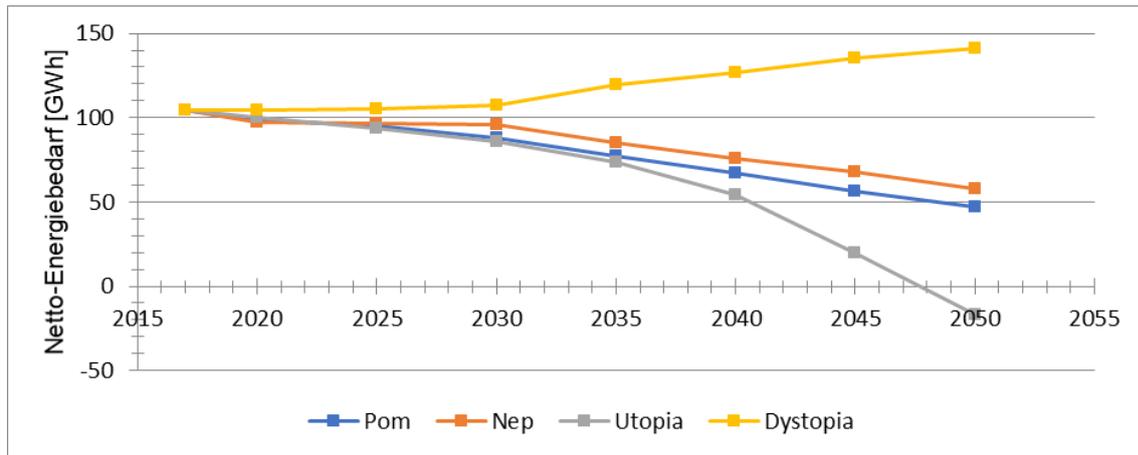


Abbildung 3: Netto-Energiebedarf der Stadt in den verschiedenen Szenarien von der Gegenwart bis 2050

### 4.3 Verteilnetz

Abbildung 4 zeigt die Anzahl der Niederspannungstransformatoren, welche in den verschiedenen Szenarien überlastet werden. Insgesamt verfügt Burgdorf über 101 Transformatoren. Zusätzlich zeigt die Grafik noch, was die maximale Auswirkung von dezentraler Speicherung und intelligenter Laststeuerung sein könnten. Man sieht, dass für Utopia die Anzahl der überlasteten Transformatoren ungefähr halbiert werden kann.

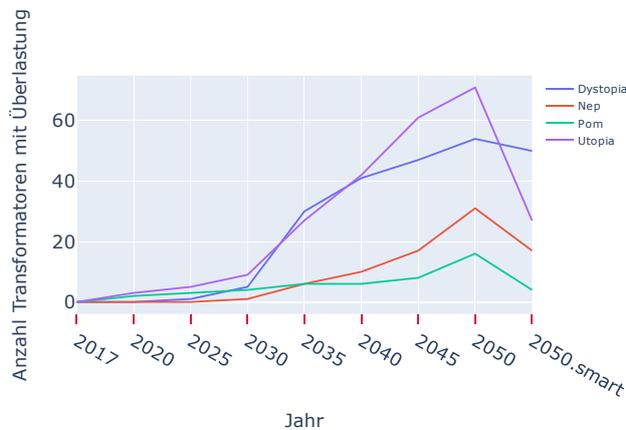


Abbildung 4: Anzahl der überlasteten Trafostationen für die unterschiedlichen Szenarien. Für 2050 ist zusätzlich die Variante "Smart" mit aufgeführt, die maximalen Ausbauen von dezentralen Energiespeichern und Demand-Side-Management abbildet.

Als letztes zeigt Abbildung 5 noch einen anonymisierten Ausschnitt aus einem Verteilnetz, um zu zeigen, welche Ergebnisse mit solchen Studien möglich sind. Wenn für jeden Hausanschlusspunkt Lastprofile vorliegen, dann ist es möglich, Auswertungen zu erstellen, die für jeden Kabelabschnitt die Auslastung für jedes Jahr und jedes Szenario darstellen.

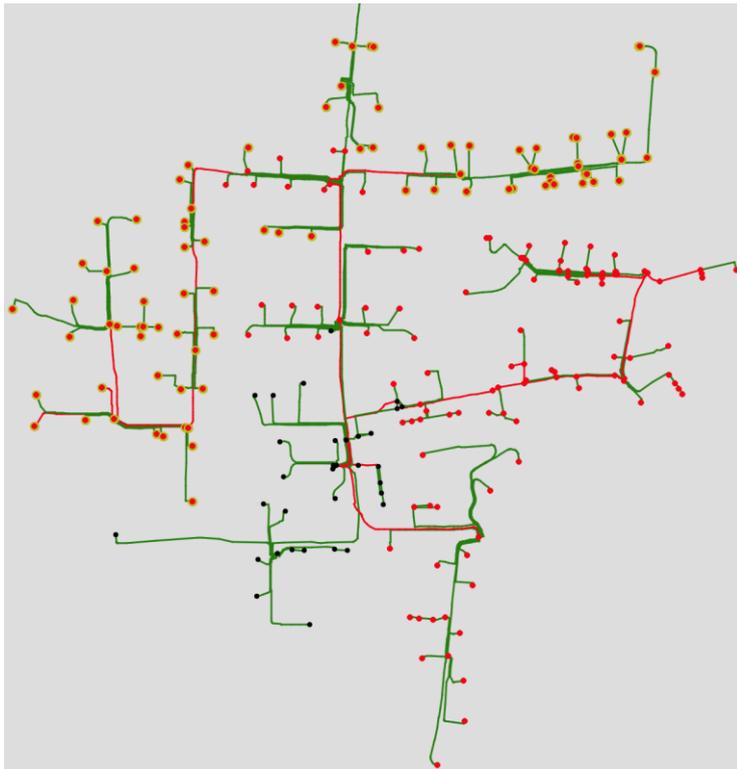


Abbildung 5: Anonymisierter Ausschnitt aus einem Verteilnetz mit Darstellung der gefährdeten Leitungsabschnitte für eins der Szenarien

## 5 Wichtigste Megatrends

Es gibt eine Reihe von Entwicklungen, welche den künftigen Stromverbrauch deutlich beeinflussen können. Bei jeder Szenarienmodellierung sollten diese unbedingt berücksichtigt werden. Tabelle 1 enthält eine kurze Übersicht über die wichtigsten Entwicklungen, welche im Projekt identifiziert wurden und eine ungefähre prozentuale Einschätzung der Auswirkungen, relativ zur Gegenwart. Es handelt sich um Schätzungen der Autoren, nicht um generell allgemeingültige Werte. Es ist grundsätzlich jeder Einzelfall zu prüfen. Eine Grossstadt mit z.B. Chemieindustrie wird völlig andere Werte haben als eine Kleinstadt oder ein Dorf.

Tabelle 1: Wichtigste Einflussfaktoren auf den zukünftigen Energieverbrauch

Entwicklung	Beschreibung	Änderung Energieverbrauch [%]
<b>Wärmepumpen</b>	Im Zuge der Dekarbonisierung der Gebäudeheizungen scheinen Wärmepumpen die momentan aussichtsreichste Alternative zu sein.	+20% bis +40%
<b>Effizienzsteigerungen</b>	Durch Effizienzsteigerungen waren bei Bestandskunden in den letzten Jahren Verbrauchsreduktionen von 1% pro Jahr sichtbar.	Minus 5% bis minus 30%
<b>Elektromobilität</b>	Im Zuge der Dekarbonisierung des Verkehrs müssen fossile Energieträger im Verkehr ersetzt werden. Nach gegenwärtigem Stand der Technik scheinen Batteriefahrzeuge dafür am Aussichtsreichsten zu sein, da der beste energetische Wirkungsgrad vorliegt.	+15% bis +30%

<b>Elektrischer Nahverkehr</b>	Auch der öffentliche Nahverkehr muss elektrifiziert werden für die Decarbonisierung. Hier ist allerdings noch nicht klar, welche Technologie künftig dominieren wird. Sowohl Wasserstoff, Oberleitungen als auch Batterien haben alle ihre spezifischen Nischen und es muss im Einzelfall geprüft werden, welche Technologie in den Szenarien eingesetzt wird.	Keine Daten
<b>Elektrischer Güterverkehr</b>	Während der Zugverkehr in der Schweiz bereits vollständig elektrifiziert ist, ist der LKW-Verkehr und der innerstädtische Lieferverkehr bisher kaum elektrifiziert. Für eine vollständige Elektrifizierung müssen auch diese künftigen Lasten berücksichtigt werden.	Keine Daten
<b>Elektrifizierung der Industrie</b>	In der Industrie gibt es drei grosse Hauptgründe für den Einsatz von fossilen Energieträgern: Bedarf an Niedertemperaturwärme, Bedarf an Hochtemperaturwärme und Prozessbedarf. Niedertemperaturwärme, z.B. für die Gebäudeheizung kann leicht ersetzt werden durch Wärmepumpen, mit einem «Wirkungsgrad» von ca. 300% (COP 3). Hochtemperaturwärme über 100-200 °C erfordert typischerweise direkte Widerstands-, Lichtbogen oder Induktionsheizungen mit einem Wirkungsgrad von 20% bis 100%. Prozessanwendungen z.B. in der Stahlindustrie, wenn Koks durch elektrolysierten Wasserstoff ersetzt werden soll, kann Wirkungsgrade von unter 20% erreichen. Bei der Modellierung des zukünftigen Verbrauchs ist daher auf die Verbrauchsart zu achten.	+30% bis +1000%
<b>Bevölkerungsentwicklung / Landflucht / Zuwanderung</b>	Für die Entwicklung des Haushaltsverbrauchs ist die Bevölkerungsentwicklung eine zentrale Einflussgrösse. Je nach Region gibt es Prognosen, dass ausgewählte Städte über 20% an Bevölkerung gewinnen könnten, und somit auch der Haushaltsenergiebedarf deutlich steigen könnte.	-30% bis +30%
<b>Dezentrale Einspeisung</b>	Die dezentrale Einspeisung wird nach gegenwärtigem Stand der Technik primär durch Photovoltaik erfolgen. Je nach Verbreitung kann damit der Gesamt-Netto-Energiebedarf über das Jahr in Zukunft sogar negativ werden.	0% bis - 100%
<b>Klimatisierung wegen Klimawandel</b>	Je nach Szenario, Klimawandel-Szenario und Annahmen zur Klimatisierung können die Verbräuche für die Klimatisierung den Strombedarf deutlich anheben. In den USA liegen die Verbräuche für die Klimatisierung bei mehreren tausend kWh / Haushalt, also ungefähr auf dem Niveau wie der Gesamtverbrauch eines typischen Schweizer Haushalts.	0% bis +50%
<b>Erwärmung wegen Klimawandel</b>	Der Klimawandel wird mit der globalen Erwärmung voraussichtlich die Energiebedarfe für die Gebäudeheizung deutlich reduzieren. Wie stark allerdings ist noch sehr unklar.	0% bis - 80%

Einige der Entwicklungen können sich gegenläufig auswirken, d.h. die Entwicklungen können sich unter Umständen (teilweise) gegenseitig kompensieren. Eine detaillierte Analyse erfordert daher zwingend die Erstellung von Zeitreihen, da mit einer einfachen statischen Betrachtung solche Analysen nicht möglich sind.

Beispiele für Faktoren, welche sich gegenläufig auswirken können, sind:

- Ein Teil der dezentralen Photovoltaik-Einspeisung wird durch die zukünftig, aufgrund des Klimawandels stark erhöhte, Klimatisierung verbraucht.
- Intelligent gesteuerte Elektromobil-Ladestationen können Einspeisespitzen sehr gut abfedern und bei Rückspeisung sogar Lastspitzen ausgleichen.
- Verbrauchserhöhungen durch neue Anwendungen wie Wärmepumpen und Elektromobilität können zumindest teilweise durch Effizienzsteigerungen bei Bestandskunden kompensiert werden.

## 6 Definition von Szenarien

Der naheliegende Ansatz für die Erstellung von Szenarien ist, Szenarien zu erstellen, die möglichst «realistisch» sind. Leider ist das aussichtslos, da es viele mögliche, stark disruptive Entwicklungen gibt, die schlecht vorhergesehen werden können und es Menschen im Allgemeinen sehr schwerfällt, exponentielle Entwicklungen «realistisch» einzuschätzen.

Der bessere Ansatz daher ist die Erstellung eines Szenario-Strausses, welcher den möglichen Parameterraum gut abdeckt. Damit kann dann regelmässig überprüft werden, auf welchem aktuellen Pfad die Realität ist und daraus extrapoliert werden, die die Zukunft aussehen könnte. Zudem deckt ein Szenarien-Strauss auch immer die Extrem-Situationen mit ab, so dass, unabhängig wie sich die Zukunft entwickelt, sie auf jeden Fall in den Szenarien abgedeckt wird.

Als wichtigster Vorteil eines solchen Szenarien-Strausses ist, dass damit Vorgaben möglich sind für die Planung, wie z.B., dass «Netz soll 80% der Szenarien standhalten», was die Herausforderungen in Bezug auf die Definition von «realistischen» Szenarien aus dem Weg geht.

Auch wird damit vermieden, den Fokus auf einzelne, konkrete Szenarien zu legen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht eintreffen.

Damit kann für das gesamte Netz beurteilt werden, welche Netzabschnitte sehr stark gefährdet sind (z.B.: über 66% aller Szenarien führen zu Spannungsverletzungen), welche genauer untersucht werden sollten (33%-66% aller Szenarien führen zu Spannungsverletzungen) und welche unkritisch sind (unter 33% aller Szenarien führen zu Problemen). Empfehlenswert ist zudem die Festlegung eines Mindest-Szenarios, welches als Referenz für Auslegungen mindestens möglich sein muss.

### 6.1 Systematisierung der Einflussfaktoren

Das Problem bei der Erstellung des Szenarien-Strausses ist, dass die Kombination aller möglichen Einflussfaktoren über den gesamten Wertebereich zu einer sehr grossen Zahl an Szenarien führt, die nicht mehr beherrschbar sind. Sinnvollerweise sollte die Zahl der Szenarien aber unter 100 bleiben. Dafür können die Einflussfaktoren systematisiert werden und somit die zu untersuchenden Szenarien reduziert werden.

Bei der Definition von Szenarien sind drei Dimensionen relevant: Leistung, Energiebedarf und Einspeisung. Dazu einige Beispiele:

- Leistungsbedarf ist kritisch in Szenarien mit ungesteuerten Lastspitzen, z.B. durch E-Mobilität-Ladestationen mit hohen Leistungen. Dies kann meistens durch Demand-Side-Management oder dezentrale Energiespeicherung kompensiert werden.
- Energiebedarf ist kritisch in Szenarien mit grossflächiger Elektrifizierung, wenn der durchschnittliche Energiebedarf über Tage oder Wochen grösser ist als das

Netz liefern kann. Das kann z.B. passieren, wenn viele neue Wärmepumpen installiert werden und es zu einer Schlechtwetter-Periode kommt.

- Einspeisung ist kritisch, wenn z.B. an Sommertagen durch hohen Photovoltaik-Ausbau zu hohen Einspeisespitzen kommt.

Alle Einflussfaktoren lassen sich in diese drei Kategorien einordnen und ein Minimum und ein Maximum für jeden Wert festlegen, z.B. 0% Elektromobilitäts-Durchdringung und 100% Elektromobilität-Durchdringung. Durch die Addition aller Faktoren entlang der drei Achsen lassen sich die maximale und minimale zukünftige Belastung entlang aller drei Achsen abschätzen und dann z.B. 4 Werte pro Achse definieren, die mit den jeweils anderen Werten kombiniert werden können. Visualisiert ist der Sachverhalt in Abbildung 6.

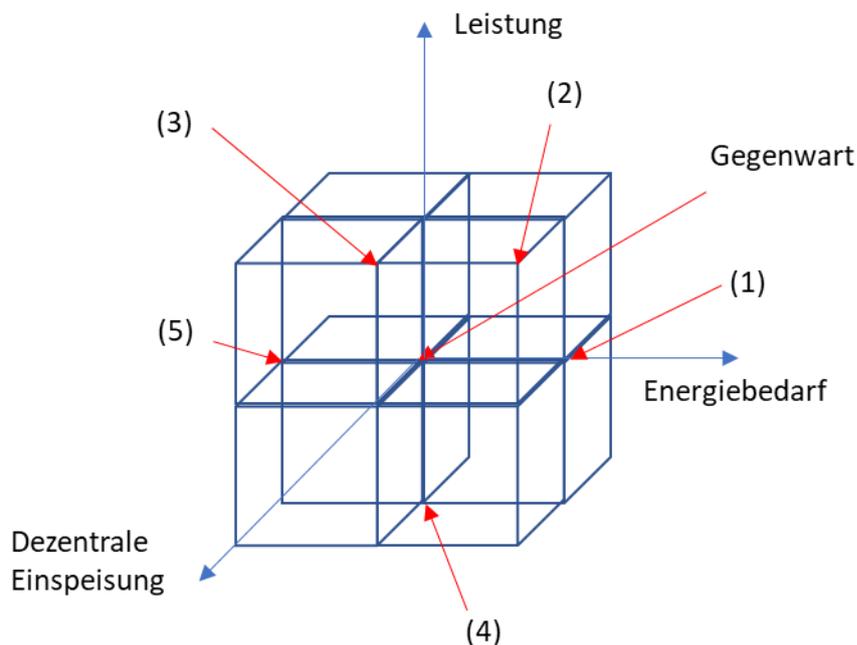


Abbildung 6: Die drei Dimensionen Leistung, Energiebedarf und Einspeisung, die den zukünftigen Netzausbau beeinflussen

Hier sind einige Beispiele für mögliche Kombinationen von Einflussfaktoren aufgetragen.

- (1) Stellt ein Szenario dar, in dem der Energiebedarf im Vergleich zu heute drastisch gestiegen ist, aber ohne höhere Leistungen zu erfordern. Das könnte z.B. durch eine Kombination aus hohem Wärmepumpenausbau mit sehr viel besserer Laststeuerung und dezentraler Energiespeicherung folgen. Damit wäre das Lastprofil sehr flach und es wäre kaum noch ein Tag/Nacht-Unterschied vorhanden.
- (2) Ist ein Szenario, in dem Energiebedarf, Leistungsbedarf und dezentrale Einspeisung gleichzeitig maximal sind. Das ist die Situation, welche für das Netz eine maximale Belastung bedeutet. Zustande kommen könnte das durch eine Kombination aus unregelmäßigen Ladestationen, einer massiven Elektrifizierung und gleichzeitig extrem günstigen Photovoltaik-Preisen.
- (3) Ist ein Szenario, in dem hohe dezentrale Einspeisung und hoher Leistungsbedarf bei konstantem Energiebedarf auftritt. Dies kann z.B. passieren, wenn einerseits Effizienzsteigerungen bei Bestandskunden auftreten, während zugleich neue Verbraucher mit hohen Leistungsspitzen, aber relativ moderatem Energiebedarf,

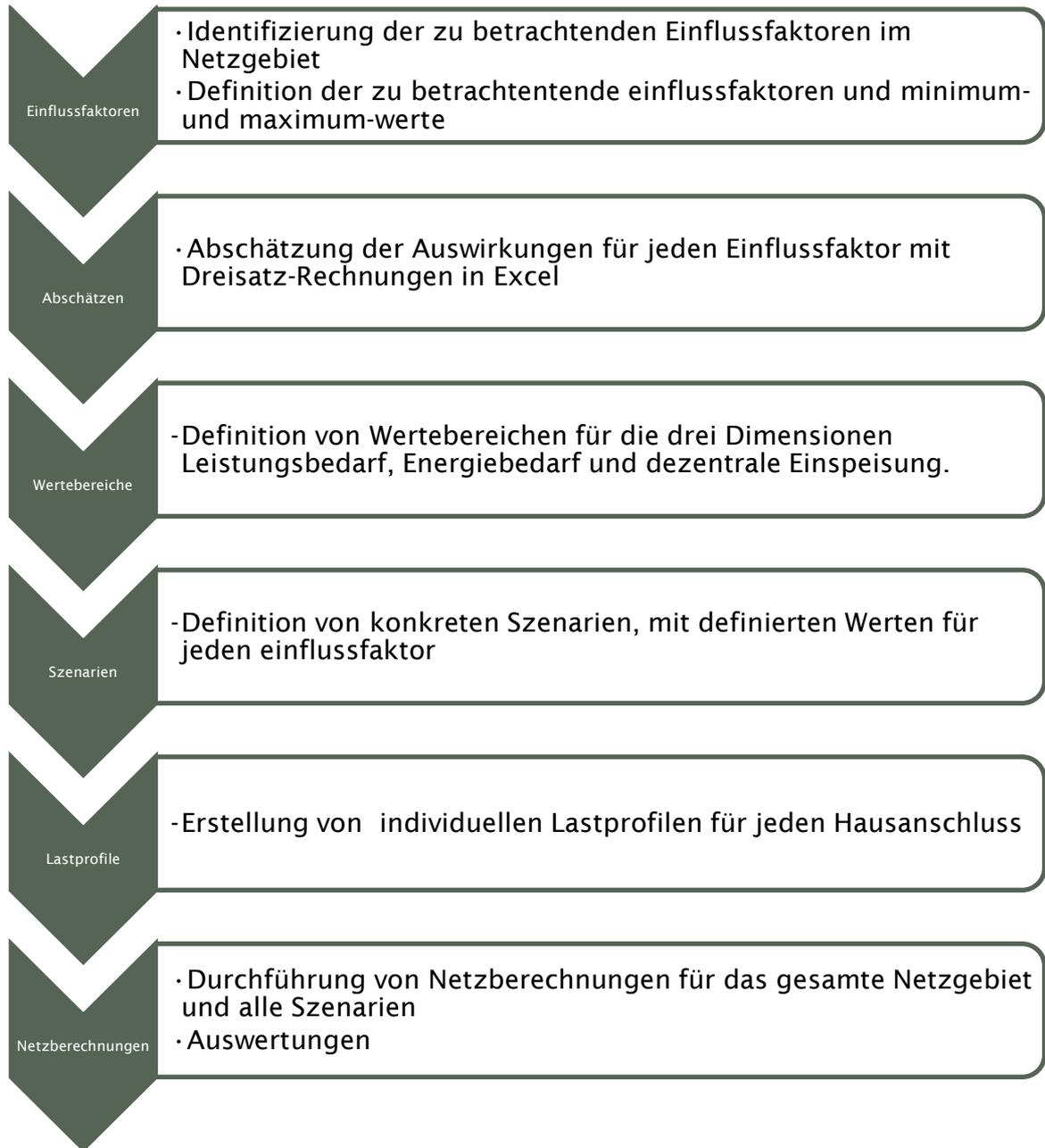
wie z.B. Hochleistungs-Elektromobilitätsladestationen im Netz installiert werden. Diese Situation ist für die Energieversorger sehr ungünstig, weil sie gleichzeitig Netzausbau erfordert, aber mit den gegenwärtigen Tarifstrukturen kein zusätzlicher Umsatz generiert wird.

- (4) Ist ein Szenario, in dem Leistung und Energiebedarf drastisch reduziert werden. Dies könnte z.B. Zustandekommen durch hohe Effizienzsteigerungen verbunden mit einer zunehmenden Verbreitung von autonomen Häusern, die sich durch eine Kombination aus Batterie, Brennstoffzelle und PV-Anlage vollständig unabhängig machen.
- (5) Ist ein Szenario, dass noch ungünstiger ist für die Energieversorger: Durch eine Kombination aus hohen Effizienzsteigerungen und dezentraler Erzeugung, ohne Einspeisung ins Netz sinkt der Energiebedarf für die Energieversorger drastisch, während aber in Schlechtwetter-Perioden nach wie vor die gleiche Leistung abgefordert wird.

Es sollte sichtbar geworden sein, dass es viele plausible Szenarien für die Zukunft gibt und es schwerfällt, ein einziges, «realistisches» Szenario zu definieren. Wenn für jede der Achsen 4 Werte festgelegt werden (-100%, -50%, +50%, +100%) und alle Entwicklungen auf diese Werte abgebildet werden, dann ergibt sich ein Szenario-Strauss von 64 ( $=4*4*4$ ) möglichen Szenarien. Es ist darauf zu achten, dass sich die +50% nicht auf eine 50% Erhöhung des Energieverbrauchs oder der Leistung beziehen, sondern auf z.B. 50% des maximalen Ausbaus an Wärmepumpen und 50% des maximalen Ausbaus an Elektromobilität. Diese Anzahl ist bei geeigneter Architektur noch durchaus zu beherrschen.

## 7 Empfohlenes Vorgehen

Aus den Erfahrungen dieses Projektes ergibt sich folgende Empfehlung für das Vorgehen:



## 8 Fazit

Im Projekt SimZukunft wurden vier verschiedene Szenarien in jeweils zwei Varianten betrachtet. Rückblickend stellte sich diese Strategie als nicht optimal heraus. Stattdessen wird empfohlen, systematisch die Einflussfaktoren zu betrachten, diese auf die genannten drei Einflussfaktoren auf das zukünftige Netz abzubilden und dann einen Szenario-Strauss zu definieren, welcher den gesamten, möglichen, zukünftigen Wertebereich abbildet.

## 9 Versionskontrolle

Version	Datum	Beschreibung	Autor
1.0	26.02.2018	Dokument erstellt	Noah Pflugradt
2.0	01.05.2020	Dokument überarbeitet	Noah Pflugradt