

Grundlagen für die Klima- und Energie- strategie der Stadt Thun

Machbarkeit und Szenarien Netto-Null-Treibhausgasemissionen – Öffentlicher Bericht
17. Mai 2021



Arbeitsgruppe

Michael Gassner	Stadt Thun
Christine Hauert	Stadt Thun
Erika Loser	Stadt Thun
Michael Gruber	Energie Thun AG
Urs Neuenschwander	Energie Thun AG
Christian Schneider	Energie Thun AG
Christoph Woodtli	Energie Thun AG
Boris Bayer	Kanton Bern

Projektdelegation (Steuerungsgremium)

Andrea de Meuron	Vorsteherin Direktion Finanzen Ressourcen Umwelt
Raphael Lanz	Stadtpräsident, Vorsteher Direktion Präsidiales & Stadtentwicklung
Susanne Szentuki	Co-Leiterin Stadtplanung
Michael Gruber	Energie Thun AG
Urs Neuenschwander	Energie Thun AG

Auftraggeber

Stadt Thun
Fachstelle Umwelt Energie Mobilität
Hofstettenstrasse 14, 3602 Thun
Kontaktperson: Michael Gassner

Projektteam

Silvan Rosser	EBP Schweiz AG
Michel Müller	EBP Schweiz AG
Milena Krieger	EBP Schweiz AG
Sabine Perch-Nielsen	EBP Schweiz AG

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 13 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Öffentlicher Bericht

Version: 17. Mai 2021
Projektnummer: 219443
Quelle Titelbild: Energie Thun AG

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	5
Glossar und Abkürzungsverzeichnis	15
1. Einleitung	18
2. Definition «Netto-Null»	20
3. Zukünftige Entwicklung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen in der Stadt Thun	25
3.1 Sektor Gebäude	27
3.1.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz	27
3.1.2 Szenarien Gebäude	28
3.2 Sektor Verkehr	33
3.2.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz	33
3.2.2 Szenarien Verkehr	35
3.3 Sektor Industrie	39
3.3.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz	39
3.3.2 Szenarien Industrie	40
3.4 Übersicht aller Sektoren	43
4. Machbarkeit Netto-Null-Absenkpfade	45
4.1 Machbarkeit Netto-Null-Ziel 2050	45
4.2 Machbarkeit Netto-Null-Ziel 2030	46
4.3 Kompensation und Negativemissionen	48
4.4 Netto-Null-Ziel 2050	49
5. Grundsätze und Ziele zur Erreichung Netto-Null 2050	50
5.1 Grundsätze	50
5.2 Ziele	51
6. Räumliche Netto-Null-Szenarien für die Stadt Thun	52
6.1 Wärme	52
6.1.1 Datengrundlagen	52
6.1.2 Methode	54
6.1.3 Resultate	58
6.1.4 Erkenntnisse	65
6.2 Verkehr	66
6.2.1 Datengrundlage	66
6.2.2 Methode	66

6.2.3	Resultate	69
6.2.4	Erkenntnisse	77
6.3	Photovoltaikerzeugung	78
6.3.1	Datengrundlage	78
6.3.2	Methode	78
6.3.3	Resultate	80
6.3.4	Erkenntnisse	83
<hr/>		
7.	Gasversorgung Netto-Null-2050	84
7.1	Datengrundlagen und Methode	84
7.2	Resultate und Erkenntnisse	86
<hr/>		
8.	Auswirkungen auf das Stromsystem der Stadt Thun	88
8.1	Datengrundlage	88
8.2	Methode	90
8.2.1	Gebäudescharfe stündliche Last- und Erzeugungsprofile	90
8.2.2	Kenngrossen zur Beschreibung des Stromsystems	92
8.2.3	Smart City Massnahmen Stromsystem	93
8.3	Resultate	95
8.4	Resultate Smart City Massnahmen	106
8.5	Handlungsempfehlungen	110

Anhang

A1	Handlungskompetenzen von Bund und Kanton	
A1.1	Sektor Gebäude	
A1.2	Sektor Verkehr	
A1.3	Sektor Industrie	

Management Summary

Dieses Projekt dient der Stadt Thun als Grundlage zur Erarbeitung einer Klima- und Energiestrategie, welche aufzeigen soll, mit welchen Massnahmen bis ins Jahr 2050 das Ziel Netto-Null Treibhausgasemissionen erreicht werden kann. Netto-Null bedeutet, dass die Treibhausgasemissionen vollumfänglich auf null reduziert werden, allfällige Restemissionen sind mit natürlichen oder künstlichen Methoden wieder aus der Atmosphäre zu entfernen. Das Projekt zeigt mögliche Netto-Null-Absenkpfade für die Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie auf und beleuchtet insbesondere die räumlichen Auswirkungen eines Netto-Null-Ziels und eines massiven Ausbaus der Photovoltaikerzeugung auf die Energieinfrastrukturen Gas- und Stromverteilnetz der Stadt Thun. Auf der Grundlage dieses Projektes kann die Stadt fundierte Entscheidungen treffen, sodass im Rahmen der Klima- und Energiestrategie zielführende und wirkungsvolle Massnahmen definiert werden können.

Grundlagen für die Klima- und Energiestrategie der Stadt Thun

Machbarkeit Netto-Null-Treibhausgasemissionen in der Stadt Thun

Die Energie- und Klimapolitik auf nationaler und internationaler Ebene entwickelt sich dynamisch. So ratifizierte die Schweiz im Jahr 2017 das Pariser Klima-Abkommen und im Sommer 2019 hat der Bundesrat beschlossen, dass die Schweiz 2050 das Netto-Null-Ziel erreichen soll. Seit 2018 setzt sich die Klimajugend für eine schnelle Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2030 ein.

Worum geht es?

Vor diesem Hintergrund muss sich die Stadt Thun nun für eines der beiden Netto-Null-Ziele 2030 oder 2050 entscheiden und einen entsprechenden Absenkpfad für die CO₂-Emissionen zu bestimmen. Auch ist zu klären, für welche Treibhausgasemissionen die Stadt Thun verantwortlich ist, ob die Emissionsreduktion auf Thuner Stadtgebiet erfolgen müssen, oder ob auch Emissionszertifikate zur Kompensation angerechnet werden dürfen.

Netto-Null 2030 oder 2050?

Im Rahmen dieses Projekts werden die direkten energiebedingten CO₂-Emissionen, das heisst, Emissionen aus der Energienutzung, in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie auf Stadtgebiet betrachtet. Die vorgelagerten, «grauen» Emissionen der Energiebereitstellung sollen dabei optimiert werden und die konsumbedingten Emissionen der Thuner Bevölkerung und Wirtschaft möglichst minimiert werden. Die Entstehung von CO₂-Emissionen in der KVA gehören nicht zu den energiebedingten Emissionen, sondern werden dem Sektor Abfall zugeordnet. Sie werden im Rahmen dieses Projekts nicht genauer untersucht.

Welche Emissionen werden betrachtet?

Als Entscheidungsgrundlage wurden die Handlungskompetenzen der Stadt Thun in den Rollen als Planerin, Anbieterin, Förderin, Vorbild und Beraterin hinsichtlich des Potentials zur Reduktion der CO₂-Emissionen bewertet. Insbesondere als Planerin und Anbieterin in den Sektoren Gebäude und Verkehr ist die Handlungskompetenz der Stadt Thun und das Reduktionspotential gross. Die folgende Tabelle gibt dazu eine Übersicht.

Welche Handlungskompetenzen hat die Stadt?

Bereich	Planerin	Anbieterin	Förderin	Beraterin	Vorbild
Gebäude	●●●○	●●●●	●○○○	●○○○	●○○○
Verkehr	●●●○	●●●○	●○○○	●○○○	●○○○
Industrie / Gewerbe	●○○○	●●○○	○○○○	○○○○	○○○○

Tabelle 1 Potential zur Emissionsreduktion über die verschiedenen städtischen Rollen (je mehr Punkte ausgefüllt sind, desto grösser ist das Potential zur Emissionsreduktion).

Die Machbarkeit der Emissionsreduktion für die Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie wurde anhand zweier Entwicklungsszenarien modelliert. Dabei wurde – unter Berücksichtigung der heutigen Ausgangslage und absehbarer Investitionszyklen – eine absehbare Entwicklung einer schnellstmöglichen Transformation gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass auch im letzteren Falle das Netto-Null-Ziel nicht einfach zu erreichen ist, insbesondere, weil der Stadt die Handlungskompetenzen fehlen, um die Entwicklung im Alleingang zu meistern.

Wie wird die Machbarkeit der Netto-Null-Ziele bewertet?

Die Analyse zeigt, dass das Netto-Null-Ziel 2050 innerhalb der bestehenden Investitionszyklen erreichbar ist. Ein vorzeitiger Ersatz (Heizungen, Anlagen, Fahrzeuge) ist dafür grundsätzlich nicht nötig. Ab 2030 (im Verkehr ab 2035) müssen neue Heizungen, Anlagen und Fahrzeuge erneuerbar ersetzt werden. Die Stadt Thun verfügt allerdings nicht über die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel 2050 allein umzusetzen. Auch Bund und Kanton müssen entsprechende Massnahmen umsetzen und Vorschriften erlassen. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050 ist unmittelbares Handeln nötig und die Stadt muss alle ihre Möglichkeiten ausschöpfen, um die nötigen Rahmenbedingungen zu setzen.

Ist das Netto-Null-Ziel 2050 erreichbar?

Das Netto-Null-Ziel 2030 ist nicht innerhalb der bestehenden Investitionszyklen erreichbar. Es wären Verbote erforderlich und es müssten Heizungen, Anlagen und Fahrzeuge teilweise frühzeitig ersetzt werden. Die Stadt Thun verfügt nicht über die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel 2030 zu erzwingen. Die Kompetenzen für die dafür benötigten Vorschriften liegen beim Bund oder dem Kanton. Die einzige Möglichkeit zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2030 für die ganze Stadt Thun wären Kompensationen im In- und Ausland, die mit einem hohen finanziellen Aufwand (20 bis 150 Mio. Fr.) verbunden sind. Die Stadt Thun hat allerdings die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel innerhalb der Stadtverwaltung deutlich früher als 2050 zu erreichen und damit ihre Vorbildfunktion zu erfüllen.

Ist das Netto-Null-Ziel 2030 erreichbar?

Die Stadt Thun soll basierend auf den Auswertungen zur Machbarkeit das Netto-Null-Ziel 2050 anstreben. Dieses Ziel entspricht der nationalen Zielsetzung und erlaubt es, Investitionszyklen zu berücksichtigen. Im Jahr 2030 soll als Zwischenziel eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 40% gegenüber 2019 erreicht werden (siehe Abbildung 1). Um den unterschiedlichen Entwicklungen und Handlungsmöglichkeiten in den einzelnen Sektoren gerecht zu werden, wurden für das Jahr 2030 zusätzlich sektorspezifische Zwischenziele empfohlen (Gebäude -50%, Verkehr -25%, Industrie -20%). Im

Welches Netto-Null-Ziel wird empfohlen?

Fokus steht dabei die effektive Reduktion der CO₂-Emissionen auf Stadtgebiet. Kompensation mit Emissionszertifikaten und Negativemissionen (siehe auch Glossar) sollen nur punktuell eingesetzt werden, um schwierig reduzierbare CO₂-Emissionen wie beispielsweise bei gewissen Anwendungen im Industriesektor auszugleichen.

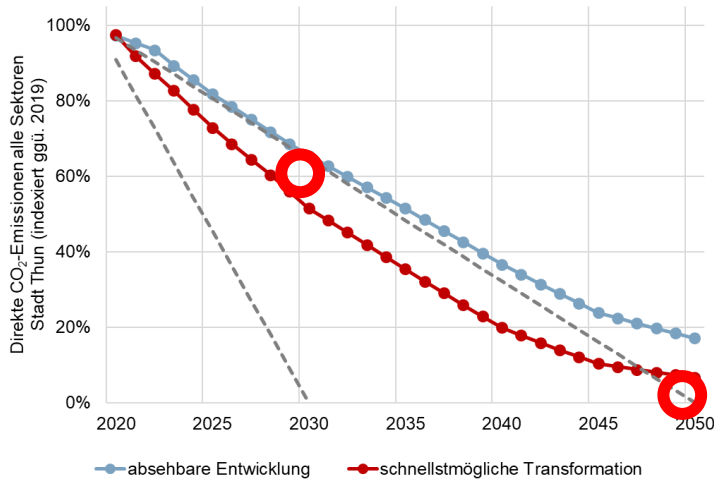


Abbildung 1 Absenkpfade der direkten CO₂-Emissionen der Stadt Thun gemäss «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Transformation» sowie die von der Arbeitsgruppe vorgeschlagenen Ziele (rote Kreise).

Um das Netto-Null-Ziel zu erreichen, braucht es strategische Weichenstellungen. Daher wurden Grundsätze formuliert, an denen sich die Klima- und Energiestrategie der Stadt Thun orientieren soll:

Grundsätze für die künftige Klima- und Energiestrategie

Grundsätze Wärme

1. Effizienzmassnahmen leisten einen grossen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich Wärme.
2. Langfristig soll die gesamte Wärme erneuerbar erzeugt werden. Lokale Potentiale stehen dabei im Vordergrund, insbesondere die Abwärme der KVA und die Nutzung der Umweltwärme mit Wärmepumpen.
3. Der Absatz an Gas wird mittel- und langfristig sinken.
4. Die Gasversorgung soll mittel- und langfristig weiterhin rentabel betrieben werden.
5. Erneuerbares Gas leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen der Wärme; dafür wird erneuerbares Gas aus dem Inland und dem Ausland eingesetzt.

Grundsätze Verkehr

1. Verkehr vermeiden und verlagern leisten einen grossen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich Mobilität.
2. Steigerung der Energieeffizienz und Elektrifizierung der Verkehrsmittel.
3. Die Elektromobilität ist die Schlüsseltechnologie zur Reduktion der CO₂-Emissionen im motorisierten Individualverkehr.
4. Alternative Technologien werden zur Reduktion der CO₂-Emissionen in ausgesuchten Anwendungen wie dem Strassengüterverkehr und dem strassengebundener ÖV ergänzend zur Elektromobilität eingesetzt.

Grundsätze Stromsystem

1. Effizienzmassnahmen leisten einen grossen Beitrag für eine sichere und nachhaltige Stromversorgung.
2. Die Stadt Thun leistet einen grossen Beitrag an den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung.
3. Der in Thun verbrauchte Strom ist langfristig ausschliesslich erneuerbar.

Auf Basis der Reduktionsziele bis 2030 und 2050 und den aufgeführten Grundsätzen wurden räumlich feinaufgelöste Netto-Null-Szenarien für die Wärme, den Verkehr (Fokus Elektromobilität) und die Photovoltaikerzeugung erarbeitet.

Netto-Null-Szenario für die Wärme der Stadt Thun

Heute erfolgt die Wärmeversorgung in der Stadt Thun überwiegend mit fossilen Energieträgern. 41% der Wärme wird mit Heizöl erzeugt, 33% mit Erdgas. Diese Energieträger sind mit erneuerbaren Alternativen zu ersetzen.

Worum geht es?

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung im Netto-Null-Szenario für die Wärmeversorgung. Mit Effizienzmassnahmen kann der heutige Endenergieverbrauch Wärme von 530 GWh bis 2035 um rund 20% und bis 2050 um knapp 40% gesenkt werden.

Wichtige Rolle der Energieeffizienz

Zusätzlich erfolgt bis 2050 ein weitgehender Wechsel von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energieträgern. Die CO₂-Emissionen können gegenüber heute um 95% gesenkt werden. Im Jahr 2050 stützt sich die Wärmeversorgung auf drei Säulen:

Drei Säulen der Wärmeversorgung im Jahr 2050

- 120 GWh Wärmeverbrauch erfolgt durch die Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen, wofür knapp 40 GWh Strom eingesetzt werden müssen.
- 90 GWh Wärmeverbrauch wird durch den Einsatz von KVA-Abwärme über ein Fernwärmenetz gedeckt.
- Die 2050 vollständig erneuerbar betriebene Gasversorgung deckt im Netto-Null-Szenario einen Wärmeverbrauch von ebenfalls knapp 90 GWh.

Im Jahr 2050 verbleiben insbesondere einige Heizöl-Feuerungen, deren Ersatz als schwierig eingeschätzt wird (siehe Abbildung 2). Dabei handelt es sich insbesondere um grössere Feuerungen in Industrie und Gewerbe.

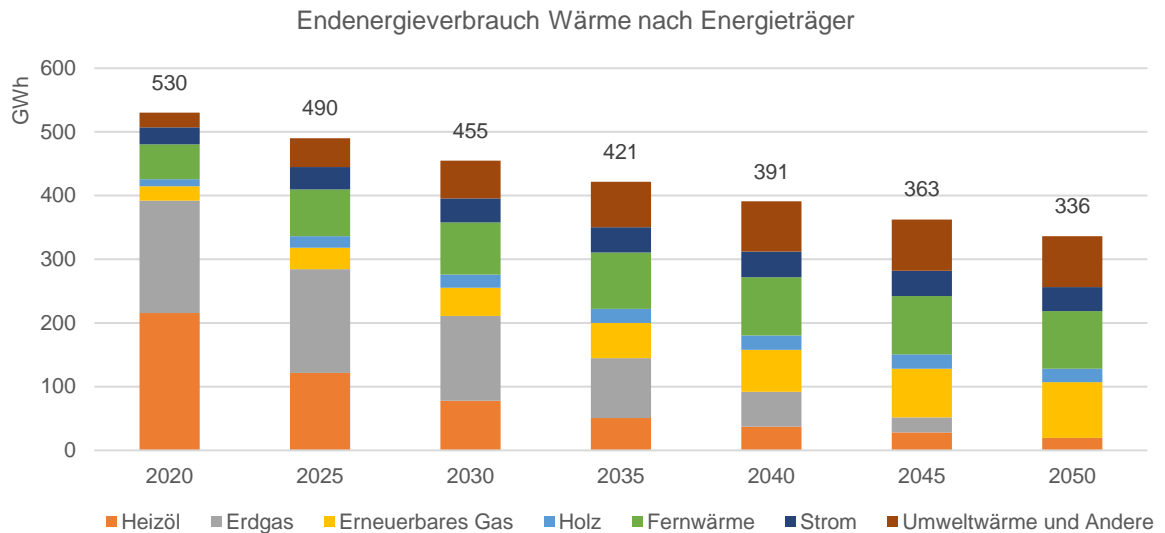


Abbildung 2 Endenergieverbrauch für Wärme in der Stadt Thun von 2020 bis 2050

Das Netto-Null-Ziel ist in der Wärmeversorgung in der Stadt Thun bis 2050 erreichbar, bedeutet jedoch eine grundlegende Transformation. Es erfordert den Ausbau der Fernwärme und die teilweise Elektrifizierung der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen. Gas ist auch im Jahr 2050 noch ein wichtiger Energieträger. Es ist jedoch mit einer deutlichen Reduktion des Gasabsatzes zu rechnen und die Gasversorgung muss vollständig mit erneuerbarem Gas betrieben werden. Die Elektrifizierung der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen und der Rückgang des Gasabsatzes hat bedeutende Auswirkungen auf die Strom- und Gas-Verteilnetze.

Erkenntnisse

Bei den Wärmeerzeugungsanlagen besteht ein hohes Erneuerungspotential. Dies gilt insbesondere für Heizöl-Feuerungen. Das Netto-Null-Szenario geht davon aus, dass die Besitzer beim Heizungs-Ersatz weitgehend auf erneuerbare Lösungen umstellen. Dazu braucht es entsprechend baldige politische Massnahmen, einerseits auf übergeordneter Ebene, aber auch innerhalb der Handlungskompetenz der Stadt Thun.

Hohes Erneuerungspotential

Netto-Null-Szenario für den Verkehr der Stadt Thun

Der Sektor Verkehr ist für rund ein Drittel der energiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Thun verantwortlich. Der mit Abstand grösste Anteil davon entfällt auf den motorisierten Individualverkehr mit Personenwagen (74%).

Worum geht es?

Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels müssen die Fahrzeugkilometer der Personenwagen pro Kopf durch Vermeiden (Stadt der kurzen Wege), Verlagern (ÖV und Velo) und Verbessern (Car Pooling und Car Sharing) um mehr als 20% reduziert werden. Der Motorisierungsgrad in der Stadt Thun kann so von heute 440 Personenwagen pro 1'000 Einwohner auf rund 400 im Jahr 2050 gesenkt werden. Trotz Bevölkerungswachstum bleibt dadurch die Zahl der immatrikulierten Personenwagen in der Stadt Thun mit rund 20'000 Fahrzeugen bis 2050 konstant.

Reduktion des motorisierten Individualverkehrs

Das Netto-Null-Ziel erfordert ausserdem eine rasche und konsequente Elektrifizierung. Bereits im Jahr 2025 sollen 40% der neuzugelassenen Fahrzeuge in der Stadt Thun elektrisch sein. Ab 2035 sollen praktisch keine neuen Benzin- und Dieselfahrzeuge mehr in den Verkehr gebracht werden. So kann der Elektroanteil am Gesamtbestand im Jahr 2040 auf über 65%, und bis 2050 auf rund 95% angehoben werden. Gasfahrzeuge und Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge spielen bei den Personenwagen eine untergeordnete Rolle.

Rasche und konsequente Elektrifizierung

Mittel- und langfristig sind in der Stadt Thun Home & Work Charging die wichtigsten Ladestationstypen (rund 75% des gesamten Ladevolumens). Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels werden in der Stadt Thun bis im Jahr 2035 rund 6'300 private Heimpladestationen und über 6'700 private Ladestationen bei Unternehmen installiert. Diese Anzahl verdoppelt sich in etwa bis 2050 nochmals.

Tausende private Ladestationen benötigt

Wichtige Voraussetzung für eine rasche und konsequente Elektrifizierung ist auch die Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen in der Nähe des Wohnorts für Fahrzeughalter ohne private Parkplätze oder privater Lademöglichkeiten. Dazu braucht es gemäss Berechnungen rund 160 öffentliche Ladestationen und weitere rund 24 Schnellladestationen (als Ergänzung und Entlastung der öffentlichen Ladestationen in Wohnzonen). Im Jahr 2020 waren in der Stadt Thun rund 29 öffentlich zugängliche Ladestationen installiert.

Öffentliche Ladestationen in der Nähe des Wohnorts

Anders als bei den Personenwagen wird bei den leichten und schweren Nutzfahrzeugen und ÖV-Bussen mit einer Zunahme der Fahrleistung gerechnet. Ähnlich wie bei den Personenwagen wird auch bei den leichten Nutzfahrzeugen erwartet, dass batterie-elektrische Modelle langfristig den Fahrzeugbestand dominieren werden. Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist noch nicht absehbar, welche Antriebstechnologie sich kurz- und langfristig durchsetzen wird. Insbesondere der batterie-elektrische Antrieb zeigt in diesem Segment noch keine klaren Vorteile. Bei den Bussen wird mit einem verbreiteten Einsatz von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen gerechnet.

Zunahme der Fahrleistung bei Nutzfahrzeugen

Das Netto-Null-Ziel im Strassenverkehr der Stadt Thun ist bis im Jahr 2050 erreichbar. Dazu braucht es aber eine wesentliche Änderung im Mobilitätsverhalten und eine rasche und konsequente Elektrifizierung des Strassenverkehrs. So kann der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen bis 2050 um rund 90% reduziert werden. Ein Restbedarf an flüssigen Treibstoffen verbleibt insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen. Diesen gilt es mit biogenen oder synthetischen Treibstoffen aus erneuerbaren Energien bereitzustellen

Erkenntnisse

Die Stadt Thun kann insbesondere im Aufbau eines öffentlichen Ladenetzes für Fahrzeughalter ohne private Lademöglichkeit einen entscheidenden Beitrag zur Zielerreichung leisten. Zudem sollte sie den zusätzlichen Strombedarf (über 50 GWh pro Jahr) aus erneuerbaren Energien sicherstellen.

**Treibstoffe (primär Benzin & Diesel; langfristig synthetische Treibstoffe)
in GWh der Thuner Bevölkerung & Wirtschaft; Netto-Null 2050**

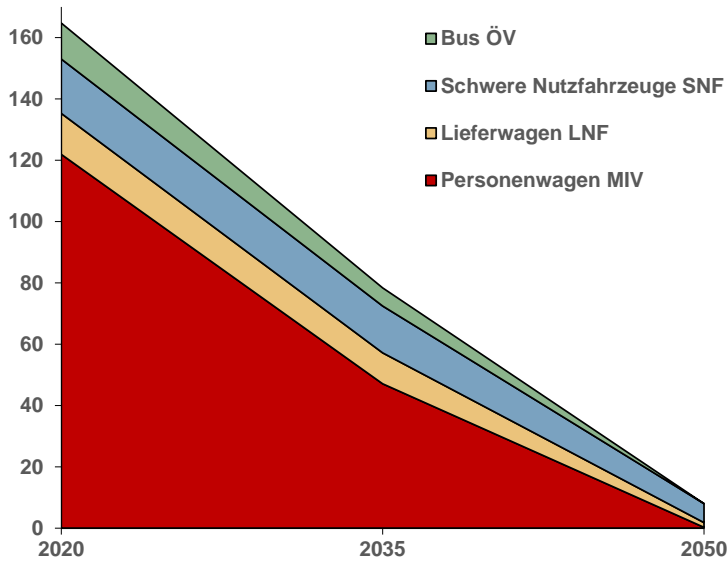


Abbildung 3 Entwicklung des Treibstoffbedarfs je Fahrzeugkategorie in der Stadt Thun im Netto-Null-Szenario bis 2050.

Netto-Null-Szenario für die Photovoltaikerzeugung in der Stadt Thun

Die Schweiz soll gemäss Energieperspektiven 2050+ die Stromerzeugung aus Photovoltaik bis zum Jahr 2050 auf jährlich 34 TWh ausbauen. Für die Stadt Thun lässt sich daraus ein Produktionsziel von 63 GWh im Jahr 2035 und 120 GWh im Jahr 2050 ableiten. Im Jahr 2019 wurden in der Stadt Thun erst ca. 9 GWh Photovoltaikstrom erzeugt. Ein massiver Ausbau der Photovoltaik ist entsprechend notwendig.

Worum geht es?

Unter Berücksichtigung des Ortsbildschutzes verbleiben in der Stadt Thun rund 8'300 Gebäude mit potenziell nutzbaren Dach- oder Fassadenflächen zur Produktion von Photovoltaik. Um die oben genannten Zielvorgabe zu erreichen müssen bis im Jahr 2035 bei knapp der Hälfte dieser Gebäude Photovoltaikanlagen installiert werden und bis 2050 bei über 60% der Gebäude.

Hauptresultate

Bisher fallen 70% des Photovoltaik-Stroms im Sommer an. Aufgrund der grösser werdenden Stromengpässe im Winter, sollte die Stromproduktion im Winterhalbjahr (Oktober bis März) maximiert werden. Dies ist gemäss der Analyse bei gleichbleibender Jahresproduktion und ohne substanziell mehr installierte Leistung möglich. Mit einer optimalen Wahl der Dachflächen und einer starken Nutzung von Fassadenflächen kann der Winteranteil der Stromerzeugung bis 2035 um 16%, bis 2050 um 28% erhöht werden. Da die Fassadenanlagen häufig kleiner sind als Dachanlagen, wären bei einer Optimierung der Produktion für das Winterhalbjahr bis 2050 bei fast drei Viertel aller Gebäude zumindest entweder an einer Fassade oder auf dem Dach eine Photovoltaikanlage nötig.

Eine Photovoltaik-Produktion von 120 GWh entspricht dem nationalen Ausbauziel heruntergebrochen auf die Stadt Thun und benötigt einen massiven Ausbau der Photovoltaik-Flächen. Mit einem winteroptimierten Photovoltaikausbau kann der Winteranteil von 30% auf insgesamt knapp 40% erhöht werden.

Erkenntnisse

Die detaillierte Ausgestaltung des Ausbauziels muss im Rahmen der Klima- und Energiestrategie noch geprüft werden, insbesondere in Hinblick auf die Schwierigkeiten, die mit zunehmendem Ausbau für das Stromnetz entstehen.

Auswirkungen aufs Gasnetz

Im Netto-Null-Szenario 2050 ist Gas weiterhin ein wichtiger Energieträger. Der Gasabsatz wird jedoch deutlich sinken und die Gasversorgung soll im Jahr 2050 vollständig mit erneuerbarem Gas erfolgen. Damit stellt sich die Frage, wie die Gasversorgung mittel- und langfristig weiterhin rentabel betrieben werden kann.

Worum geht es?

Um die Auswirkungen des Netto-Null-Szenarios auf das Gasverteilnetz einzuschätzen, wurde die künftige Entwicklung des Netznutzungsentgelts abgeschätzt. Dabei zeigte sich, dass die heutige Ausdehnung des Gasnetzes nicht kompatibel ist mit der erwarteten Entwicklung des Gasabsatzes. Das Gasverteilnetz ist daher auf Gebiete zu fokussieren, in welchen auch langfristig ein genügender Gasabsatz erwartet werden kann. Das vorliegende Projekt lieferte Grundlagen für diese strategische Entwicklung. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass wenig dringlicher Handlungsbedarf bezüglich der strategischen Entwicklung des Gasnetzes besteht, da der Erneuerungsbedarf im Gasverteilnetz auf Stadtgebiet bis 2050 gering ist und deshalb mittelfristig wenige Investitionen getätigt werden müssen. Energie Thun betreibt eine überkommunale Gasversorgung, daher wird empfohlen, die in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen für die strategische Entwicklung des Gasnetzes für das gesamte Gasnetz von Energie Thun zu erarbeiten. Es wird empfohlen, die strategische Entwicklung des Gasnetzes als rollende Planung umzusetzen, welche die Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen und die tatsächliche Absatzentwicklung berücksichtigt. Zudem ist frühzeitig sicherzustellen, dass in Zukunft genug erneuerbares Gas zur Verfügung steht.

Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen Gasnetz

Auswirkungen aufs Stromsystem

Dem Stromnetz kommt in der Netto-Null-Strategie eine zentrale Bedeutung zu. Mit einer Stundensimulation des Stromsystems der Stadt Thun wurde analysiert, wie sich die Elektrifizierung im Wärme- und Verkehrssektor und der massive Ausbau der Photovoltaik auf das Stromsystem und das Stromverteilnetz der Stadt Thun auswirken.

Worum geht es?

Die Elektrifizierung im Bereich Verkehr und Wärme führt zu einem deutlichen Anstieg des Gesamtstromverbrauchs sowie zu einer sehr hohen durchschnittlichen Auslastung des Stromverteilnetzes in der Stadt Thun. Im Jahr 2035 wäre ohne Gegenmassnahmen fast jeder vierte Transformator (Netzebene 6) überlastet, bei gleichzeitig sinkenden Netzreserven. Der Anstieg des Gesamtstromverbrauchs beträgt bis 2035 rund 12% (+26 GWh pro Jahr) und bis 2050 rund 22% (+48 GWh pro Jahr) gegenüber 2018.

Anstieg des Stromverbrauchs, insbesondere im Winter

In den Wintermonaten ist der Anstieg des Stromverbrauchs deutlich ausgeprägter. Bis im Jahr 2035 dürfte der Stromverbrauch in den Wintermonaten gegenüber 2018 um 20%, bis 2050 sogar um über 24% ansteigen. Dadurch steigt die Importabhängigkeit der Stadt Thun in den Wintermonaten an. Dies, obwohl die Stadt Thun ihre jährliche Stromerzeugung¹ durch den massiven Ausbau der Photovoltaik auf 120 GWh bis 2050 auf total 227 GWh fast verdoppelt. In den Wintermonaten können lediglich 35% des Gesamtstromverbrauchs zeitgleich mit Stromerzeugung in der Stadt Thun gedeckt werden, 7-14% davon durch Thuner Solarstrom. Die restlichen 65% des Strombedarfs müssen in den Wintermonaten über Importe gedeckt werden.

Steigende Importabhängigkeit im Winter

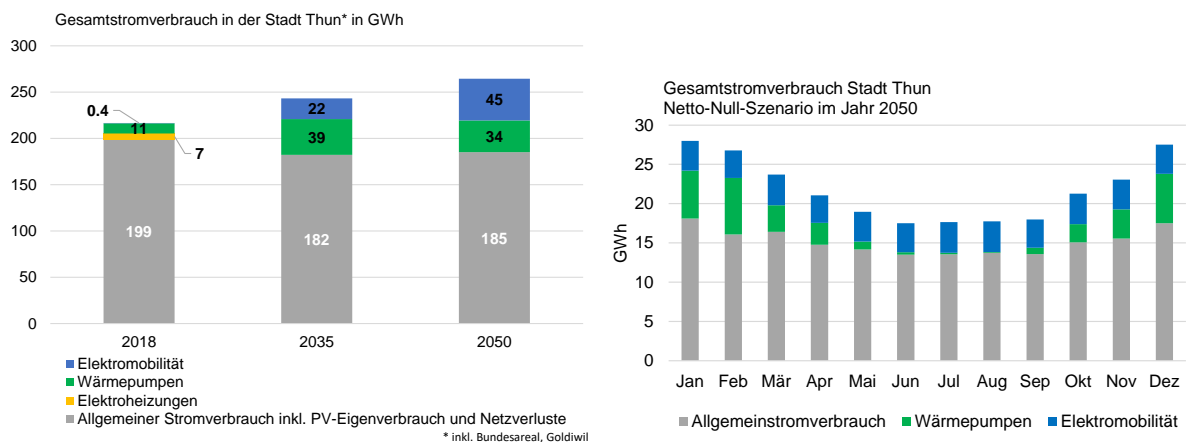


Abbildung 4 Jahresstromverbrauch 2018, 2035 und 2050 (links) und monatlicher Stromverbrauch im Jahr 2050 (rechts) in der Stadt Thun.

Im Sommerhalbjahr können allerdings bereits ab 2035 70-90% des Gesamtstromverbrauchs zeitgleich mit der Stromerzeugung in der Stadt Thun gedeckt werden, rund 40% davon durch Thuner Solarstrom. Die Importabhängigkeit der Stadt Thun nimmt in den Sommermonaten gegenüber 2018 deutlich ab. Gleichzeitig exportiert die Stadt Thun im Sommerhalbjahr bereits im Jahr 2035 rund 30% der Stromerzeugung, da diese die lokale Nachfrage übersteigt. Ohne Gegenmassnahmen kann der Photovoltaikzubau zwischen 2035 und 2050 kaum noch zur Versorgung der Stadt Thun beitragen, sondern muss grösstenteils exportiert werden (insbesondere in Zeiten, in denen die ganze Schweiz oder sogar ganz Mitteleuropa zu viel Solarstrom produziert). Gleichzeitig wirkt sich der starke Zubau der Photovoltaik stark auf die Rückspeisung an den Transformatoren aus. Ohne Gegenmassnahmen sind bereits im Jahr 2035 einige Transformatoren überlastet. Der Handlungsbedarf im Stromverteilnetz ist gross.

Hohe Überproduktion im Sommer

1 KVA, Aarewerke und Photovoltaik von Energie Thun und Privaten

Aus den Resultaten der Netto-Null-Modellierungen werden die folgenden Handlungsempfehlungen für den Umgang mit dem Stromsystem abgeleitet, darunter auch Beispiele von möglichen Smart City Massnahmen:

Handlungsempfehlungen Stromsystem

- Die Umsetzung des Netto-Null-Ziels verlangt eine starke Flexibilisierung der Last sowie eine Verstärkung der Verteilnetze.
- Eine möglichst geringe Dimensionierung der Hausanschlüsse sowie der breite Einsatz von Lastmanagementsystemen auf Ebene der Haushalte sind wichtige Bausteine für einen flexibleren und sicheren Netzbetrieb.
- Eine Flexibilisierung der Lasten kann dazu beitragen, dass der Photovoltaikstrom in allen Jahreszeiten besser genutzt werden kann und so Stromüberschüsse / Exporte reduziert werden können.
- Zur Reduktion der Lastspitzen müssen die Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge an privaten Ladestationen zeitlich flexibel und mit tiefer Ladeleistung erfolgen.
- Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich sind entscheidend, damit die notwendige Leistung der Wärmepumpen reduziert wird und die Stromnetze entlastet werden.
- Mit einer winteroptimierten Photovoltaik-Erzeugung (als mögliche Smart City Massnahme) – insbesondere dank Fassaden-Anlagen – können die Exporte im Sommer um rund 20% reduziert werden. Gleichzeitig verringert sich die Importabhängigkeit im Frühling und Herbst. Auch die Verteilnetze werden durch eine winteroptimierte Photovoltaik-Erzeugung erheblich entlastet.
- Solarbatterien (als mögliche Smart City Massnahme) können die Herausforderungen der höheren Importabhängigkeit im Winter und der hohen Stromüberschüsse im Sommer kaum mindern und sind daher nicht zusätzlich zu fördern.

Das Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen erfordert einen fundamentalen Umbau des Energiesystems, insbesondere der Wärmeversorgung und des Stromsystems, in der Stadt Thun. Die vollständige Transformation des Energiesystems und die damit verbundene Reduktion auf Netto-Null-Treibhausgasemissionen in der Stadt Thun sind bis 2030 nicht machbar. Bei unmittelbarem Handeln und mit entsprechenden gesetzlichen Rahmenbedingungen auf Ebene Bund und Kanton ist das Netto-Null-Ziel 2050 erreichbar. Die Stadt Thun kann zudem ihre Vorbildrolle wahrnehmen und das Netto-Null-Ziel innerhalb der Stadtverwaltung deutlich früher als 2050 erreichen.

Schlussfolgerung

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BEV (Battery Electric Vehicle)	Batterie-elektrische Fahrzeuge ohne internen Verbrennungsmotor
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, ist eines der bedeutendsten Treibhausgase
COP	Coefficient of Performance, Koeffizient für die Effizienz von Wärmepumpen
CNG	Compressed Natural Gas
DC	Direct Current (Gleichstrom)
Eigenerzeugungsanteil	Der Anteil der Gesamtstromerzeugung der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten), welcher durch eine zeitgleiche Stromnachfrage in der Stadt Thun direkt gebraucht wird.
Eigenverbrauch (Photovoltaikstrom)	Die Erzeugung der Photovoltaik wird in jenen Stunden «eigenverbraucht», in denen die Erzeugung der Photovoltaik kleiner oder gleich gross ist wie der Gesamtstromverbrauch im Gebäude der Photovoltaikerzeugung. Der Eigenverbrauch gibt den Anteil an der Photovoltaikerzeugung an, welcher direkt verbraucht wird.
Eigenversorgungsgrad	Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher durch eine zeitgleiche Stromerzeugung in der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) gedeckt werden kann.
Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Emissionen, die durch die Umwandlung von Energieträgern in Strom und Wärme in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie entstehen.
Exportanteil	Der Anteil der Gesamtstromerzeugung der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten), welcher nicht durch eine zeitgleiche Stromnachfrage in der Stadt Thun gebraucht wird und entsprechend exportiert werden muss.
Fast Charging	Ladestelle mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC), die eine Schnellladung ermöglichen (20 bis 30 Minuten). Leistungen von 50 kW bis 150 kW (AC bis maximal 43 kW)
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicle), die aus den Energieträgern Wasserstoff oder Methanol in einer Brennstoffzelle elektrische Energie erzeugen und mit dem Elektroantrieb in Bewegung umwandeln.
HEV	Hybrid Electric Vehicle, Hybridelektrische Fahrzeuge
Home Charging	Aufladen am Wohnort oder in unmittelbarer Nähe des Wohnortes mit Wechselstrom (AC), von 8h bis 12h. Leistungen von 3.7 kW bis 11 kW.

Importanteil	Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher nicht durch eine zeitgleiche Stromerzeugung in der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) gedeckt werden kann und entsprechend importiert werden muss.
kW	Kilowatt, Einheit der Wirkleistung
kWh	Kilowattstunden, Masseneinheit der Arbeit bzw. der Energie
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
Leistungsbezug	Resultierende Stromnachfrage im Versorgungsgebiet des Transformators nach Abzug der zeitgleichen Photovoltaik-Erzeugung im Versorgungsgebiet des Transformators.
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Flüssiggas, auch «Autogas» genannt; hauptsächlich Propan und Butan)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Negativemissionen	Entnahme und dauerhafte Speicherung von CO ₂ -Emissionen aus der Atmosphäre durch technische oder natürliche Methoden.
Netto-Null	Netto-Null-Treibhausgasemissionen bedeutet, dass die Treibhausgasemissionen grundsätzlich auf null reduziert werden. Allfällig verbleibende Emissionen werden für eine ausgeglichene Emissionsbilanz wieder durch Negativemissionen aus der Atmosphäre entzogen. Dies kann mit natürlichen oder künstlichen Methoden geschehen.
Netzbezug	Der Anteil am Gesamtstromverbrauch eines Gebäudes, welcher nach Abzug des Eigenverbrauchs aus dem Netz bezogen wird.
Netzeinspeisung Photovoltaikstrom	Die «Überproduktion» der Photovoltaikerzeugung nach Abzug des Eigenverbrauchs wird ins Netz eingespeist. Die Netzeinspeisung ist der Anteil, welcher nicht direkt im Gebäude der Photovoltaikerzeugung verbraucht wird.
Ökostrom(-anteil)	Strom aus erneuerbaren Energien (Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft, Holz, Biomasse, Geothermie). Der Ökostromanteil ist der Anteil an der Stromnachfrage, welche durch erneuerbare Energien gedeckt wird.
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	Kombinieren einen Elektromotor mit einem Verbrennungsmotor, wobei die Batterie extern aufgeladen werden kann.
POI Charging	Aufladen mit Wechselstrom (AC) von 1h bis 2h, während man einer Aktivität an Points Of Interest (Einkaufen, Sport, Kultur) nachgeht. Leistungen von 11 kW bis 50 kW
PV	Photovoltaik, direkte Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie
Rückspeisung (Photovoltaikstrom)	Resultierende Photovoltaik-Überproduktion im Versorgungsgebiet des Transformators nach Abzug der zeitgleichen Stromnachfrage im Versorgungsgebiet des Transformators.
Scope 1, Scope 2, Scope 3	Systemgrenzen für die Erhebung von Treibhausgasemissionen, siehe Tabelle 2 im Kapitel 2 (S. 23)

SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
-----	-----------------------

Solarstromanteil	Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher durch eine zeitgleiche Photovoltaik-Erzeugung irgendwo in der Stadt Thun gedeckt werden kann.
------------------	--

Solarstromanteil (aus Eigenverbrauch)	Der Photovoltaik-Anteil des Gesamtstromverbrauchs, welcher zeitgleich im Gebäude des Photovoltaik-Erzeugungsstandorts eigenverbraucht wird.
---------------------------------------	---

Workplace Charging	Aufladen am Arbeitsplatz mit Wechselstrom (AC), von 6h bis 8h. Leistungen von 3.7 kW bis 22 kW
--------------------	--

1. Einleitung

Das Übereinkommen von Paris hat eine neue globale Klimapolitik eingeleitet. Es weist den Weg für die Eindämmung des Klimawandels. Dazu müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen so rasch und so stark gesenkt werden, dass das verbleibende CO₂-Budget eingehalten wird und die globale Erwärmung auf maximal 2 Grad gegenüber vorindustriellem Niveau beschränkt, werden kann. Das Pariser Klima-Abkommen sieht darum bis in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts «Klimaneutralität» vor. Unvermeidbare Emissionen sind der Atmosphäre mit geeigneten Verfahren wieder zu entziehen².

Ziel des Pariser
Klimaabkommens

Die Schweiz ratifizierte im Jahr 2017 das Pariser Klima-Abkommen und im Sommer 2019 hat der Bundesrat beschlossen, dass die Schweiz 2050 das Netto-Null-Ziel erreichen soll. Für das Jahr 2030 hat sich die Schweiz das Zwischenziel gesetzt, ihre Treibhausgasemissionen zu halbieren.

Klimaneutralität
Schweiz

Der Gemeinderat der Stadt Thun hat an seiner Sitzung vom 28. August 2019 beschlossen, das im energiepolitischen Massnahmenprogramm 2019-2022 vorgesehene Klima- und Energiekonzept als Strategie mit dem Ziel Netto-Null Treibhausgasemissionen bis 2050 in Angriff zu nehmen (Motion 2/2019). Diese Zielsetzung stellt für die Stadt Thun eine enorme Herausforderung dar. Fast zeitgleich wurde in der Stadt Thun der Klimanotstand ausgerufen (Jugendmotion 1/2019).

Zielsetzung Nett-
Null Treibhaus-
gasemissionen der
Stadt Thun bis
2050

Dieses Projekt dient der Stadt Thun als Grundlage zur Erarbeitung einer Netto-Null-Klima- und Energiestrategie. Das Projekt beleuchtet dabei die wichtigsten Energieaspekte (Wärmeversorgung, Strassenverkehr und Photovoltaik) und zeigt insbesondere die räumlichen Auswirkungen einer Netto-Null-Welt auf. In Szenarien wird aufgezeigt, wie sich die Energieversorgung, insbesondere das Gas- und Stromverteilnetz der Stadt Thun bis 2050 entwickeln wird.

Projektziele

Das Projekt verfolgt fünf Ziele:

1. Klimaziele und entsprechende Absenkpfade sind identifiziert
2. Die Auswirkungen der Umsetzung des Klimaziels auf das Strom-Verteilnetz sind aufgezeigt
3. Die Auswirkungen der Umsetzung des Klimaziels auf das Gas-Verteilnetz sind unter Berücksichtigung der Wärmenetze aufgezeigt
4. Die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen auf Energie Thun sind grob aufgezeigt
5. Chancen und Potenziale für eine intelligent vernetzte Energieproduktion und -versorgung sind aufgezeigt

2 BAFU (2018): Klimapolitik der Schweiz – Umsetzung des Übereinkommens von Paris. [Link](#).

Die Arbeiten im Projekt wurden durch eine Arbeitsgruppe bestehend aus Vertretern der Fachstelle Umwelt Energie Mobilität und des Planungsamtes der Stadt Thun sowie der Energie Thun AG und des Kantons Bern begleitet. Die Arbeitsgruppe wurde im Projektverlauf bei der Erarbeitung aller Resultaten mit einbezogen.

Miteinbezug der breitaufgestellten Arbeitsgruppe

Zusätzlich wurde die Erarbeitung durch eine Projektdelegation begleitet, welche die Aufgabe der politischen Steuerung übernahm. Das Gremium bestand aus der zuständigen Direktionsvorsteherin Finanzen, Ressourcen, Umwelt Andrea de Meuron und dem Stadtpräsidenten Raphael Lanz, der Co-Leiterin des Planungsamtes Susanne Szentkuti, sowie Vertretern der Energie Thun AG und hat in drei Sitzungen Rückmeldungen zu den Inhalten gegeben.

Berücksichtigung der politischen Machbarkeit

2. Definition «Netto-Null»

Das Übereinkommen von Paris wie auch die Schweizer Klimapolitik sehen «Klimaneutralität», respektive Netto-Null-Treibhausgasemissionen, vor. Die genaue Definition des Begriffs «Netto-Null» ist allerdings nicht trivial, unterschiedliche Akteure verwenden zudem unterschiedliche Definitionen.

Definition des Begriffs «Netto-Null-Treibhausgasemissionen»

Eine projektspezifische Definition für den Begriff «Netto-Null» kann durch die Beantwortung folgender Fragen erreicht werden:

1. Betrifft das Ziel kumulierte oder jährliche Emissionen?
2. Werden Emissionen in Vorketten betrachtet und wenn ja, welche?
3. Welche Treibhausgase deckt das Ziel ab?
4. Können CO₂-Zertifikate und/ oder Negativemissionen angerechnet werden?

Kumulierte oder jährliche kumulierte Emissionen

Um das Übereinkommen von Paris zu erfüllen (Erwärmung auf 1.5 bis maximal 2°C zu begrenzen), besitzt die globale Gemeinschaft ein gewisses Treibhausgasbudget (meistens in CO₂ angegeben), welches sie noch austossen darf. Wie dieses verbleibende Budget nach Ländern oder Regionen aufgeteilt wird, ist nicht geregelt. Gewiss ist, dass die globalen CO₂-Emissionen etwa Mitte Jahrhundert «Netto-Null» betragen müssen, um dieses Budget nicht zu überschreiten. Der Absenkpfad auf Netto-Null im Zieljahr x ist frei wählbar (siehe Abbildung 5). Wichtig ist dabei, dass das kumulierte CO₂-Budget nicht überschritten wird. Allgemein gilt, dass je früher die Emissionen reduziert werden, desto geringer fallen die kumulierten CO₂-Emissionen aus und desto grösser bleibt das CO₂-Budget für spätere Zeitperioden oder andere Akteure. Ein linearer Absenkpfad auf Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 übersteigt das verbleibende CO₂-Budget. Entsprechend müsste das Zieljahr zur Erreichung von Netto-Null früher angesetzt oder auf einen nicht-linearen, ambitionierteren Absenkpfad gesetzt werden, welcher kumulativ weniger CO₂-Emissionen verursacht.

Die Wahl des Absenkungspfades hat Einfluss auf das CO₂-Budget

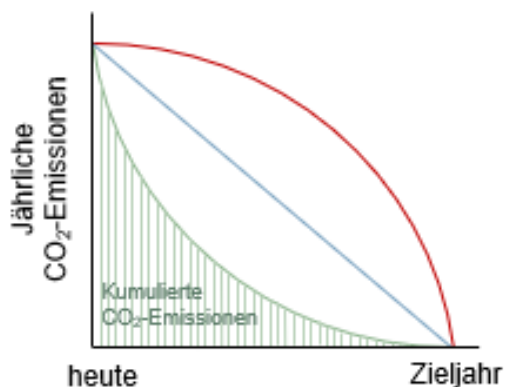


Abbildung 5 Absenkpfade Netto-Null.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt der Stadt Thun sich bei der Bilanzierung der Treibhausgase auf jährliche Emissionen zu beziehen. Als Zieljahr für Netto-Null schlägt die Arbeitsgruppe das Jahr 2050 vor. Ein geeigneter Absenkpfad mit einem ambitionierten Zwischenziel für das Jahr 2030 berücksichtigt dabei das kumulative CO₂-Budget. Der Fokus auf jährliche Emissionen und Zieljahre ist einfach verständlich und kommunizierbar und gleichzeitig wissenschaftlich abgestützt, in dem auf das kumulative CO₂-Budget Rücksicht genommen wird.

Bilanzierung jährlicher Emissionen

Emissionen in Vorketten: Direkte oder indirekte Emissionen

Für die Definition von «Netto-Null» muss die Systemgrenze der zu betrachtenden Treibhausgasemissionen festgelegt werden. Neben dem direkten Ausstoss von Treibhausgasemissionen in der Stadt Thun (Scope 1) entstehen auch «graue Emissionen». Diese bezeichnen diejenigen Emissionen, die ausserhalb der Stadt bei der Aufbereitung von Strom und Wärme (Scope 2), respektive der Herstellung von Gütern und Dienstleistungen (Scope 3), für die Stadt Thun und ihre Bewohner entstehen (siehe Abbildung 6).

Wichtigkeit einer Systemgrenze

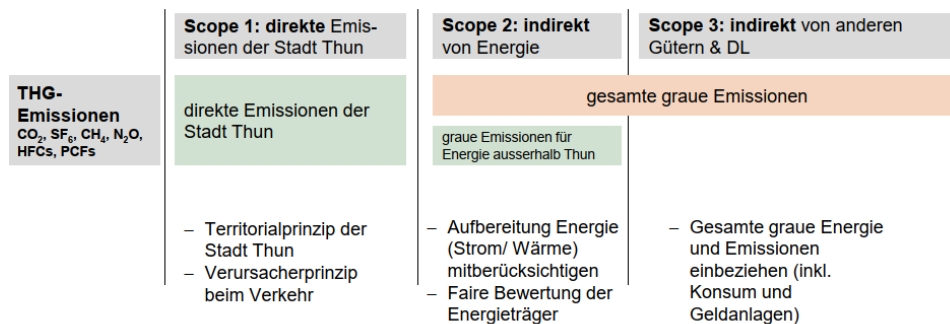


Abbildung 6 Direkte und indirekte (graue) Emissionen der Stadt Thun.

Die Erhebung der grauen Emissionen ist aufwändig und mit diversen Unsicherheiten verbunden. Zusätzlich ist der Handlungsspielraum der Stadt zur Reduktion dieser Emissionen stark beschränkt. Jedoch sind die indirekten Emissionen (Scope 2 und 3) um einen Faktor von rund 1.5 höher als die direkten Emissionen.

Indirekte Emissionen sind höher als direkte

Die Arbeitsgruppe empfiehlt der Stadt Thun, sich auf direkte Emissionen (Scope 1) zu beziehen. Dieses politische Ziel ist konsistent mit dem Vorgehen des Bundes. Die Absenkpfade und räumlichen Netto-Null-Szenarien (siehe Kapitel 2 und Kapitel 6) sollen unter Berücksichtigung der Vorketten-Emissionen der Energieaufbereitung (Strom und Wärme; Scope 2) optimiert werden. Der Miteinbezug der energiebedingten Vorketten-Emissionen ermöglicht einen fairen Vergleich der Energieträger und verhindert Fehlentscheidungen bei der Festlegung eines Absenkpades. Die Entstehung von CO₂-Emissionen in der KVA gehören nicht zu den energiebedingten Emissionen, sondern werden dem Sektor Abfall zugeordnet. Sie werden im Rahmen dieses Projekts nicht genauer untersucht. Trotz begrenzten Einflussmöglichkeiten der Stadt sollen die konsumbedingten Emissionen von Scope 3 möglichst minimiert werden. Dies soll in der Erarbeitung der Klima- und Energiestrategie aufgezeigt werden.

Bilanzierung direkter Emissionen

Treibhausgase

Treibhausgasemissionen fallen nicht nur bei der Nutzung fossiler Energieträger (energiebedingte CO₂-Emissionen) an, sondern auch bei industriellen Prozessen, der Abfallverbrennung und der Landwirtschaft. Neben CO₂-Emissionen fallen vor allem in der Landwirtschaft auch weitere Treibhausgase (Methan, Lachgas, synthetische Gase) an. Eine vollständige Erfassung der Treibhausgasemissionen auf städtischer Ebene ist sehr aufwändig und äusserst schwierig.

Quellen von Treibhausgasen

In der Schweiz sind die energiebedingten CO₂-Emissionen für über 70% der gesamten Schweizer Treibhausgasemissionen verantwortlich. In urbanen Gebieten, wie der Stadt Thun, dürfte dieser Anteil noch höher ausfallen.

Anteil der CO₂-Emissionen aus dem Energiesektor in der Schweiz

Die Arbeitsgruppe empfiehlt im Rahmen dieser Studie, ausschliesslich die energiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Thun zu betrachten.

Bilanzierung energiebedingt CO₂-Emissionen

Anrechnung von CO₂-Zertifikaten und Negativemissionen

Netto-Null-Treibhausgasemissionen bedeutet, dass Treibhausgasemissionen, die nicht vermieden werden können, kompensiert werden müssen. Diese Kompensation kann entweder mittels CO₂-Zertifikate oder Negativemissionen erfolgen. Zertifikate können über ein Emissionshandelssystem (EHS) bezogen werden. Ein Akteur kann somit gegen Zahlung für «Überschussemissionen» eine Berechtigung erkaufen und diese so kompensieren. In der Theorie sollen so CO₂-Emissionen eingespart werden, wo die geringsten Kosten anfallen. Der Emissionshandel kann eine effiziente Lösung sein, allerdings muss berücksichtigt werden, dass langfristig grundsätzlich alle Emissionen vermieden werden müssen, entsprechend gibt es dann auch keine anderen Akteure mehr, die übererfüllt haben und Zertifikate zur Verfügung stellen können.

Zertifikate als Möglichkeit für eine CO₂-Kompensation

Negativemissionen stellen eine weitere Möglichkeit dar, um Treibhausgasemissionen zu kompensieren. Negativemissionen entstehen überall dort, wo mehr CO₂ aus der Atmosphäre gebunden als emittiert wird (siehe Abbildung 7). So können ein neu gepflanzter Wald oder die unterirdische Speicherung von CO₂ in Reservoirien als CO₂-Senke dienen. Das Potenzial von Negativemissionen ist begrenzt und die Kosten sehr hoch. Vor diesem Hintergrund sollten Negativemissionen nur für nicht-vermeidbare Restemissionen budgetiert werden.

Negativemissionen als Möglichkeit für eine CO₂-Kompensation

Die Arbeitsgruppe empfiehlt der Stadt Thun kurz- und mittelfristig ohne Kompensation zu planen. Potenziale für Effizienz und erneuerbare Energien sollen möglichst ausgeschöpft werden. Langfristig können Negativemissionen punktuell eingesetzt werden, wo eine CO₂-Reduktion nicht möglich oder teurer als eine Negativemission ist. Diese Kompensation mit Negativemissionen betrifft gemäss Einschätzung der Arbeitsgruppe deutlich weniger als 10% der heutigen CO₂-Emissionen.

Verzicht von CO₂-Kompensationen in Energiestrategie

Info-Box: Negativemissionen

Die begrenzten CO₂-Budgets verlangen ein schnelles Reduzieren der Treibhausgasemissionen. Allerdings sind selbst bei sehr ambitionierten Absenkpfeilen die Ziele ohne so genannte Negativemissionen kaum erreichbar.

Hierbei sollen der Atmosphäre CO₂-Emissionen entzogen und das bereits in Anspruch genommene CO₂-Budget «kompensiert» werden. Beschriebene negative Emissionstechnologien sind gengewärtig sehr vielseitig und reichen von bereits anwendbaren Vorschlägen wie Aufforstung bis zu Technologien, die sich noch in der Entwicklung befinden. Unter anderem werden folgende Vorschläge für negative Emissionen diskutiert.

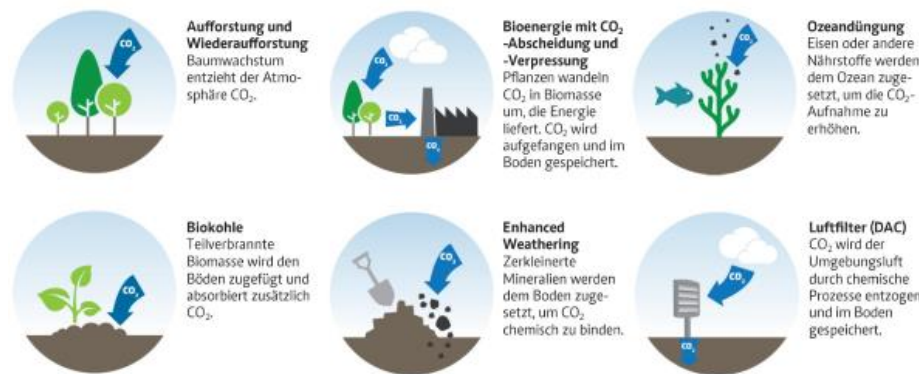


Abbildung 7 Vorschläge für negative Emissionen. Quelle: MCC 2016

Systemgrenze und Bilanzierungsmethodik

Die Systemgrenze und Bilanzierungsmethodik leiten sich direkt aus den oben ausgeführten Überlegungen und Empfehlungen der Arbeitsgruppe ab und sind in Tabelle 2 zusammengefasst und in Abbildung 8 dargestellt.

Übersicht Systemgrenze und Bilanzierungsmethodik

Systemgrenze und Bilanzierungsmethodik	
Geografische Systemgrenze	Stadtgebiet der Stadt Thun
Bilanzierungsmethodik Scope 1	Grundsätzlich Territorialprinzip (Stadtgebiet der Stadt Thun) Beim Strassenverkehr: Verursacherprinzip der in der Stadt Thun immatrikulierten Fahrzeuge
Bilanzierungsmethodik Scope 2	Die indirekten CO ₂ -Emissionen der Energiebereitstellung (Scope 2) werden zusätzlich und separat ausgewiesen
Methodische Umsetzung Scope 2	Modellierung des Energieverbrauchs/ -produktion nach Energieträger und Berechnung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen anhand von CO ₂ -Faktoren pro Energieträger (Lebenszyklusanalyse).
Zeithorizont	2020-2050

Tabelle 2 Systemgrenze und Bilanzierungsmethodik.

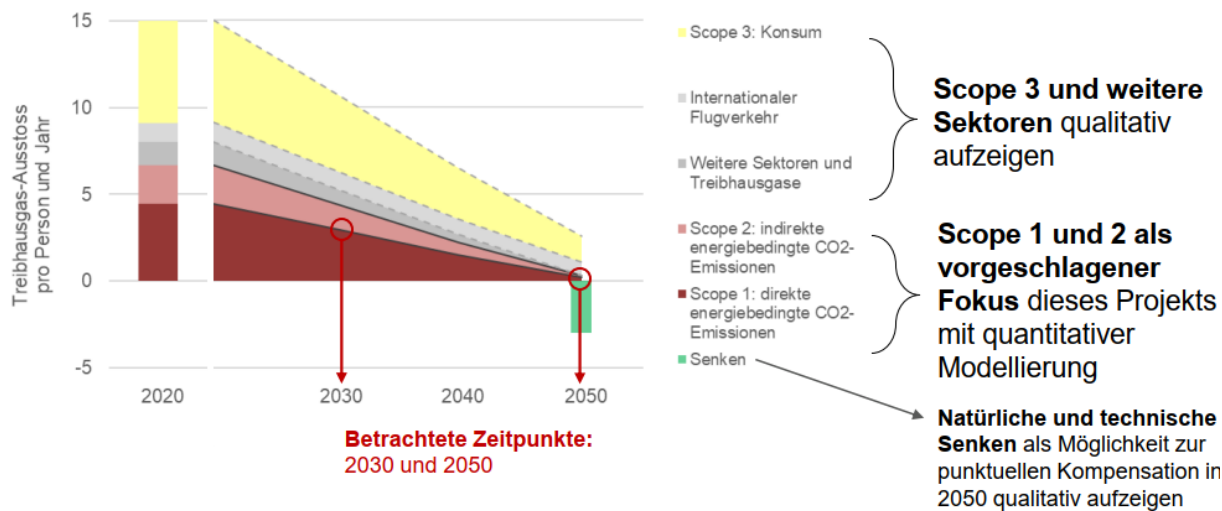


Abbildung 8 Schematische Darstellung des Netto-Null Ziels der Stadt Thun in Tonnen CO₂-eq pro Jahr.

3. Zukünftige Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen in der Stadt Thun

Heutige energiebedingte CO₂-Emissionen

Die Angaben zu den energiebedingten CO₂-Emissionen stammen aus dem Wirkungscontrolling zum Richtplan Energie³. Die Anteile der Sektoren Gebäude und Industrie/Gewerbe an den Emissionen aus Brennstoffen sind eine Schätzung. Die Emissionen aus Treibstoffen wurden über Modellierungen des Sektors Verkehr durch EBP berechnet. Im Jahr 2019 wurden in der Stadt Thun knapp 140'000 Tonnen energiebedingte CO₂-Emissionen (Scope 1) verursacht (siehe Tabelle 3). Der Sektor Gebäude hat dabei mit 56% der Gesamtemissionen den grössten Anteil, gefolgt vom Sektor Verkehr mit 31%. Der Sektor Industrie und Gewerbe verursacht rund 13% der CO₂-Emissionen.

Datengrundlagen

Energieträger	CO ₂ -Emissionen	Sektor	Anteil
Brennstoffe (Gas und Heizöl)	77'084 Tonnen CO ₂	Gebäude	56%
		Industrie/Gewerbe	13%
Treibstoffe (Benzin, Diesel, Erdgas)	42'847 Tonnen CO ₂	Verkehr	31%
Gesamt	137'173 Tonnen CO₂		

Tabelle 3 Energiebedingte CO₂-Emissionen der Stadt Thun im Jahr 2019.

Zwei Entwicklungsszenarien für die CO₂-Emissionen

Die Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Thun bis 2050 werden anhand von zwei Szenarien aufgezeigt. Dabei werden die Bereiche Gebäude, Verkehr und Industrie/Gewerbe separat betrachtet.

Zwei unterschiedliche Szenarien der CO₂-Entwicklung

- **«absehbare Entwicklung»**: alle Massnahmen⁴, die bereits heute auf Ebene Gemeinde, Kanton und Bund gelten und zusätzlich geplant sind, werden umgesetzt. Dabei wird die Wirkung des kantonalen Energiegesetzes und der (aktuelle Stand der) Totalrevision des nationalen CO₂-Gesetzes abgebildet⁵.
- **«schnellstmögliche Transformation»**: entspricht einem Szenario, in dem Massnahmen auf Ebene Gemeinde, Kanton und Bund angesetzt werden, mit welchen das System innerhalb der heutigen Investitionszyklen (kein vorzeitiger Ersatz) schnellstmöglich geändert wird, um die CO₂-Emissionen möglichst stark zu reduzieren.

Was die beiden Szenarien in den verschiedenen Sektoren konkret bedeuten, wird in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

3 Syntas & Energie hoch drei AG (Entwurf; Stand 2021). Wirkungscontrolling Richtplan Energie

4 Detaillierte Auflistung der Massnahmen je Sektoren in den jeweiligen Kapiteln 3.1.2, 3.2.2 und 3.3.2.

5 BAFU: Totalrevision des CO₂-Gesetzes. [Link](#)

Rollen der Stadt Thun

Die Stadt verfügt je nach Bereich über eine unterschiedlich grosse Handlungskompetenz. Während sie in den Bereichen Haushalte, Wirtschaft (Teil Gebäude) und Verkehr über diverse Kompetenzen verfügt, die Emissionen auf Stadtgebiet zu beeinflussen, sind ihre Kompetenzen im Bereich Wirtschaft (Teil Prozessenergie) beschränkt. Hier liegen viele der Kompetenzen in den Händen von Bund und Kanton. Je nach Sektor variiert auch, in welcher Rolle die Stadt am meisten Einfluss hat:

Handelskompetenzen variieren zwischen Bereichen

- **Planerin und Reguliererin:** Vorschriften und Planungsvorgaben führen zu einem vermehrten Einsatz von erneuerbarer Energie und einer Steigerung der Effizienz.
- **Anbieterin:** Geeignete Angebote im Bereich der Energieversorgung und Mobilität erlauben einen Lebensstil, der im Einklang mit den städtischen Energie- und Klimazielen steht.
- **Förderin:** Mit finanziellen Anreizen fördert die Stadt Massnahmen, die zur Zielerreichung beitragen.
- **Vorbild:** Die Stadt hat als Energieverbraucherin eine Vorbildfunktion und Ausstrahlungskraft auf andere Akteure.
- **Beraterin:** Information und Beratung sensibilisieren die Bevölkerung, Grundeigentümer- und Bauträgerschaften, sowie Unternehmen. Diese werden bei der Umsetzung direkt mit Wissen unterstützt.

Nimmt die Stadt ihre Handlungskompetenzen in den Rollen als Planerin und Anbieterin voll wahr, liegt hier das grösste Potenzial, die Emissionen auf Stadtgebiet direkt zu reduzieren. Auch als Förderin, Beraterin und als Vorbild kann sie direkt und indirekt Wirkung erzielen. Im Bereich Wirtschaft (Teil Prozessenergie) kann nur wenig Potenzial erschlossen werden, am ehesten in der Rolle als Eigentümerin der Energie Thun AG und damit indirekt als Anbieterin von erneuerbarer Energie.

3.1 Sektor Gebäude

3.1.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz

Der Sektor Gebäude ist für 56% der energiebedingten CO₂-Emissionen in Thun verantwortlich und bietet somit einen wichtigen Hebel zur Reduktion dieser Emissionen. Die energiebedingten CO₂-Emissionen im Gebäudesektor (Haushalte und Dienstleistungen) stammen überwiegend aus der Wärmeerzeugung für Raumwärme (Heizung) und Warmwasser.

Wichtiger Hebel der Energiestrategie

Um das Ziel Netto-Null im Sektor Gebäude erreichen zu können, muss sowohl die Effizienz gesteigert werden wie auch die Energieversorgung mit erneuerbaren Energien gedeckt werden:

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Handlungsbedarf: Netto-Null-Ziel	<ul style="list-style-type: none"> — Effizienz der Gebäudehüllen stark erhöhen (auch um erneuerbare Beheizung zu ermöglichen) — Effizienz im Betrieb steigern — Effizienz von Geräten stark steigern 	<ul style="list-style-type: none"> — Gesamte Wärmeversorgung umstellen auf erneuerbare Energie — Starker Ausbau erneuerbare Stromproduktion und wenn möglich Biogasproduktion — Strom- und Gasverbrauch vollständig auf erneuerbare Energie umstellen

Tabelle 4 Handlungsbedarf für die Erreichung des Netto-Null-Ziels

Das Ziel kann aber nur erreicht werden, wenn alle Akteurinnen und Akteure gemäss ihren Kompetenzen dazu beitragen. Die Stadt Thun selbst ist gefordert, aber auch auf Beiträge von Privaten und Energieversorgern, und insbesondere von Kanton und Bund, angewiesen. Mit den CO₂-Grenzwerten und der CO₂-Abgabe liegen zwei wichtige Instrumente im Bereich der Vorschriften in der Hand des Bundes. Auf kantonaler Ebene sind die Förderung von erneuerbaren Energieträgern und Effizienzsteigerung, sowie Bauvorschriften für Neubauten und grössere Umbauten oder Sanierungen wichtige Instrumente. Eine detaillierte Übersicht der Handlungskompetenzen von Bund und Kanton findet sich im Anhang A1.1.

Klimaziele abhängig von anderen Akteuren

Die Handlungskompetenzen der Stadt Thun und somit deren Rollen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Planerin	<ul style="list-style-type: none"> — Vorgaben in Sondernutzungsplanungen — Nutzungsbonus für höhere energetische Anforderungen — Vorgaben in Baurechts- und Planungsverträgen 	<ul style="list-style-type: none"> — Energieplanung, räumliche Koordination der Wärmeversorgung (Richtplan Energie) — Planung zum langfristigen Umgang mit dem Gasnetz — Energievorschriften für Neubauten und energierelevante Umbauten in der baurechtlichen Grundordnung (Anschlusspflichten an Wärmeverbände, Pflicht zur Erstellung einer gemeinsamen Heizungslösung bei neuen Überbauungen, Vorgabe zur Nutzung eines bestimmten erneuerbaren Energieträgers, Einhaltung eines tieferen gewichteten Energiebedarfs als kantonal vorgeschrieben) — Standorte für Erzeugungsanlagen (z.B. Biogasanlagen, Energiezentralen, etc.) in Energieplanung festlegen — Bewilligungspraxis Wärmepumpen, Solaranlagen, etc.
Anbieterin	<ul style="list-style-type: none"> — Angebot von erneuerbarer Wärme über Energieverbände — Investitionen in erneuerbare Stromproduktion über eigenen Versorger, mit eigenen Mitteln oder über Contracting mit Dritten — eigener Versorger vorhanden: Energieversorger zu Klimazielen und/oder entsprechenden Massnahmen verpflichtet — Stromnetz für Ausbau Wärmepumpen vorbereiten 	
Förderin	<ul style="list-style-type: none"> — Förderung von energetischen Sanierungen in Ergänzung zu Bund und Kantonen — Förderung von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom, z.B. über Einspeisetarif 	
Beraterin	<ul style="list-style-type: none"> — Energieberatung und Sensibilisierung der Bevölkerung 	
Vorbild	<ul style="list-style-type: none"> — Vorbildrolle eigene Gebäude: Effizienz und Einsatz erneuerbare Energien — Eigene Beschaffung (Verwaltung) von Anlagen und Geräten auf höchste Effizienz ausrichten 	

Tabelle 5 Rollen der Gemeinde im Bereich Gebäude

3.1.2 Szenarien Gebäude

Im Sektor Gebäude wurde die Entwicklung der Energieeffizienz und des Bestandes der Wärmeerzeuger bis 2050 modelliert, getrennt für Privathaushalte und Dienstleistungsbetriebe. Die Modellierung basiert auf bestehenden Wirkungsmodellen, insbesondere aus EBP (2018)⁶. Die beiden Szenarien «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Entwicklung» stützen sich auf die folgenden aktuellen oder erwarteten Entwicklungen:

Getrennte Modellierung für Privathaushalte und Dienstleistungsbetriebe

⁶ EBP (2018): Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen – Sektor Gebäude. Beschreibung des angewendeten Wirkungsmodells. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.

«Absehbare Entwicklung»

- Energiebezugsfläche steigt weiter, Neubauten werden erneuerbar beheizt
- CO₂-Grenzwerte gemäss Totalrevision CO₂-Gesetz werden umgesetzt und treten 2023 in Kraft (Kanton hat MuKE 2014 Teil F nicht umgesetzt); alle fünf Jahre werden die Grenzwerte verschärft, im Jahr 2043 entsprechen sie einem Verbot fossiler Heizungen

«Schnellstmögliche Transformation»

- Energiebezugsfläche steigt weiter, Neubauten werden erneuerbar beheizt
- bei nahezu allen Heizungswechseln wird auf erneuerbare Lösungen umgestellt (Massnahmen nur innerhalb bestehender Investitionszyklen)
- 100% erneuerbarer Strom bis 2050

Eine detaillierte Übersicht mit den getroffenen Annahmen für die Szenarien im Sektor Gebäude ist in Tabelle 6 dargestellt.

Szenario	Annahmen
Alle Szenarien	<ul style="list-style-type: none"> — Annahmen Energiebezugsflächen, Heizsysteme und Wärmebedarf direkt übernommen aus Datengrundlage EBBE des Kantons Bern — Gebäudebestand Stadt Thun ist somit gebäudescharf abgebildet (Gas-Verbrauchsdaten Thun sind in diese Grundlagen noch nicht eingeflossen) — Sanierungsraten und Wechselraten beim Ersatz des Wärmeerzeugers gemäss statistischen Daten (Grundlage: BAFU-Bericht «Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen» und zugrundeliegendes Wirkungsmodell) — Erhöhung der CO₂-Abgabe: Wirkung einer stetig erhöhten CO₂-Abgabe von heute 96 Fr. pro tCO₂ auf maximal 180 Fr. pro tCO₂
«absehbare Entwicklung»	<ul style="list-style-type: none"> — CO₂-Grenzwerte für Gebäude gemäss Totalrevision des CO₂-Gesetzes — Ab 2023 gilt ein CO₂-Grenzwert von 20 kg pro m² Energiebezugsfläche (EBF) falls der Kanton bis dann nicht eine mindestens gleichwertige kantonale Regelung eingeführt hat; dieser Grenzwert wird alle 5 Jahre um 5 kg pro m² EBF verschärft; ab 2043 gilt eine Vorgabe von 0 kg pro m² EBF — CO₂-Grenzwerte werden wirksam beim Heizungersatz — Wirkung auf alle Gebäude
«schnellstmögliche Transformation»	<ul style="list-style-type: none"> — zwischen 2020-2025 graduelle Umsetzung starker Massnahmen, die innerhalb bestehender Investitionszyklen zu schnellem und fast ausschliesslichem Einsatz mit erneuerbaren Systemen führen
«schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»	<ul style="list-style-type: none"> — zwischen 2020-2025 graduelle Umsetzung starker Massnahmen, die innerhalb bestehender Investitionszyklen zu schnellem und fast ausschliesslichem Einsatz mit erneuerbaren Systemen führen — Einsatz von 100% erneuerbarem Gas

Tabelle 6 Annahmen der Szenario-Modellierung im Sektor Gebäude

Absenkpfade

Basierend auf den Modellierungen und den obigen Annahmen wurden für die Jahre 2030 und 2050 die Entwicklungen der CO₂-Emissionen berechnet. In allen Szenarien werden die CO₂-Emissionen im Gebäudesektor bis 2050 stark gesenkt. Vor allem im Jahr 2030 sind jedoch zwischen den verschiedenen Szenarien grosse Unterschiede zu sehen (siehe Tabelle 7).

Senkung der CO₂-Emissionen in allen Szenarien

Szenarien Gebäude	2019	2030	2050
«absehbare Entwicklung»	100%	-40%	-92%
«schnellstmögliche Transformation»	100%	-55%	-95%
«schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»	100%	-74%	-98%

Tabelle 7 Entwicklung der CO₂-Emissionen in den Szenarien des Sektors Gebäude

«Absehbare Entwicklung»: Mit der heutigen Gesetzesgrundlage und geplanten Massnahmen können die energiebedingten CO₂-Emissionen im Sektor Gebäude bis 2030 gegenüber 2019 um 40% und bis 2050 um ca. 92% reduziert werden.

«Schnellstmögliche Transformation»: Durch die frühzeitige Einführung strenger CO₂-Grenzwerte für Gebäude, die einem faktischen Verbot für fossile Heizungen entsprechen, sinken die CO₂-Emissionen bis 2030 um 55% und bis 2050 um 95%. Im Jahr 2050 wird somit nahezu ein Ausstoss von null CO₂-Emissionen erreicht.

«Schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»: Wird neben einer frühzeitigen Einführung strenger CO₂-Grenzwerte für Gebäude der gesamte Gas-Absatz mit erneuerbaren Gasen gedeckt, können die CO₂-Emissionen bis 2030 um 74% und bis 2050 um 98% gesenkt werden. Für die Stadt Thun ist mit einem nachhaltigen Potenzial von inländischem erneuerbarem Gas von 20 bis 45 GWh zu rechnen, der heutige Gasabsatz beträgt knapp 200 GWh.

Abbildung 9 zeigt die Szenarien im Vergleich mit den linearen Absenkpfeilen Netto-Null 2030 und 2050.

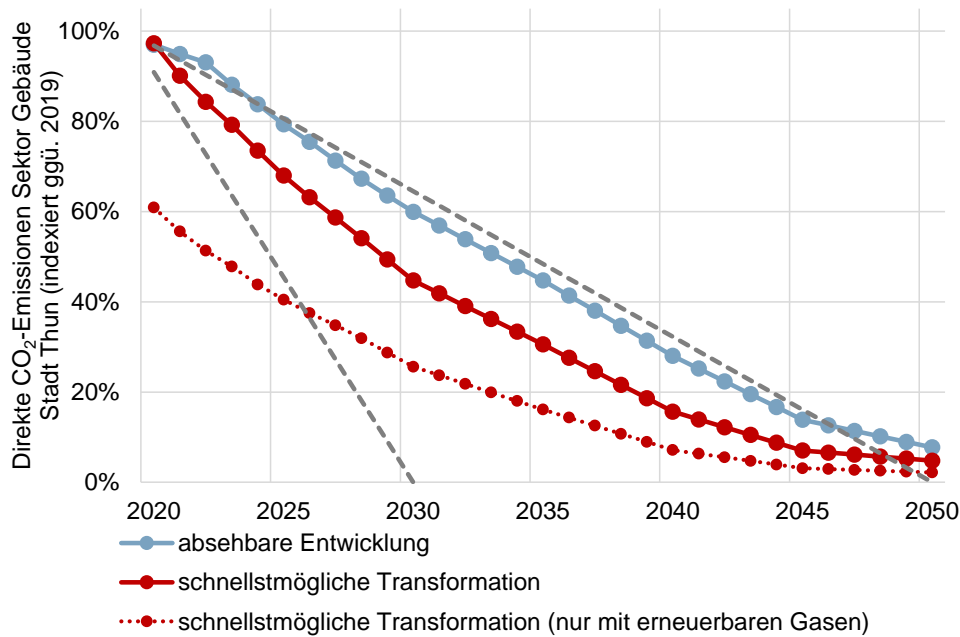


Abbildung 9 Absenkpfade der direkten CO₂-Emissionen in den Szenarien «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Transformation»

Schlussfolgerungen Gebäude

Basierend auf den Resultaten der Szenario-Modellierungen im Gebäude-Sektor können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Starke Wirkung entfaltet die Einführung von CO₂-Grenzwerten (vorgesehen in Totalrevision des CO₂-Gesetzes)
- Das Netto-Null-Ziel 2050 scheint in der absehbaren Entwicklung in Reichweite zu liegen, das Netto-null-Ziel 2030 ist jedoch nicht erreichbar
- Das Netto-Null-Ziel 2030 ist innerhalb der heutigen Investitionszyklen auch bei einer schnellstmöglichen Transformation nicht machbar
- Das Netto-Null-Ziel 2050 scheint innerhalb der heutigen Investitionszyklen mit der schnellstmöglichen Entwicklung möglich (wenige restliche Emissionen)

Handlungsempfehlungen

Die Stadt hat grossen Einfluss auf die CO₂-Emissionen im Sektor Gebäude und kann die Entwicklungen mit planerischen Instrumenten, Angebot von erneuerbarer Energie und finanzieller Förderung vorantreiben.

Die Stadt Thun kann und soll die zukünftige Wärme- und Kälteversorgung der Gebäude mit **planerischen Instrumenten** beeinflussen:

- Gewünschte Entwicklung aufzeigen: Mit einer Energieplanung übergeordnet die Wärme- und Kälteversorgung auf eine Entwicklung abstimmen, die mit dem Netto-Null-Ziel kompatibel ist (behördenverbindliche Festlegung, zusätzlich indirekt Einfluss auf Grundeigentümerschaften und Bauwillige)

Stadt Thun hat grossen Einfluss auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen

- Entwicklung direkt grundeigentümergebunden beeinflussen: Vorgaben in baurechtlicher Grundordnung, Anforderungen in Überbauungsordnungen und gegebenenfalls spezifischen Gebieten zum Anschluss an Wärme- und Kälteverbände

Mit einem **Angebot von erneuerbarer Energie** kann und soll der Absatz auf Stadtgebiet verändert werden:

- Erneuerbare Wärme- und Kälteverbände zu attraktiven Konditionen umsetzen
- Beim Heizungsersatz eigener Gebäude erneuerbare Heizungslösungen umsetzen und Chancen nutzen, benachbarte Gebäude mitzuheizen (beispielsweise durch Vorgaben in der Gebäude-Energie-Strategie der Stadt Thun).
- Stromprodukte anbieten, welche den Ausbau erneuerbarer Energie bewirken

Im Rahmen eines Förderprogramms können energetische Sanierungen und der Umstieg auf erneuerbare Wärme unterstützt werden, sei dies durch direkte finanzielle Förderung von Sanierungen oder Heizungsersatz oder durch gezielte und forcierte Energieberatungen.

3.2 Sektor Verkehr

3.2.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz

Der Sektor Verkehr ist für 31% der energiebedingten CO₂-Emissionen der Stadt Thun verantwortlich. Davon fallen 74% auf Personenwagen, 8% auf Lieferwagen und 11% auf Lastwagen, 7% auf Busse und Motorräder (im Jahr 2019).

Ein Drittel der CO₂-Emissionen aus Verkehrssektor

Zur Erreichung einer Netto-Null-kompatiblen Mobilität braucht es alle Bausteine eines nachhaltigen Verkehrssystems (Abbildung 10 und Tabelle 8).

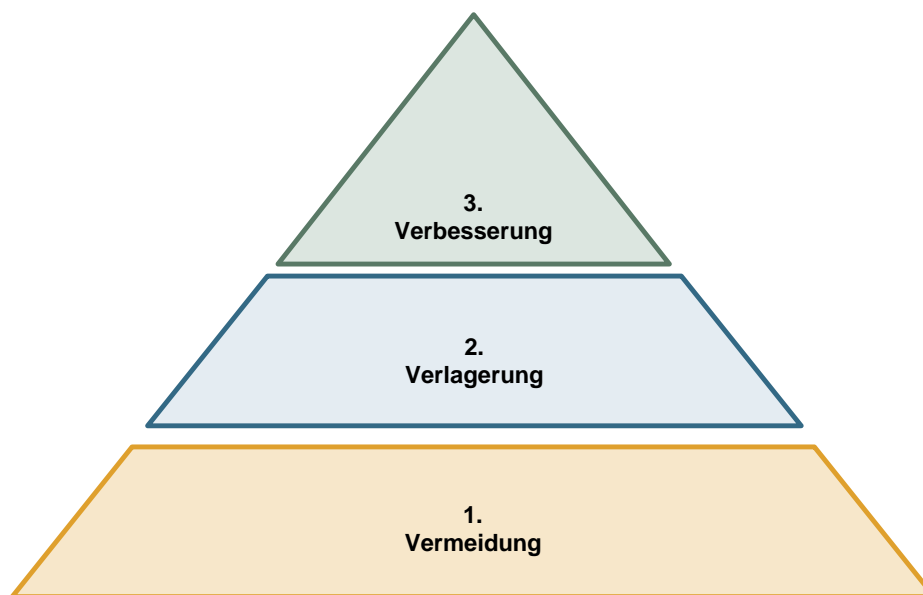


Abbildung 10 Bausteine eines Nachhaltigen Verkehrssystems.

Vermeiden

Basis eines umweltfreundlichen Verkehrssystems sind Siedlungs- und Verkehrsstrukturen, die die Nahmobilität fördern und damit die Verkehrsleistung reduzieren. Dies geschieht durch:

Förderung der Nahmobilität – Stadt der kurzen Wege

- Stadt- und Regionalplanung: Durchmischte Quartiere mit einer guten Quartiersversorgung und attraktiven Naherholungsangebot (Stadt der kurzen Wege)
- Verkehrs- und Infrastrukturplanung, die keinen neuen Verkehr nach sich zieht
- Nutzung neuer Technologien, um Verkehr zu vermeiden und Verkehrsleistung zu reduzieren wie Home-Office, Vernetzung von Verkehrsmitteln, Bündelung von Fahrten und Waren, neue City-Logistik-Konzepte.

Verlagern

Der nicht vermeidbare Verkehr sollte auf möglichst umweltfreundliche und effiziente Verkehrsmittel verlagert werden. Hier steht im Personenverkehr primär die Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den öffentlichen Verkehr und auf den Fuss- und Veloverkehr im Vordergrund.

ÖV, Velo- und Fussverkehr als Hauptverkehrsformen

Verbessern

Der verbleibende motorisierte Verkehr, der sich nicht vermeiden und verlagern lässt, wird verbessert, damit die Emissionen reduziert werden können:

Effizienzsteigerung des motorisierten Verkehrs

- Kleinere, leichtere, sauberere und leisere Fahrzeuge
- Weniger Fahrzeuge durch höhere Belegung der Fahrzeuge (Pooling), Teilen der Fahrzeuge (Sharing) und Bündeln von Warentransporten
- Energieeffiziente und erneuerbare Antriebstechnologien, z. B. Elektromobilität

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Handlungsbedarf für	– Verkehr reduzieren: Anzahl Wege stark verringern	– Verkehr verbessern: alle Treibstoffe CO ₂ -frei resp. erneuerbar
Netto-Null-Ziel	– Verkehr verlagern: Modalsplit stark verschieben in Richtung ÖV und aktive Mobilität (Velo und Mikromobilität)	– Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge und Busse hauptsächlich batterie-elektrisch mit Strom aus erneuerbaren Energien – Schwere Nutzfahrzeuge mit synthetischen Treibstoffen aus erneuerbaren Energien oder biogenen Treibstoffen, batterie-elektrisch mit Strom aus erneuerbaren Energien, Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit grünem Wasserstoff

Tabelle 8 Handlungsbedarf für die Erreichung des Netto-Null Ziels

Zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Strassenverkehr ist die Stadt Thun auf Bund und Kanton angewiesen. Die zentralen Kompetenzen zu Emissionsvorschriften für neuzugelassene Fahrzeuge und Lenkungsabgaben liegen beim Bund. Eine Übersicht zu den Handlungskompetenzen von Bund und Kanton findet sich im Anhang A1.2.

Abhängigkeit von Bund und Kanton

Die Handlungskompetenzen und Rolle der Stadt Thun bei der Reduktion der CO₂-Emissionen im Strassenverkehr sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Planerin	<ul style="list-style-type: none"> — Anpassung der Bauvorschriften in Neu- und Umbauten (BZO-Revision), um einen Ausbau der Ladeinfrastruktur in Einstellhallen von Wohn-, Gewerbe- und Zweckbauten zu fördern und um Mobilitätskonzepte seitens der Investoren und Betreibern neuer Areale und grösseren Überbauungen zu verlangen. — Förderung der Nutzungsdurchmischung, Siedlungsverdichtung und autofreien Haushalten — Ausarbeitung eines Masterplans für Verkehrs- und Raumpolitik — Erhöhung der Tarif für Parkplätze — Abbau von Parkplätzen — Verkehrsführungen von MIV anpassen — Erweiterung und Verbesserung des Angebots für Velo- und Fussverkehr (Förderung Veloinfrastruktur) — Implementierung von Fussgängerzonen — Fahrverbotszonen und Vorschriften für fossile Fahrzeuge — Sperrung einzelner Infrastrukturelemente für MIV
----------	---

Anbieterin	<ul style="list-style-type: none"> — Förderung eines attraktiven ÖV-Angebots — Priorisierung des ÖVs — Priorisierung von erneuerbaren Energien bei Submission von Logistikdienstleistungen — Mobilitätsangebote (Car-Pooling/ -Sharing, Bike-Sharing, Bike+Ride, multimodale Drehscheiben)
Förderin	<ul style="list-style-type: none"> — Förderung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (Blaue Zone, Parkhäuser, öffentliche Plätze, Privat) — Kaufprämie für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben — Förderung von Bussen mit alternativen Antrieben — Förderung von E-Taxis — Klimafreundlicher Geschäftsverkehr (City Logistik-Konzepte, klimaneutrale Anlieferung) — Dekarbonisierung der Geschäftsfahrzeuge — Mobilitätsmanagement für Unternehmen und Freizeiteinrichtungen
Beraterin	<ul style="list-style-type: none"> — Information und Beratung der Bevölkerung — Sensibilisierung/ Motivation von Garagisten
Vorbild	<ul style="list-style-type: none"> — Anpassung der Beschaffungsrichtlinien — Elektrische Antriebe für den städtischen Fuhrpark — Anreize für klimaneutrale Mobilität der Mitarbeitenden

Tabelle 9 Rollen und Handlungskompetenzen der Stadt Thun zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Sektor Verkehr.

3.2.2 Szenarien Verkehr

Im Sektor Verkehr wurde die Entwicklung der CO₂-Emissionen für die Fahrzeugtypen Personenwagen, Lieferwagen und Lastwagen und Busse modelliert. Zukünftige CO₂-Emissionen sind abhängig von der Entwicklung der Fahrzeugkohorte, von der Entwicklung der Verbräuche der jeweiligen Fahrzeugtypen sowie vom Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Ein detailliertes Fahrzeugkohortenmodell zeigt die langfristige Entwicklung des Fahrzeugbestandes sowie der -fahrleistung der Stadt Thun. Die Szenarien berücksichtigen unterschiedliche Entwicklungen der Emissionsvorschriften für Neuwagen des Bundes. Die beiden Szenarien «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Entwicklung» stützen sich auf die folgenden aktuellen oder erwarteten Entwicklungen:

Modellierung mittels detailliertem Fahrzeugkohortenmodell

«Absehbare Entwicklung»

- Weiterer Anstieg der Verkehrsnachfrage und des Fahrzeugbestandes
- Zielwert von 95 gCO₂/km ab 2021 für 100% der Neuwagen

«Schnellstmögliche Transformation»

- Drastische Verschärfung der Emissionsvorschriften für neue Personenwagen
- Starke Förderung der Elektromobilität (ab 2040 sind Personenneuwagen fast zu 100% elektrisch)
- Starker Ausbau des ÖVs und des Veloverkehrs (Veränderung des Modalsplits)
- 100% erneuerbarer Strom bis 2050

Eine detaillierte Übersicht über die Annahmen für die Szenarien im Sektor Verkehr sind in Tabelle 10 dargestellt.

Szenario	Annahmen
Alle Szenarien	<ul style="list-style-type: none"> — Die Bevölkerungsentwicklung wird via mittlerem BFS-Bevölkerungsszenario abgebildet: Ständige Wohnbevölkerung in Thun steigt von 44'000 (2019) auf knapp 50'000 (2050) an. — Die Entwicklung des Neuwagenmarktes wird via der Überlebensraten der Personenwagen gemäss Kohortenmodell Schweiz modelliert. Neuwagenmarkt ca. 1'500-2'000 Neuzulassungen p.a., Anteil Neuzulassungen 7-8% p.a. — Es wird für die Stadt Thun ein höherer Anteil an kleinen Personenwagen (gemäss Fahrzeugbestand 2019) angenommen. — Es wird für die Stadt Thun eine tiefere jährliche Fahrleistung pro Fahrzeug (ca. 95%) angenommen. — Die Fahrzeugkilometer entwickeln sich gemäss Referenzszenario der Verkehrsperspektiven (ASTRA). Zunahme um 43% bei leichten Nutzfahrzeugen (LNF) und 26% bei schweren Nutzfahrzeugen (SNF) bis 2050. — Der Fahrzeugbestand ergibt sich aus den Fahrzeugkilometer über die jährliche Fahrleistung.
«absehbare Entwicklung»	<ul style="list-style-type: none"> — Die Entwicklung der Personenkilometer wurde gemäss Referenzszenario der Verkehrsperspektiven (ASTRA) modelliert. Zunahme des MIV um 17% bis 2050, 23% der Personenkilometer auf der Strasse werden bis 2050 mit dem ÖV zurückgelegt. — Die Fahrzeugkilometer ergeben sich aus den MIV-Personenkilometer und der Belegung der Fahrzeuge. Leichter Anstieg der durchschnittlichen Belegung von heute 1.58 Personen pro Fahrzeug auf etwas über 1.6. Daraus ergibt sich eine Zunahme der MIV-Fahrzeugkilometer um 5% bis 2050. — Die Fahrleistung der leichten Nutzfahrzeuge (LNF) nimmt um 43%, jene von schweren Nutzfahrzeugen (SNF) um 28% zu bis 2050. — Der Personenwagenbestand ergibt sich aus den MIV-Fahrzeugkilometer und der durchschnittlichen Fahrleistung der Fahrzeuge. Grosse Fahrzeuge fahren mehr als kleine, neue Fahrzeuge fahren mehr als ältere. Stetige Zunahme des Motorisierungsgrades von 440 Fahrzeugen pro 1'000 Einwohner (2019) bis 520 (2050). — Für die Emissionswerte wurde angenommen, dass die Emissionsvorschriften für Neuwagen 95 gCO₂/km (Totalrevision CO₂-Gesetz) eingehalten und weitere Verschärfungen bis 2030 gemäss EU eingeführt werden. Nach 2030 Fortbeschreibung des Absenkpffads um –6% p.a. (bedarf neue Emissionsvorschriften).
«schnellstmögliche Transformation»	<ul style="list-style-type: none"> — Für die Entwicklung der Personenkilometer wurde das Balance-Szenario der Verkehrsperspektiven verwendet und angepasst. Reduktion MIV-Modalsplit um ca. 5% bis 2050, Erhöhung Fahrzeugbelegung (Anstieg auf 1.8 Personen pro Fahrzeug, z.B. durch Car-Pooling), Erhöhung Fahrleistung pro Fahrzeuge (Car-Sharing). — Die MIV-Fahrzeugkilometer pro Kopf reduzieren sich um 22% bis 2050 gegenüber 2020 — Die gesamten MIV-Fahrzeugkilometer reduzieren sich um 12% — Der Personenwagenbestand ergibt sich aus den MIV-Fahrzeugkilometer und der durchschnittlichen Fahrleistung der Fahrzeuge. Grosse Fahrzeuge fahren mehr als kleine, neue Fahrzeuge fahren mehr als ältere. Stetige Abnahme des Motorisierungsgrades bis 2050 von 440 auf rund 400 Fahrzeuge pro 1'000 Einwohner — Für die Emissionswerte wurde angenommen, dass die Emissionsvorschriften für Neuwagen 95 gCO₂/km (Totalrevision CO₂-Gesetz) eingehalten werden, danach drastische Verschärfung ab 2030 auf 10 g CO₂/km, ab 2035 auf 0 g CO₂/km gesenkt.

Tabelle 10 Annahmen der Szenario-Modellierung im Sektor Verkehr

Absenkpfade

Basierend auf den obigen Annahmen wurden für die Jahre 2020 bis 2050 die Entwicklungen der CO₂-Emissionen modelliert (Abbildung 11). In beiden Szenarien werden die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor bis 2050 stark gesenkt. Allerdings gibt es vor allem im Jahr 2050 zwischen den verschiedenen Szenarien grosse Unterschiede (siehe Tabelle 11).

Starke CO₂-Reduktion in beiden Szenarien bis 2050

Szenarien Verkehr	2019	2030	2050
«absehbare Entwicklung»	100%	-23%	-66%
«schnellstmögliche Transformation»	100%	-34%	-93%

Tabelle 11 Entwicklung der CO₂-Emissionen in den Szenarien des Sektors Verkehr

Die Absenkpfade der Personenwagen und des Strassengüterverkehrs unterscheiden sich deutlich. So reduzieren sich die CO₂-Emissionen der Personenwagen im Szenario «schnellstmögliche Transformation» bis ins Jahr 2050 um 97% (Reduktion um 79% im Szenario «absehbare Entwicklung»). Die Emissionen der Strassengüterverkehrs nehmen im Szenario «schnellstmögliche Transformation» um 70% ab. Im Szenario «absehbare Entwicklung» nehmen sie um 23% (2030) bzw. 1% (2050) zu.

Deutliche Unterscheidung zwischen Personenwagen und Strassengüterverkehr

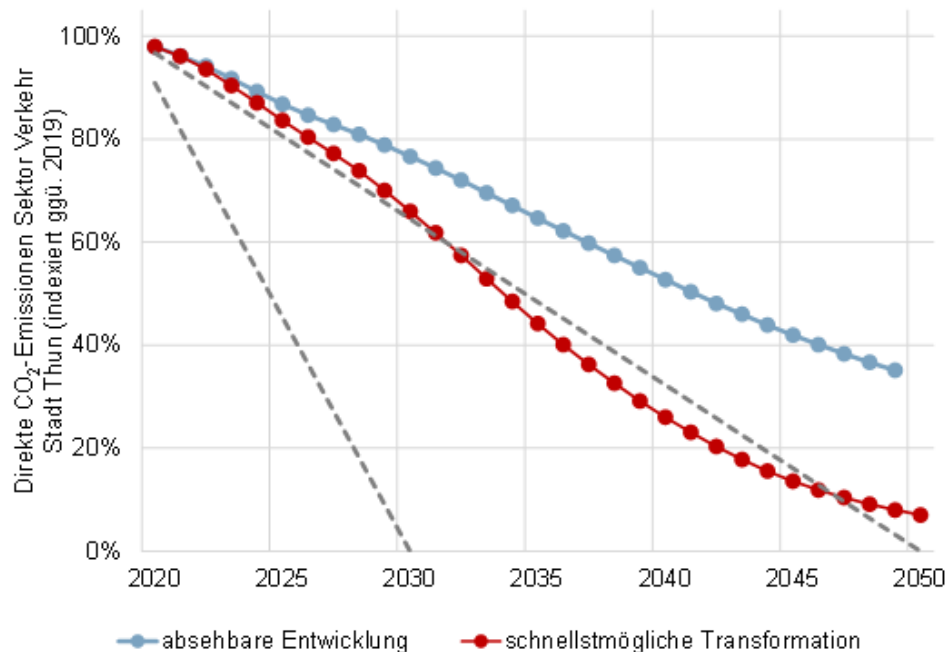


Abbildung 11 Absenkpfade der direkten CO₂-Emissionen in den Szenarien «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Transformation»

Schlussfolgerungen Verkehr

Basierend auf den modellierten Absenkpfeilen im Bereich Strassenverkehr können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Netto-Null-Ziele 2050 und somit auch 2030 sind mit der absehbaren Entwicklung im Sektor Verkehr nicht erreichbar
- Das Netto-Null-Ziel 2030 im Sektor Verkehr ist innerhalb der heutigen Investitionszyklen auch bei einer schnellstmöglichen Transformation nicht machbar
- Das Netto-Null-Ziel 2050 im Sektor Verkehr, bezogen auf die direkten Emissionen, ist innerhalb der heutigen Investitionszyklen mit der schnellstmöglichen Entwicklung knapp möglich
- Insbesondere die Emissionen der Personenwagen müssen schneller sinken, da die Emissionsminderung im Strassengüterverkehr viel aufwändiger und schwieriger ist

Handlungsempfehlungen

Die Hauptkompetenz für eine Reduktion von CO₂-Emissionen liegt beim Bund, bestimmt durch bundesweite Emissionsvorschriften. Diese Emissionsvorschriften haben einen grossen Einfluss auf Emissionswerte von Neuwagen und sind somit für die Entwicklung der CO₂-Emissionen im Sektor Verkehr essenziell. Die schweizerischen Durchschnittswerte können aber auf kommunaler Ebene durch die Förderung von E-Mobilität unterboten werden. Auch sind kurzfristige Pilotprojekte sowie Forschung wichtige Bausteine, um vor allem bei Fahrzeugen im Güterverkehr den Umstieg auf alternative Antriebe zu ermöglichen. Bei diesen Massnahmen soll die Stadt Thun also ihren Handlungsspielraum nutzen. Sie kann und soll ausserdem den Motorisierungsgrad durch Förderung von Car-Sharing, Veränderung des Modalsplits oder einen Ausbau des ÖVs und einer Förderung des Langsamverkehrs beeinflussen.

Hauptkompetenz
beim Bund den-
noch Einfluss auf
kommunaler Ebene
gross

3.3 Sektor Industrie

3.3.1 Handlungsbedarf und Handlungskompetenz

Die Betriebe der Industrie und des Gewerbes sind für 13% der CO₂-Emissionen verantwortlich. Um das Ziel Nett-null zu erreichen, müssen Prozesse und Antriebe effizienter werden. Zusätzlich muss als Energiequelle für Kühlung, Prozesswärme und Antriebsstrom auf erneuerbare Energien gesetzt werden (siehe Tabelle 12).

Steigerung der Effizienz und Umstellung auf erneuerbare Energien

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Handlungsbedarf für Netto-Null-Ziel	<ul style="list-style-type: none"> – Starke Steigerung der Effizienz in Prozessen und Antrieben – Starke Steigerung der Effizienz von Anlagen und Geräten 	<ul style="list-style-type: none"> – Kühlung, Prozesswärme und Antriebsstrom auf erneuerbare Energien umstellen – Prozesswärme ist zu einem substantziellen Teil auf hohe und spezifische Temperaturniveaus angewiesen

Tabelle 12 Handlungsbedarf für die Erreichung des Netto-Null Ziels

Auch im Industriesektor ist die Stadt Thun auf den Bund und den Kanton angewiesen. Der Bund regelt die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe und betreut ebenso Emissionsverminderungsprojekte. Des Weiteren laufen Förderprogramme, Energiesparprogramme, Finanzierung von Forschung und Pilotprojekten sowie diverse Vorschriften und Effizienzanforderungen auf Bundesebene ab. Auch der Kanton kann erneuerbare Energien und Energiesparmassnahmen fördern und vollzieht das Grossverbrauchermodell. Eine detaillierte Übersicht über die Handelskompetenzen von Bund und Kanton ist im Anhang 1.3 gegeben.

Abhängigkeit von Bund und Kanton

Die Handlungskompetenzen der Stadt Thun und die Rolle der Stadt in der Reduktion der CO₂-Emissionen im Sektor Industrie sind in Tabelle 13 dargestellt.

Planerin	<ul style="list-style-type: none"> — Identifikation und Nutzung von Abwärmepotenzialen der Industrie — Anschlusspflicht Fernwärme, siehe Sektor Gebäude
Anbieterin	<ul style="list-style-type: none"> — Über Versorger: Angebot erneuerbaren Stroms, erneuerbare (Hochtemperatur-) Wärme und Kälte
Förderin	<ul style="list-style-type: none"> — Förderung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien, bspw. Anschluss an Fernwärme finanziell fördern — Umsetzung von eigenen ProKilowatt Programmen
Beraterin	<ul style="list-style-type: none"> — Energieberatung und Sensibilisierung, Informationen zu Beratungsmethoden und Förderungen bereitstellen

Tabelle 13 Rolle der Stadt zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Sektor Industrie

3.3.2 Szenarien Industrie

Insgesamt ist die Thuner Industrie durch ihre Kleinteiligkeit charakterisiert, nur rund 20 von 500 Gebäuden im Sektor Industrie und Betriebe hat einen Energieverbrauch von mehr als 1 GWh jährlich.

Metallerzeugnisse und Maschinenbau wichtigste Industriezweige

Die verschiedenen Anteile der Thuner Industriebranchen an der Bruttowertschöpfung sowie am Energieverbrauch unterscheiden sich vom Schweizer Mittel. Die Branchen, welche am meisten zur Bruttowertschöpfung beitragen, sind die Metallerzeugnisse, der Maschinenbau und der Bau. Vor allem die Anteile der Metallerzeugnissen und des Maschinenbaus übersteigen diejenigen der Gesamtschweiz (siehe Abbildung 12). Die Chemie- und Elektronikbranche sind in Thun unterdurchschnittlich stark vertreten.

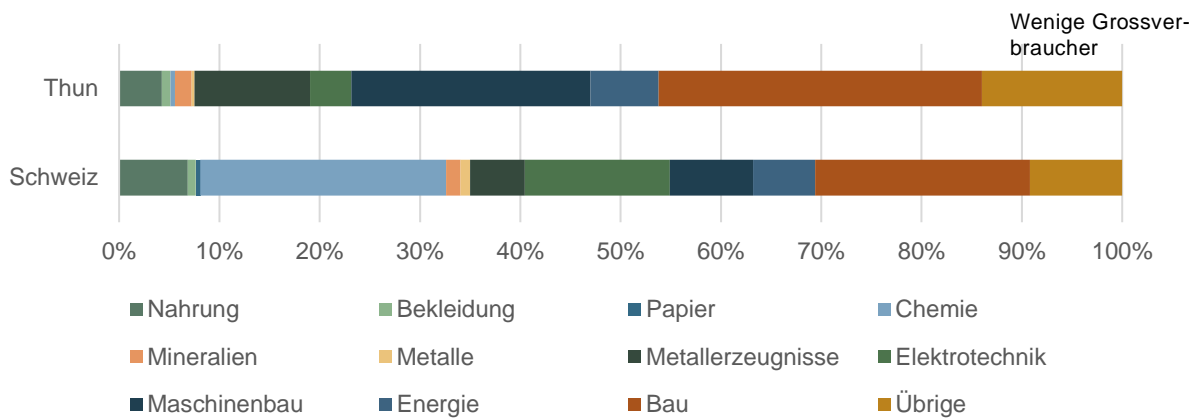


Abbildung 12 Bruttowertschöpfung nach Branchen in Thun und in der Schweiz im Jahr 2017

Folglich weisen die Branchen Metallerzeugnisse und Maschinenbau auch einen relativ grossen Anteil am Energieverbrauch auf. Die Branchen Mineralien und Übrige verbrauchen am meisten Energie (siehe Abbildung 13). Übrige beinhaltet die Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren, Druckerzeugnissen, Gummi- und Kunststoffwaren, sowie von Möbeln und sonstigen Waren. Die Branche Mineralien beinhaltet unter anderem Glas- und Betonhersteller sowie Natursteinarbeiten.

Branche Mineralien ist grösster Energieverbraucher

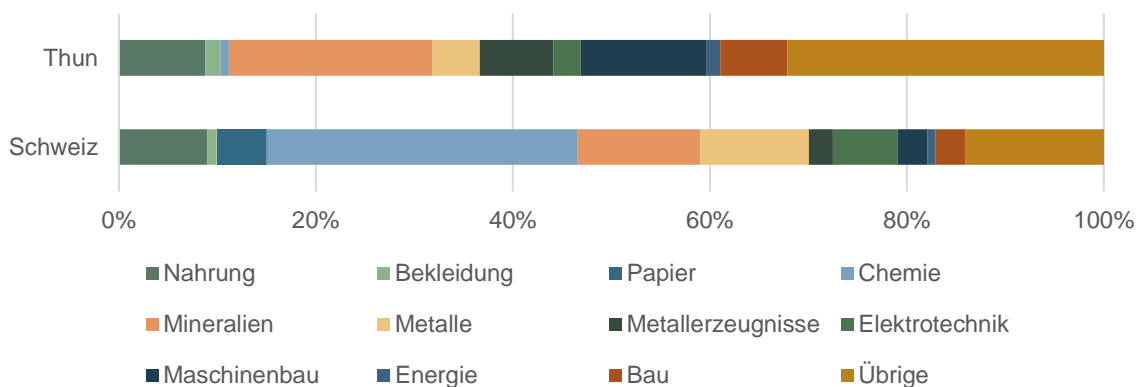


Abbildung 13 Energieverbrauch nach Branchen in Thun und in der Schweiz im Jahr 2017.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen im Sektor Industrie wurde die Methodik der Kaya Identity⁷ verwendet. Die Modellierungen betrachten die Entwicklung der Bruttowertschöpfung nach Branchen, die Energieintensität der Branchen und die Anteile der Energieträger am totalen Energieeinsatz im Industriesektor. Dabei wird von einer steigenden Wertschöpfung im Industriesektor ausgegangen. Als Grundlage dienen die Prognosen der Energieperspektiven⁸. Es wird ein Wirtschaftswachstum (BIP pro Kopf) von rund 1.5% pro Jahr bis 2050 angenommen. Ebenso wird von einer konstanten Wirtschaftsstruktur ausgegangen – es findet keine grosse Abwanderung oder Zuwanderung von Betrieben statt.

Verwendung der Kaya Identity Methodik

Absenkpfade

Basierend auf den Modellierungen und den obigen Annahmen wurden für die Jahre 2030 und 2050 die Entwicklungen der CO₂-Emissionen berechnet. In allen Szenarien werden die CO₂-Emissionen im Industriesektor bis 2050 gesenkt. Allerdings gibt es in den betrachteten Jahren 2030 und 2050 zwischen den verschiedenen Szenarien grosse Unterschiede (siehe Tabelle 14).

Senkung der CO₂-Emissionen in allen Szenarien

Szenarien Industrie	2019	2030	2050
«absehbare Entwicklung»	100%	-21%	-40%
«schnellstmögliche Transformation»	100%	-37%	-60%
«schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»	-37%	-74%	-81%

Tabelle 14 Entwicklung der CO₂-Emissionen in den Szenarien des Sektors Industrie

«Absehbare Entwicklung»

Mit der heutigen Gesetzesgrundlage und den bereits geplanten Massnahmen können die CO₂-Emissionen im Industriesektor bis ins Jahr 2030 gegenüber 2019 um 21% und bis 2050 um 40% gesenkt werden.

«Schnellstmögliche Transformation»

Mit dem Szenario «schnellstmögliche Transformation» können bis ins Jahr 2030 37% und bis ins Jahr 2050 60% CO₂-Emissionen eingespart werden. Das bedeutet, dass im Jahr 2030 rund 25 GWh und im Jahr 2050 20 GWh mit erneuerbarem Gas abgedeckt werden müssen.

«Schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»

Bereits heute könnte man mit Verwendung von ausschliesslich erneuerbarem Gas 37% CO₂ einsparen. Im Jahr 2030 beläuft sich dieser Wert auf 74% und im Jahr 2050 auf 81%.

7 CO₂-Emissionen als Funktion der Bevölkerung, BIP, Energieintensität, CO₂-Intensität des Energieeinsatzes

8 Prognos (2012) im Auftrag des Bundesamt für Energie: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000- 2050. Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem.

Abbildung 14 zeigt die Absenkpfade der unterschiedlichen Szenarien bis ins Jahr 2050.

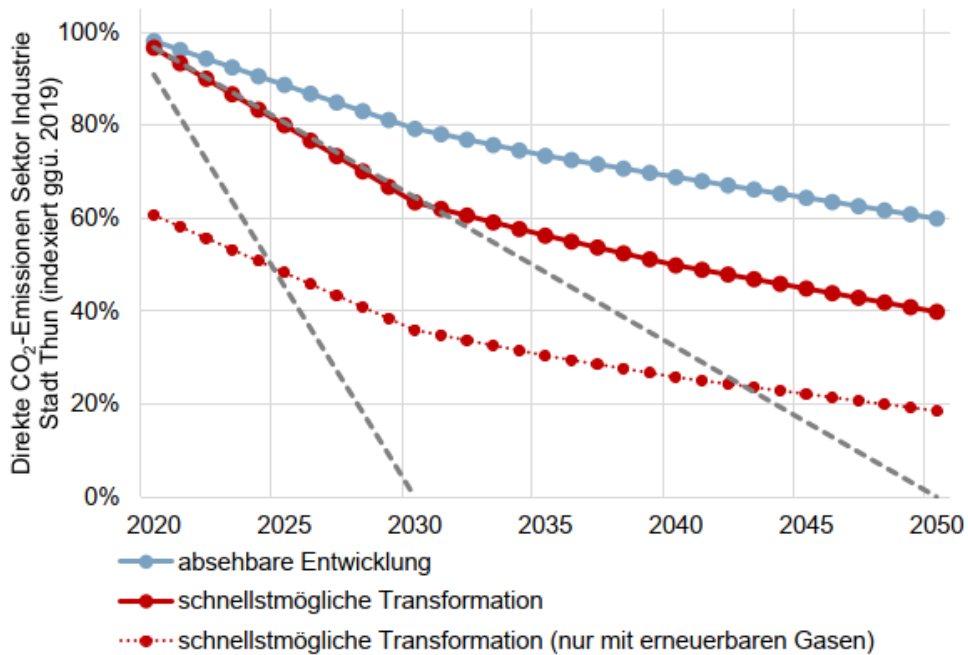


Abbildung 14 Absenkpfade der direkten CO₂-Emissionen in den Szenarien «absehbare Entwicklung», «schnellstmögliche Transformation» und «schnellstmögliche Transformation (nur mit erneuerbaren Gasen)»

Schlussfolgerungen Industrie

Sowohl mit der «absehbaren Entwicklung» als auch mit der «schnellstmöglichen Transformation» werden die CO₂-Emissionen massgeblich gesenkt. Die Netto-Null-Ziele für die Jahre 2030 und 2050 können allerdings nicht erreicht werden. Auch wenn nur erneuerbare Gase verwendet werden, stösst der Industriesektor im Jahr 2050 immer noch 19% der Emissionen vom Jahr 2019 aus.

Nett-Null-Ziele können in keinem Szenario erreicht werden

Handlungsempfehlungen

Die Stadt Thun hat nur einen beschränkten Einfluss auf die CO₂-Emissionen im Sektor Industrie. Das grösste Potential, um eine Emissionsreduktion zu erreichen, besteht darin, zusammen mit der Energie Thun AG Energie aus erneuerbaren Quellen bereitzustellen. Bereits heute werden erneuerbare Lösungen zu konkurrenzfähigen Preisen angeboten, die schlussendliche Wahl des Produkts liegt jedoch beim Kunden. Die Stadt kann allenfalls noch mit gezielten Beratungs- und Sensibilisierungsmassnahmen sowie Förderung von energetischen Massnahmen einen gewissen Einfluss ausüben. Ansonsten kommen im Sektor Industrie, insbesondere für grosse Emittenten, in erster Linie bundesweite Instrumente, wie die CO₂-Abgabe oder das Emissionshandelssystem zum Einsatz. Der Handlungsspielraum für den Kanton liegt vor allem bei Vorgaben zur Energieeffizienz und zum Einsatz erneuerbarer Energien im Energiegesetz sowie der Umsetzung des Grossverbrauchermodells.

Grösstes Potential in Bereitstellung erneuerbarer Energien

3.4 Übersicht aller Sektoren

Die Klimaziele können nur erreicht werden, wenn alle Akteure, also Staat, Wirtschaft, Wissenschaft und Private nach ihren Möglichkeiten dazu beitragen. Die folgende Tabelle zeigt das Potential zur Emissionsreduktion über die verschiedenen städtischen Rollen. Besonders relevant sind die Rollen als Planerin und Anbieterin in den Sektoren Gebäude und Verkehr.

Alle Akteure müssen einen Beitrag leisten

Bereich	Planerin	Anbieterin	Förderin	Beraterin	Vorbild
Gebäude	●●●○	●●●●	●○○○	●○○○	●○○○
Verkehr	●●●○	●●●○	●○○○	●○○○	●○○○
Industrie / Gewerbe	●○○○	●●○○	○○○○	○○○○	○○○○

Tabelle 15 Potential zur Emissionsreduktion über die verschiedenen städtischen Rollen (je mehr Punkte ausgefüllt sind, desto grösser das Potential zur Emissionsreduktion).

Die Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen der Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie werden in Tabelle 16 gemeinsam betrachtet. Im Szenario «absehbare Entwicklung» können die energiebedingten CO₂-Emissionen in der Stadt Thun bis 2050 um 35%, bis 2050 um ca. 44% gegenüber 2019 reduziert werden. Bei der «schnellstmöglichen Transformation» könnten die CO₂-Emissionen bis 2030 um 48% und bis 2050 um 93% reduziert werden.

Reduktion der CO₂-Emissionen in allen Szenarien

Szenarien	2019	2030	2050
«absehbare Entwicklung»	100%	-35%	-83%
«schnellstmögliche Transformation»	100%	-48%	-93%

Tabelle 16 Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen über alle Sektoren

Abbildung 15 zeigt die Szenarien im Vergleich mit den linearen Absenkpfeilen Netto-Null 2030 und 2050.

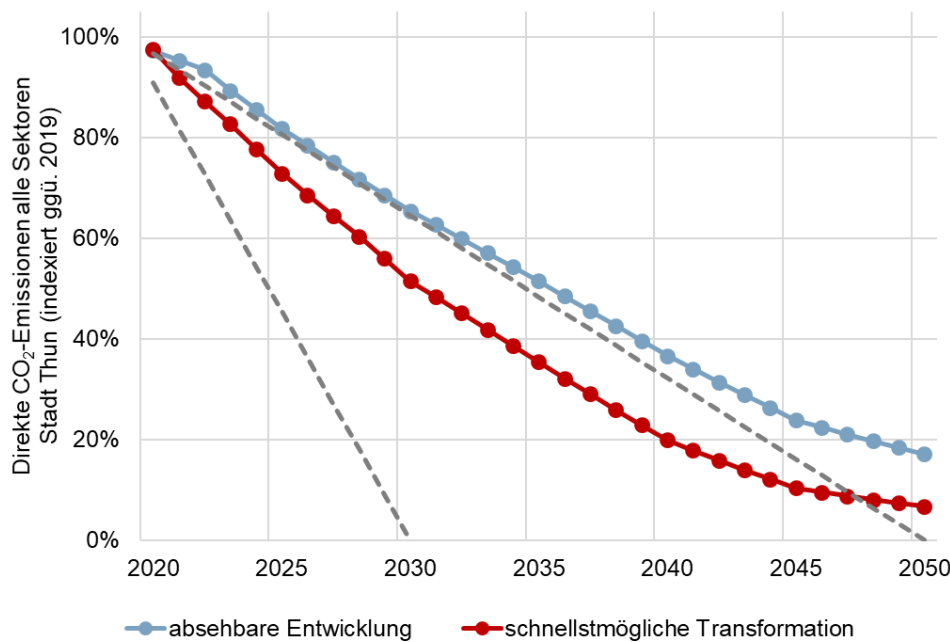


Abbildung 15 Absenkpfad der CO₂-Emissionen aller Sektoren

Schlussfolgerung

Die Auswertungen der Szenarien «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Transformation» zeigen, dass eine Absenkung auf netto-null CO₂-Emissionen nicht einfach ist.

- Die grössten Handlungsspielräume hat die Stadt Thun im Sektor Gebäude mit planerischen Instrumenten, Förderung und dem Angebot erneuerbarer Energien.
- Im Sektor Verkehr kann die Stadt mit Förderung von Car-Sharing, Beeinflussung des Modalsplits und Ausbau von ÖV und Langsamverkehr ihren Handlungsspielraum nutzen.
- Für den Sektor Industrie sind die Kompetenzen beschränkt auf das Anbieten von erneuerbaren Energien, sowie gegebenenfalls Beratung, Sensibilisierung und Förderung; für Anschlusspflicht siehe Sektor Gebäude. Der Grossteil der Handlungskompetenzen liegt jedoch in den Händen von Kanton und Bund.
- Für eine wirksame Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen ist dem Umbau des Energiesystems grosse Beachtung zu schenken. Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen müssen ergänzt werden mit Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Erzeugung und Bereitstellung von Energie, insbesondere von Strom im Winter.
- Neben den gängigen Massnahmen sowie dem Umbau des Energiesystems könnten auch Massnahmen zu Negativemissionen in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Hierbei wird durch natürliche oder technische Methoden der Erdatmosphäre dauerhaft CO₂ entzogen.

4. Machbarkeit Netto-Null-Absenkpfade

Im folgenden Kapitel wird basierend auf den Entwicklungsszenarien und den daraus hergeleiteten Absenkpfeilen der CO₂-Emissionen in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie (siehe Kapitel 3) die Machbarkeit der Klimaziele Netto-Null 2030 und Netto-Null 2050 bewertet. Es werden dafür die direkten energiebedingten CO₂-Emissionen analysiert und besprochen.

4.1 Machbarkeit Netto-Null-Ziel 2050

Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050 werden konkret folgende Schritte nötig:

Sektor Gebäude

- Spätestens ab 2030 müsste fast jede fossile Heizung erneuerbar ersetzt werden.
- Sowohl bei der absehbaren Entwicklung wie bei einer schnellstmöglichen Transformation braucht es Vorschriften, beispielsweise die im CO₂-Gesetz auf nationaler Ebene vorgesehenen Grenzwerte für CO₂-Emissionen von Gebäuden. Dabei braucht es weitere Anstrengungen auf Ebene Stadt, damit Gebäudeeigentümer beim Ersatz der Heizung für die Umsetzung der Grenzwerte möglichst vollständig lokale erneuerbare Energie oder Abwärme nutzen.
- Gegenüber der absehbaren Entwicklung sind für eine schnellere Transformation eine sehr schnelle Umsetzung von Massnahmen (Vorschriften und Förderung) nötig, die bei jedem Heizungersatz den Wechsel auf erneuerbare Energie oder Abwärme bewirken.

Sektor Verkehr

- Spätestens ab 2040, besser ab 2035, müsste jedes neuzugelassene Fahrzeug CO₂-frei, respektive erneuerbar angetrieben werden (primär Elektrofahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien).
- Ersatz von Fahrzeugen durch erneuerbar angetriebene bei Ablauf ihrer technischen Lebensdauer.
- Die Emissionsvorschriften für neuzugelassene Fahrzeuge müssten drastisch verschärft (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge), respektive zuerst eingeführt werden (schwere Nutzfahrzeuge)
- Bei schweren Nutzfahrzeugen, Reisebussen und Spezialfahrzeugen mit hoher Fahr- oder Nutzleistung, wo heute noch keine marktreifen Technologien vorhanden sind, müssen noch Lösungen gefunden werden, am ehesten über den Einsatz von Brennstoffzellen-Fahrzeugen oder synthetischen oder biogenen Treibstoffen.

Sektor Industrie

- Ab rund 2030 müsste jede industrielle Anlage erneuerbar ersetzt werden.
- Die Steigerung der Effizienz in Prozessen verringert den Gesamtenergieverbrauch und somit den Verbrauch noch verbleibender fossiler Energieträger. Der Einsatz von Biogas und/oder synthetischen Gasen (Power-to-

Gas) reduziert nach 2030 die CO₂-Emissionen bei Anwendungen, bei denen weiterhin Gas eingesetzt werden muss.

- Im Sektor Industrie, wo das Netto-Null-Ziel am schwierigsten zu erreichen, können Negativemissionen oder anfängliche Kompensationen eine Lösung sein, um die teuersten Emissionen des Sektors zu reduzieren.

Schlussfolgerungen

Aus der Auswertung der Machbarkeit des Netto-Null-Ziels 2050 lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050 ist unmittelbares Handeln nötig und die Stadt muss alle ihre Möglichkeiten ausschöpfen, um die nötigen Rahmenbedingungen zu setzen.
- Das Ziel ist in der Stadt Thun mit wenigen Ausnahmen innerhalb der bestehenden Investitionszyklen erreichbar. Ein vorzeitiger Ersatz (Heizungen, Anlagen, Fahrzeuge) ist dafür grundsätzlich nicht nötig.
- Fossile Energieträger dürften zuerst bei Gebäuden und später auch im Bereich Verkehr und Industrie nicht mehr neu bzw. bei Ersatz eingesetzt werden.
- Die Stadt Thun kann die Entwicklung in Richtung Netto-Null vor allem im Bereich Gebäude und Verkehr deutlich beeinflussen und beschleunigen.
- Punktuell (v.a. bei industriellen Prozessen, bei denen noch keine erneuerbar betriebenen Alternativen verfügbar sind) sind Kompensationen oder Negativemissionen nötig.

Die Stadt Thun verfügt nicht über die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel 2050 allein umzusetzen. Auch Bund und Kanton müssen entsprechende Massnahmen umsetzen. Die Stadt Thun kann die durch Kanton und Bund vorgespurte Entwicklung jedoch beschleunigen und verstärken, sowie sinnvoll umsetzen.

Stadt Thun kann Netto-Null-Ziel nicht allein erreichen

4.2 Machbarkeit Netto-Null-Ziel 2030

Ein Netto-Null-Ziel 2030 würde für die Stadt Thun die folgenden Schritte bedeuten:

Ziel wird nicht erreicht mit bestehenden Investitionszyklen

Sektor Gebäude

- Per sofort müsste jeder Ersatz einer fossilen Heizung erneuerbar erfolgen
- Zudem müsste der Ersatz von fossilen Heizungen vor ihrer technischen Lebensdauer sowie vorzeitige Energieeffizienzmassnahmen am Gebäudepark erzwungen werden

Sektor Verkehr

- Per sofort müsste jedes neuzugelassene Fahrzeug CO₂-frei, respektive erneuerbar angetrieben werden (primär Elektrofahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Energien)
- Zudem müssten einige Fahrzeuge frühzeitig aus dem Verkehr genommen werden

- Bis im Jahr 2030 werden noch nicht für alle Anwendungs- und Spezialbereiche verfügbare erneuerbar angetriebene Fahrzeuge verfügbar sein.

Sektor Industrie

- Per sofort müsste jeder Ersatz einer industriellen Anlage erneuerbar erfolgen
- Alternative erneuerbare Technologien (Strom, Biogas, Power-to-Gas) sind bis im Jahr 2030 nicht ausreichend verfügbar, um die fossile Nachfrage zu ersetzen
- Zudem müssten der Ersatz von industriellen Anlagen vor ihrer technischen Lebensdauer sowie vorzeitige Energieeffizienzmassnahmen erzwungen werden

Schlussfolgerung

Zusammengefasst ist die Erreichung des Netto-Null-Ziels 2030 wie folgt zu bewerten:

- Es wären Verbote erforderlich, so dass fossile Energieträger per sofort bei einem Ersatz (von Heizungen, Anlagen, Fahrzeuge) nicht mehr eingesetzt werden dürften.
- Das Ziel wäre nicht innerhalb der bestehenden Investitionszyklen erreichbar, sondern müsste zumindest teilweise mit vorzeitigem Ersatz von Heizungen, Anlagen und Fahrzeugen umgesetzt werden und wäre mit zusätzlichen Kosten verbunden.
- Ein vorzeitiger Ersatz (Heizungen, Anlagen, Fahrzeuge) ist teilweise aufgrund technischer oder angebotsseitiger Restriktionen gar nicht möglich. Ein Umstieg auf CO₂-freie, respektive erneuerbare Antriebe ist beispielsweise bei einigen Fahrzeugtypen, insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen und Reisebussen, aufgrund fehlender Technologie und Verfügbarkeit bis 2030 technisch nicht möglich.
- Die Stadt Thun verfügt nicht über die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel 2030 in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie zu erzwingen. Die Kompetenzen für die dafür benötigten Vorschriften liegen beim Bund oder dem Kanton. Es ist jedoch unrealistisch, dass entsprechend harte Vorgaben durch diese Akteure kurzfristig durchgesetzt werden.
- Die Stadt Thun hat die notwendigen Handlungskompetenzen, um das Netto-Null-Ziel 2030 innerhalb der Stadtverwaltung zu erreichen und damit ihre Vorbildfunktion zu erfüllen.

Die einzige Möglichkeit zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2030 für die ganze Stadt Thun wären Kompensationen im In- und Ausland, die mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden sind.

4.3 Kompensation und Negativemissionen

Kompensation

Um das Netto-Null-Ziel 2030 zu erreichen, müssten verursachte CO₂-Emissionen durch in- oder ausländische Zertifikate kompensiert werden. Die Abbildung 16 zeigt grafisch auf, welche Summe an CO₂-Emissionen bei einer absehbaren Entwicklung kompensiert werden müssten, um das Ziel Netto-Null 2030 bilanziell zu erreichen.

Erreichung des Netto-Null-Ziels durch Kompensation nötig

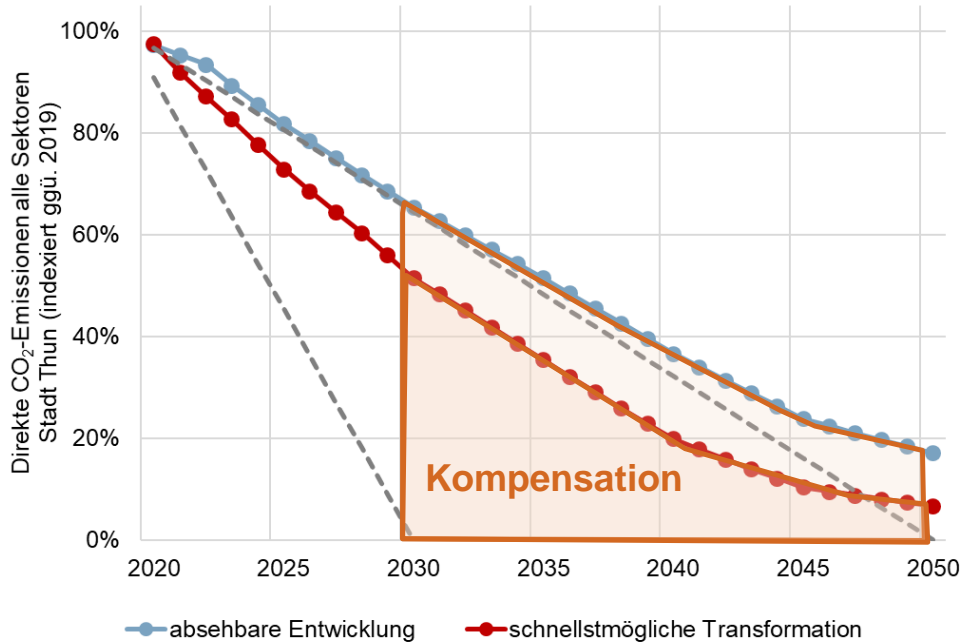


Abbildung 16 Kompensation der direkten energiebedingten CO₂-Emissionen bei einer absehbaren Entwicklung

Die Kompensation von CO₂-Emissionen ist mit unterschiedlichen Bescheinigungen möglich. Es gibt Bescheinigungen des Bundes zur inländischen Kompensation von CO₂-Emissionen, sowie Bescheinigungen von Kompensationsorganisationen zur in- oder ausländischen Kompensation von CO₂-Emissionen. Je nach Qualität der Kompensationsbescheinigungen bewegen sich die Kosten pro Tonne CO₂ heute zwischen 26 Franken für ausländische Bescheinigungen von Kompensationsorganisationen und bis zu 120 Franken für die Bescheinigungen des Bundes. Wie sich die Kompensationskosten in Zukunft entwickeln werden, ist schwierig abzuschätzen. Sollen ab 2030 alle direkten CO₂-Emissionen der Stadt Thun kompensiert werden, können für den Zeitraum 2030 bis 2050 je nach Typ der Bescheinigungen und Entwicklung der CO₂-Emissionen Gesamtkosten zwischen 20 Millionen Franken und knapp 150 Millionen Franken entstehen.

Hohe Ausgaben für Kompensationen nötig

	Kumulierte CO₂-Emissionen 2030 bis 2050	Inländische Kompensation durch Bescheinigungen des Bundes	Ausländische Kompensation durch Kompensationsorganisationen
«absehbare Entwicklung»	1'200'000 Tonnen CO ₂	147 Millionen Franken	32 Millionen Franken
«schnellstmögliche Transformation»	770'000 Tonnen CO ₂	93 Millionen Franken	20 Millionen Franken

Tabelle 17 Kosten für die Kompensation der CO₂-Emissionen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2030

Negativemissionen

Um verbleibende Emissionen auszugleichen, können auch sogenannte Negativemissionen oder Senken verwendet werden (siehe Kapitel 2). Dabei wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und dauerhaft gespeichert. Diese Senken können natürliche Senken sein, wie bei Aufforstung und Renaturierung von Mooren der Fall, oder technische Senken, wie die Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus der Luft oder Abgasen. Negativemissionen sollen dazu dienen, verbleibende Emissionen, die nicht vermeidbar sind, zu kompensieren. Auch diese Strategie ist jedoch mit hohen Kosten verbunden, die zum heutigen Zeitpunkt aufgrund noch unausgereifter Technologien kaum abgeschätzt werden können.

Negativemissionen als letzte Option

4.4 Netto-Null-Ziel 2050

Das Ziel Netto-Null-2030 ist aufgrund fehlender Handlungskompetenzen der Stadt, insbesondere in den Sektoren Verkehr und Industrie, sowie teilweise noch fehlender Verfügbarkeit erneuerbar betriebener Technologien für Thun nicht zu erreichen. Zudem würde dieses Ziel aufgrund frühzeitigen Ersatzes von Fahrzeugen und Heizungen zu grossen Wertverlusten führen. Der einzige Weg für die Stadt dieses Ziel im Alleingang zu erreichen wäre durch Kompensationen im In- und Ausland. Dies ist jedoch mit sehr hohen finanziellen Aufwänden verbunden.

Netto-Null 2030 kaum zu erreichen

Basierend auf diesen Machbarkeitsüberlegungen, soll die Stadt Thun das Netto-Null-Ziel 2050 anstreben. Dieses Ziel entspricht der nationalen Zielsetzung und erlaubt es, Investitionszyklen zu berücksichtigen.

Netto-Null 2050 in der Stadt Thun

Auf Ebene der Stadtverwaltung hat die Stadt Thun die vollen Handlungskompetenzen und die finanziellen Mehraufwände für ein ambitioniertes Ziel sind überschaubar. Die Stadt Thun kann daher mit der Wahl des Netto-Null-Ziels 2030 eine Vorreiterrolle übernehmen und mit gutem Beispiel vorangehen.

Netto-Null 2030 in der Stadtverwaltung

5. Grundsätze und Ziele zur Erreichung Netto-Null 2050

5.1 Grundsätze

Als Basis für die zur Umsetzung der Vision Netto-Null 2050 im Energiesystem erforderlichen strategischen Weichenstellungen werden Grundsätze formuliert, an denen sich die Klima- und Energiestrategie der Stadt Thun orientieren soll:

Grundsätze Wärme

1. Effizienzmassnahmen leisten einen grossen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich Wärme.
2. Langfristig soll die gesamte Wärme erneuerbar erzeugt werden. Lokale Potenziale stehen dabei im Vordergrund, insbesondere die Abwärme der KVA und die Nutzung der Umweltwärme mit Wärmepumpen.
3. Der Absatz an Gas sinkt mittel- und langfristig.
4. Die Gasversorgung soll mittel- und langfristig weiterhin rentabel betrieben werden.
5. Erneuerbares Gas leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich Wärme; dafür wird erneuerbares Gas aus dem Inland und Ausland eingesetzt.

Grundsätze Verkehr

1. Verkehr vermeiden und verlagern leistet einen grossen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich Mobilität.
2. Steigerung der Energieeffizienz und Elektrifizierung der Verkehrsmittel.
3. Die Elektromobilität ist die Schlüsseltechnologie zur Reduktion der CO₂-Emissionen im motorisierten Individualverkehr.
4. In ausgesuchten Anwendungen wie dem Strassengüterverkehr und dem strassengebundener ÖV werden, ergänzend zur Elektromobilität, alternative Technologien zur Reduktion der CO₂-Emissionen eingesetzt.

Grundsätze Stromsystem

1. Effizienzmassnahmen leisten einen grossen Beitrag für eine sichere und nachhaltige Stromversorgung.
2. Die Stadt Thun leistet einen grossen Beitrag an den Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung.
3. Der in Thun verbrauchte Strom ist langfristig ausschliesslich erneuerbar.

5.2 Ziele

Das Ziel der Stadt Thun ist es, in Übereinstimmung mit den Zielen des Bundes, die energiebedingten CO₂-Emissionen aus den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie bis 2050 auf null zu reduzieren. Dabei werden nur die direkten CO₂-Emissionen (Scope 1) betrachtet. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, werden für das Jahr 2030 die folgenden Zwischenziele für die Reduktion der Thuner CO₂-Emissionen definiert:

Betrachtung der jährlichen direkten Emissionen

Sektor	2030	2050
Gebäude	-50%	
Verkehr	-25%	Netto-Null
Industrie/Gewerbe	-20%	-100%
Gesamt	-40%	

Tabelle 18 Zwischenziele zur Erreichung des Netto-Null-Ziels 2050

Wie die untenstehende Abbildung 19 zeigt, liegt das definierte Zwischenziel von einer Emissionsreduktion von 40% bis 2030 zwischen der «absehbaren Entwicklung» und der «schnellstmöglichen Transformation». Dies bedeutet, dass vonseiten der Stadt Thun zusätzliche Massnahmen nötig sind, die eine schnellere Absenkung der CO₂-Emissionen gegenüber derjenigen der «absehbaren Entwicklung» ermöglichen.

Erreichung des Zwischenziels benötigt weitere Massnahmen

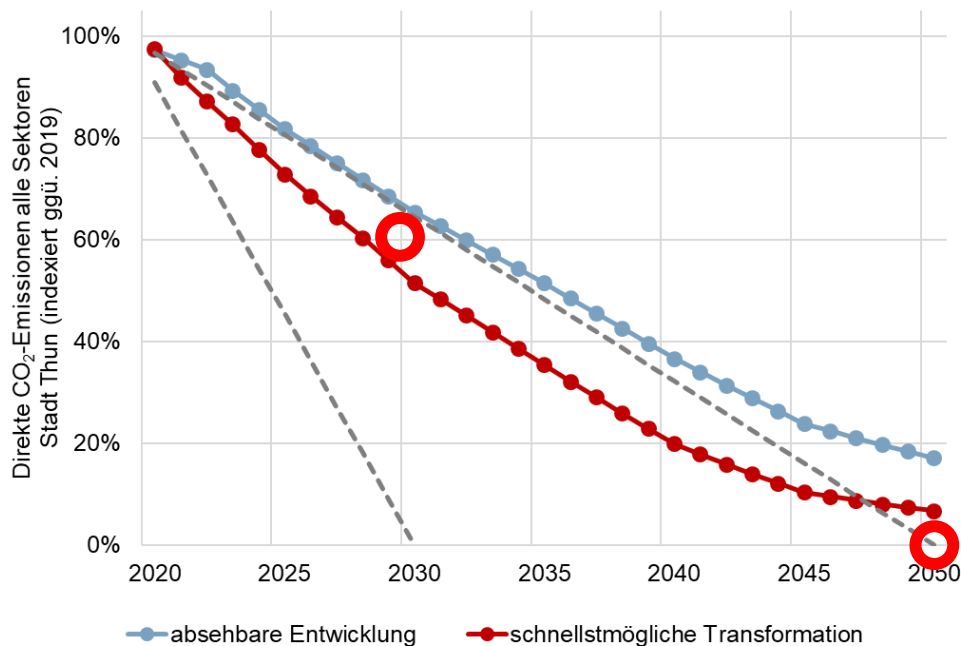


Abbildung 17 Absenkpfade «absehbare Entwicklung» und «schnellstmögliche Transformation» im Vergleich zu den definierten Zielen (rote Kreise)

6. Räumliche Netto-Null-Szenarien für die Stadt Thun

Auf Basis der Grundsätze (siehe Kapitel 5.1) und Ziele (siehe Kapitel 5.2) wurden räumlich feinaufgelöste Netto-Null-Szenarien für die Wärme (Kapitel 6.1), den Verkehr (Fokus Elektromobilität; Kapitel 6.2) und die Photovoltaikerzeugung (Kapitel 6.3) erarbeitet.

6.1 Wärme

6.1.1 Datengrundlagen

Die Wärmeversorgung in der Stadt Thun wurde als Grundlage für eine Erfolgskontrolle des überkommunalen Richtplans Energie detailliert gebäudescharf erhoben⁹. Diese Datengrundlagen konnten im vorliegenden Projekt genutzt werden.

Gebäudescharfe
Datengrundlagen

Zur Erhebung der Wärmeversorgung wurden alle verfügbaren Datenquellen herangezogen. Abbildung 18 gibt eine Übersicht dieser Datenquellen. Mit dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) wurden als Basisdatenquelle die Gebäude und ihre Standorte identifiziert. Die Beschreibung der Wärmeversorgung erfolgte im Anschluss für jedes Gebäude individuell, in dem die für die Gebäude jeweils belastbarste Quelle ausgewertet wurde. Die einzelnen Datenquellen werden in der Folge kurz beschrieben.

Verwendete Daten-
quellen

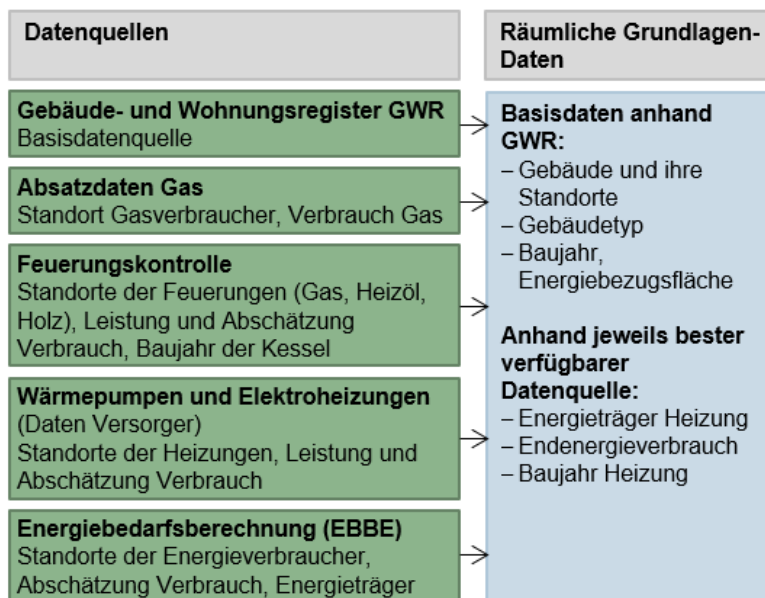


Abbildung 18 Zur Erhebung der Datengrundlagen verwendete Datenquellen.

9 Syntas & Energie hoch drei AG (Entwurf; Stand 2021). Wirkungscontrolling Richtplan Energie

Über das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) wurden alle Gebäude der Stadt Thun und ihr Standort identifiziert. Der eidgenössische Gebäude-Identifikator (EGID) wurde in der Folge genutzt, um alle genutzten Datenquellen miteinander zu verbinden. Diese Verbindung der Datenquellen erfolgte einerseits über die Adressen der Gebäude und andererseits direkt über die Standortkoordinaten der Gebäude. Aus dem GWR wurde eine Anzahl weiterer Variablen zur Beschreibung der Gebäude verwendet. Dies sind insbesondere der Gebäudetyp, die Baujahre der Gebäude und ihre Energiebezugsfläche. Das GWR beinhaltet auch eine Information zum Energieträger der Heizung und der Warmwassererzeugung. Diese Information ist jedoch nur bedingt belastbar, da sie in vielen Fällen bei einem Wechsel des Energieträgers nicht aktualisiert wird.

Gebäude- und
Wohnungsregister
GWR

Energie Thun stellte die Verbrauchsdaten ihrer Gasversorgung gebäudescharf zur Verfügung. Dies ist eine sehr belastbare Datenquelle, mit welcher der Energieträger Gas und der jeweils zugehörige Verbrauch direkt den Gebäuden zugewiesen werden kann. Abbildung 19 zeigt die heutige Ausdehnung des Gasnetzes in der Stadt Thun. Ausser dem Quartier Goldiwil im Nordosten ist die Stadt nahezu vollständig mit Gas erschlossen.

Verbrauchsdaten
Gas

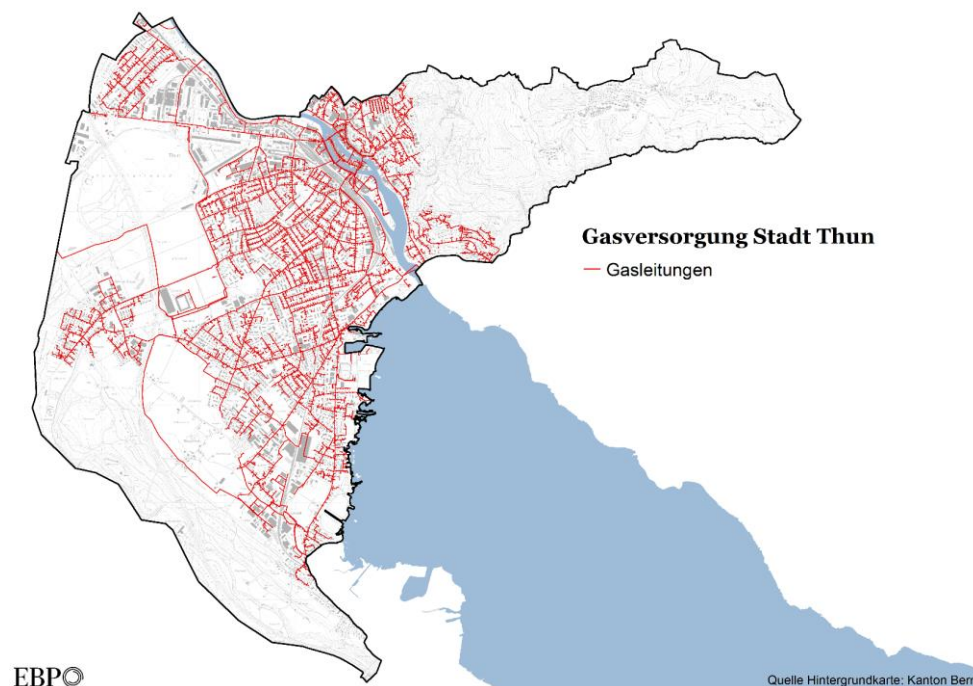


Abbildung 19 Heutige Ausdehnung des Gasnetzes in der Stadt Thun.

Die Daten der Feuerungskontrolle beinhalten unter anderem die Standorte aller Feuerungsanlagen in der Stadt. Somit konnten insbesondere jene Gebäude belastbar identifiziert werden, in welchen Heizöl und Holz zur Wärmeerzeugung genutzt werden. Mit der Leistung der Feuerungsanlagen wurde der Verbrauch für alle Gebäude abgeschätzt. Schlussendlich sind über die Feuerungskontrolle auch die Baujahre aller Feuerungsanlagen verfügbar. Dies zeigt den Erneuerungsbedarf der Gas-, Öl- und Holzheizungen

Feuerungskontrolle

gebäudescharf auf. Dies ist eine zentrale Information, welche in die Modellierung der Entwicklung der Wärmeversorgung einfließt.

Standorte und Leistung von Wärmepumpen und Elektroheizungen, sowie der Wärmepumpentyp stützen sich auf Daten von Energie Thun. Der Verbrauch der Heizungen wurde anhand der Leistung abgeschätzt und mit den Stromverbrauchsdaten von Energie Thun präzisiert. Wo keine Spezifikationen zum Typ der Wärmepumpe in den Daten von Energie Thun vorhanden waren, wurden GWR-Daten zur Einteilung herbeigezogen.

Wärmepumpen und Elektroheizungen

Die Energiebedarfsberechnung (EBBE) des Kanton Bern enthält unter anderem Informationen zu Gebäuden, Energieträgern und Energieverbrauch. Diese statistischen Daten decken alle Energieverbraucher ab, die in den obigen Datenquellen nicht enthalten sind. So wurden der Energieverbrauch und der Standort von Elektroboilern, die Energieproduktion und der Standort von Solarwärme-Anlagen, sowie der Energieverbrauch, der Standort und der Energieträger von Gebäuden mit Fernwärmeanschluss oder Gemeinschaftsheizung gemäss EBBE-Daten abgeschätzt.

EBBE-Daten

6.1.2 Methode

Die Beschreibung des Netto-Null-Szenarios für Wärme basiert auf einer gebäudescharfen Modellierung der Entwicklung der Wärmeversorgung in der Stadt Thun. Grundlage für die Modellierung ist ein Wärmemodell von EBP, welches die gebäudescharfe Modellierung mit bewährten Annahmen für Effizienzsteigerungen und für den Ersatz von Wärmeerzeugungsanlagen erlaubt. Das Vorgehen ist schematisch in Abbildung 20 zusammengefasst. Alle Annahmen gehen von einer ambitionierten Klima- und Energiepolitik aus, für deren Erfüllung erneuerbare Gase angerechnet werden. Die Entwicklung der Wärmeversorgung wird in Fünfjahresschritten modelliert, für den Zeitraum von 2020 bis 2050 und darüber hinaus bis 2100 als Ausblick.

Gebäudescharfe Modellierung der Entwicklung der Wärmeversorgung

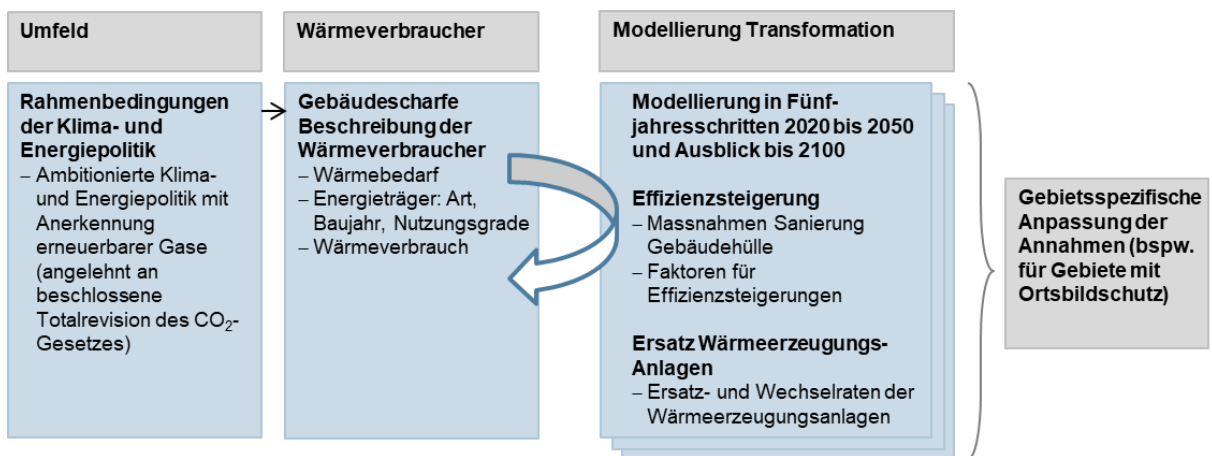


Abbildung 20 Modellierung der Entwicklung der Wärmeversorgung.

Die Anwendung des oben beschriebenen Wärmemodells auf Thun erfordert die Anpassung der übergeordneten Annahmen für die gebietsspezifische Transformation in Thun. Dies ist im Folgenden beschrieben und betrifft:

Für Thun spezifische Anpassung der Annahmen

- Gebäude, die sich in der Nähe des Gasnetzes befinden und somit auf eine Gasheizung wechseln könnten
- Gebäude, die sich in Eignungsgebieten für Erdwärme und Grundwasser befinden und diese Energieträger nutzen könnten
- Entwicklungsgebiete, deren Planungsstand die Präzisierung der Annahmen ermöglicht
- Konkrete Projekte für die Wärme- und Kälteversorgung, die direkt in den Annahmen abgebildet werden können
- Wärme-Grossverbraucher, deren Entwicklung individuell abgeschätzt werden kann.

Direkte Anwendung auf die Annahmen für Ersatz- und Wechselraten von Energieträgern hat die generelle Eignung für bestimmte Energieträger. Betrachtet wurden in diesem Projekt solche gebietsweisen Einschränkungen für Gas, die Wärmenutzung aus Grundwasser und Erdwärme. Die heutige Ausdehnung des Gasnetzes wurde oben in Abbildung 19 gezeigt. Abbildung 21 zeigt die generellen Eignungsgebiete für Grundwasser und Erdwärme in der Stadt Thun.

Eignung für Wechsel auf Gas, Grundwasserwärme und Erdwärme

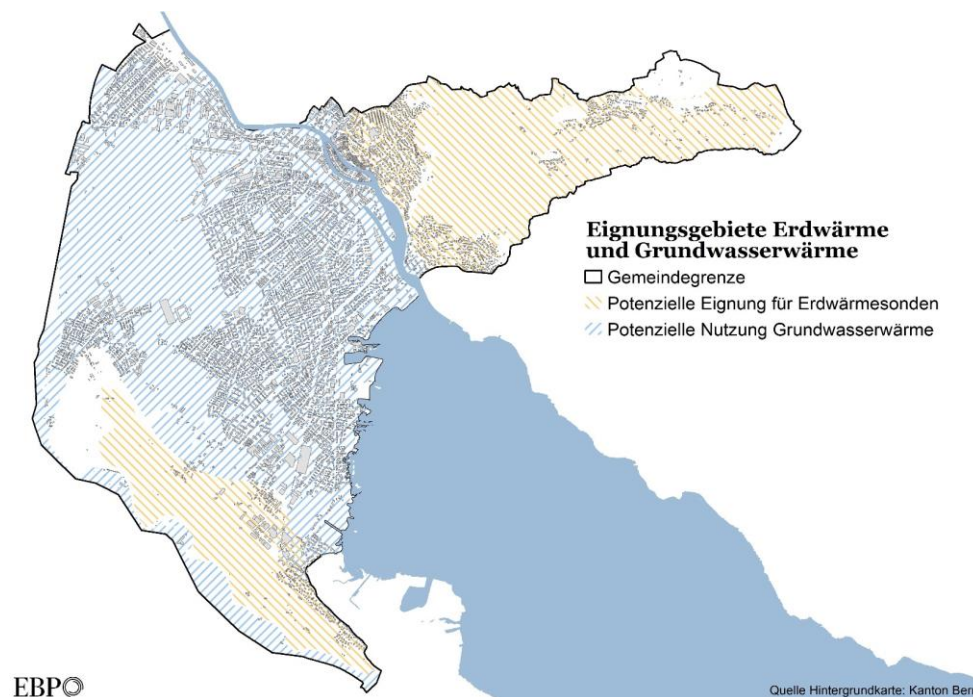


Abbildung 21 Gebiete mit potenzieller Eignung zur Nutzung von Grundwasser- oder Erdwärme

Ergänzend zu den Eignungsgebieten wurden Entwicklungsgebiete in der Stadt Thun als Grundlage für die Modellierung der Wärmeversorgung herangezogen. Es wurden solche Entwicklungsgebiete betrachtet, deren Planungsstand konkrete Aussagen für die zukünftige Wärmeversorgung erlaubt. Dies sind einerseits Informationen zu zusätzlichem Wärmebedarf in der Zukunft. Andererseits flossen auch konkrete Informationen zur zukünftigen Energieträgerwahl in das Modell ein. Abbildung 22 zeigt die für die Modellierung betrachteten Entwicklungsgebiete. Die Abbildung zeigt auch Gebiete mit Ortsbildschutz. Für diese Gebiete wurde im Modell umgesetzt, dass die Möglichkeiten für Energieeffizienzmassnahmen und Heizungswahl stärker eingeschränkt sind als in anderen Gebieten.

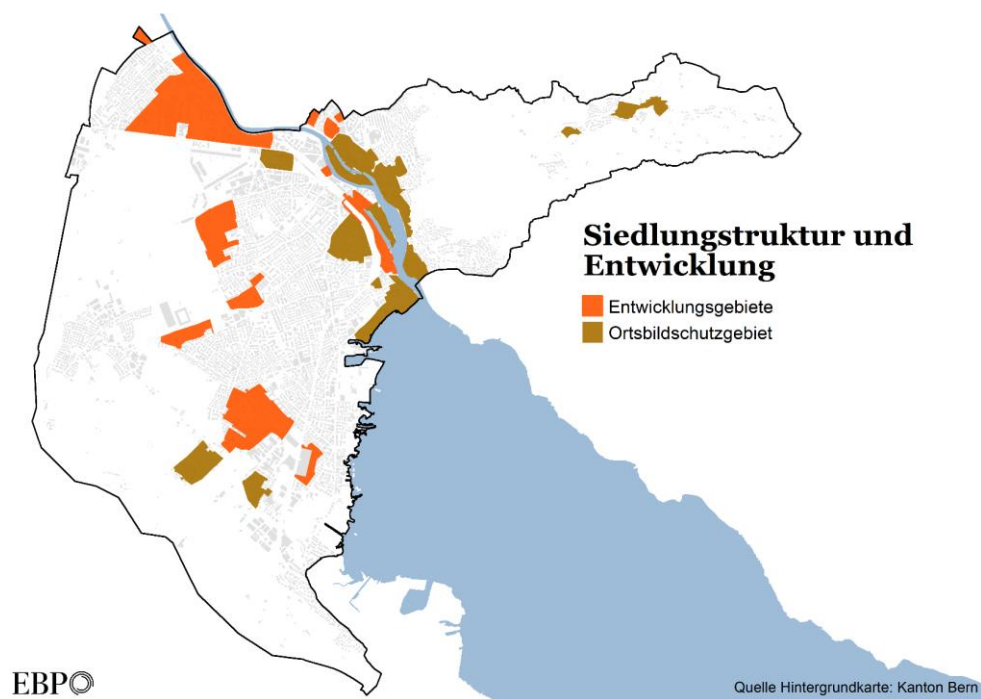
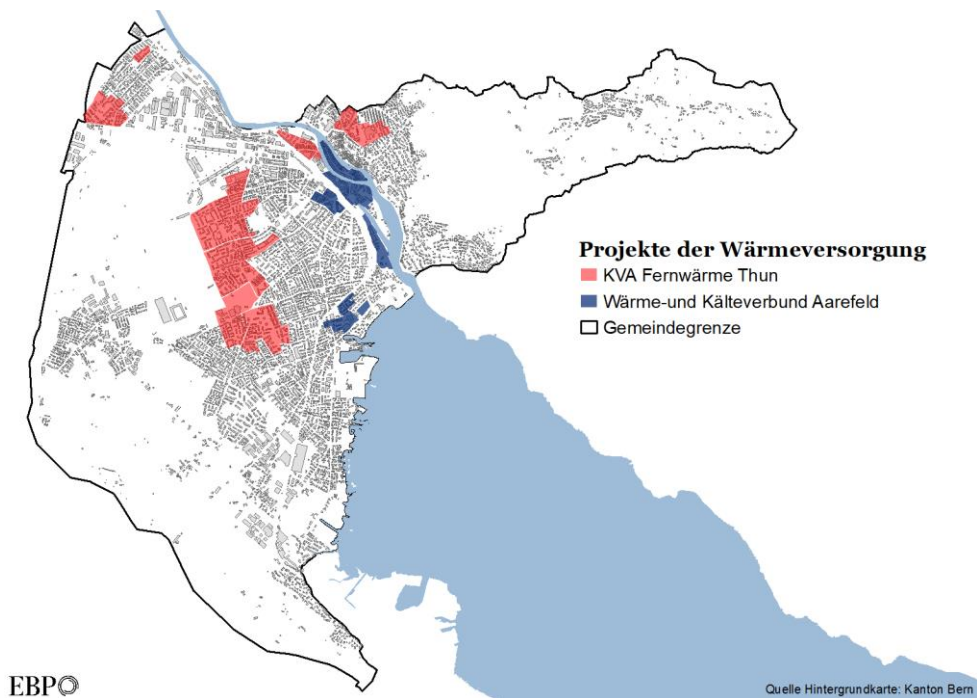


Abbildung 22 Planerische Grundlagen für die zukünftige Wärmeversorgung: Entwicklungsgebiete und Gebiete unter Ortsbildschutz

Zwei Projekte für eine leitungsgebundene Wärme- und Kälteversorgung sind im Netto-Null-Szenario abgebildet und in die Modellierung eingeflossen. Der Fernwärme-Ausbau der Energie Thun ist konkret und in den nächsten Jahren vorgesehen. Das zweite betrachtete Projekt befindet sich im Stadium einer Machbarkeitsstudie: ein Wärme- und Kälteverbund Aarefeld. Abbildung 23 zeigt die Perimeter dieser beiden Gebiete.

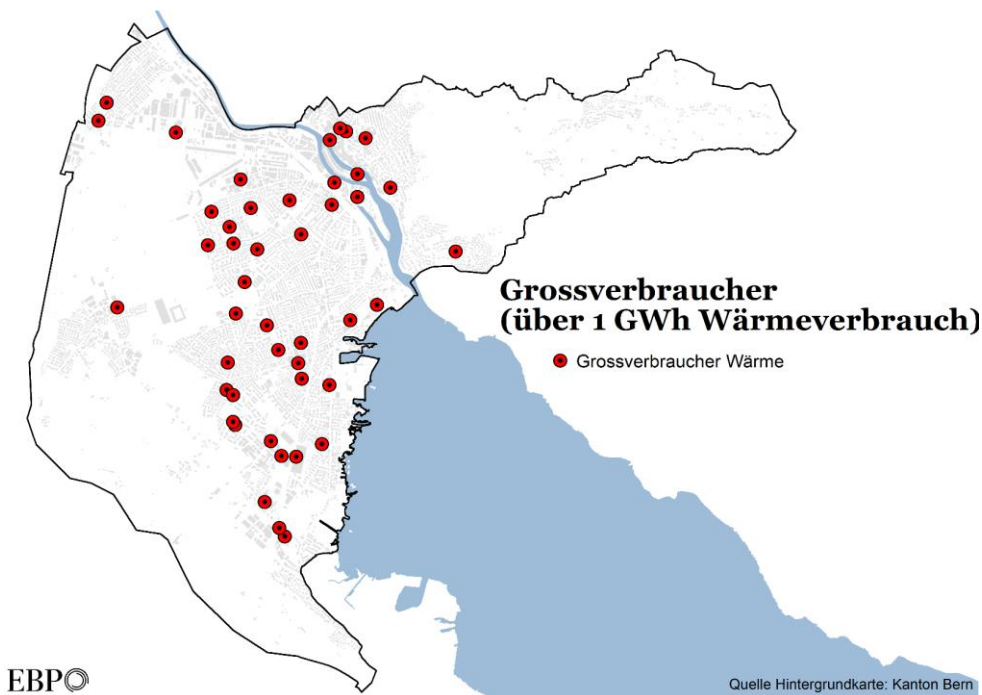


EBPO

Abbildung 23 Konkrete Projekte der Wärme- und Kälteversorgung

Verbraucher mit einem Wärmeverbrauch von mehr als einer Gigawattstunde wurden als Grossverbraucher betrachtet und individuell eingeschätzt. Dabei wurden 45 Grossverbraucher identifiziert. Diese 45 Verbraucher weisen 2020 einen gesamten Endenergieverbrauch für Wärme von 95 GWh und einen Gasverbrauch von 42 GWh auf. Die Grossverbraucher decken rund einen Fünftel sowohl des gesamten Endenergieverbrauchs als auch des Gasverbrauchs ab. Abbildung 24 zeigt die Verteilung der Grossverbraucher über die Stadt.

Grossverbraucher



EBPO

Abbildung 24 Betrachtete Grossverbraucher in der Stadt Thun

6.1.3 Resultate

Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung

Im Jahr 2020 beträgt der Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung in der Stadt Thun rund 530 GWh. Ein grosser Teil davon, knapp 392 GWh, erfolgt mit den fossilen Energieträgern Heizöl (216 GWh) und Erdgas (176 GWh). Ebenfalls zur Gasversorgung gehört ein Anteil Biogas von 11.4%, ein Absatz von knapp 23 GWh. Von den übrigen Energieträgern nimmt Fernwärme mit rund 55 GWh den grössten Anteil ein. Der Einsatz von Fernwärme erfolgt heute nahezu ausschliesslich im Militärareal.

Heutige Wärmeversorgung

Abbildung 25 zeigt die zukünftige Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme im Szenario Netto-Null. Erstens spielt dabei die Reduktion des Endenergieverbrauchs durch Energieeffizienz eine grosse Rolle. Zweitens erfolgt mit einem weitgehenden Wechsel von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energieträgern eine tiefgehende Transformation der Wärmeversorgung. Im Jahr 2050 stützt sich die Wärmeversorgung auf drei Säulen: Die Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen, den Einsatz von erneuerbarem Gas und den Einsatz von KVA-Abwärme über ein Fernwärmenetz. Der Anteil von Heizöl sinkt rasch. Dieser rasche Umstieg ist dadurch bedingt, dass viele Ölheizungen gemäss ihrem Baujahr einen hohen Erneuerungsbedarf aufweisen. Trotzdem verbleibt im Jahr 2050 ein geringer Anteil an Ölheizungen, bei welchen der Ersatz herausfordernd ist. Dabei handelt es sich insbesondere um grössere Feuerungen in Industrie und Gewerbe. Tabelle 19 zeigt die Zahlen der Entwicklung. Die wichtigsten Energieträger der Wärmeversorgung der Zukunft in Thun sind im Folgenden beschrieben.

Netto-Null-Szenario: Entwicklung 2020 bis 2050

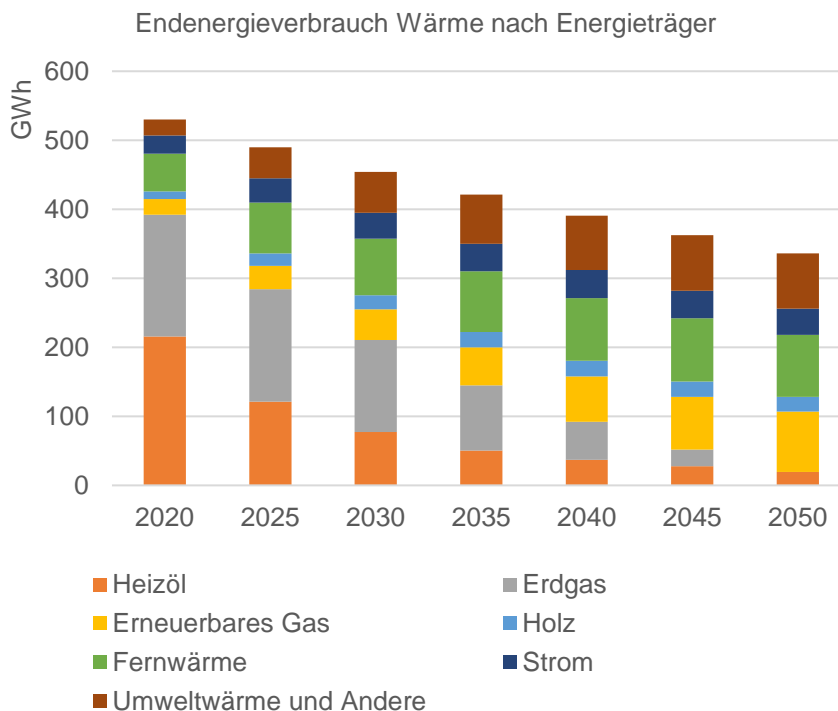


Abbildung 25 Endenergieverbrauch für Wärme von 2020 bis 2050

	GWh	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Heizöl		216	121	78	51	37	28	20
Gas		199	197	177	150	121	100	87
Erdgas		176	163	133	94	55	24	0
Erneuerbares Gas		23	34	44	55	66	77	87
Holz		11	18	21	22	23	22	21
Fernwärme		55	73	82	88	91	92	90
Strom		26	35	38	40	41	40	38
Umweltwärme und Andere		23	45	59	71	79	81	80
Total		530	490	454	421	391	363	336

Tabelle 19 Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Wärme von 2020 bis 2050

Säulen der Wärmeversorgung der Stadt Thun im Jahr 2050

Im Jahr 2050 stützt sich die Wärmeversorgung auf drei Säulen: Die Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen, der Einsatz von erneuerbarem Gas und der Einsatz von KVA-Abwärme über ein Fernwärmenetz. Abbildung 26 zeigt die Entwicklung für diese drei Energieträger. Im Folgenden wird die Entwicklung für alle drei ausgeführt.

Gas, Wärmepumpen und Fernwärme im Jahr 2050

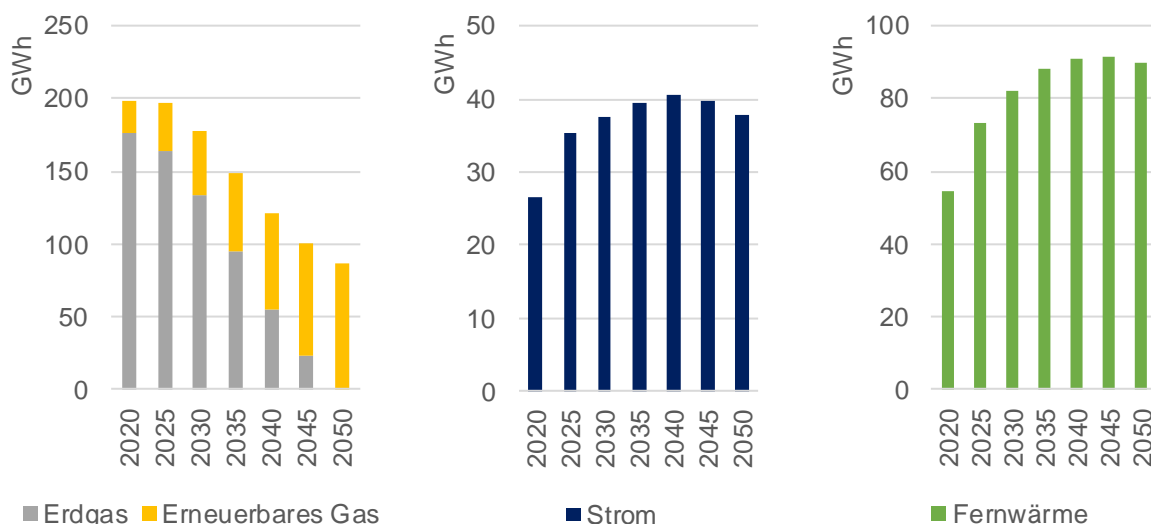


Abbildung 26 Entwicklung der in Zukunft wichtigsten Energieträger

Von 2020 bis 2050 erfolgt ein Anstieg des Wärme-Endenergieverbrauchs für Strom (Wärmepumpen) und Fernwärme. Gas ist heute ein dominierender Energieträger der Wärmeversorgung. Der absolute Absatz an Gas wird bis 2050 deutlich sinken. Der Energieträger bleibt jedoch wichtig für die Wärmeversorgung in Thun. Um das Netto-Null Szenario zu erreichen muss die

Entwicklung der Gasversorgung

verbleibende Gasversorgung im Jahr 2050 erneuerbar werden. Im vorliegenden Szenario entspricht dies im Jahr 2050 einem Gasabsatz von 87 GWh. Im Vergleich zu heute mit einem Absatz von 23 GWh erneuerbarem Gas ist dies fast eine Vervierfachung der nötigen Menge an erneuerbarem Gas. Eine grosse Herausforderung ist nicht nur die Beschaffung von erneuerbarem Gas zu akzeptablen Preisen. Es ist auch fraglich, ob die Endkunden eine genügende Zahlungsbereitschaft für erneuerbares Gas aufweisen.

Eine wichtige Entwicklung bis 2050 ist die starke Verbreitung von Wärmepumpen und damit der Einsatz von Strom für die Wärmeversorgung. Damit einher geht eine deutlich höhere Nutzung von Umweltwärme. Wird heute noch 23 GWh genutzt, wird im Jahr 2050 eine Nutzung von Umweltwärme von ungefähr 80 GWh erwartet.

Entwicklung Stromverbrauch für Wärme und Nutzung Umweltwärme

Neben der Gasversorgung und dem Einsatz von Wärmepumpen ist der Ausbau der Fernwärme eine der wichtigsten Stützen für die Wärmeversorgung im Jahr 2050. Heute wird Fernwärme als Abwärme der KVA grösstenteils im Militärareal genutzt (rund 50 GWh). In diesem Gebiet mit dem Entwicklungsschwerpunkt Thun Nord wird eine dynamische Entwicklung erwartet. Mit Effizienzsteigerungen, aber auch mit einer deutlich intensiveren Nutzung wird erwartet, dass auch im Jahr 2050 ungefähr die gleiche Menge Fernwärme abgesetzt werden kann. Ein deutlicher Ausbau findet im restlichen Stadtgebiet von Thun statt (siehe Abbildung 27).

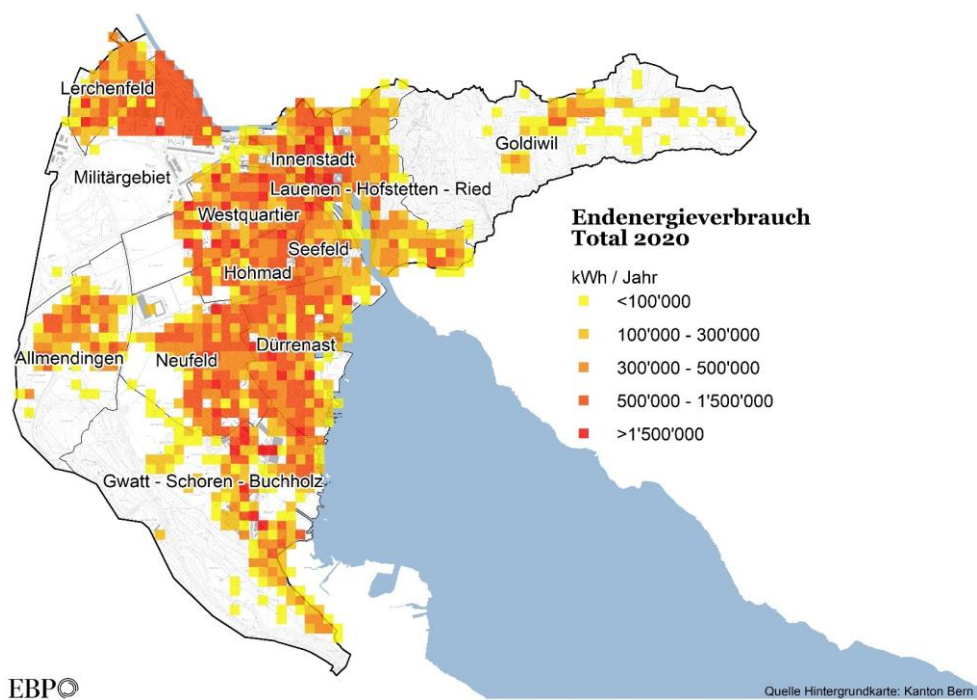
Ausbau der Fernwärme

	GWh	2020	2035	2050
Militärareal		50	50	50
restliches Stadtgebiet		5	38	40

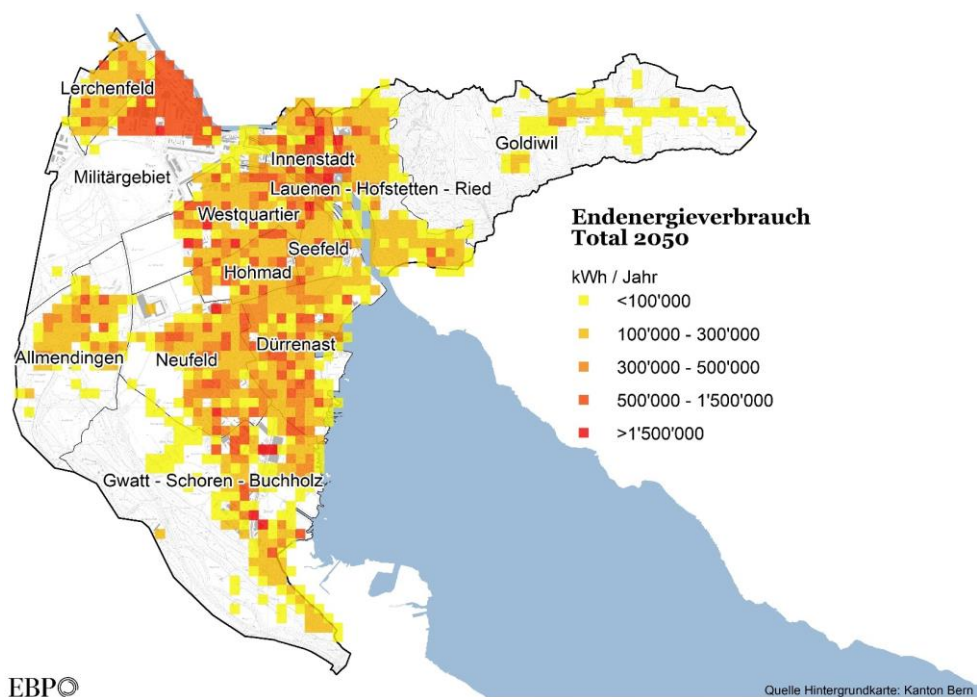
Abbildung 27 Entwicklung der Fernwärme in der Stadt Thun

Räumliche Entwicklung der Wärmeversorgung

Abbildung 28 zeigt den erwarteten Endenergieverbrauch für die Jahre 2020 und 2050, Abbildung 29 die erwartete räumliche Verteilung des Endenergieverbrauchs Gas und Abbildung 30 die erwartete Verteilung des Stromverbrauchs. Direkt sichtbar ist die räumlich unterschiedliche Entwicklung. Diese räumlichen Auswirkungen auf die Verteilnetze Gas und Strom werden in den folgenden Kapiteln vertieft betrachtet.

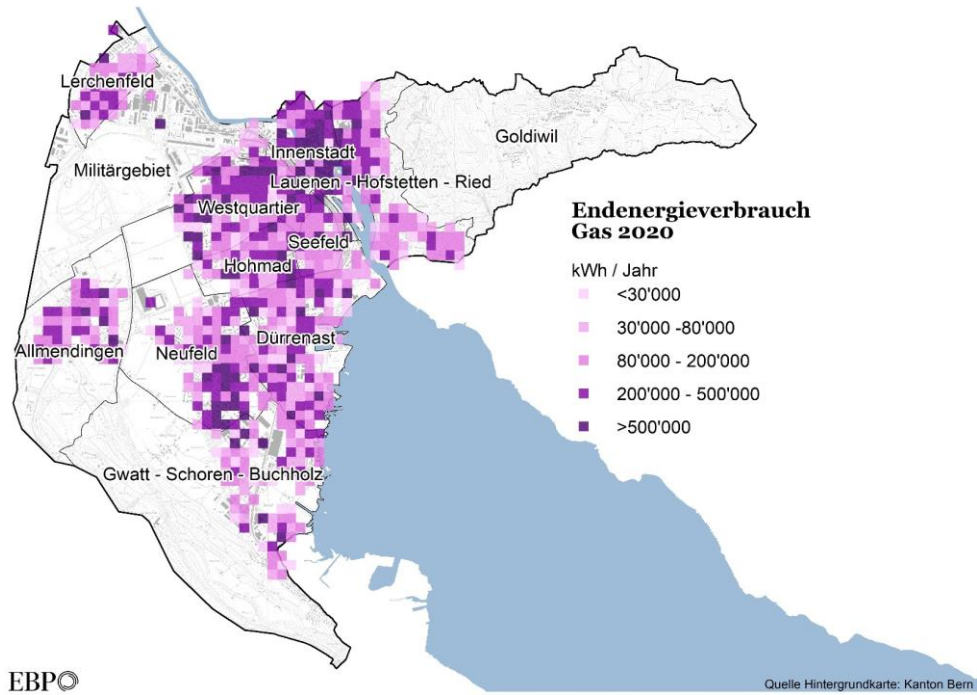


Endenergieverbrauch im Jahr 2020

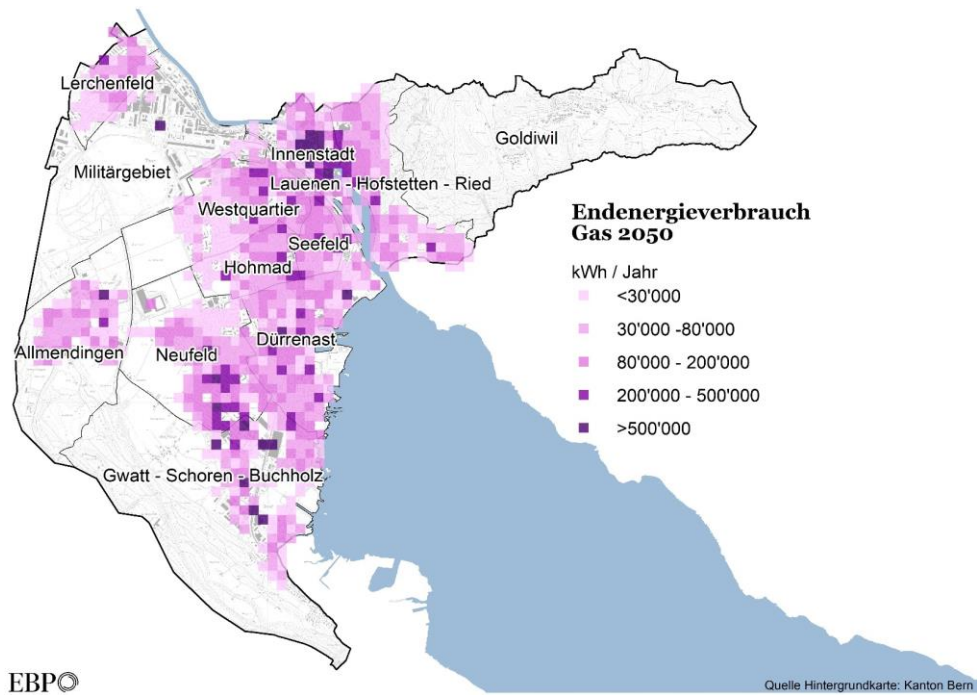


Endenergieverbrauch im Jahr 2050

Abbildung 28 Räumliche Entwicklung des Endenergieverbrauchs in der Stadt Thun

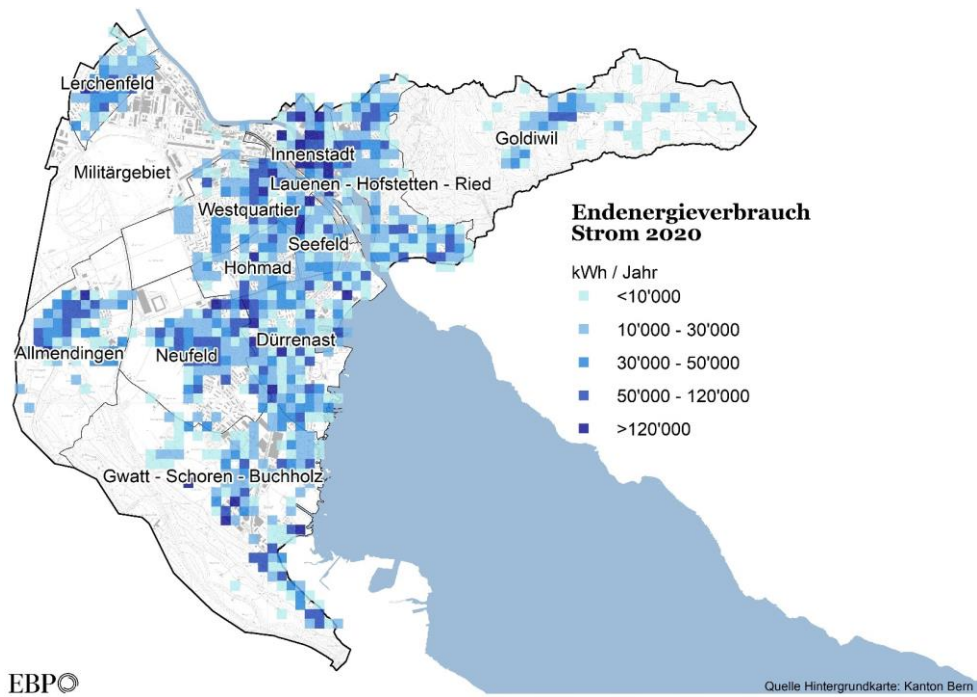


Endenergieverbrauch Gas im Jahr 2020

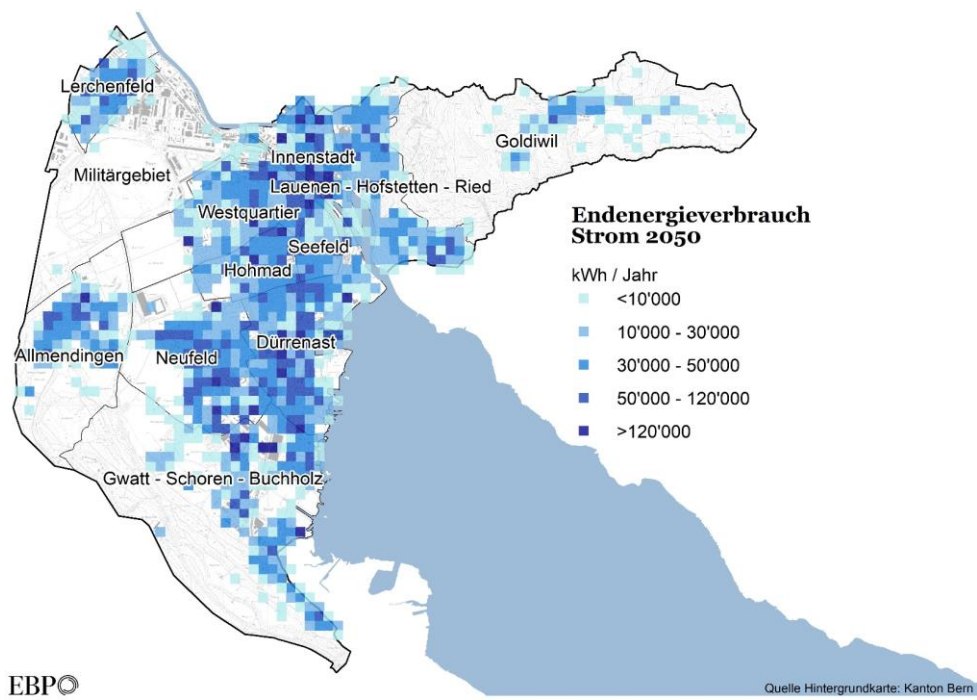


Endenergieverbrauch Gas im Jahr 2050

Abbildung 29 Räumliche Entwicklung des Endenergieverbrauchs Gas in der Stadt Thun



Endenergieverbrauch Strom (für Wärme) im Jahr 2020



Endenergieverbrauch Strom (für Wärme) im Jahr 2050

Abbildung 30 Räumliche Entwicklung des Endenergieverbrauchs Stroms (für Wärme) in der Stadt Thun

CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung

Abbildung 31 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung. Betrachtet werden dabei nur die direkten Emissionen, die auf dem Stadtgebiet verursacht werden (Scope 1). Über den Zeitraum von 2020 bis 2050 können diese nahezu auf null gesenkt werden (Reduktion um 95%). Im Jahr 2050 verbleiben insbesondere einige Heizöl-Feuerungen, deren Ersatz als schwierig eingeschätzt wird. Die vollständige Reduktion der direkten Emissionen der Gasversorgung ist davon abhängig, dass eine vollständige Substitution von fossilem Erdgas durch erneuerbares Gas gelingt. Abbildung 32 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen gemäss Scope 2. Die Betrachtung nach Scope 2 beinhaltet Emissionen in den Vorketten der Energiebereitstellung. Diese Emissionen werden über Faktoren abgeschätzt. Grundlage dafür ist die Studie Carbotech und EBP (2019)¹⁰. Es wird angenommen, dass bis 2050 sowohl die Gasversorgung als auch die Stromversorgung auf vollständig erneuerbar umgestellt wird. Im abgebildeten Netto-Null-Szenario gelingt sowohl unter Scope 1 als auch Scope 2 eine Reduktion der Emissionen auf nahezu null.

Entwicklung der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung

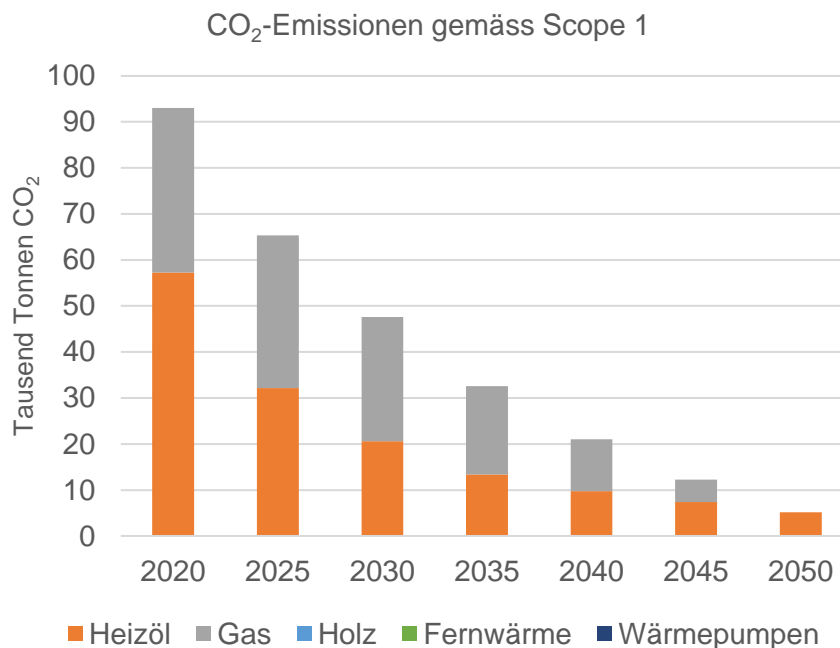


Abbildung 31 Entwicklung der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung gemäss Scope 1

10 Carbotech und EBP (2019): Ökologische Beurteilung von Heizsystemen. Studie im Auftrag des Forschungsfonds der Schweizer Gaswirtschaft.

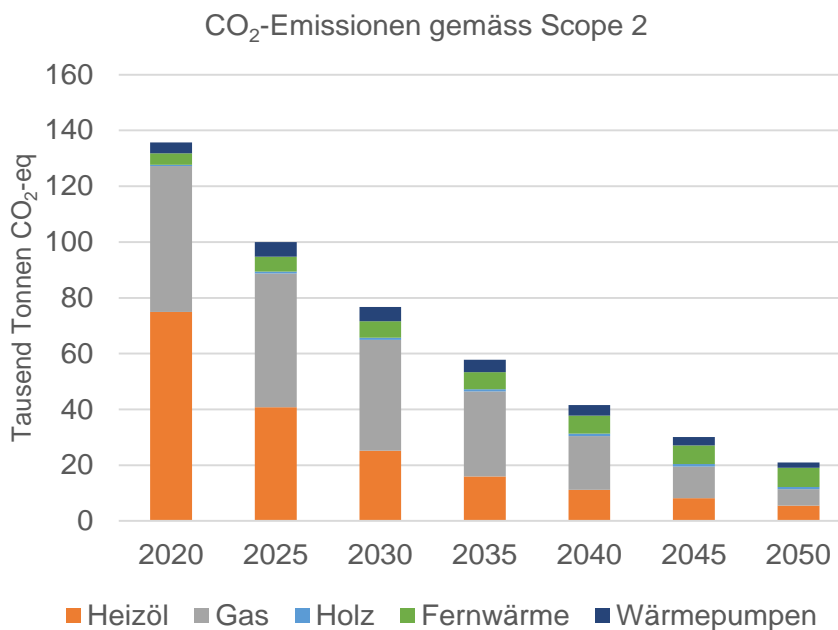


Abbildung 32 Entwicklung der CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung gemäss Scope 2

6.1.4 Erkenntnisse

Die Erstellung des Netto-Null-Szenarios für den Wärme-Bereich zeigt die Chancen und die Potenziale einer klimaneutralen Entwicklung in der Stadt Thun auf, beleuchtet jedoch auch die Herausforderungen. Die wichtigsten Erkenntnisse sind im Folgenden aufgeführt:

- Das Ziel Netto-Null 2050 ist in der Stadt Thun erreichbar. Das Ziel bedeutet jedoch eine grundlegende Transformation der Wärmeversorgung. Wichtige Stützen dieser Transformation sind in der Stadt Thun die Fernwärme und der Einsatz von Wärmepumpen. Auch im Jahr 2050 ist die Gasversorgung eine wichtige Stütze der Wärmeversorgung. Es ist jedoch mit einer deutlichen Reduktion des Gasabsatzes zu rechnen. Im Netto-Null-Szenario muss die Gasversorgung vollständig erneuerbar betrieben werden.
- Das Netto-Null-Szenario 2050 hat räumlich sehr unterschiedliche Auswirkungen. Die Folgen für die Verteilnetze Strom und Gas sind von grosser Wichtigkeit. Diese Auswirkungen sind in den Kapiteln 7 und 8 beleuchtet.
- Effizienz spielt eine grosse Rolle, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen. Bis 2035 kann rund 20% des Verbrauchs reduziert werden, bis 2050 knapp 40%. Massnahmen, welche diese Effizienzsteigerungen begünstigen, fördern oder sogar fordern, sind von hoher Wichtigkeit. Effiziente Gebäude sind eine wichtige Voraussetzung, dass die angestrebte Transformation der Wärmeversorgung mit hohem Einsatz von Wärmepumpen erfolgreich ist.
- Das abgebildete Netto-Null-Szenario führt sowohl gemäss Scope 1 als auch unter Betrachtung der Vorketten der Energieherstellung gemäss Scope 2 zu hohen Reduktionen der CO₂-Emissionen. Ein wichtiger Hebel dazu ist eine hohe Effizienz der eingesetzten Wärmepumpen. Zudem ist

wichtig, dass die eingesetzten Energieträger erneuerbar bzw. klimaneutral sind.

- Der heutige Bestand an Wärmeerzeugungsanlagen weist ein hohes Erneuerungspotenzial auf. Dies gilt insbesondere für Heizöl-Feuerungen. Das hier abgebildete Netto-Null-Szenario geht davon aus, dass bei baldiger Umsetzung einer verschärften Klima- und Energiepolitik diese Heizungen beim nächsten Ersatz auf erneuerbar umgestellt werden. Entsprechend wichtig sind Massnahmen, die einen 1:1 Ersatz von Heizöl-Feuerung verhindern.

6.2 Verkehr

6.2.1 Datengrundlage

Der Strassenverkehr der Stadt Thun wurde anhand der immatrikulierten Fahrzeuge gemäss Motorfahrzeuginformationssystem der Eidgenössischen Fahrzeugkontrolle (MOFIS) und des spezifischen Mobilitätsverhalten der ThunerInnen abgebildet. Die Informationen zum Mobilitätsverhalten der ThunerInnen stammen vom Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) und dem nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM). Annahmen zur künftigen Mobilitätsentwicklung stammen aus den Verkehrsperspektiven 2040.

Verwendete Datenquellen

6.2.2 Methode

Die CO₂-Emissionen werden gemäss Verursacherprinzip der in der Stadt Thun immatrikulierten Fahrzeuge ausgewiesen. Dabei werden die Energieverbräuche der Fahrzeugkategorien berechnet und mit spezifischen CO₂-Faktoren je Energieträger multipliziert. Dies erlaubt, neben den direkten CO₂-Emissionen (Scope 1) auch die grauen Emissionen der Energiebereitstellung (Scope 2) abzubilden.

Verursacherprinzip

Es wurden die vier Fahrzeugkategorien Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge und ÖV-Busse separat modelliert. Dabei kommen kohortenbasierte Flotten- und Fahrleistungsmodelle zum Einsatz, welche es erlauben, differenzierte Angaben zum zukünftigen Treibstoff- und Stromverbrauch des Strassenverkehrs in der Stadt Thun machen. Anhand der zukünftigen verkehrlichen Entwicklung und der zu deckenden Fahrleistung der entsprechenden Fahrzeugkategorie wird unter Berücksichtigung der Fahrzeugabgänge (gemäss spezifischen Sterberaten) der Neuwagenmarkt bestimmt. Dieser wird mit historischen Werten abgeglichen und falls nötig geglättet.

Detailliertes Flotten- und Fahrleistungsmodell

Der Neuwagenmarkt je Fahrzeugkategorie wird ausgehend vom heutigen gemeindespezifischen Zustand in die Zukunft fortgeschrieben. Dabei kommen die EBP-Elektromobilitätsszenarien der Schweiz¹¹ zur Anwendung. Sie beschreiben die technologische Zusammensetzung des Neuwagenmarktes gemeindespezifisch. Für die räumlichen Netto-Null-Szenario wurde das Szenario Paris-Szenario PAR verwendet.

Modellierung der Neuwagenmarktentwicklung

11 EBP (2020): Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020. [Link](#).

Damit sich die Verkehrssituation im Netto-Null-Szenario deutlich gegenüber heute ändern kann, sind Massnahmen im Bereich Verkehr vermeiden und verlagern zentral. Die zurückgelegten MIV-Fahrzeugkilometer pro Kopf reduzieren sich um 22% bis 2050 gegenüber 2020. Dies geschieht durch eine Verschiebung des Modalsplits (Abnahme Anteil MIV um 5% bis 2050 gegenüber 2020) zugunsten ÖV und aktive Mobilität (Velo, Mikromobilität), eine Erhöhung der Fahrzeugbelegung (Car-Pooling) sowie einer Erhöhung des Car-Sharing-Anteils. Unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums reduziert sich die MIV-Fahrleistung um 12% bis 2050 gegenüber 2020. Der Personenwagenbestand bleibt trotz Bevölkerungswachstum mit rund 20'000 konstant, was sich in einem sinkenden Motorisierungsgrad zeigt, der von heute 440 Personenwagen pro 1'000 Einwohner bis 2050 auf rund 400 sinkt.

Verschiebung des Modalsplits

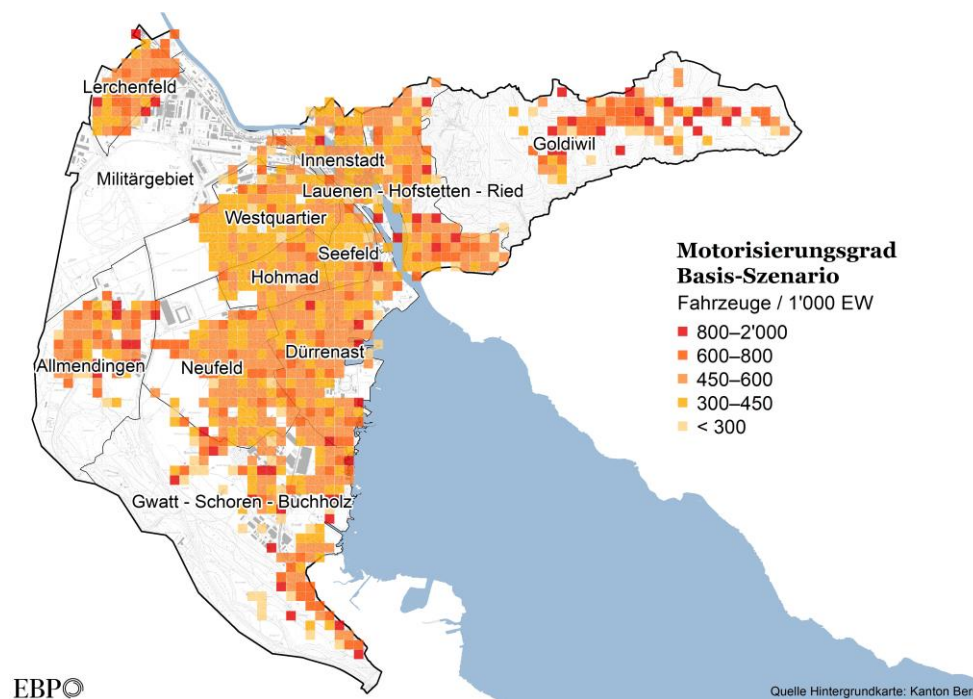


Abbildung 33 Motorisierungsgrad der Haushalte der Stadt Thun im Jahr 2020; aggregierte Werte je Hektare (100 x 100 m).

Die Elektromobilität spielt in den Netto-Null-Szenarien des Strassenverkehrs ebenfalls eine zentrale Rolle. Für zahlreiche Fragestellungen im Bereich Elektromobilität ist nicht die Anzahl der Elektrofahrzeuge in der Stadt Thun oder deren gesamte Ladebedarf entscheidend, sondern der Ladebedarf des Gesamtverkehrs in der Stadt Thun unter Berücksichtigung des «importierten» und des «exportierten» Verkehrs, das heisst wo, wie häufig, wieviel, wie lange und mit welcher Leistung aufgrund des Gesamtverkehrs geladen wird. Dazu folgt auf Basis der Szenarien eine agentenbasierte Modellierung aller Ladevorgänge¹². Der Bedarf für private und öffentlich zugängliche Ladestationen kann so räumlich fein aufgelöst dargestellt und, darauf aufbauend, der Bedarf für Ladeinfrastruktur abgeschätzt werden.

Elektromobilität ist ein wichtiger Grundpfeiler

12 EBP (2020): Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2020. [Link](#).

Es werden vier Ladestationstypen (Abbildung 35) unterschieden. Weiter wird das Ladeverhalten anhand von Nutzertypen (Pendler-, Freizeitverkehr, Kombination aus beiden, Firmenflottenfahrzeuge) beschrieben. Je nach Fahrzeugkategorie und Nutzertyp unterscheiden sich die Fahrleistung und auch das Ladeverhalten. Der Ladebedarf, der nicht am «Wohnort» der Fahrzeuge (Home Charging bei Privatfahrzeugen, Work Charging bei Flottenfahrzeuge) abgedeckt wird, wird in andere Gebiete «exportiert».

Ladeinfrastruktur und -verhalten

Heute erfolgen 90% aller Ladevorgänge an privaten Ladestationen. Mittel und längerfristig ist – insbesondere bei einer schnellen Marktdurchdringung der Elektromobilität – mit einer steigenden Bedeutung des öffentlichen Ladens zu rechnen. Mit steigender Reichweite der Steckerfahrzeuge und höherer Ladeleistung reicht bei künftigen Elektroautos ein Ladevorgang pro Woche. Entsprechend werden Elektrofahrzeuge auch attraktiv, wenn man keinen eigenen festen Parkplatz hat. Voraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit einer öffentlichen Ladestation in der Nähe des Wohnorts.

Entwicklung des Ladeverhaltens



Abbildung 34 Schematische Darstellung der Modellierung des räumlichen Bedarfs der Ladeinfrastruktur der Elektromobilität.

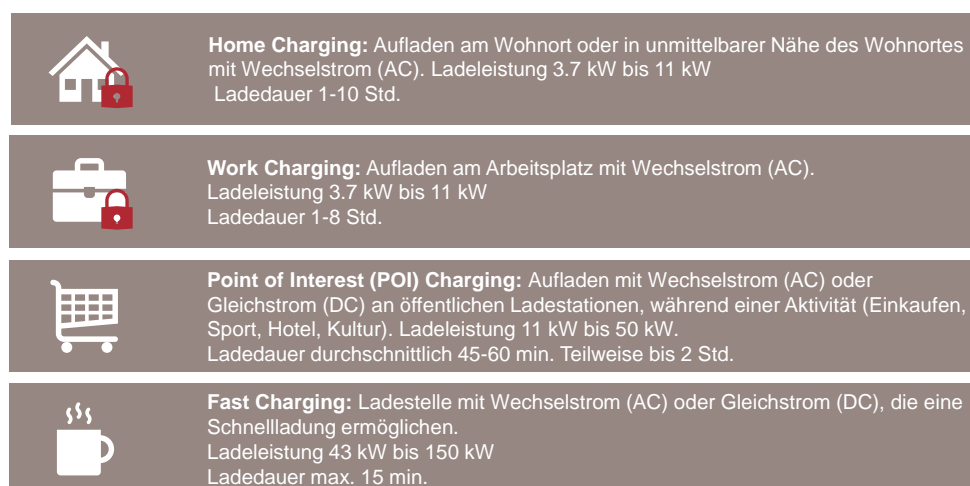


Abbildung 35 Vier verschiedene Ladestationstypen für unterschiedliche Ladebedürfnisse.

6.2.3 Resultate

Personenwagen: Neuwagenmarkt und Fahrzeugbestand

Die Abbildung 36 zeigt die Entwicklung des Marktanteils der Elektro- (batterie-elektrisch und Plug-in-Hybride) und Brennstoffzellenfahrzeuge am Neuwagenmarkt von 2015 bis 2050. Die Szenarien gehen davon aus, dass batterie-elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybride den Neuwagenmarkt bei den Personenwagen langfristig dominieren werden und Benzin- und Dieselfahrzeuge verdrängen. Im Zielszenario Netto-Null 2050 sind bereits über 90% der neuzugelassenen Fahrzeuge 2035 elektrisch. 2025 sind bereits rund 40% der neuzugelassenen Fahrzeuge in der Stadt Thun elektrisch.

Elektromobilität auf dem Vormarsch

© EBP, CH-Elektromobilitätsszenarien 2020

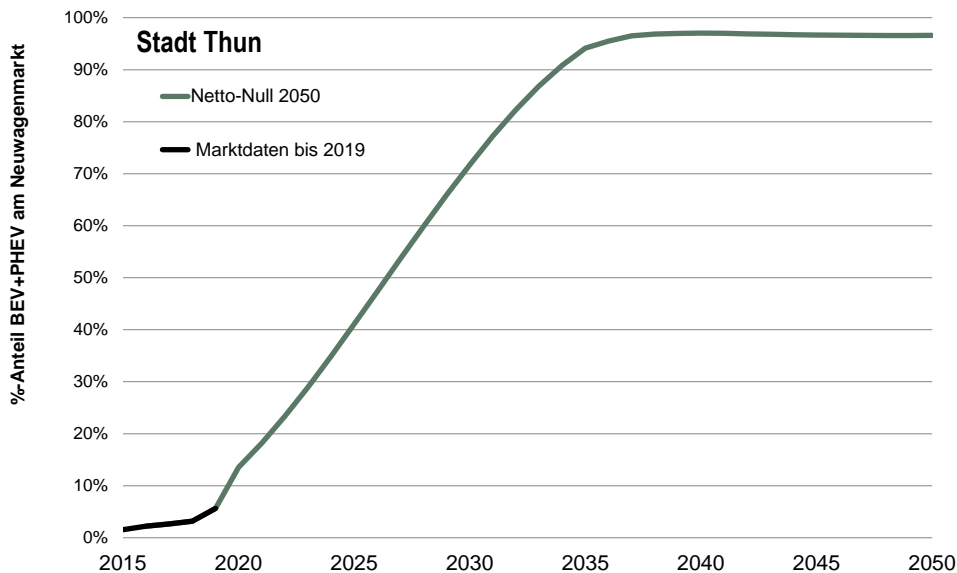


Abbildung 36 Anteil der Elektrofahrzeuge (batterie-elektrisch und Plug-in-Hybride) und Brennstoffzellenfahrzeuge am Neuwagenmarkt in der Stadt Thun von 2015 bis 2050 im Netto-Null-Szenario.

Abbildung 37 zeigt die Umwälzung des Personenwagen-Fahrzeugbestandes in der Stadt Thun. Diese gestaltet sich deutlich träger als die Entwicklungen am Neuwagenmarkt. Im Netto-Null-Szenario 2040 werden ab 2035 praktisch keine Benzin- und Dieselfahrzeuge mehr neuzugelassen, trotzdem machen die Elektrofahrzeuge im Fahrzeugbestand dann «erst» rund 40% aus. Bis 2040 erhöht sich der Elektroanteil am Gesamtbestand auf über 65%, bis 2050 auf rund 95%. Gasfahrzeuge und Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge spielen eine untergeordnete Rolle.

Stetiger Rückgang von Dieselfahrzeugen und Benzinern

Personenwagenbestand in der Stadt Thun 2019-2050; Netto-null 2050

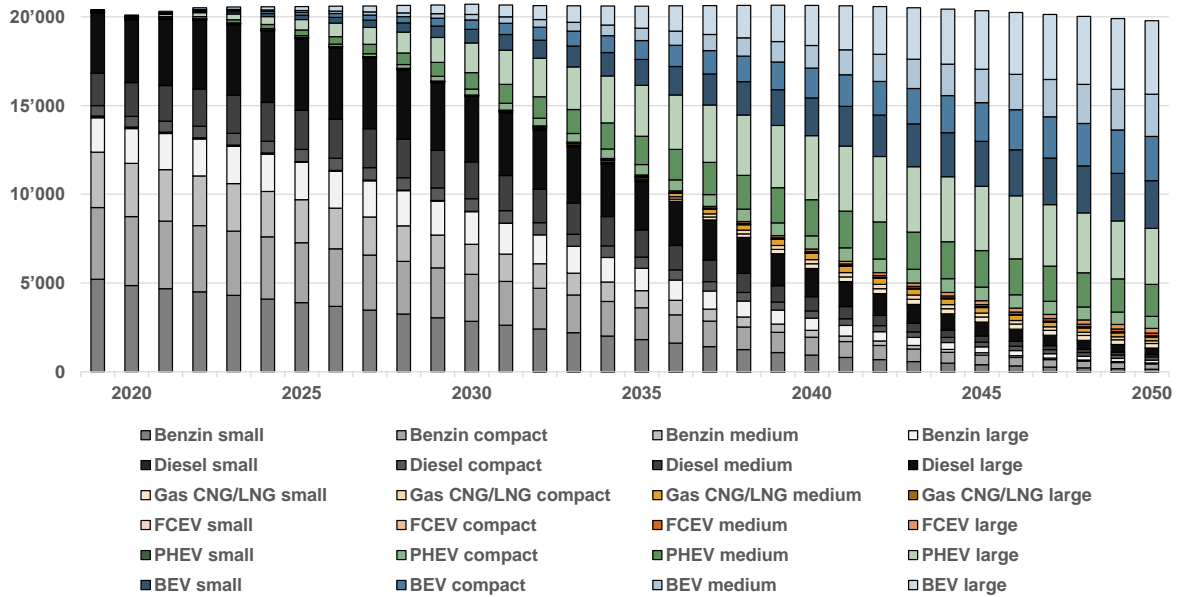


Abbildung 37 Entwicklung des Fahrzeugbestandes der Personenwagen in der Stadt Thun von 2020 bis 2050 je Antriebstechnologie (BEV: batterie-elektrisch, PHEV: Plug-in-Hybride, FCEV: wasserstoff-brennstoffzellen-elektrisch) und Fahrzeuggrösse (small, compact, medium und large) im Szenario Netto-Null 2050.

Leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie ÖV-Busse

Anders als bei den Personenwagen wird bei leichten Nutzfahrzeugen (LNF), schweren Nutzfahrzeugen (SNF) und ÖV-Bussen mit einer Zunahme der Fahrleistung gerechnet. Auch im Netto-Null-Szenario steigt die LNF- und SNF-Fahrleistung in der Stadt Thun um fast 30%. Entsprechend nimmt auch der Fahrzeugbestand in allen Szenarien zu.

Zunahme der Fahrleistung und des Fahrzeugbestands

Ähnlich wie bei den Personenwagen wird auch bei den LNF und den ÖV-Bussen erwartet, dass sich die Elektromobilität (batterie-elektrisch, Plug-in-Hybride und Brennstoffzellenfahrzeuge) langfristig durchsetzen wird. Insbesondere batterie-elektrische Modelle werden langfristig bei den LNF und ÖV-Bussen dominieren (Abbildung 38).

Durchsetzung der Elektromobilität

Bei den schweren Nutzfahrzeugen (SNF) wird erwartet, dass sich weder kurz- noch langfristig eine einzige alternative Antriebstechnologie klar durchsetzen wird. Insbesondere der batterie-elektrische Antrieb zeigt in diesem Segment noch keine klaren Vorteile. Wie in Abbildung 38 ersichtlich, wird im Netto-Null-Szenario erwartet, dass auch 2040 und 2050 noch ein beachtlicher Teil des SNF-Fahrzeugbestandes dieselbetrieben sein wird. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels muss diese verbleibende Dieselnachfrage mit Biodiesel oder synthetischem Diesel gedeckt werden.

Schwere Nutzfahrzeuge stellen Nischenanwendung von Diesel dar

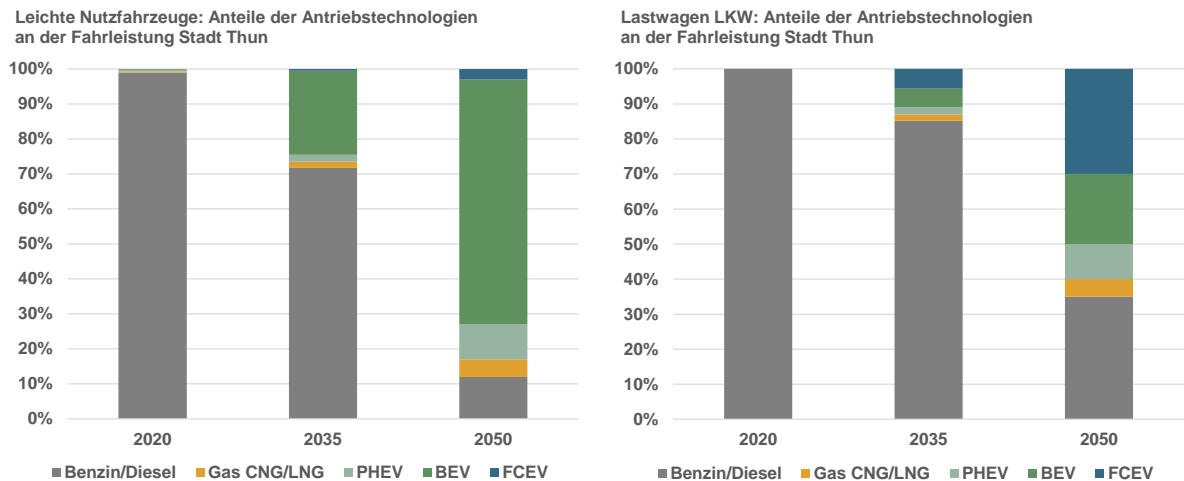


Abbildung 38 Entwicklung der Antriebstechnologien an der Fahrleistung der LNF (links) und SNF (rechts) in der Stadt Thun in den Jahren 2020, 2035 und 2050 im Netto-Null-2050-Szenario.

CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs

Abbildung 39 zeigt die heutigen Anteile der CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs je Fahrzeugkategorie in der Stadt Thun sowie die Entwicklung der CO₂-Emissionen inkl. separater Ausweisung der grauen Emissionen durch die Energiebereitstellung (Scope 2) bis 2050. Über den Zeitraum von 2020 bis 2050 können die direkten Emissionen auf null gesenkt werden. Unter Einbezug der grauen Emissionen (Scope 2) könne die Emissionen um 96% reduziert werden, sofern zur Strom- und Treibstoffherstellung konsequent erneuerbare Energien eingesetzt werden.

Komplette Reduktion der direkten Emissionen

Im Jahr 2050 verbleibt insbesondere im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge ein Restbedarf für flüssige Treibstoffe. Diesen gilt es mit biogenen oder synthetischen Treibstoffen zu decken.

Biogenen oder synthetischen Treibstoffen bei Nutzfahrzeugen

Abbildung 40 zeigt die Entwicklung der CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs je Fahrzeugkategorie unter Berücksichtigung der grauen Emissionen der Energiebereitstellung (Scope 1 und 2) und unter der Annahme, dass nur Strom aus Gaskraftwerken für die gesamte Elektromobilität im Strassenverkehr genutzt wird. Die grauen Emissionen steigen dadurch sehr stark an und das Netto-Null-Ziel wäre nicht mehr erreichbar. Trotzdem könnten auch in diesem Worst-Case die CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs bis 2050 um insgesamt 60% gegenüber 2020 reduziert werden. Die Darstellung dieser Sensitivität unterstreicht die Bedeutung des Einsatzes von erneuerbarem Strom zur Erreichung des Netto-Null-Ziels. Sie zeigt ausserdem, dass es ein grosses CO₂-Reduktionspotenzial gibt, auch wenn im Strommix heute oder in Zukunft gewisse fossile Anteile enthalten bleiben.

Erneuerbarer Strom ist Voraussetzung für das Netto-Null-Ziel

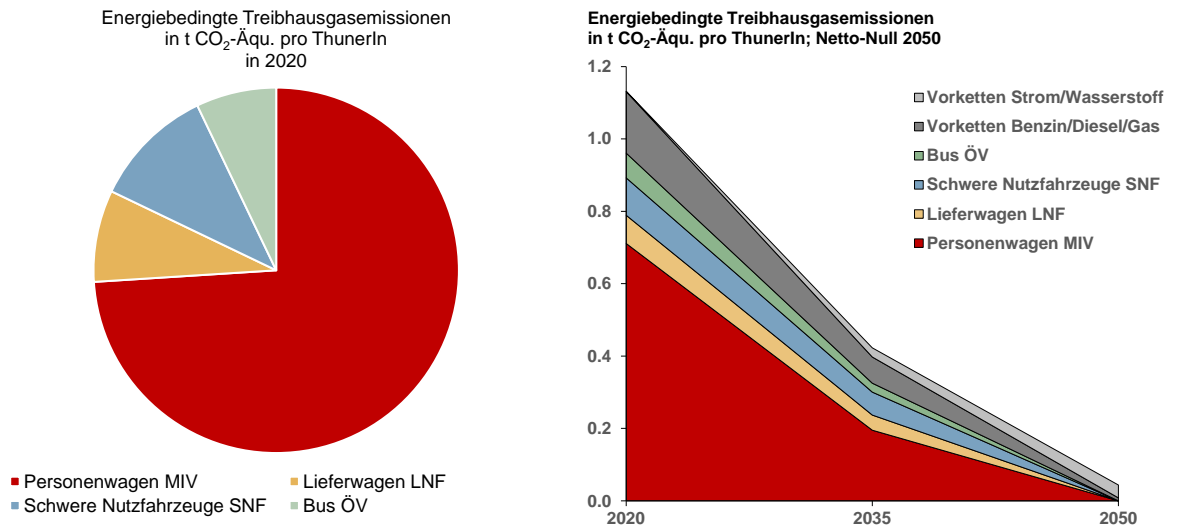


Abbildung 39 Anteile der Fahrzeugkategorien an den CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs in der Stadt Thun im Jahr 2020 (links) und Entwicklung der CO₂-Emissionen (Scope 1 und 2) bis 2050.

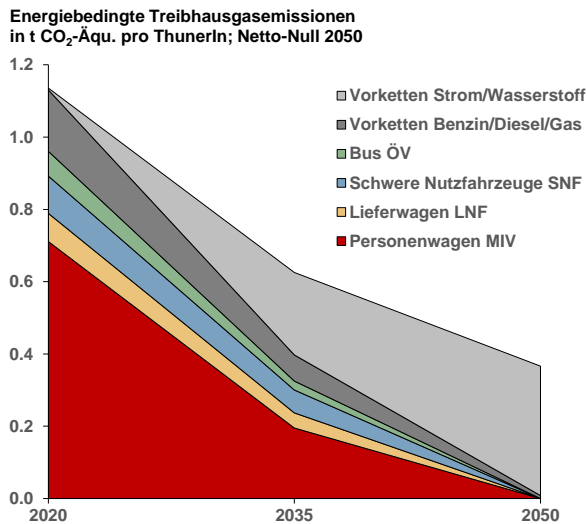


Abbildung 40 Sensitivität: Entwicklung der CO₂-Emissionen (Scope 1 und 2) bis 2050 mit Einsatz von Strom aus Gaskraftwerken für die Elektromobilität

Energiebedarf des Strassenverkehrs

Abbildung 41 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs des Strassenverkehrs in der Stadt Thun je Energieträger und Fahrzeugkategorie von 2020 bis 2050. Der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen kann bis 2050 um rund 90% reduziert werden. Insbesondere im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge bleibt 2050 ein Restbedarf in der Grössenordnung von 10-12 GWh pro Jahr, welcher durch biogene oder synthetische Treibstoffe aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann. Der Strombedarf des Strassenverkehrs der Stadt Thun steigt bis 2035 markant auf rund 30 GWh pro Jahr an, dabei dominieren die Personenwagen die Nachfrage deutlich. Bis 2050 steigt der

Deutlicher Anstieg des Stromverbrauchs

Strombedarf der Elektromobilität auf insgesamt über 50 GWh jährlich. Dabei nimmt nach 2035 der Anteil der leichten und schweren Nutzfahrzeuge am Stromverbrauch deutlich zu. Der Wasserstoffbedarf für den Strassenverkehr der Stadt Thun steigt bis 2035 nur sehr langsam auf eine jährliche Nachfrage von rund 1 GWh an. Von 2035 bis 2050 steigt der Wasserstoffbedarf, insbesondere aufgrund der Nachfrage der schweren Nutzfahrzeuge, sprunghaft an und erreicht 2050 rund 8 GWh jährlich. Die Gasnachfrage wird von Personenwagen dominiert und steigt langfristig langsam an. Der Gasbedarf des Strassenverkehrs liegt 2050 bei rund 5 GWh. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels muss dieses Gas aus biogenen Quellen stammen oder synthetisch mit erneuerbaren Energien hergestellt werden.

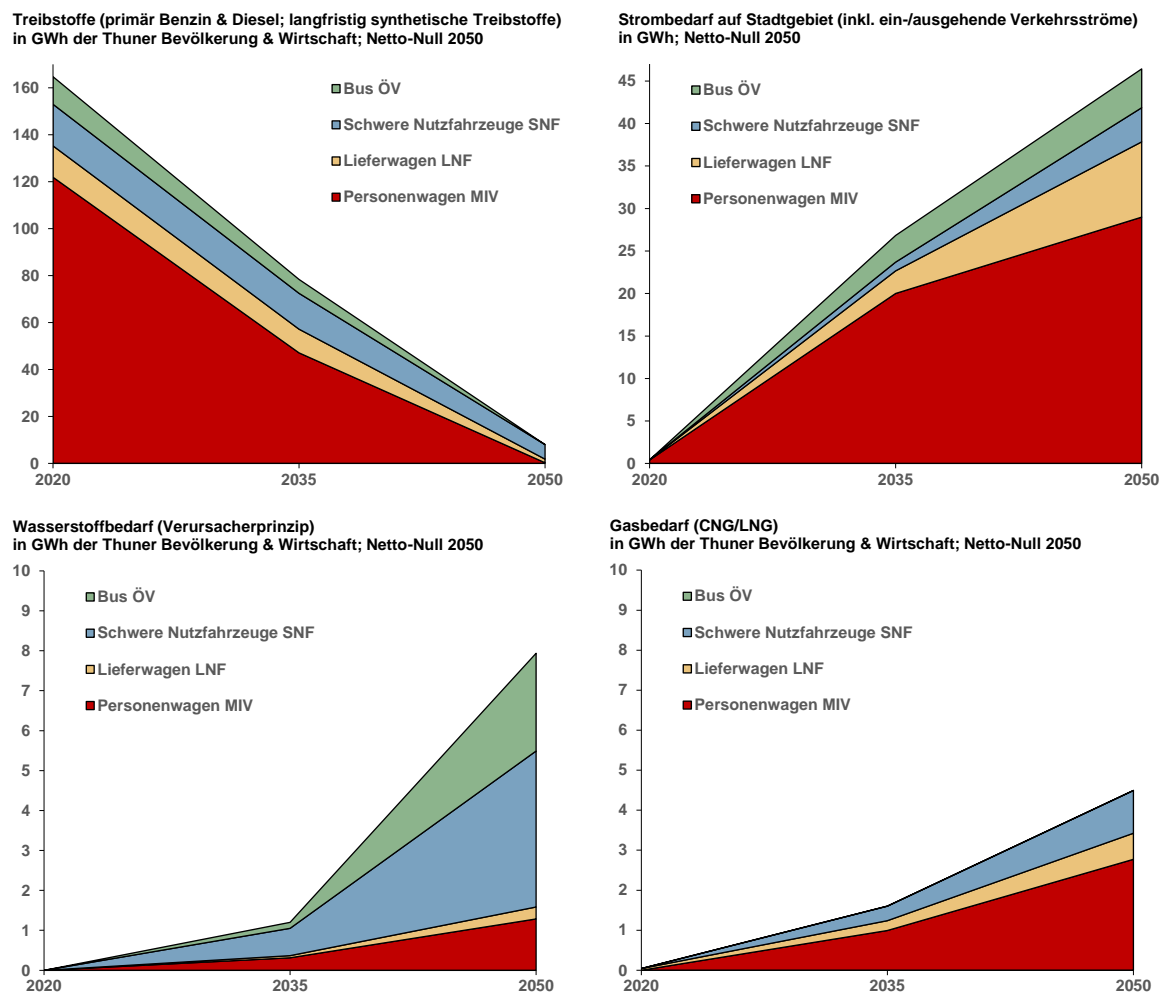


Abbildung 41 Entwicklung des Treibstoffbedarfs (links oben), des Strombedarfs (rechts oben), des Wasserstoffbedarfs (links unten) und des Gasbedarfs (rechts unten) je Fahrzeugkategorie in der Stadt Thun im Netto-Null-Szenario bis 2050.

Räumlicher Bedarf an Ladeinfrastruktur der Elektromobilität in Thun

In der Folge wird das räumliche Ladeaufkommen der Elektromobilität im Bereich der Personenwagen und leichten Nutzfahrzeuge dargestellt. Zudem wird der Bedarf für Ladeinfrastruktur für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge in der Stadt Thun abgeleitet.

Wie in Abbildung 42 ersichtlich, sind mittel- und langfristig in der Stadt Thun Home & Work Charging die wichtigsten Ladestationstypen (rund 75% des gesamten Ladevolumens) mit einem Ladebedarf von zusammen rund 20 GWh im Jahr 2035, respektive rund 40 GWh im Jahr 2050. Work Charging ist dabei insbesondere aufgrund der leichten Nutzfahrzeuge wichtiger als Home Charging.

Work Charging wichtigster Ladestationstyp

Die Unterschiede zwischen den Leistgebieten der Stadt Thun sind beachtlich (siehe Abbildung 42). Während in Lauenen-Hofstetten-Ried, Dürrenast, Hohmad, Lerchenfeld, Neufeld und Goldwil das Heimladen bis zur Hälfte des gesamten Ladevolumens ausmacht (siehe auch Abbildung 43), dominiert in der Innenstadt, im Westquartier, im Militärgelände, in Allmendingen und Gwatt-Schoren-Buchholz das Laden am Arbeitsplatz mit mehr als der Hälfte des totalen Ladebedarfs.

Unterschiedliches Ladeverhalten zwischen den Leistgebieten

Abbildung 44 zeigt den Bedarf für private Ladestationen in der Stadt Thun. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels werden in der Stadt Thun bis im Jahr 2035 rund 6'300 private Heimladestationen und über 6'700 private Ladestationen bei Unternehmen installiert. Diese Anzahl verdoppelt sich in etwa bis 2050 nochmals.

Tausende private Ladestationen benötigt

Abbildung 45 zeigt das Potenzial für öffentliche Ladestationen in der Stadt Thun. Im Jahr 2020 waren in der Stadt Thun 29 öffentlich zugängliche POI-Ladestationen installiert und keine Schnellladestationen. Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels benötigt die Stadt Thun bis im Jahr 2035 über 160 POI- und rund 24 Schnellladestationen. Im Jahr 2050 beträgt der Bedarf rund 290 POI- und 40 Schnellladestationen. Zum Vergleich: in der Stadt Thun gibt es rund 14 konventionelle Tankstellen.

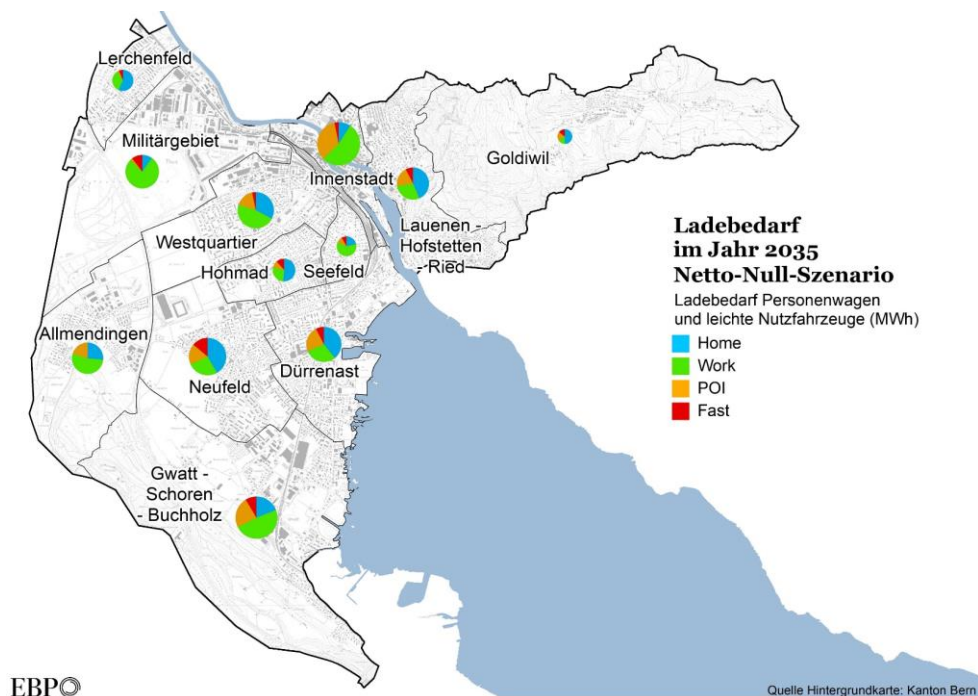
Öffentliche Ladestationen müssen ausgebaut werden

Insbesondere die Leistgebiete Innenstadt, Dürrenast, Neufeld, Allmendingen und Gwatt-Schoren-Buchholz zeigen einen hohen Bedarf für POI-Ladestationen, getrieben durch Besucher der Stadt Thun und Anwohner ohne private Parkplätze.

Gebiete mit grossem Bedarf an öffentlichen Ladestationen

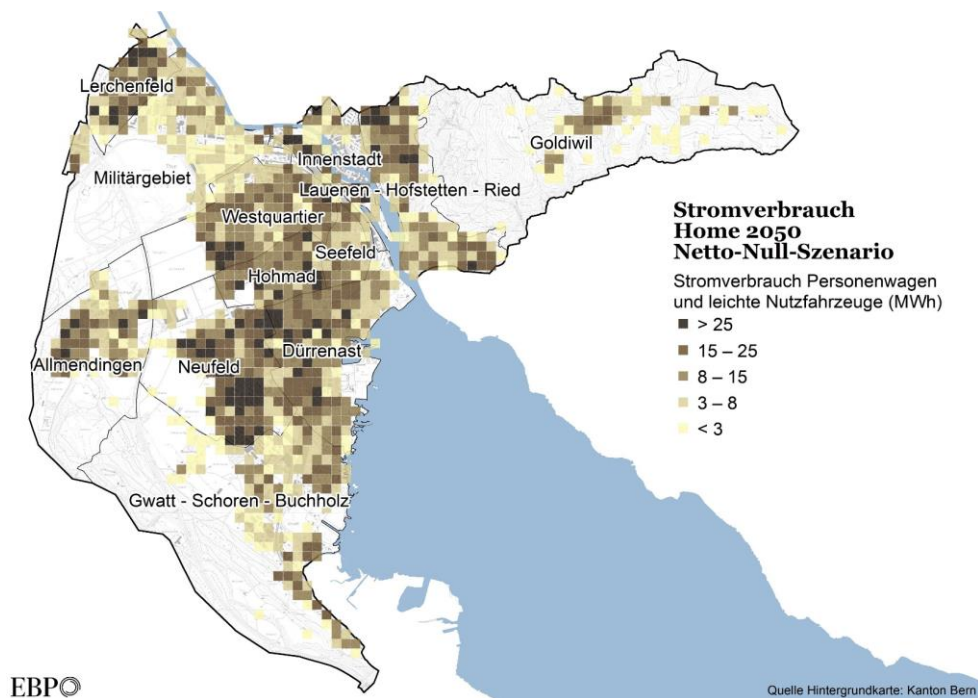
Schnellladestationen sind insbesondere in den Leistgebieten Neufeld und Gwatt-Schoren-Buchholz eine notwendige Ergänzung des Ladenetzes, welche die Marktdurchdringung seitens Elektromobilität beschleunigt.

Ergänzung des Ladenetzes durch Schnellladestationen



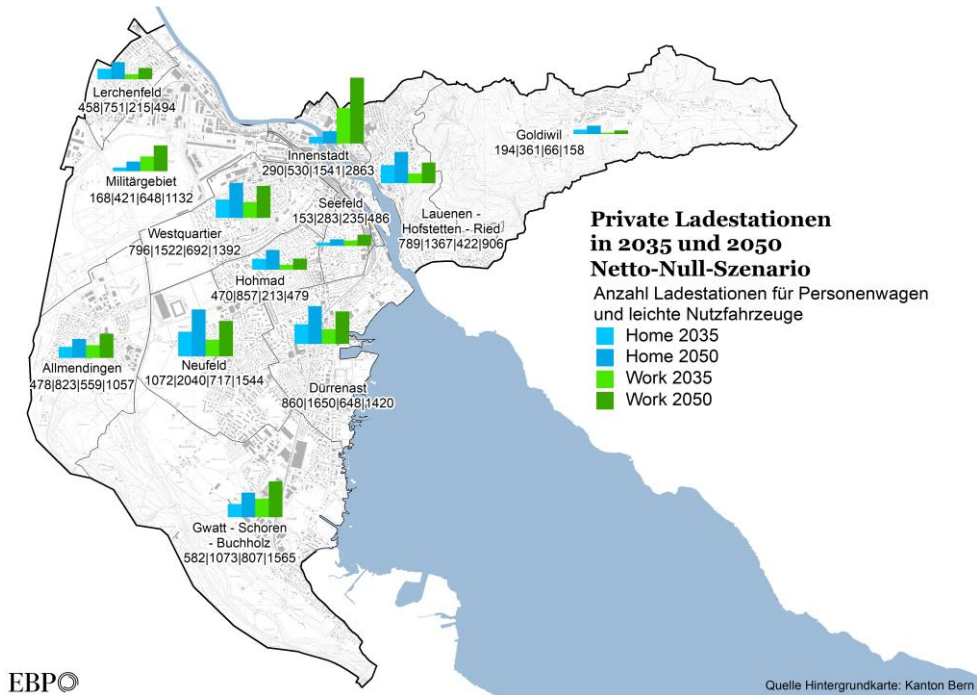
EBPO

Abbildung 42 Ladebedarf (inkl. externe Fahrzeuge) je Leistgebiet und unterteilt nach Ladestationsyp im Netto-Null-Szenario im Jahr 2035 in der Stadt Thun.



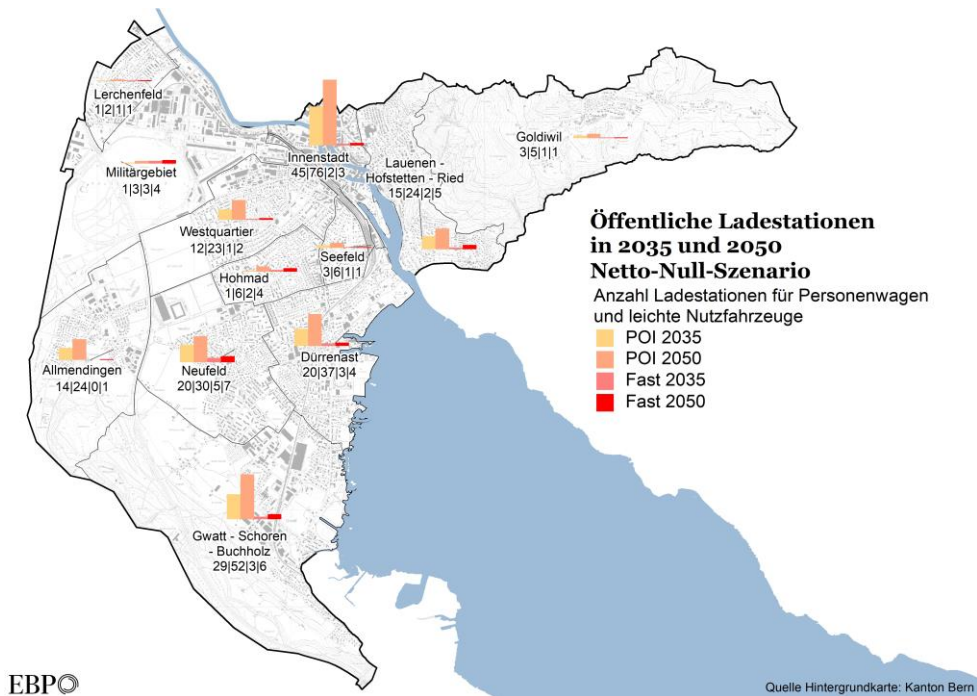
EBPO

Abbildung 43 Home-Ladebedarf im Jahr 2050 im Netto-Null-Szenario aggregiert auf Hektarraster in der Stadt Thun.



EBPO

Abbildung 44 Bedarf für private Ladestationen Home und Work in der Stadt Thun im Jahr 2035, respektive 2050 im Netto-Null-Szenario.



EBPO

Abbildung 45 Potenzial für öffentlich zugängliche Ladestationen in der Stadt Thun im Jahr 2035, respektive 2050 im Netto-Null-Szenario.

6.2.4 Erkenntnisse

Die Entwicklung des Netto-Null-Szenarios für den Bereich Verkehr zeigt die Chancen und Potenziale einer klimaneutralen Entwicklung in der Stadt Thun auf, beleuchtet aber auch die Herausforderungen. Die wichtigsten Erkenntnisse sind im Folgenden aufgeführt:

- Das Ziel Netto-Null 2050 im Bereich Verkehr ist in der Stadt Thun erreichbar.
- Das Netto-Null-Szenario bedeutet eine grundlegende Transformation des Strassenverkehrs.
- Dies bedeutet eine wesentliche Reduktion des MIV über sinkenden Motorisierungsgrad und Reduktion MIV-km pro Kopf (rund 20% bis 2050), sowie konstanten Personenwagenbestand bis 2035 trotz Bevölkerungswachstum; zusätzlich Reduktion MIV-Anteil um ca. 5% zugunsten ÖV und aktive Mobilität.
- Der Bedarf nach flüssigen Treibstoffen kann über eine rasche und konsequente Elektrifizierung bis 2050 um rund 90% reduziert werden.
- Wichtige Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von öffentlichen Ladestationen in der Nähe des Wohnorts für Fahrzeughalter ohne private Parkplätze oder privater Lademöglichkeit.
- Die Stadt braucht politischen Konsens und ein Konzept bezüglich öffentlicher Ladestationen in Wohnzonen für Fahrzeughalter ohne private Parkplätze. Ohne Lademöglichkeiten in der Nähe des Wohnorts haben diese Fahrzeughalter keinen Zugang zur Elektromobilität und das Netto-Null-Ziel ist nicht zu erreichen.
- Das wirtschaftliche Potential liegt im Jahr 2035 bei über 160 POI-Ladestationen und rund 24 Schnellladestationen.
- Bis im Jahr 2050 steigt das wirtschaftliche Potential für POI-Ladestationen auf rund 290 und jenes von Schnellladestationen auf 40 Schnellladestationen.
- Strom aus erneuerbaren Energien bereitstellen (über 50 GWh) und Netzinfrastuktur vorbereiten
- Ein Restbedarf an flüssigen Treibstoffen bleibt insbesondere bei schweren Nutzfahrzeugen übrig. Diese gilt es mit biogenen oder synthetischen Treibstoffen aus erneuerbaren Energien bereitzustellen
- Förderung alternativer Antriebe bei Nutzfahrzeugen (LNF, SNF): Unterstützung Pilotprojekte, Investitionsbeiträge Fahrzeuge/ Infrastruktur
- Ein Konzept zu alternativen Antrieben der Busse (ÖV) soll die technische und finanzielle Machbarkeit aufzeigen.

6.3 Photovoltaikerzeugung

6.3.1 Datengrundlage

Die Modellierungen der Photovoltaikerzeugung basieren auf Daten zu schweizweiten Produktionspotenzialen von Dachflächen und Fassaden des Bundesamtes für Energie (sonnendach.ch und sonnenfassade.ch). Für jede Dach- und Fassadenfläche in der Schweiz können aus diesem Datensatz unter anderem Standort, Winkel, Ausrichtung und Grösse der Fläche, die Sonneneinstrahlung und die Stromproduktion einer etwaigen Photovoltaikanlage abgerufen werden. In der Stadt Thun gibt es rund 100'000 einzelne Dach- und Fassadenflächen auf 9'831 Gebäuden, die theoretisch zur Stromproduktion genutzt werden könnten. Nicht alle davon eignen sich jedoch effektiv, es müssen weitere Kriterien wie die Effizienz der Anlage (Sonneneinstrahlung pro m²), der Ortsbildschutz und bauliche Einschränkungen berücksichtigt werden.

Potenzielle Dächer
und Fassaden für
PV

6.3.2 Methode

Annahmen

Folgende Annahmen wurden basierend auf der Methode von Sonnendach und Sonnenfassade getroffen:

- Nicht die ganze verfügbare Fläche kann effektiv genutzt werden: Bei Dächern sind durchschnittlich 70 % der Fläche nutzbar, bei Fassaden 50 %.
- Die kleinsten Flächen wurden ausgeschlossen: Dachflächen mit einer Grösse von unter 10 m² und Fassadenflächen mit einer Grösse von unter 20 m² wurden nicht berücksichtigt.

Weiter wurden folgende Annahmen getroffen:

- Ein Kilowatt Peak (kWp) installierte Leistung benötigt eine Panelfläche von 5.5 m².
- In Gebieten mit Ortsbildschutz wird der Bau von Anlagen ausgeschlossen.
- Heutige Photovoltaik- und Solarthermieanlagen werden nicht berücksichtigt.
- Auf allen Flachdächern werden aufgeständerte Anlagen mit einer Ost-West-Ausrichtung und einer Neigung von 15° installiert.
- Die Auswahl von Dach- und Fassadenflächen für die Nutzung zur Photovoltaikproduktion geschieht nach dem Kriterium der Sonneneinstrahlung pro m² Dach- oder Fassadenfläche. Die am besten geeigneten Flächen werden zuerst gewählt.

Produktionsziel 120 GWh für die Stadt Thun

Um die Auswirkungen des Ausbaus der Photovoltaik auf die Stromproduktion und das Verteilnetz abzuschätzen, wurde ein Zielwert für die Photovoltaik-Produktion in der Stadt Thun auf Basis eines Schweizer Produktionsziels definiert.

Zielwert für PV-Produktion basiert auf Schweizer Ziel

Als schweizweites Produktionsziel wurde von einem Wert von 30 TWh Jahresproduktion aus Photovoltaik für das Jahr 2050 ausgegangen. Dieser Wert entspricht den Annahmen in der Studie Winterstrom Schweiz¹³ und einem Bericht zur Sicherstellung der Stromversorgung von Swissolar¹⁴ und liegt leicht unter dem Zielwert von 34 TWh, welcher in den Energieperspektiven 2050+ des Bundes im Jahr 2020 definiert wurde¹⁵. Daraus abgeleitet ergibt sich unter Berücksichtigung der Daten von Sonnendach und Sonnenfassade für die Stadt Thun ein Produktionsziel von 120 GWh für das Jahr 2050. Für das Jahr 2035 ergibt sich unter Berücksichtigung der bereits installierten Photovoltaik-Anlagen mit einer Jahres-Produktion von 9.1 GWh auf einer linearen Ausbaukurve ein Zwischenziel von rund 63 GWh.

120 GWh aus Photovoltaik in Thun

Basisszenario (Basis)

Basierend auf den obigen Annahmen und den Produktionszielen für die Jahre 2035 und 2050 wurde berechnet, auf welchen Dach- und Fassadenflächen Photovoltaik-Anlagen installiert werden müssten, um die Produktionsziele zu erreichen. Dabei wurden die am besten geeigneten Dach- und Fassadenflächen zur Maximierung der Jahresproduktion zuerst verwendet. Das Resultat der Modellierungen waren je ein Datensatz für die Jahre 2035 und 2050 mit allen zur PV-Produktion ausgewählten Dach- und Fassadenflächen mit Informationen zur Grösse, Ausrichtung und Neigung der Fläche, sowie der Jahresstromproduktion und installierten Leistung der PV-Panels.

Eignungsanalyse von Dach- und Fassadenflächen

Szenario «Winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» (Winter)

Analog zum Basisszenario wurde berechnet, auf welchen Dach- und Fassadenflächen Photovoltaik-Anlagen installiert werden müssten, um die gleichen Produktionsziele 63 GWh (2035) und 120 GWh (2050) wie im Basisszenario zu erreichen. Dabei wurden die am besten geeigneten Dach- und Fassadenflächen zur Maximierung der Winterproduktion zuerst verwendet. Als Winterproduktion wird die im Winterhalbjahr (Oktober bis März) produzierte Strommenge aus Photovoltaik bezeichnet. Gegenüber dem Basisszenario werden im Winterszenario vermehrt Fassadenanlagen umgesetzt. Das Resultat der Modellierungen waren je ein Datensatz für die Jahre 2035 und 2050 mit allen zur PV-Produktion ausgewählten Dach- und Fassadenflächen.

Maximierung der Winterproduktion aus Photovoltaik

13 EnergieSchweiz (2019): Studie Winterstrom Schweiz

14 Swissolar (2020): Stromversorgung sicherstellen

15 BFE (2020): Energieperspektiven 2050+

6.3.3 Resultate

Stromproduktion und installierte Leistung

Da im Jahr 2019 in der Stadt Thun erst 9.1 GWh Strom durch Photovoltaik-Anlagen produziert wurden, ist zur Erreichung der Zielwerte von 63 GWh im Jahr 2035 sowie 120 GWh 2050 ein massiver Ausbau der PV-Produktion erforderlich (Abbildung 46). Um diese Strommenge zu produzieren, werden im Jahr 2035 eine installierte Leistung von 63 MW und im Jahr 2050 127 MW benötigt (Abbildung 47).

Deutlicher Ausbau nötig

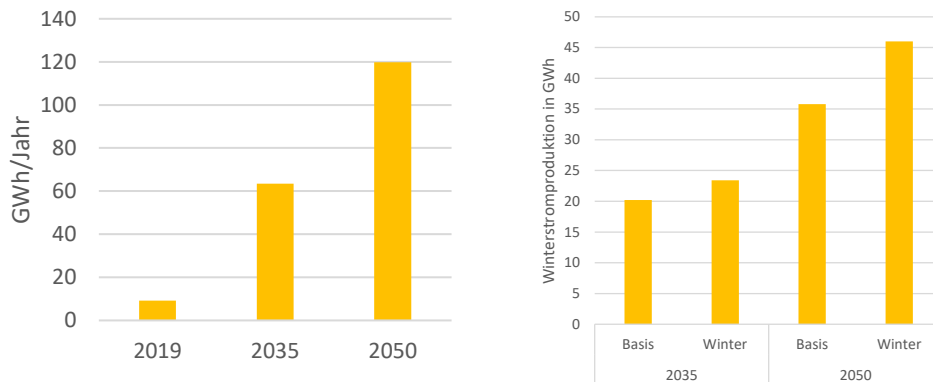


Abbildung 46 Links: Aktuelle und erwartete jährliche PV-Stromproduktion gemäss Produktionszielen. Rechts: Winterstromproduktion (Oktober bis März) in den Szenarien Basis und Winter.

Im Szenario «winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» wird die PV-Stromerzeugung gegenüber dem Basisszenario im Jahr 2035 um 16%, im Jahr 2050 um 28% erhöht (Abbildung 46). Dabei steigt die installierte Photovoltaikleistung im Jahr 2035 um lediglich 2%, im Jahr 2050 um rund 4% (Abbildung 47).

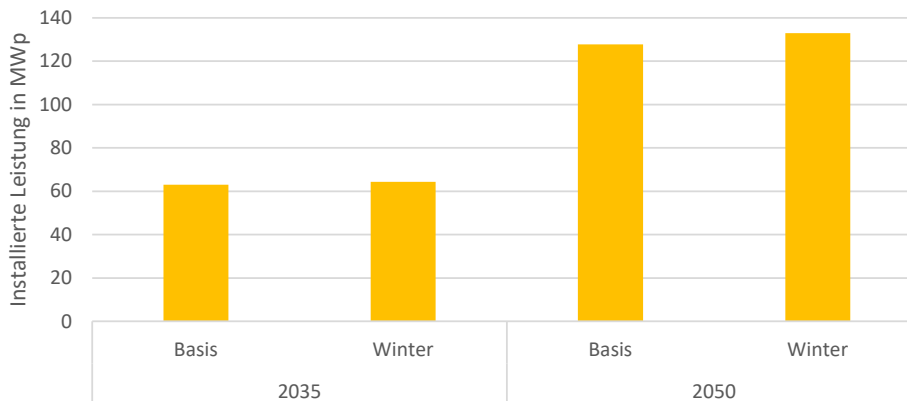


Abbildung 47 Installierte Leistung der Photovoltaikanlagen in Thun im Jahr 2035 und 2050 jeweils für beide Szenarien «Basis» und «Winter».

Anzahl Gebäude mit PV-Anlage

Unter Berücksichtigung des Ortsbildschutzes gibt es in der Stadt Thun rund 8'300 Gebäuden mit potentiell nutzbaren Dach- oder Fassadenflächen zur Produktion von Photovoltaik. Im Jahr 2035 ist bei 3780 Gebäuden (46%)

Zwei Drittel der Gebäude mit PV-Anlage im Jahr 2050

eine PV-Anlage installiert, im Jahr 2050 bei 5480 (66%). Im Szenario «winteroptimierte PV-Erzeugung» sind bis 2035 ähnlich viele Gebäude betroffen. Bis 2050 gibt es im Winterszenario dann aber auf drei Viertel der potentiell nutzbaren Gebäude, also bei ca. 6'400 Gebäuden eine Photovoltaikanlage (siehe Abbildung 48).

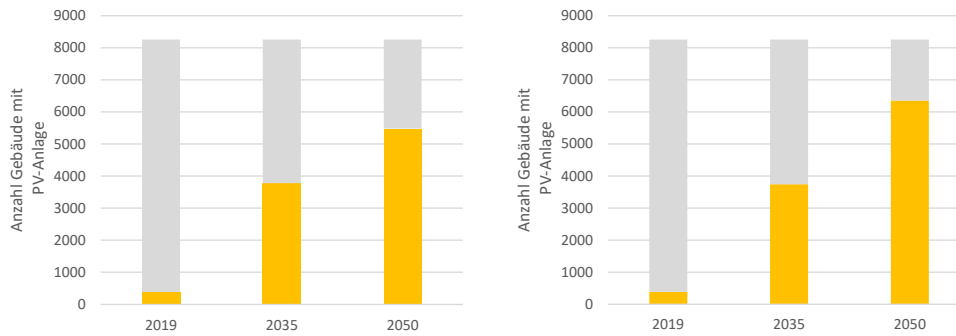


Abbildung 48 Anzahl Gebäude mit installierter PV-Anlage im Basisszenario (links) und im Szenario «winteroptimierte PV-Erzeugung» (rechts).

Durchschnittliche PV-Anlage

Während im Basisszenario sowohl im Jahr 2035 wie auch im Jahr 2050 nur Dachflächen (keine Fassadenflächen) zur Produktion von PV-Strom genutzt werden, werden im Winterszenario im Jahr 2035 16%, im Jahr 2050 sogar 33% des PV-Stroms von Fassadenflächen produziert.

PV-Anlagen an Fassaden nur im Winterszenario

Im Jahr 2035 hat eine durchschnittliche PV-Anlage pro Gebäude eine installierte Leistung von 17 kW im Basisszenario und rund 18 kW im Winterszenario. Dafür werden rund 92 m² Dachflächen benötigt. Dies entspricht knapp der Hälfte, der auf einem durchschnittlichen Gebäude zur Verfügung stehenden Dachfläche von rund 200 m².

Im Jahr 2050 sind pro Gebäude 23.5 kW Leistung installiert, dies entspricht einer PV-Panel-Fläche von 129 m² und damit einer Ausnutzung der vorhandenen Dachflächen von rund 65%. Im Szenario «winteroptimierte PV-Erzeugung» sind die durchschnittlichen PV-Anlagen mit 21 kW etwas kleiner.

Räumliche Verteilung der PV-Anlagen

Zur Erreichung des jährlichen Produktionsziels 2050 von 120 GWh werden praktisch überall im Siedlungsgebiet von Thun Photovoltaikanlagen erstellt. Im Szenario «winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» sind die Photovoltaikanlagen etwas weniger konzentriert als im Basisszenario (vergleiche Abbildung 49 und Abbildung 50). In den denkmalgeschützten Gebäuden der Innenstadt ist die Installation von PV-Anlagen ausgeschlossen.

Flächendeckende Photovoltaikerzeugung

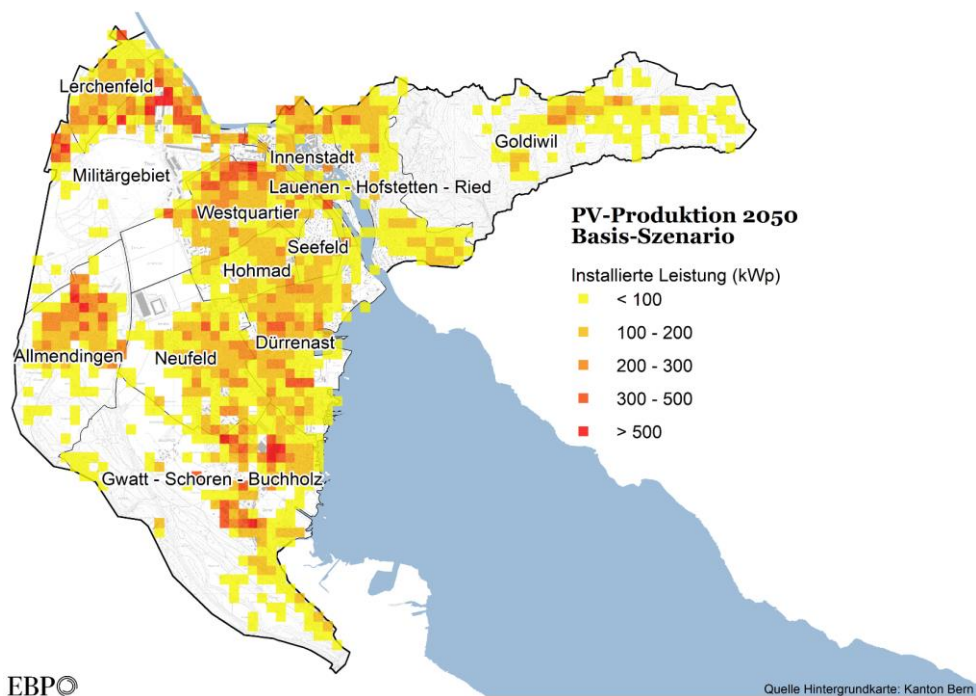


Abbildung 49 Installierte Anlagenleistung der Photovoltaikanlagen je Hektare (100 x 100 m) in der Stadt Thun im Basisszenario im Jahr 2050.

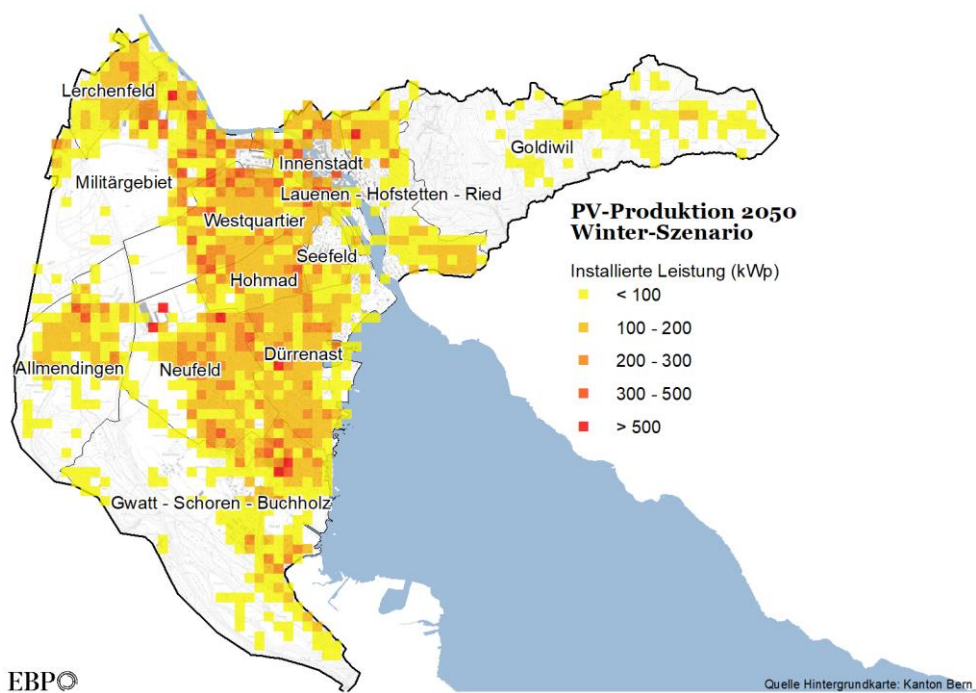


Abbildung 50 Installierte Anlagenleistung der Photovoltaikanlagen je Hektare (100 x 100 m) in der Stadt Thun im Szenario «winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» im Jahr 2050.

6.3.4 Erkenntnisse

Starker Ausbau der Photovoltaik

Damit die Stadt Thun ihr Ausbauziel von 120 GWh erreichen kann, ist ein starker Ausbau der Photovoltaik bis im Jahr 2050 nötig. Die Modellierungen zeigen, dass rund zwei Drittel der Gebäude ihre Dachflächen zu rund zwei Dritteln mit PV-Anlagen ausstatten müssen, damit das Ziel erreicht werden kann. Im Szenario «winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» wird sogar auf drei Viertel aller Gebäude eine Photovoltaikanlage installiert und es werden vermehrt Fassadenflächen einbezogen. Dies bedeutet, dass ein Bau von Photovoltaik-Anlagen optimalerweise bereits heute mit Blick auf das Ziel im Jahr 2050 eine möglichst hohe Ausnutzung der Flächen erreichen sollte. Andernfalls müssen Anlagen zu einem späteren Zeitpunkt um- oder ausgebaut werden oder weniger geeignete Flächen zusätzlich mit PV-Anlagen bebaut werden, damit das Ziel im Jahr 2050 erreicht werden kann.

Schon heute Planung für 2050 nötig

Winteroptimierte Photovoltaikerzeugung

Ein Grossteil des Stroms wird durch Photovoltaikanlagen im Sommer produziert. Im Basisszenario fallen nur 30% der Jahresstromerzeugung aus Photovoltaik im Winterhalbjahr zwischen Oktober und März an. Im Szenario «winteroptimierte Photovoltaikerzeugung» kann der Winteranteil dank Fassadenanlagen auf knapp 40% erhöht werden.

Mehr Winterstromproduktion dank Fassadenanlagen

7. Gasversorgung Netto-Null-2050

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden die Auswirkungen des Netto-Null-Szenarios auf die Gasversorgung und das Gasverteilnetz in der Stadt Thun vertieft. Dieses Kapitel enthält eine kurze Zusammenfassung der angewendeten Methode und der wichtigsten Resultate und Erkenntnissen. Die erarbeiteten Detailanalysen sind nicht öffentlich.

7.1 Datengrundlagen und Methode

Die Basis für die Analyse war das räumlich feinaufgelöste Netto-Null-Szenario für die Wärmeversorgung und die entsprechende Gasabsatzentwicklung von knapp 200 GWh im Jahr 2020 auf knapp 90 GWh im Jahr 2050. Die Resultate des Netto-Null-Szenarios liegen gebäudescharf vor und konnten somit direkt mit den Leitungen des Gasverteilnetzes räumlich verbunden werden.

Die Analyse fokussierte auf die Versorgungsleitungen als Gas-Verteilnetz in der Stadt Thun, siehe Abbildung 51. Andere Leitungen sind Hauptleitungen und Anschlussleitungen. Über die Hauptleitungen ist das Gasnetz in der Stadt Thun mit dem schweizerischen Gasnetz verbunden. Über die Anschlussleitungen sind die Verbraucher in Thun mit dem übergeordneten Netz verbunden. Der Betrachtungsperimeter fokussierte zudem auf die Stadt Thun, die Gasversorgung in den anliegenden Gemeinden wurde nicht analysiert.

Netto-Null-Szenario für die Wärmeversorgung als Grundlage

Gegenstand der Analyse: Gas-Verteilnetz in der Stadt Thun

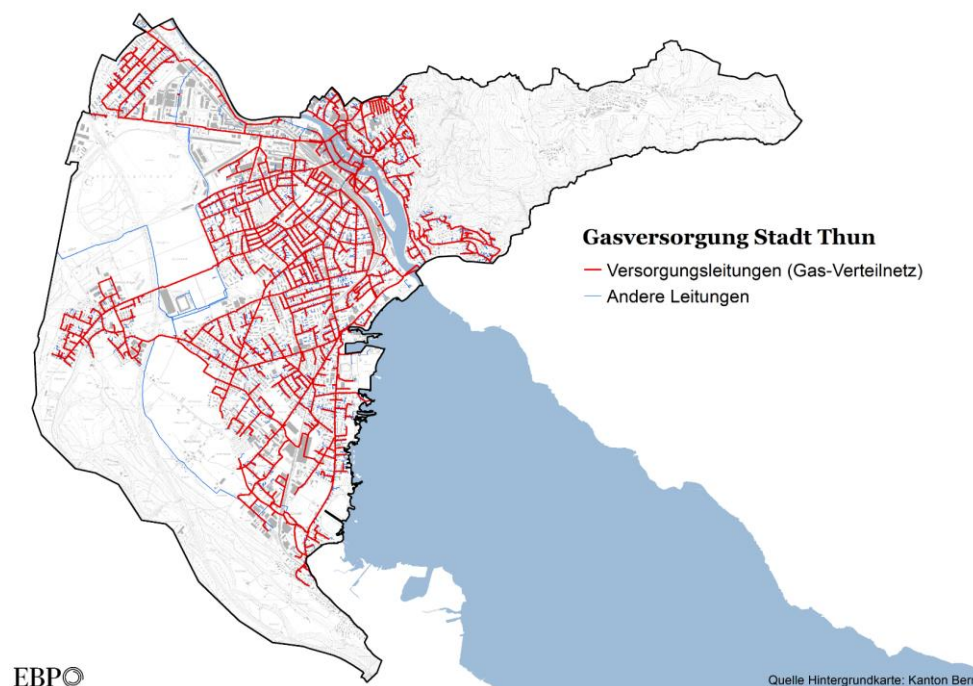


Abbildung 51 Leitungen des Gasnetzes in der Stadt Thun

Die Analyse der Auswirkungen auf das Gasnetz erfolgte in enger Abstimmung mit der Festlegung des Netto-Null-Szenarios für die Wärmeversorgung. Als Indikator für die Auswirkungen auf das Gasnetz diente die erwartete künftige Entwicklung des Netznutzungsentgelts. Abbildung 52 zeigt die angewendete Methode in der Übersicht:

- Der erste Schritt umfasst die Methoden, Annahmen und Resultate zur Entwicklung der Wärmeversorgung. Diese sind in Kapitel 6.1 detailliert beschrieben.
- Im zweiten Schritt wurde der Erneuerungsbedarf des Gasnetzes für alle einzelnen Leitungsabschnitte bestimmt. Grundlagen für diese Einschätzung des Erneuerungsbedarfs waren Baujahr und Material der Leitungsabschnitte und Annahmen zur technischen Lebensdauer.
- Im dritten Schritt wurde die künftige Entwicklung des Netznutzungsentgelts berechnet, als Indikator um die Auswirkungen auf das Gasnetz einzuschätzen. Die Entwicklung des Netznutzungsentgelts wurde einerseits für das gesamte Netz auf dem Gebiet der Stadt Thun und andererseits für einzelne Netzgebiete vorgenommen. Diese Netzgebiete bezeichnen Gebiete mit ähnlicher Struktur der Gas- und Wärmeversorgung. Sie wurden für die vorliegende Analyse gemeinsam mit Energie Thun festgelegt.
- Das Netto-Null-Szenario für die Wärmeversorgung wurde anhand der Auswirkungen auf das Gasnetz iterativ weiterentwickelt und festgelegt. Im Verlauf dieser Arbeiten wurden auch weitere mögliche Entwicklungen vertieft. Konkrete Projekte zur Wärme- und Kälteversorgung flossen in die Analyse ein (KVA-Fernwärme und ein möglicher Wärme- und Kälteverbund Aarefeld). Zudem wurde die Entwicklung für 45 Grossverbraucher detailliert eingeschätzt.

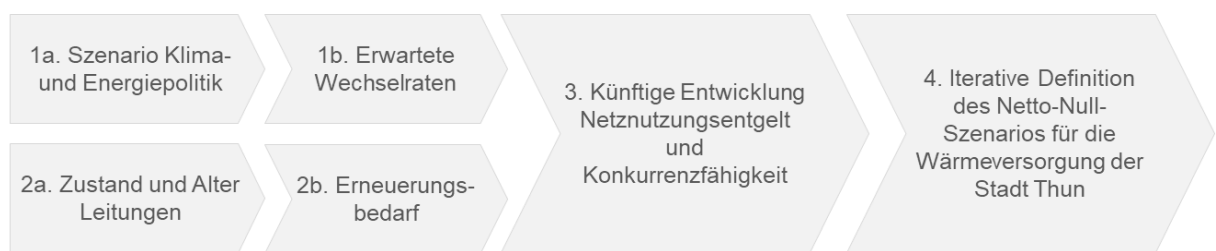


Abbildung 52 Methodisches Vorgehen zur Betrachtung der Auswirkungen auf das Gasverteilsnetz

7.2 Resultate und Erkenntnisse

Im Folgenden werden die zwei wichtigsten übergeordneten Erkenntnisse der Analyse zusammengefasst. Die erarbeiteten Detailanalysen sind nicht öffentlich.

Zeitlich besteht wenig dringlicher Handlungsbedarf bezüglich der strategischen Entwicklung des Gasnetzes, da der Erneuerungsbedarf im Gasverteilnetz auf Stadtgebiet Thun bis 2050 gering ist. Der Erneuerungsbedarf bestimmt, wann Investitionen ins Gasnetz fällig werden. Der Erneuerungsbedarf wurde auf Basis von Baujahr und Material der Leitungen sowie Annahmen für die technische Lebensdauer pro Material bestimmt. Abbildung 53 zeigt, dass für weniger als ein Fünftel der Leitungslänge mit einer Ersatzinvestition bis 2065 gerechnet werden muss. Für 80% der Leitungslänge muss erst 2065 und später mit einer Ersatzinvestition gerechnet werden. Diese Auswertung zeigt, dass das Gasnetz in Thun zumindest mittelfristig ohne hohe Investitionen genutzt werden kann.

Zeitliche Handlungsfreiheit zur strategischen Entwicklung des Gasnetzes

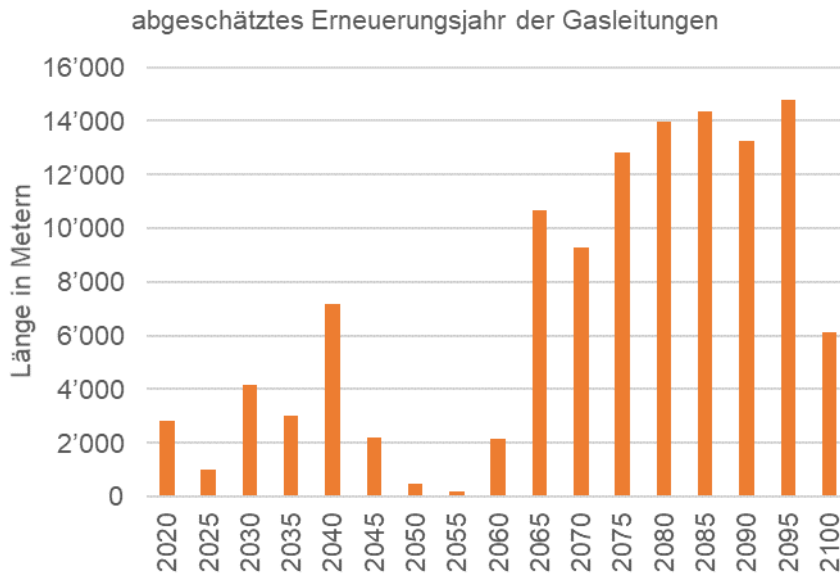


Abbildung 53 Erneuerungsbedarf der Gasleitungen in der Stadt Thun gemäss ihrer technischen Lebensdauer

Um die Auswirkungen des Netto-Null-Szenarios auf das Gasverteilnetz einzuschätzen, wurde die künftige Entwicklung des Netznutzungsentgelts abgeschätzt. Ein Hauptresultat ist, dass die heutige Ausdehnung des Gasnetzes nicht kompatibel ist mit der erwarteten Entwicklung des Gasabsatzes. Dies ist eine direkte Folge des erwarteten Rückgangs des Gasabsatzes im Netto-Null-Szenario von heute knapp 200 GWh auf 150 GWh im Jahr 2035 und knapp 90 GWh im Jahr 2050. Als Folge ist das Gasverteilnetz auf Gebiete zu fokussieren, in welchen auch langfristig ein genügender Gasabsatz erwartet wird. Das vorliegende Projekt zeigt, dass eine solche Fokussierung möglich ist und liefert Grundlagen für diese strategische Entwicklung des Gasnetzes.

Heutige Ausdehnung des Gasnetzes nicht kompatibel mit Netto-Null

Auf Basis der Projektergebnisse stehen folgende Handlungsempfehlungen im Vordergrund:

Handlungsempfehlungen

- Das Projekt liefert vertiefte Grundlagen für die strategische Entwicklung des Gasnetzes, fokussiert sich jedoch räumlich ausschliesslich auf das Gebiet der Stadt Thun. Energie Thun betreibt eine überkommunale Gasversorgung. Für die strategische Entwicklung des gesamten Gasnetzes ist die Ausgangslage, Struktur und künftige Entwicklung der Wärmeversorgung in den versorgten Nachbargemeinden ebenfalls zu beachten. Es wird deshalb empfohlen, die in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen für die strategische Entwicklung des Gasnetzes für das gesamte Gasnetz von Energie Thun zu erarbeiten.
- Zum jetzigen Zeitpunkt ist es sehr herausfordernd, konkrete Aussagen zur künftigen Entwicklung des Gasnetzes zu machen. Unsicherheiten bestehen hinsichtlich der Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen, konkreter Projekte der Wärme- und Kälteversorgung (wie bspw. der Verbund Aarefeld) und dem tatsächlichen Verhalten der Wärmeverbraucher. Es wird deshalb empfohlen, die strategische Entwicklung des Gasnetzes als rollende Planung umzusetzen, welche die Entwicklung der politischen Rahmenbedingungen und die tatsächliche Absatzentwicklung berücksichtigt.
- Für das Netto-Null-Ziel 2050 muss die Gasversorgung im Jahr 2050 ausschliesslich mit erneuerbarem Gas erfolgen. Im beschriebenen Netto-Null-Szenario sind 2050 knapp 90 GWh erneuerbares Gas einzusetzen. Es ist frühzeitig sicherzustellen, dass in Zukunft genug erneuerbares Gas zur Verfügung steht.

8. Auswirkungen auf das Stromsystem der Stadt Thun

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen des Netto-Null-Szenarios auf das Stromsystem der Stadt Thun analysiert. Es orientiert sich an den folgenden zwei Fragestellungen:

Fragestellung

- Welche Auswirkungen hat die Umsetzung des Netto-Null-Ziels auf das Stromsystem und das Stromverteilnetz der Stadt Thun?
- Welche Smart City Massnahmen können die Auswirkungen des Netto-Null-Ziels auf das Stromsystem minimieren und welche Handlungsempfehlungen lassen sich daraus ableiten?

Basis für die Analyse sind die räumlich feinaufgelösten Netto-Null-Szenarien für Wärmepumpen, Elektromobilität und Photovoltaik (siehe Kapitel 6).

8.1 Datengrundlage

Um die Auswirkungen des Netto-Null-Ziels auf das Stromsystem und das Stromverteilnetz zu quantifizieren, wurden einzeln für alle Gebäude der Stadt Thun stündliche Lastprofile und Photovoltaik-Einspeiseprofile für die Jahre 2035 und 2050 modelliert.

Räumlich feinaufgelösten Netto-Null-Szenarien als Basis

Weiter wurden die realen 15-minütigen Erzeugungsdaten der KVA und der Aarewerke von Energie Thun in die Analyse miteinbezogen.

Basis dafür waren der Stromverbrauch im Jahr 2019 je Gebäude sowie die räumlich feinaufgelösten Szenarien für Photovoltaik, Wärmepumpen und Elektromobilität (gemäss Kapitel 6).

Als Datengrundlage wurde der Entwurf des Wirkungscontrolling Richtplan Energie verwendet¹⁶. Durch den Zusammenschluss von verschiedenen Datenquellen und realen Stromabsatzzahlen von Energie Thun für das Jahr 2019 liegt für jedes Gebäude der Stadt Thun der Gesamtstromverbrauch sowie der Stromverbrauch für Wärmepumpen vor. Für die künftigen Stromverbräuche der Wärmepumpen und Elektromobilität sowie die Stromerzeugung aus Photovoltaik in den Jahren 2035 und 2050 werden Modelldaten (siehe Kapitel 6) genutzt. Die Fortschreibung des allgemeinen Stromverbrauchs (ohne Wärme und Elektromobilität) wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Einheitliche Datengrundlage

Allgemeiner Stromverbrauch

Der allgemeine Stromverbrauch ist der Stromverbrauch, der nicht zur Wärmeerzeugung (Wärmepumpen, Elektroheizungen, Elektroboiler) oder für die Elektromobilität verwendet wird.

Definition

Zur Berechnung des allgemeinen Stromverbrauchs pro Gebäude wurde der zur Wärmeerzeugung verwendete Strom (Wärmepumpen, Elektroheizungen und Elektroboiler) vom Gesamtstromverbrauch je Gebäude abgezogen. Für die Jahre 2035 und 2050 wurde von einer leichten Zunahme des allgemeinen Stromverbrauchs in Entwicklungsgebieten und einzelnen Industriearealen

Stromverbrauch je Gebäude

16 Syntas & Energie hoch drei AG (Entwurf; Stand 2021). Wirkungscontrolling Richtplan Energie

ausgegangen, welcher durch allgemeine Stromeffizienzmassnahmen leicht überkompensiert wird. Es wird angenommen, dass der allgemeine Stromverbrauch gegenüber 2019 in der Stadt Thun bis 2050 leicht um 8% abnimmt.

Für die durch die BKW versorgten Gebiete der Stadt Thun lag nur ein Gesamtwert des Stromabsatzes vor. Im durch die BKW versorgten Militärgebiet wurde die Annahme getroffen, dass der Stromabsatz von ca. 20 GWh gleichmässig auf alle Hektaren des Gebiets verteilt ist. Im Stadtgebiet Goldwil, welches ebenfalls durch die BKW versorgt wird, wurde der Strombedarf von ca. 3.4 GWh relativ zum Wärmebedarf auf die Gebäude verteilt.

Durch BKW versorgten Gebiete

Eine Menge von 6.6 GWh konnte, basierend auf den vorhandenen Datengrundlagen, räumlich nicht einem bestimmten Gebäude oder einer bestimmten Hektare zugeordnet werden. Dieser Strombedarf, wie beispielsweise für die öffentliche Beleuchtung, ist also nicht in die räumlichen Berechnungen eingegangen und wurde erst in der Jahresgesamtbilanz wieder berücksichtigt.

Abgrenzung

Referenzwitterung: Wetterjahr 2012

Für die stündlichen Verbrauchs- und Erzeugungsprofile 2035 und 2050 wurde das Wetterjahr 2012 verwendet. Abbildung 54 zeigt den Temperatur- und Sonnenscheinverlauf in Bern im Jahr 2012. Das Wetterjahr 2012 war insgesamt durchschnittlich temperiert, allerdings mit einer intensiven Kälteperiode Anfang Februar. Zudem war das Wetterjahr 2012 sonnenscheinreich, insbesondere auch im März.

Intensive Kälteperiode und viel Sonne

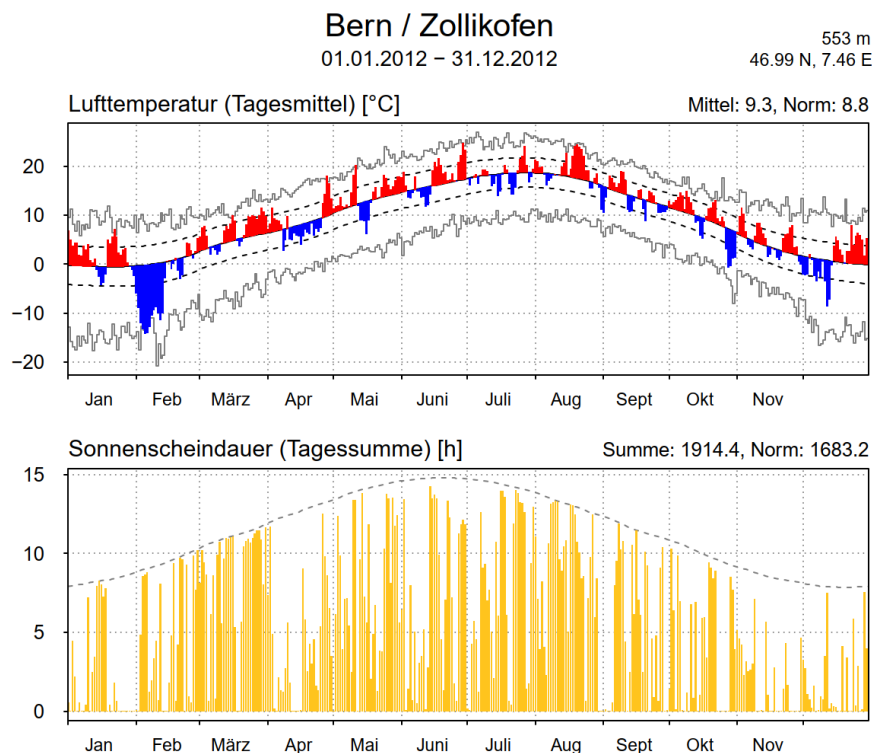


Abbildung 54 Temperaturprofil und Sonnenscheindauer für das Jahr 2012 am Standort Bern

8.2 Methode

8.2.1 Gebäudescharfe stündliche Last- und Erzeugungsprofile

Basierend auf den oben beschriebenen Datengrundlagen und Informationen zu den Gebäuden auf Stadtgebiet Thun wurden stündliche Last- und Erzeugungsprofile für jedes Gebäude erstellt. In Entwicklungsgebieten, wo eine Aggregation der Last- und Erzeugungsprofile auf Ebene Gebäude nicht möglich war, wurden die Profile auf Ebene Hektarraster modelliert.

Stündliche Last- und Erzeugungsprofile für jedes Gebäude

Lastprofile allgemeiner Stromverbrauch

Die stündlichen Lastprofile des allgemeinen Stromverbrauchs je Gebäude wurden anhand von standardisierten Lastprofilen in Abhängigkeit des Gebäudetyps (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Gewerbe und Industrie), des Wochentags (Abfolge der Wochentage gemäss Referenzwetterjahr 2012) und der Jahreszeiten (Winter, Sommer, Übergangsjahreszeit) generiert. Die Lastprofile wurden so skaliert, dass der gegebene Stromverbrauch je Gebäude für das Jahr 2019 erreicht wurde.

Standardisierte Lastprofile

Lastprofile Wärmepumpen

Für jedes Gebäude mit Wärmepumpe wurde ein stündliches Lastprofil für die Jahre 2035 und 2050 generiert. Dieses wurde in Abhängigkeit der folgenden Faktoren berechnet:

Individuelle Wärmepumpenprofile für jedes Gebäude

- Jahresstromverbrauch der Wärmepumpe (MWh)
- Installierte Wärmepumpenleistung (kW)
- Energiebezugsfläche (EBF) des Gebäudes (m²)
- Coefficient of Performance (COP) der Wärmepumpe
- Stündliches Temperaturprofil am Standort Thun
- Stündliche solare Gewinne am Standort Thun (externe Wärmegewinne)

Für das Temperaturprofil und die solaren Gewinne wurden stündliche Witterungsdaten aus dem Jahr 2012 verwendet. Das Jahr 2012 war insgesamt durchschnittlich temperiert, hatte aber eine überdurchschnittliche Anzahl Sonnenstunden und eine intensive Kältewelle Anfang Februar zu verzeichnen (siehe als Vergleich Abbildung 54). Mit der Wahl der Witterungsdaten aus dem Jahr 2012 können die Effekte einer intensiven Verwendung von Wärmepumpen auf das Stromverteilnetz beobachtet werden.

Lastprofile Elektromobilität

Die Lastprofile der einzelnen Ladevorgänge wurden für die Jahre 2035 und 2050 pro Gebäude modelliert. Die Ladeleistung ist dabei abhängig von der installierten Ladeleistung und der Aufnahmeleistung des Fahrzeugs. An welchen Standorten 2035 und 2050 überhaupt Ladevorgänge zu erwarten sind, wird durch die Modellierung der Elektromobilität in Kapitel 6.2 definiert. Dabei gehen wir davon aus, dass Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser mit Baujahr nach 1990 fast immer eine private Heimplademöglichkeit haben. Ältere Mehrfamilienhäuser haben keine private Heimplademöglichkeit und laden an öffentlichen Ladestationen in unmittelbarer der Nähe ihres Wohnorts.

Modellierung einzelner Ladevorgänge

Die angebotene Ladeleistung definiert die maximale Ladeleistung und damit die Dauer des Ladevorgangs. Im privaten Bereich wird mit geringerer

Ladeleistungen je Ladestationstyp

Ladeleistung geladen, die Ladevorgänge dauern länger. Im öffentlichen Bereich wird mit höherer Ladeleistung geladen, die Ladevorgänge sind kürzer. Je Ladestation wird zwischen einer langsamen und einer schnellen Variante unterschieden (Tabelle 20). Es wird angenommen, dass die Ladeleistung aufgrund des Kundenbedürfnisses und der technischen Möglichkeit bis 2035 stetig zunimmt, in dem häufiger die «schnelle» Variante beim Ladevorgang verfügbar ist.

Ladestationstyp	Langsame Variante	Schnelle Variante
Heimladestation (Home)	3.7 kW	11 kW
Private Ladestation bei Unternehmen (Work)	11 kW	22 kW
Öffentliche Ladestationen (Point of Interest: POI)	22 kW	50 kW
Schnellladestationen (Fast)	100 kW	150 kW

Tabelle 20 Installierte Ladeleistung je Ladestationstyp.

Die folgenden Punkte sind die wichtigsten Faktoren zur Bestimmung der Ladeprofile:

- Fahrzeug-Kategorie (32 Kategorien bezüglich Batteriegrösse und Aufnahmeleistung)
 - Typ der Ladestation in jeweils einer schnellen und einer langsamen Variante (Home, Work, Point of Interest, Fast).
 - Typische Ankunftszeiten an den verschiedenen Ladestationstypen geben den Startpunkt des Ladevorgangs vor
 - Fahrleistung und Batteriegrösse definieren die Länge des Ladevorgangs
- Entstanden sind minutenscharfe Lastprofile über ein gesamtes Jahr für die Jahre 2035 und 2050, welche auf stündliche Lastprofile aggregiert wurden.

Stündliche Lastprofile Gesamtstromverbrauch

Die stündlichen Lastprofile des Gesamtstromverbrauchs je Gebäude ergeben sich aus der Summe der stündlichen Lastprofile des allgemeinen Stromverbrauchs, der Lastprofile für Wärmepumpen und Elektromobilität je Gebäude.

Definition Gesamtstromverbrauch

Erzeugungsprofile Photovoltaik

Sonnendach und Sonnenfassade¹⁷ stellen eine Abschätzung der jährlichen Stromproduktion jeder Dach- und Fassadenfläche in der Schweiz zur Verfügung. Für die Modellierungen des vorliegenden Projektes wurde jeder dieser Dach- und Fassadenflächen in Thun ein stündliches Produktionsprofil, in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigungswinkel, zugeordnet. Die dafür verwendeten zwanzig Produktionsprofile wurden aus dem Photovoltaik Geographical Information System der EU entnommen¹⁸. Die Produktionsprofile sind

Zwanzig verschiedene PV-Produktionsprofile

17 BFE, MeteoSchweiz, swisstopo (2020): Sonnendach und Sonnenfassade. [Link](#).

18 EU. PVGIS. [Link](#).

in Abhängigkeit der Witterung spezifisch für den Standort Thun im Jahr 2012, gehen von einer Nutzung von kristallinen Silizium-Photovoltaikzellen aus und rechnen mit einem Systemverlust von 14%. Das gewählte Produktionsprofil wurde schliesslich auf die erwartete Jahreserzeugung von Sonnendach und Sonnenfassade hochgerechnet. Die Erzeugungsprofile aller installierten Photovoltaikpanels auf Dach- und Fassadenflächen wurden pro Gebäude aggregiert.

8.2.2 Kenngrössen zur Beschreibung des Stromsystems

Die dezentrale Erzeugung von Photovoltaikstrom kann direkt im Gebäude des Erzeugungsstandortes genutzt werden. Da die Stromerzeugung aus Photovoltaik und der Stromverbrauch nicht immer zeitgleich anfallen, wird der Grossteil des dezentral produzierten Photovoltaikstroms in das Verteilnetz eingespeist und dann im Quartier, anderswo in der Stadt Thun oder auch ausserhalb der Stadt Thun genutzt. Um diese Zusammenhänge möglichst nahe an der Realität abzubilden wird das Stromsystem der Stadt Thun in stündlicher Auflösung für die Jahre 2035 und 2050 modelliert. Dazu wurden ebenfalls die Produktionsdaten der KVA und der Aarewerke von Energie Thun beigezogen. Für die Jahre 2035 und 2050 wurden die unveränderten Produktionsprofile des Jahres 2012 (Referenzwetterjahr) verwendet.

Stromsystem der Stadt Thun wird in stündlicher Auflösung für die Jahre 2035 und 2050 modelliert

Die Auswirkungen des Netto-Null-Ziels auf das Stromsystem der Stadt Thun lassen sich mit folgenden Kenngrössen beschreiben:

- **Eigenverbrauch (Photovoltaikstrom):** Der Eigenverbrauch gibt den Anteil an der Photovoltaikerzeugung an, welcher direkt im Gebäude verbraucht wird. Der Photovoltaik-Strom wird in jenen Stunden «eigenverbraucht», in denen die produzierte Menge kleiner oder gleich gross ist wie der Gesamtstromverbrauch im Gebäude der Photovoltaikerzeugung.
- **Netzeinspeisung** Photovoltaikstrom: Die «Überproduktion» der Photovoltaikerzeugung nach Abzug des Eigenverbrauchs wird ins Netz eingespeist. Die Netzeinspeisung ist der Anteil, welcher nicht direkt im Gebäude der Photovoltaikerzeugung verbraucht wird.
- **Solarstromanteil (aus Eigenverbrauch):** Der Photovoltaik-Anteil des Gesamtstromverbrauchs, welcher zeitgleich im Gebäude des Photovoltaik-Erzeugungsstandorts eigenverbraucht wird.
- **Netzbezug:** Der Anteil am Gesamtstromverbrauch eines Gebäudes, welcher nach Abzug des Eigenverbrauchs aus dem Netz bezogen wird.
- **Solarstromanteil:** Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher durch eine zeitgleiche Photovoltaik-Erzeugung irgendwo in der Stadt Thun gedeckt werden kann.
- **Eigenversorgungsgrad:** Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher durch eine zeitgleiche Stromerzeugung in der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) gedeckt werden kann.

- **Importanteil:** Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun, welcher nicht durch eine zeitgleiche Stromerzeugung in der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) gedeckt werden kann und entsprechend importiert werden muss.
- **Eigenerzeugungsanteil:** Der Anteil der Gesamtstromerzeugung der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten), welcher durch eine zeitgleiche Stromnachfrage in der Stadt Thun direkt gebraucht wird.
- **Exportanteil:** Der Anteil der Gesamtstromerzeugung der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten), welcher nicht durch eine zeitgleiche Stromnachfrage in der Stadt Thun gebraucht wird und entsprechend exportiert werden muss.

Die oben aufgeführten Kenngrößen werden zu Monats- und Jahreswerten aggregiert. Basis dafür ist immer die Stundensimulation des Stromsystems.

Aggregation zu Monats- und Jahreswerten

In der Folge werden zuerst die Resultate zur Auswirkung des Netto-Null-Szenarios auf das Stromsystem der Stadt Thun gezeigt. Die Resultate werden aggregiert auf das ganze Stadtgebiet und gesondert auf Ebene der Leistgebiete der Stadt Thun gezeigt. Analysiert wurden jeweils für alle Resultate die Jahre 2035 und 2050.

8.2.3 Smart City Massnahmen Stromsystem

Um den Herausforderungen des Netto-Null-Ziels für das Stromsystem der Stadt Thun zu begegnen, wurden auf Basis der Netto-Null-Modellierungen in den Bereichen Gebäude, Elektromobilität und Photovoltaik drei Smart City Massnahmen simuliert und quantifiziert. Diese wurden aus dem Smart City Wheel von Boyd Cohen abgeleitet¹⁹ und sollen als Beispiele für mögliche smarte Massnahmen dienen. Das schlussendliche Ziel ist, dass das gesamte Energiesystem smart betrieben wird und auch im Rahmen der Energie- und Klimastrategie weitere Massnahmen in Anlehnung an das Smart City Wheel festgelegt werden können.

Simulation von drei Massnahmen

Die Tabelle 21 gibt einen Überblick über das Netto-Null-Szenario und die drei untersuchten Smart City Massnahmen im Stromsystem. Die winteroptimierte Photovoltaikerzeugung ist bereits detailliert im Kapitel 6.3 «Photovoltaik» beschrieben. Die zwei weiteren Smart City Massnahmen werden in der Folge kurz beschrieben.

19 Smart City Hub (2020). Smart City Wheel von Boyd Cohen. [Link](#).

Kurzbeschreibung	Stromverbrauch	Wärmepumpen	Elektromobilität	Photovoltaik
Netto-Null-Szenario (Basis) Szenario zur Erreichung des Netto-Null-Ziels in der Stadt Thun	Leichte Abnahme des allgemeinen Stromverbrauchs, deutliche Zunahme Gesamtstromverbrauch durch Wärmepumpen und Elektromobilität	Starker Ausbau der Wärmepumpen bereits 2035; Ersatz bestehender Elektroheizungen; wärmegeführte Lastprofile	Ungesteuertes Laden mit verfügbarer Ladeleistung; Ladevorgang beginnt bei Ankunftszeit	63 GWh (2035); 120 GWh (2050) Jahresproduktion; die besten Standorte zur Maximierung der <u>Jahresproduktion</u> werden genutzt; Netzeinspeisung nach Abzug Eigenverbrauch
Smart City Massnahme «wineroptimierte PV-Produktion» Zubau der PV in der Stadt Thun gemäss Optimierung der Winterproduktion. Gemäss Kapitel 6.3 «Photovoltaik»	gemäss Basisszenario	gemäss Basisszenario	gemäss Basisszenario	63 GWh (2035); 120 GWh (2050) Jahresproduktion; die besten Standorte zur Maximierung der <u>Winterproduktion</u> werden genutzt; Netzeinspeisung nach Abzug Eigenverbrauch
Smart City Massnahme «Solarbatterien» Zunehmender Einsatz von Solarbatterien bei PV-Anlagen zur Erhöhung des Eigenverbrauchs	Der Stromverbrauch bleibt insgesamt gleich, allerdings sinkt der Netzbezug aufgrund höherem Solarstromanteil (höherer Eigenverbrauch)	gemäss Basisszenario	gemäss Basisszenario	gemäss Basisszenario; Eigenverbrauch steigt aufgrund der Solarbatterien und damit sinkt die Netzeinspeisung.
Smart City Massnahme «Peak-Shaving der PV-Erzeugung» PV-Anlagen sind auf 70% ihrer installierten Leistung limitiert (Vorgaben am Wechselrichter).	Der Stromverbrauch bleibt insgesamt gleich, allerdings verändert sich der Netzbezug aufgrund Veränderungen beim Solarstromanteil	gemäss Basisszenario	gemäss Basisszenario	PV-Anlagen gemäss Basisszenario, allerdings bei leicht geringerer Produktion. Veränderung des Eigenverbrauchs und damit der Netzeinspeisung.

Tabelle 21 Überblick über das Netto-Null-Szenario, die Sensitivität Gasnetz und die drei untersuchten Smart City Massnahmen.

Smart City Massnahme «Solarbatterien»

Heimspeichersysteme im Zusammenhang mit Photovoltaik (Segment Privatkunden), sogenannte Solarbatterien, werden immer häufiger eingesetzt. Die Untersuchung dieser Massnahme analysiert, inwieweit Solarbatterien den Eigenverbrauch erhöhen und den Netzbezug reduzieren können und ob sie aus gesamtsystemischer Sicht wertvoll sind für das künftige Stromsystem der Stadt Thun.

Heimspeichersysteme im Zusammenhang mit Photovoltaik

Die Massnahme wird wie folgt modelliert:

- Im Jahr 2035 haben 25% der PV-Anlagen eine Solarbatterie.
- Im Jahr 2050 haben 50% der PV-Anlagen eine Solarbatterie.

- Die Solarbatterien haben eine Kapazität von 1 kWh pro installierte kW der Photovoltaikanlage.
- Dies entspricht einer gesamthaften Solarbatteriespeicherkapazität in der Stadt Thun von 16 MWh im Jahr 2035 und 64 MWh im Jahr 2050.
- Die Solarbatterien optimieren den Eigenverbrauch innerhalb eines Tages und werden über die Mittagszeit bei höchster PV-Leistung geladen und am Abend bei höchster Stromnachfrage entladen.

Smart City Massnahme «Peak-Shaving der Photovoltaikerzeugung»

Um Netzproblemen bei hoher Photovoltaikerzeugung zu vermeiden, kann die Nominalleistung der Photovoltaikanlagen, durch technische Vorgaben des Wechselrichters, auf einen zu definierenden Prozentsatz abgeregelt werden. In Deutschland werden Photovoltaikanlagen auf 70% ihrer Nominalleistung abgeregelt. Das führt zu einem Peak-Shaving der Photovoltaikerzeugung über die Mittagszeit und entlastet die Stromnetze. Allerdings reduziert sich dadurch die Stromproduktion der Photovoltaikanlagen. Die Untersuchung dieser Massnahme analysiert, inwieweit eine Abregelung der Photovoltaikanlagen auf 70% ihrer Nominalleistung, ein sogenanntes 70%-PV-Peak-Shaving, zur Entlastung des Stromnetzes beitragen kann.

Abregelung der Leistung der Photovoltaikanlagen

8.3 Resultate

Jahresbilanzen

Im Netto-Null-Szenario erhöht sich die jährliche Stromerzeugung in der Stadt Thun von heute rund 116 GWh auf rund 170 GWh (+47%) im Jahr 2035 und verdoppelt sich bis 2050 gegenüber 2019 auf über 220 GWh (+96%), siehe Abbildung 55. Photovoltaik wird bereits im Jahr 2035 eine ähnliche Jahresstromproduktion vorweisen wie die KVA und bis 2050 zum grössten Stromproduzent der Stadt Thun werden.

Verdoppelung der Jahresstromerzeugung in Thun

Der Gesamtstromverbrauch der Stadt Thun steigt im Netto-Null-Szenario von heute 217 GWh auf über 240 GWh (+12 %) bis 2035 und auf über 260 GWh (+22 % gegenüber 2018) im Jahr 2050.

Deutlicher Anstieg des Gesamtstromverbrauchs in Thun

Der Strommehrverbrauch bis 2035 ist vor allem auf die zusätzlichen Wärmepumpen zurückzuführen. Wie in Abbildung 55 ersichtlich lag der wärmebedingte Strombedarf im Jahr 2018 bei rund 18 GWh jährlich, wobei 7 GWh auf Elektroheizungen entfiel. Unter der Annahme der starken Durchdringung der Wärmepumpen und einem kompletten Ersatz aller Elektroheizungen verdoppelt sich der wärmebedingte Stromverbrauch in der Stadt Thun bis 2035 auf knapp 40 GWh jährlich. Die Elektromobilität (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge) erhöhen den Stromverbrauch bis 2035 um weitere 22 GWh jährlich.

2035 dominieren Wärmepumpen, 2050 Elektrofahrzeuge

Im Jahr 2035 machen die Wärmepumpen 16% und die Elektromobilität 9% des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun aus. In Gebieten mit hoher Dichte an Wärmepumpen (z.B. Dürrenast, Lerchenfeld, Lauenen-Hofstetten-Ried oder Goldiwil) machen die Wärmepumpen im Jahr 2035 bereits bis zu einem Viertel des Gesamtstromverbrauchs aus. Insbesondere in Wohngebieten trägt die Elektromobilität im Jahr 2035 bereits bis zu 14% zum Gesamtstromverbrauch bei.

Wärmepumpendominierte Wohngebiete

Zwischen 2035 und 2050 ist mit einer weiter starken Zunahme des Strombedarfs für Elektromobilität zu rechnen. Im Jahr 2050 benötigt die Elektromobilität mit jährlich 45 GWh mehr als doppelt so viel als noch im Jahr 2035. Trotz weiterer Verbreitung der Wärmepumpen kann der Stromverbrauch für Wärme bis 2050 gegenüber 2035 leicht reduziert werden, sofern im Gebäudereich die im Netto-Null-Szenario vorgesehen Energieeffizienzmassnahmen (Gebäudedämmung) durchgeführt werden.

Starke Zunahme der Elektromobilität

Im Jahr 2050 machen die Wärmepumpen 13% und die Elektromobilität 17% des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun aus. Der Anteil der Wärmepumpen am Gesamtstromverbrauch liegt in Gebieten mit hoher Dichte an Wärmepumpen im Jahr 2050 bei rund 20%, in Gebieten mit verbreiteter leitungsgebundener Wärmeversorgung (Gas, Fernwärme) bei 10%. Die Elektromobilität macht insbesondere in Wohngebieten im Jahr 2050 bis zu 27% des Gesamtstromverbrauchs aus (siehe Abbildung 56).

Hohe Stromnachfrage in Wohngebieten

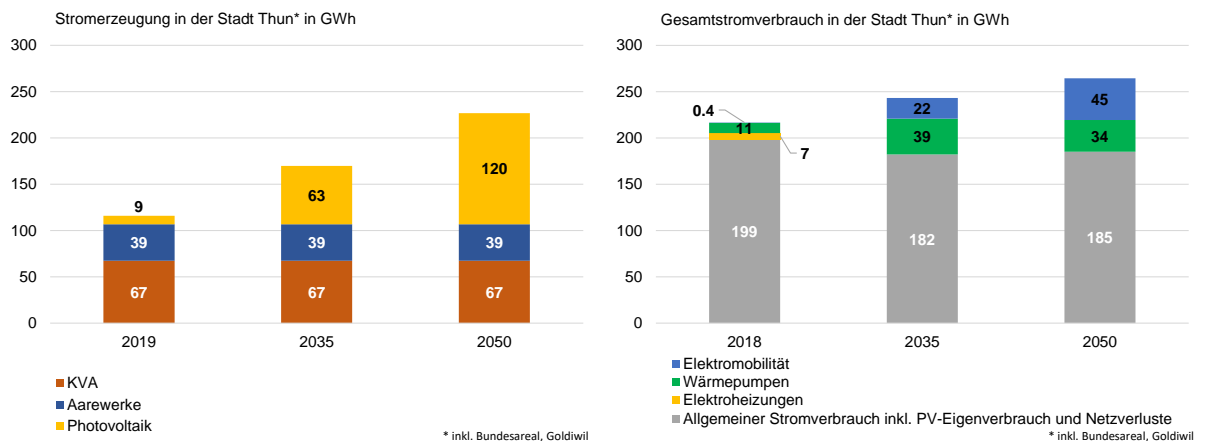


Abbildung 55 Stromezeugung (links) und Stromverbrauch (rechts) in der Stadt Thun.

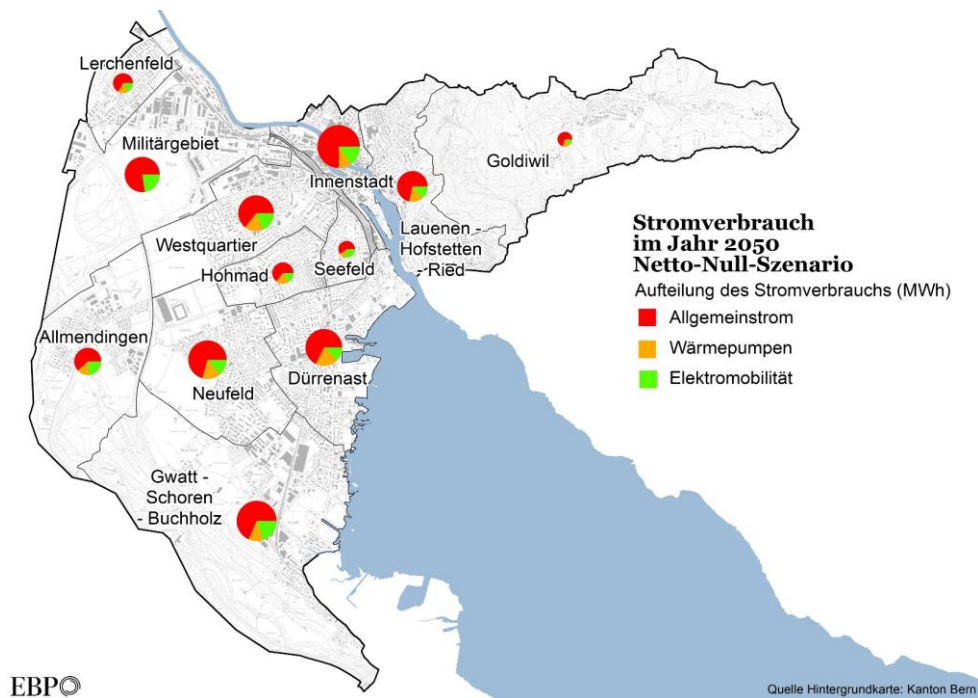


Abbildung 56 Stromverbrauch je Leistgebiet der Stadt Thun nach Anwendung im Netto-Null-Szenario im Jahr 2050.

Rund 30% des produzierten Photovoltaikstroms kann in der Stadt Thun zeitgleich im Gebäude des Erzeugungsstandorts eigenverbraucht werden (siehe Abbildung 57). Im Jahr 2035 sind das 19 GWh eigenverbraucher PV-Strom, im Jahr 2050 sind es rund 33 GWh. Zum Vergleich: im Jahr 2019 lag der PV-Eigenverbrauch bei rund 2 GWh.

Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaikerzeugung

Damit liegt der Solarstromanteil (aus Eigenverbrauch) am Gesamtstromverbrauch im Jahr 2035 bei 8%, im Jahr 2050 bei 12%. Sowohl 2035 als auch 2050 wird rund 90% des Stromverbrauchs aus dem Netz bezogen (Netzbezug). Im Jahr 2035 beträgt der Netzbezug 224 GWh pro Jahr, im Jahr 2050 232 GWh pro Jahr.

Solarstromanteil und Netzbezug

Der Löwenanteil (70%) des produzierten Photovoltaikstroms wird ins Verteilernetz abgegeben (Netzeinspeisung). Im Jahr 2035 beträgt die PV-Netzeinspeisung 44 GWh, im Jahr 2050 rund 87 GWh. Zum Vergleich: im Jahr 2019 betrug die PV-Netzeinspeisung rund 7 GWh.

Netzeinspeisung Photovoltaikerzeugung

In Wohngebieten mit geringem Stromverbrauch tagsüber liegt der Eigenverbrauchsanteil mit rund 25% etwas tiefer. Trotzdem liegt der Solarstromanteil am Gesamtstromverbrauch mit über 20% deutlich höher als in Gewerbe- und Industriezonen (z.B. Innenstadt und Militärgebiet). Dort liegt zwar der PV-Eigenverbrauchsanteil teilweise bei bis zu 50%, trotzdem macht der Solarstrom lediglich 6-8% des Gesamtstromverbrauchs aus (siehe Abbildung 58 und Abbildung 59).

Eigenverbrauchsanteil

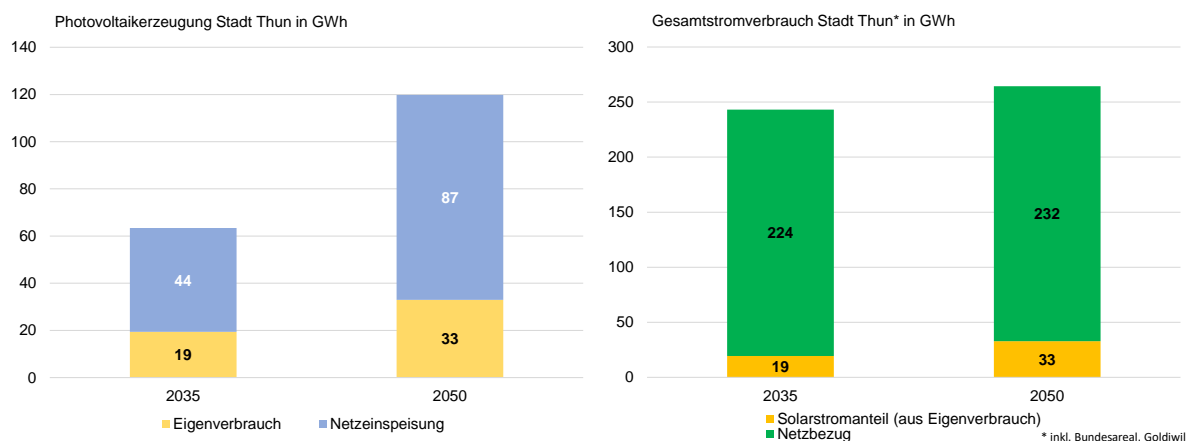


Abbildung 57 Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaikerzeugung (links) und Solarstromanteil (aus Eigenverbrauch) und Netzbezug am Gesamtstromverbrauch in der Stadt Thun (rechts).

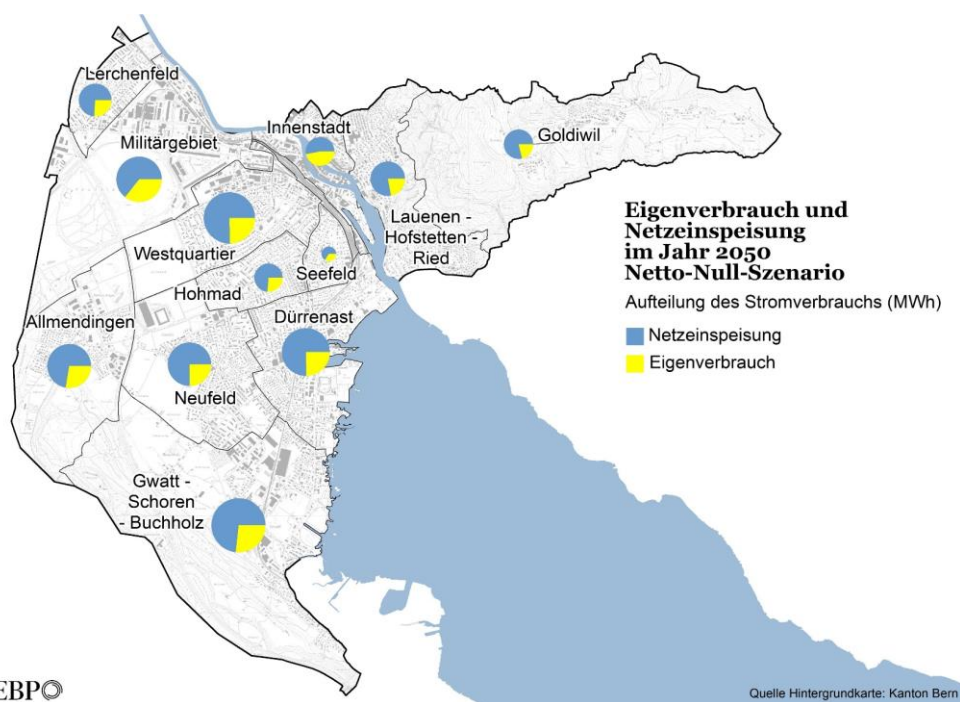


Abbildung 58 Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaikerzeugung im Jahr 2050 je Leistgebiet in der Stadt Thun.

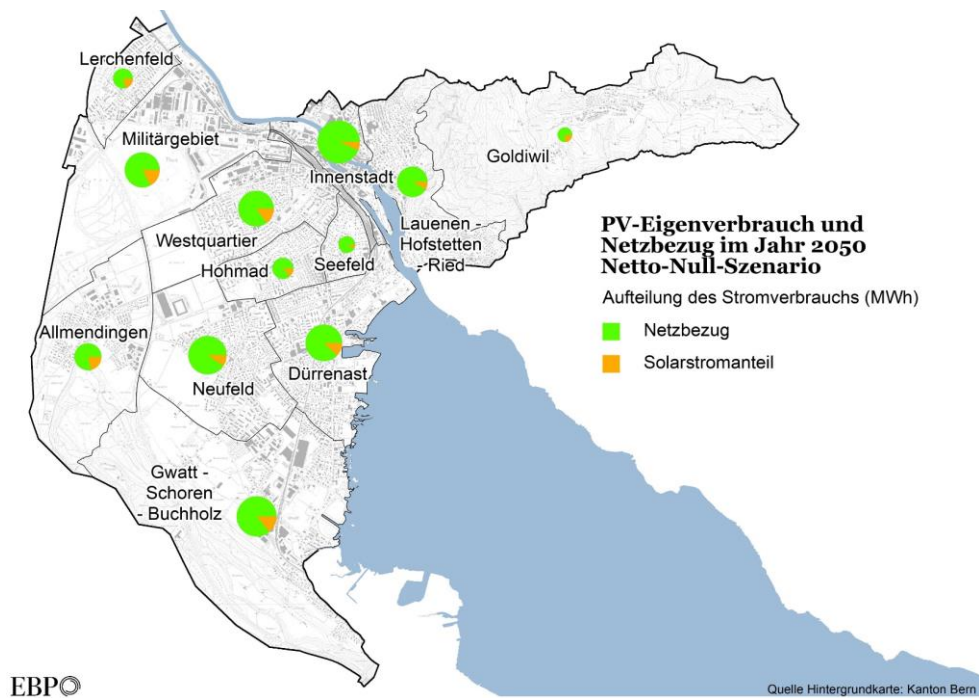


Abbildung 59 Solarstromanteil (aus Eigenverbrauch) und Netzbezug am Gesamtstromverbrauch im Jahr 2050 je Leistgebiet in der Stadt Thun.

Monatsbilanzen

Basis für die Monatsbilanzen ist die stündliche Simulation des Stromsystems der Stadt Thun im Jahr 2035 und 2050. Die Ungleichheit des Stromverbrauchs zwischen Winter- und Sommermonaten nimmt im Netto-Null-Szenario gegenüber heute (2018) deutlich zu. Wie in Abbildung 60 ersichtlich, führen Wärmepumpen und Elektromobilität in den Wintermonaten zu einem deutlichen Anstieg des Gesamtstromverbrauchs von bis zu 20% bis 2035 und bis zu 24% im Jahr 2050 gegenüber heute. In den Sommermonaten führt die Elektromobilität zu einem Mehrstromverbrauch von rund 6% bis 2035 und knapp 20% im Jahr 2050 gegenüber heute.

Ungleichheit des Stromverbrauchs zwischen Winter- und Sommermonaten nimmt zu

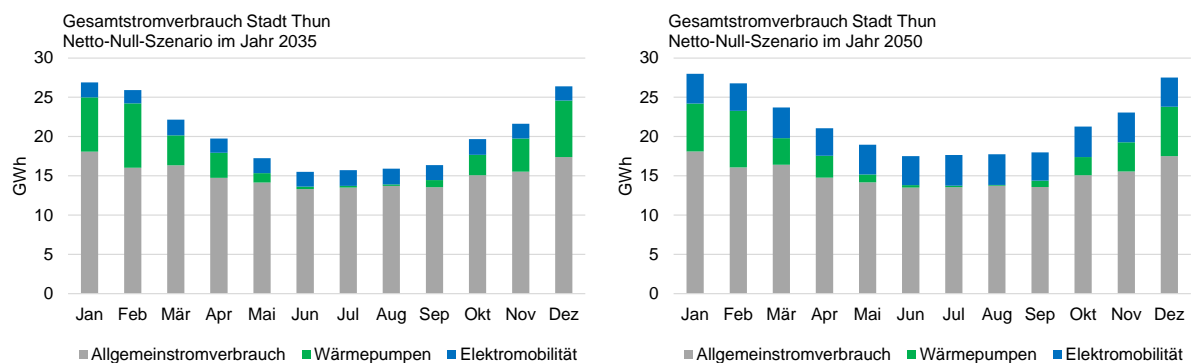


Abbildung 60 Monatlicher Stromverbrauch in der Stadt Thun im Jahr 2035 (links) und 2050 (rechts).

Die Jahreserzeugung aus Photovoltaik von 63 GWh im Jahr 2035 (siehe Kapitel 6.3) vermag in den Wintermonaten 7-14% des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Thun zeitgleich zu decken. In Kombination mit den bestehenden Erzeugungsanlagen KVA und Aarewerke von Energie Thun liegt der zeitgleiche Eigenversorgungsgrad in den Wintermonaten bei 35%.

Eigenversorgungsgrad der Stadt Thun im Winter 2035

Mit einer weiteren Verdoppelung der Photovoltaik-Jahreserzeugung bis 2050 kann der Solarstromanteil des Gesamtstromverbrauchs in den Wintermonaten auf 12-20% erhöht werden (siehe Abbildung 61). Zusammen mit der Erzeugung aus KVA und Aarewerke steigt der Eigenversorgungsgrad auf 35-40%. Die verbleibenden 60-65% des Gesamtstromverbrauchs in den Wintermonaten müssen anderweitig beschafft und importiert werden.

Eigenversorgungsgrad im Winter 2050

In den Wintermonaten kann bis zum Jahr 2035 nahezu 100% der Thuner Stromerzeugung (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) zeitgleich in der Stadt Thun verbraucht werden (Eigenerzeugungsanteil).

In den Sommermonaten liegt der Solarstromanteil der Stadt Thun im Jahr 2035 bei über 40% und erhöht sich trotz Verdoppelung der Photovoltaikstromerzeugung bis 2050 nur geringfügig auf leicht über 50%. Unter Berücksichtigung der KVA und Aarewerke steigt der zeitgleiche Eigenversorgungsgrad bereits im Jahr 2035 auf 75-90%. Entsprechend muss in den Sommermonaten nur wenig Strom anderweitig beschafft und importiert werden (siehe Abbildung 62).

Solarstromanteil der Stadt Thun im Sommer

Bereits im Jahr 2035 kommt es von März bis September zu Situationen, in denen die Thuner Stromerzeugung den Gesamtstromverbrauch in der Stadt Thun übersteigt. Die Überproduktion muss exportiert werden. Im Sommerhalbjahr wird im Jahr 2035 rund 30% der Thuner Stromerzeugung exportiert (Exportanteil). Durch den weiteren Ausbau der Photovoltaik in der Stadt Thun zwischen 2035 und 2050 steigen die Exporte stark an. Auch in den Wintermonaten kommt es 2050 zu einzelnen Exportsituationen, in denen die Thuner Stromerzeugung den Gesamtstrombedarf der Stadt Thun übersteigt. Im Jahr 2050 wird im Sommerhalbjahr rund 40% der Thuner Stromerzeugung exportiert, da diese nicht zeitgleich auf dem Stadtgebiet genutzt werden kann (siehe Abbildung 63).

Überproduktion im Sommerhalbjahr

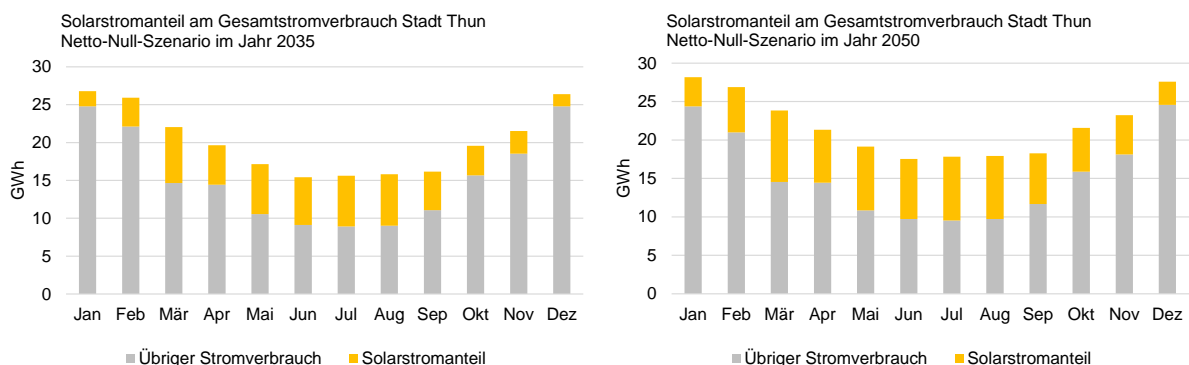


Abbildung 61 Monatlicher Solarstromanteil am Gesamtstromverbrauch Stadt Thun im Jahr 2035 (links) und 2050 (rechts).

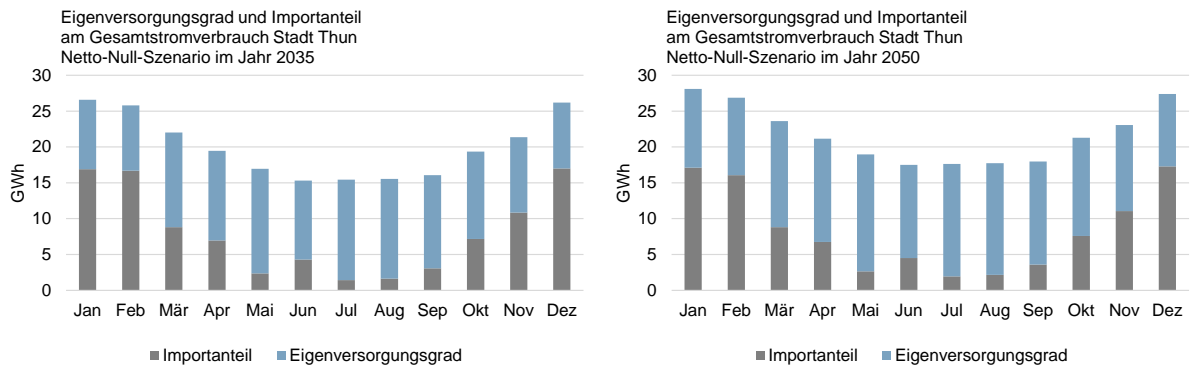


Abbildung 62 Monatlicher Eigenversorgungsgrad und Importanteil in der Stadt Thun im Jahr 2035 (links) und 2050 (rechts).

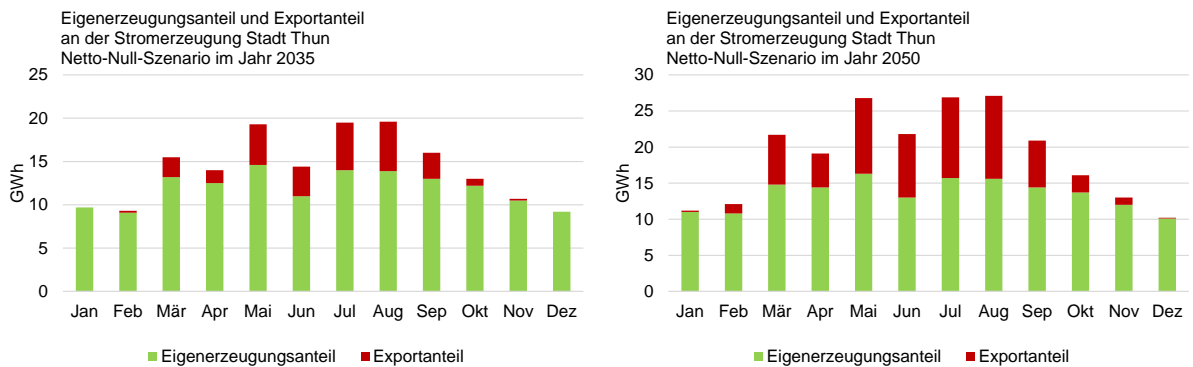


Abbildung 63 Eigenerzeugungs- und Exportanteil an der Stromerzeugung in der Stadt Thun im Jahr 2035 (links) und 2050 (rechts).

Stundenwerte

In der Stundensimulation des Stromsystems der Stadt Thun für die Jahre 2035 und 2050 zeigt sich eindrücklich, wie die 1-stündigen Lastspitzen des Gesamtstromverbrauchs durch die starke Zunahme der Wärmepumpen und Elektromobilität insbesondere im Winter stark ansteigen und mehrmals über 65 MWh/h erreichen (siehe Abbildung 64).

Anstieg der Lastspitzen

Die Jahreshöchstlast im Jahr 2050 wird in der Simulation mit ca. 68 MWh/h am Abend eines kalten Wintertags erreicht. Zum Allgemeinstromverbrauch von 40 MWh/h kommen im Jahr 2050 18 MWh/h Wärmepumpen und 10 MWh/h Elektromobilität hinzu (siehe Abbildung 65).

Abbildung 66 verdeutlicht die hohe Netzbelastung des starken Photovoltaikzubaues in der Größenordnung von 63 GWh Jahreserzeugung bis 2035 und 120 GWh Photovoltaikjahreserzeugung bis 2050. Abgebildet ist die Summe der lokalen Überproduktion der Photovoltaikerzeugung nach Abzug des Eigenverbrauchs (Summe der PV-Netzeinspeisung) in der Stadt Thun sowie die Summe des verbleibenden Stromverbrauchs je Gebäude (nach Abzug Eigenverbrauch) in der Stadt Thun (Summe des Netzbezugs). Der maximale 1-stündige Netzbezug liegt im Jahr 2035 noch deutlich höher als die maximale 1-stündige PV-Netzeinspeisung. Mit dem zusätzlichen Ausbau der

Netzbelastung durch Photovoltaik

Photovoltaik bis 2050 übersteigt die maximale 1-stündige PV-Netzeinspeisung den maximalen 1-stündige Netzbezug im Jahr 2050 deutlich.

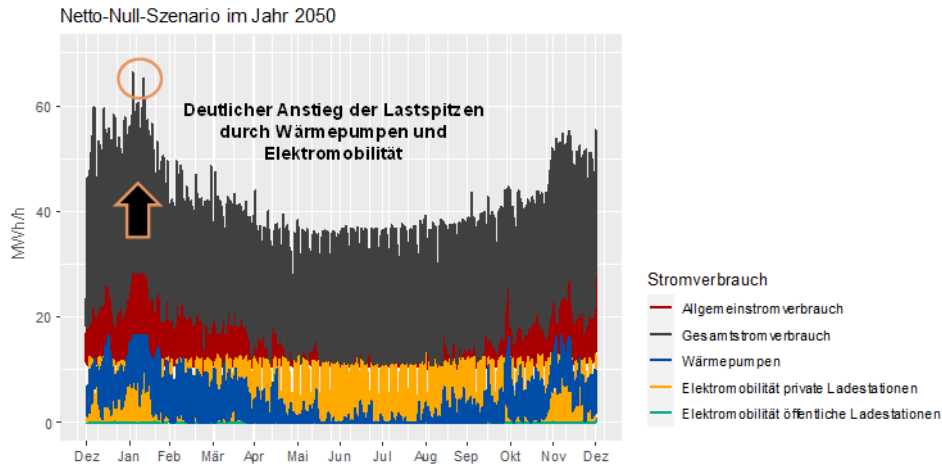


Abbildung 64 Stündliche Stromverbrauchsprofile über ein ganzes Jahr (8760 Stunden) in der Stadt Thun im Jahr 2050.

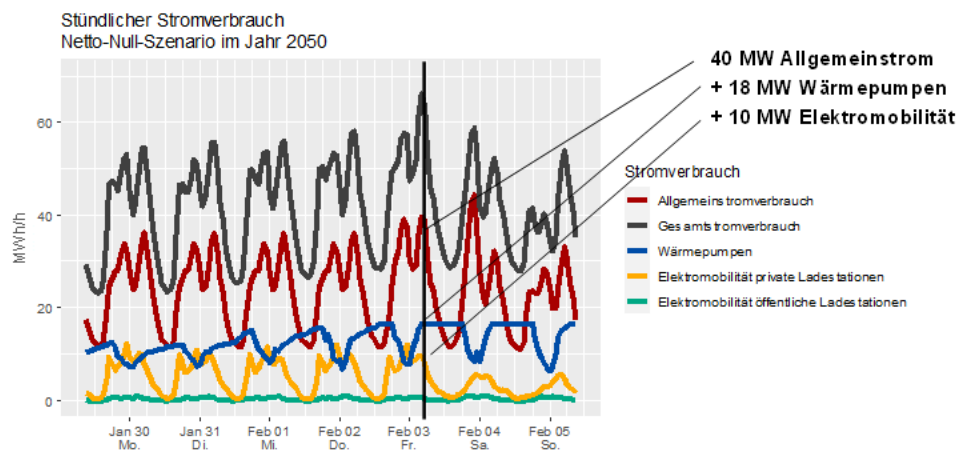


Abbildung 65 Stündliche Stromverbrauchsprofile in einer sehr kalten Februarwoche in der Stadt Thun im Jahr 2050.

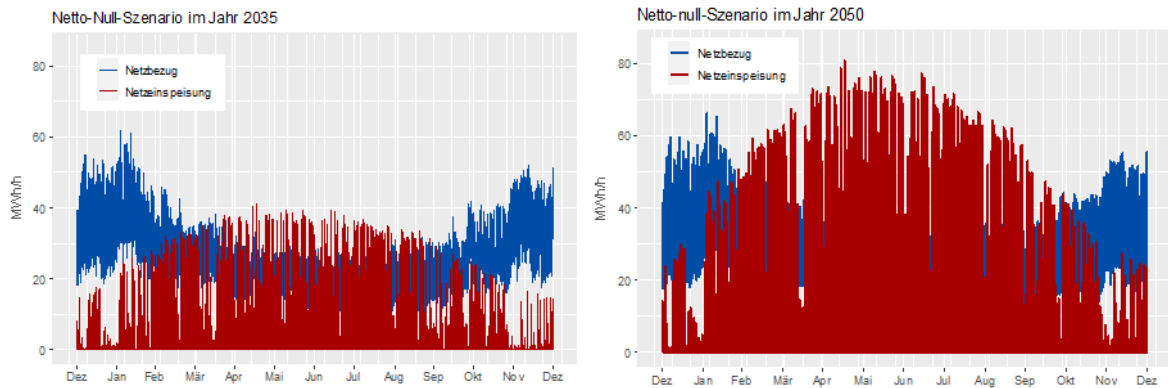


Abbildung 66 Stündliche PV-Netzeinspeisung und Netzbezug über ein ganzes Jahr (8760 Stunden) in der Stadt Thun im Jahr 2035 (links) und 2050 (rechts).

Erkenntnisse Auswirkung Stromsystem

Die Auswirkungen des Netto-Null-Ziels auf das Stromsystem der Stadt Thun lassen sich mit drei Erkenntnissen zusammenfassen:

1. Anstieg Stromverbrauch insbesondere im Winter

- Die Elektrifizierung im Bereich Verkehr und Wärme zur Erreichung des Netto-Null-Ziels führt zu einem deutlichen Anstieg des Gesamtstromverbrauchs in der Stadt Thun.
- Der Anstieg des Gesamtstromverbrauchs beträgt bis 2035 rund 12% (+26 GWh pro Jahr) und bis 2050 rund 22% (+48 GWh pro Jahr) gegenüber 2018.
- In den Wintermonaten ist der Anstieg des Stromverbrauchs deutlich ausgeprägter.
- Bereits im Jahr 2035 steigt der Stromverbrauch im Winter um 20% gegenüber 2018.
- Im Jahr 2050 liegt der Stromverbrauch im Winter um 24% höher als 2018.

2. Mehr Stromimporte im Winter, deutlich weniger im Sommer

- Die Stromerzeugung in der Stadt Thun (KVA, Aarewerke und Photovoltaik von Energie Thun und Privaten) erhöht sich um 47% bis 2035 aufgrund der stark steigenden Photovoltaikerzeugung.
- Im Jahr 2050 wird in der Stadt Thun rund doppelt so viel Strom produziert als im Jahr 2019 aufgrund des PV-Zubaus.
- In den Wintermonaten können im Jahr 2035 rund 35% des Gesamtstromverbrauchs zeitgleich mit Stromerzeugung in der Stadt Thun gedeckt werden, 7-14% davon durch Thuner Solarstrom.
- 65% des Strombedarfs in den Wintermonaten im Jahr 2035 wird über Importe gedeckt.
- Die Importabhängigkeit der Stadt Thun steigt in den Wintermonaten bis 2035 gegenüber 2018 an.

- Dem massiven Ausbau der Photovoltaik stehen hohe zusätzliche Strombedarfe der Wärmepumpen und Elektromobilität gegenüber, so dass die Importabhängigkeit im Winter bis 2050 nicht verbessert werden kann.
- Im Sommerhalbjahr können im Jahr 2035 70-90% des Gesamtstromverbrauchs zeitgleich mit Stromerzeugung in der Stadt Thun gedeckt werden, rund 40% davon durch Thuner Solarstrom.
- Die Importabhängigkeit der Stadt Thun nimmt in den Sommermonaten gegenüber 2018 deutlich ab.
- Der weitere starke Ausbau der Photovoltaikerzeugung ab 2035 kann die Importe im Sommer aber nur noch geringfügig weiter reduzieren.

3. Hohe Überproduktion im Sommerhalbjahr nach 2035

- Mit einer Photovoltaikerzeugung von über 60 GWh im Jahr 2035 und 120 GWh im Jahr 2050 leistet die Stadt Thun anteilig an ihren Dach- und Fassadenflächen ihren Beitrag zum schweizerischen PV-Produktionsziel von 30 TWh pro Jahr.
- Im Jahr 2035 kann in den Wintermonaten 100% der Thuner Stromerzeugung (KVA, Aarewerke und PV von Energie Thun und Privaten) zeitgleich in der Stadt Thun verbraucht werden.
- Bereits im Jahr 2035 wird im Sommerhalbjahr rund 30% der Thuner Stromerzeugung exportiert.
- Durch den starken Zubau der Photovoltaik bis 2050 kommt es in der Stadt Thun auch in den Wintermonaten zu Überschusssituationen.
- Im Jahr 2050 wird in den Sommermonaten rund 40% der Thuner Stromerzeugung exportiert, da diese nicht zeitgleich auf dem Stadtgebiet genutzt werden kann.
- Ohne Gegenmassnahmen kann der Photovoltaikzubau zwischen 2035 und 2050 kaum noch zur Versorgung der Stadt Thun beitragen, sondern muss grösstenteils exportiert werden (insbesondere in Zeiten, in denen die ganze Schweiz oder sogar ganz Mitteleuropa zu viel Solarstrom produziert).

Exkurs Stromverteilnetz

Im Rahmen dieser Studie wurden auch die Auswirkungen des Netto-Null-Ziels auf das Stromverteilnetz von Energie Thun, insbesondere die Netzebene 6 (Trafostationen), untersucht. Der Fokus lag dabei auf den zunehmenden Lastspitzen durch Wärmepumpen und Elektromobilität sowie auf der Netzbelastung durch Photovoltaik:

- **Leistungsbezug:** Resultierende Stromnachfrage im Versorgungsgebiet des Transformators nach Abzug der zeitgleichen Photovoltaik-Erzeugung im Versorgungsgebiet des Transformators.
- **Rückspeisung (Photovoltaikstrom):** Resultierende Photovoltaik-Überproduktion im Versorgungsgebiet des Transformators nach Abzug der zeitgleichen Stromnachfrage im Versorgungsgebiet des Transformators.

Es wurden die folgenden Kenngrössen je Transformator Netzebene 6 im Verteilnetz von Energie Thun analysiert.

- Maximaler 1-stündiger Leistungsbezug am Transformator [kW]
- Auslastung der Transformatoren [%]: Verhältnis maximaler 1-stündiger Leistungsbezug am Transformator zur installierten Trafokapazität
- Maximale 1-stündige Rückspeisung am Transformator [kW]
- Auslastung der Transformatoren [%]: Verhältnis maximale 1-stündige Rückspeisung am Transformator zur installierten Trafokapazität
- Anzahl Stunden mit Rückspeisung am Transformator pro Jahr [Std.] und jährliche Rückspeisung in MWh/Jahr

Bei der Auslastung der Transformatoren werden folgende Situationen unterschieden:

- Reserve: Trafoauslastung < 35%
- Normal: Trafoauslastung 35%-70%
- Engpass: Trafoauslastung 70%-120%
- Überlastung: Trafoauslastung > 120%

Aufgrund der Datengrundlage von Energie Thun war für jedes Gebäude der speisende Transformator bekannt, so dass die modellierten Last- und Erzeugungsprofile je Gebäude den Transformatoren zugeordnet werden konnten. Es wurden insgesamt 120 Transformatoren untersucht.

Schlussfolgerung

- Die Umsetzung des Netto-Null-Ziels und der damit verbundenen starken Elektrifizierung im Wärme- und Verkehrssektor führen bereits im Jahr 2035 zu einer sehr hohen durchschnittlichen Auslastung der Transformatoren (Netzebene 6).
- Im Jahr 2035 wäre ohne Gegenmassnahmen fast jeder vierte Transformator überlastet (>120% Auslastung), bei gleichzeitig sinkenden Netzreserven.
- Der starke Zubau der Photovoltaik (63 GWh in 2035 und 120 GWh in 2050) wirkt sich stark auf die Rückspeisung an den Transformatoren aus.
- Die Transformatoren in den Wohngebiete Allmendingen, Neufeld, Westquartier und Lerchenfeld sind ohne Gegenmassnahmen bereits 2035 aufgrund der PV-Rückspeisung überlastet (>120% Auslastung), zahlreiche Transformatoren in den anderen Gebieten (ausser Innenstadt) werden bis 2050 ebenfalls überlastet.
- Eine Überlastung der Netzebene 6 deutet darauf hin, dass die Netzebene 7 ebenfalls bereits 2035 zumindest gebietsweise aufgrund der zunehmenden Last sowie durch die Photovoltaik-Einspeisung überlastet wird.

8.4 Resultate Smart City Massnahmen

Wie stark können die drei identifizierten Smart City Massnahmen zur Lösung der folgenden Herausforderungen beitragen?

- Anstieg Stromverbrauch und Anstieg des maximalen 1-stündigen Netzbezugs insbesondere im Winter
- Mehr Stromimporte im Winter, deutlich weniger im Sommer
- Hohe Überproduktion und hohe maximale PV-Netzeinspeisung im Sommerhalbjahr nach 2035

Massnahme «winteroptimierte PV-Produktion»

Gegenüber dem Basisszenario nehmen die Exporte der Stadt Thun im Jahr 2050 in den Sommermonaten um rund 20% ab (siehe Abbildung 67 links). Allerdings kann die Photovoltaik in den Wintermonaten nur geringfügig besser genutzt werden und reduziert die Importe daher in den Wintermonaten kaum.

Reduktionspotential bei Exporten im Sommer

Die durch die winteroptimierte PV-Produktion zusätzlich gewonnene Stromerzeugung im Winterhalbjahr wird im Jahr 2050 allerdings praktisch vollumfänglich exportiert, da das hohe Stromangebot insbesondere über die Mittagszeit die Stromnachfrage in der Stadt Thun aufgrund des massiven Photovoltaikausbaus auch im Winter übersteigt. In den Abend- und Nachtstunden wiederum (wenn kein Photovoltaikstrom erzeugt wird) muss Strom aufgrund der hohen Nachfrage importiert werden. Der zusätzliche PV-Winterstrom fällt also zur falschen Zeit an und kann deshalb nicht in der Stadt Thun genutzt werden.

2050: PV-Überproduktion auch im Winter

Durch die winteroptimierte PV-Erzeugung kann die maximale 1-stündige PV-Netzeinspeisung im Jahr 2050 in etwa auf das Niveau des maximalen 1-stündigen Netzbezugs 2050 gebracht werden, dieser liegt aber deutlich höher als 2019 (siehe Abbildung 67 rechts).

Entlastung der Stromnetze

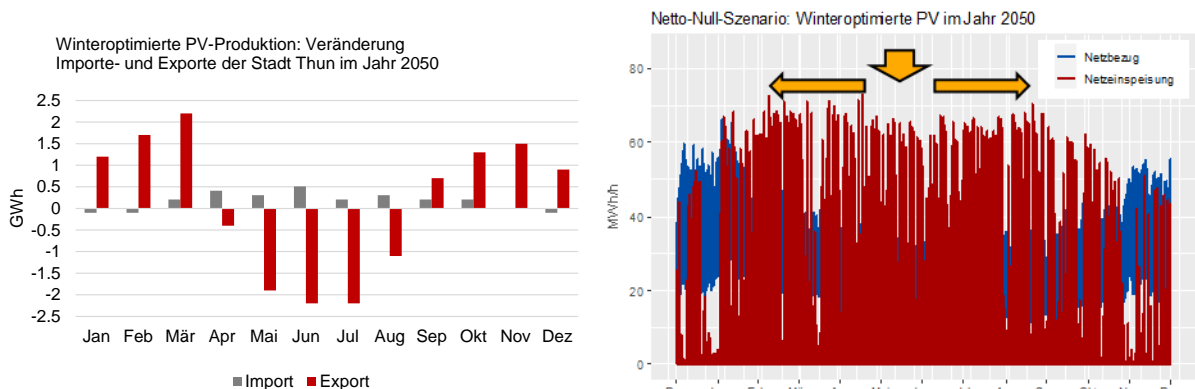


Abbildung 67 Veränderung der Importe und Exporte (links; vergleiche mit Abbildung 62 und Abbildung 63) und stündliche PV-Netzeinspeisung und Netzbezug über ein ganzes Jahr (rechts; vergleiche mit Abbildung 66) in der Stadt Thun durch die Massnahme «winteroptimierte PV-Produktion» im Jahr 2050.

Massnahme «Solarbatterien»

Die Smart City Massnahme «Solarbatterie» sieht insgesamt 16 MWh dezentral installierte Solarbatterien im Jahr 2035 und 64 MWh im Jahr 2050 vor. Dadurch kann der Eigenverbrauch bis 2035 um 16% (+ 3 GWh pro Jahr), bis 2050 um 24% (+8 GWh pro Jahr) erhöht werden gegenüber dem Basis-Szenario.

Erhöhung des Eigenverbrauchs

Der Netzbezug wird dadurch im Jahr 2035 lediglich um 2%, im Jahr 2050 um 4% reduziert. Trotz Solarbatterien werden auch im Jahr 2050 durchschnittlich 85% des Stromverbrauchs durch Netzbezug gedeckt.

Geringer Nutzen fürs Stromnetz

Die PV-Netzeinspeisung kann im Jahr 2035 durch Solarbatterien um 5%, im Jahr 2050 um 10% reduziert werden. Trotz Solarbatterien werden auch im Jahr 2050 durchschnittlich 65% PV-Erzeugung ins Verteilnetz abgegeben (Netzeinspeisung).

Gegenüber dem Basisszenario nehmen die Exporte und Importe der Stadt Thun aufgrund der Solarbatterien in allen Monaten ab (siehe Abbildung 68 links). Wie in Abbildung 68 (rechts) dargestellt, sind die Solarbatterien auf das kurzfristige Speichern von Tageszyklen ausgelegt und können den Strom nicht über Wochen speichern, daher reduzieren sich Importe in den Wintermonaten um lediglich rund 5%. Die Solarbatterien vermögen auch nicht die hohe Sommerproduktion aufzunehmen (zu kleine Kapazität) und reduzieren daher die Exporte im Sommer um lediglich 5-10% (siehe Abbildung 68 links).

Weniger Importe sowie Exporte

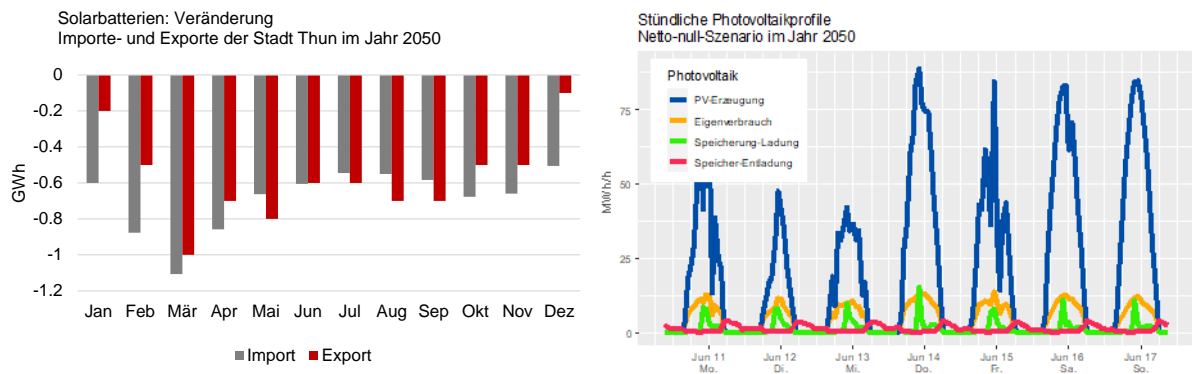


Abbildung 68 Veränderung der Importe und Exporte (links; vergleiche mit Abbildung 62 und Abbildung 63) durch die Massnahme «Solarbatterien» und stündliche Modellierung der Solarbatterien in der Stadt Thun (rechts) in der Stadt Thun im Jahr 2050.

Massnahme «Peak-Shaving der Photovoltaikerzeugung»

Gemäss einer Schätzung der BKW fiele der Netzausbaubedarf durch ein Abregelung der installierten PV-Leistung auf 70% deutlich geringer aus, womit die Netzkosten um etwa 60% gesenkt werden könnte²⁰.

Einschätzung der BKW

Diese Einschätzung wird durch die vorliegende Analyse nicht bestätigt. Das analysierte Peak-Shaving der PV-Erzeugung mit einer Abregelung der Nominalleistung auf ebenfalls 70% vermag in der Stadt Thun die maximale 1-stündige PV-Netzeinspeisung im Jahr 2050 lediglich, um rund 5% zu reduzieren. Das 70%-PV-Peak-Shaving hat im Jahr 2050 nur während rund 900 Stunden einen Einfluss auf die summierte Netzeinspeisung der Stadt Thun. Wie in Abbildung 69 (links) ersichtlich, liegt die maximale 1-stündige PV-Netzeinspeisung trotz 70%-Peak-Shaving deutlich höher als der maximale 1-stündige Netzbezug.

Deutlich geringere Wirkung

Woher kommt der grosse Unterschied? Im Jahr 2050 sind im Netto-Null-Szenario in der Stadt Thun Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von über 120 MW installiert. Rund 5'400 Gebäude haben eine Photovoltaikanlage mit sehr unterschiedlicher Ausrichtung und Neigung. Die durchschnittliche maximale Einspeisespitze liegt bei 77% der installierte Photovoltaikleistung. Bei rund 20% aller Photovoltaikanlagen in der Stadt Thun liegt die maximale Einspeisespitze aufgrund der Ausrichtung und Neigung auch ohne Peak-Shaving unter 70% der Nominalleistung. Bei den vom Peak-Shaving betroffenen Photovoltaikanlagen führt es zu einer Reduktion der maximalen Einspeiseleistung um 9%. Nur bei rund einem Viertel aller Photovoltaikanlagen führt das 70%-Peak-Shaving auch zu einer substanziellen Reduktion der maximalen Einspeiseleistung von 13 bis 27%. Zudem kommt es aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung und Neigung der Anlagen zu Ungleichzeitigkeiten bezüglich der maximalen Einspeiseleistung (nicht alle Photovoltaikanlagen erreichen ihre Jahreshöchstleistung zur selben Stunde im Jahr).

Diskussion der Abweichung

Die aufgeführten Faktoren führen dazu, dass das 70%-Peak-Shaving in der Stadt Thun deshalb deutlich weniger wirksam ist als die geschätzten 30%.

Damit das Peak-Shaving der PV-Erzeugung auch bei starkem Ausbau der Photovoltaik im Jahr 2050 eine Wirkung entfaltet, bräuchte es eine Abregelung auf mindestens 50% der Nominalleistung der PV-Anlagen (siehe Abbildung 69 rechts). Roger Nordmann, Präsident Swissolar, fordert sogar eine Abregelung der Photovoltaik auf 35% der Nominalleistung (Reduktion der installierten Leistung um 65%)²¹. Er unterstreicht, dass die Massnahme schon heute beschlossen werden müsse, damit die Regeln für den Zubau klar seien. Allerdings wären damit auch die Produktionsverluste einzelner Anlagen deutlich höher.

Abregelung um mehr als 50%?

20 Energate (2021): BKW: PV-Ausbau bringt technische und finanzielle Herausforderungen. Beitrag im Energate messenger.ch vom 12.02.2021.

21 ee news (2019): Nationale PV-Tagung: Vom Peak-Shaving auf 35 % vom Nominalwert zu ungedeckten Unternehmensrisiken bis hin zu den 3 D. [Link](#).

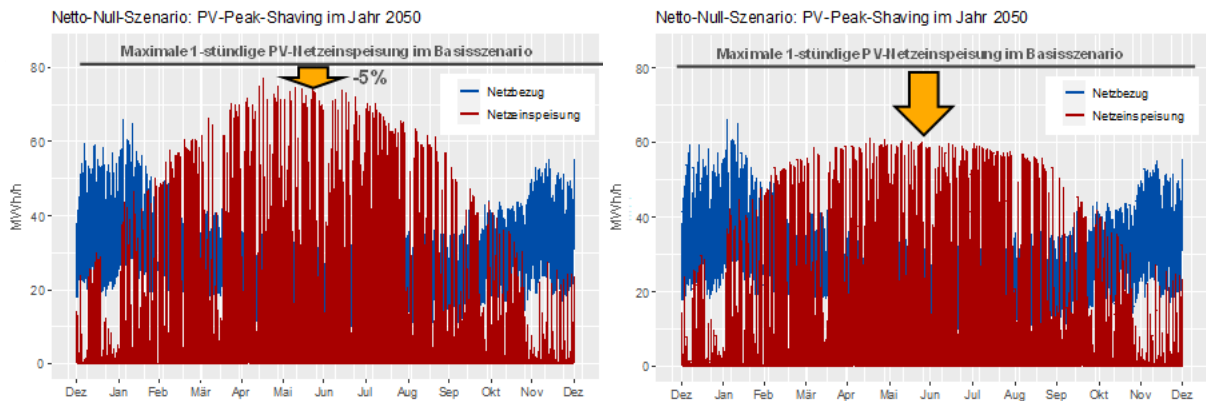


Abbildung 69 Stündliche PV-Netzeinspeisung und Netzbezug über ein ganzes Jahr (links mit Abregelung auf 70% der Nominalleistung und rechts mit 50% der Nominalleistung; vergleiche mit Abbildung 66) in der Stadt Thun durch die Massnahme «Peak-Shaving der Photovoltaikerzeugung» im Jahr 2050.

Erkenntnisse Smart City Massnahmen

Welche der analysierten Smart City Massnahmen eignen sich, um den Herausforderungen des Netto-Null-Ziels für das Stromsystem der Stadt Thun zu begegnen?

1. Winteroptimierte PV-Produktion

- Die Massnahme ist sehr zu empfehlen.
- Die Massnahme löst zwar das Problem der hohen Importe im Winter nicht, vermag aber die Exporte im Sommer deutlich zu reduzieren (-20%), obschon weiterhin hohe sommerliche Exporte bestehen bleiben. Der Eigenenerzeugungsanteil sinkt dadurch im Sommer nicht.
- Die Massnahme führt zu einer deutlichen Entlastung der Stromverteilnetze, indem die maximale PV-Netzeinspeisung gegenüber dem Basisszenario deutlich reduziert wird.
- Insbesondere in den Wohngebieten Allmendingen und Lerchenfeld können durch die winteroptimierte PV-Erzeugung die Auswirkungen auf das Verteilnetz deutlich reduziert werden.
- Die Massnahme vermag den Eigenversorgungsgrad im Winter kaum zu erhöhen, gleichzeitig kommt es durch die winteroptimierte PV-Produktion auch in den Wintermonaten zu Exportsituationen. Eine PV-Überproduktion im Winter ist allerdings attraktiver als im Sommer (Höhere Strompreise).

2. Solarbatterien

- Die Massnahme ist gesamtsystemisch nicht zu empfehlen.
- Die Massnahme vermag den Eigenverbrauch zwar substantiell zu erhöhen (+25% in 2050) und reduziert die Importe und Exporte in allen Monaten, allerdings sind die Beiträge deutlich zu klein, um die teure Massnahme zu forcieren.

- So reduziert die Massnahme die Importe in den Wintermonaten um lediglich 5% und die Exporte im Sommer um 5-10%.
- Zu erwarten ist, dass Private ohne Unterstützung von Energie Thun oder der Stadt Thun zur Erhöhung ihres Eigenverbrauchs zunehmend auf Solarbatterien setzen, mit den entsprechend geringen positiven Effekten.
- Ein finanziell geförderter Rollout von Solarbatterien ist aber nicht zu empfehlen.
- Geeigneter könnten grosse Quartierspeicher sein, welche deutlich mehr Photovoltaikstrom aufnehmen und über einige Tage speichern könnten. Damit liessen sich die Exporte im Sommer und die Importe im Winter wohl stärker reduzieren. Allerdings sind grosse Speicher sehr teuer.

3. Peak-Shaving der Photovoltaikerzeugung

- Zur Entlastung des Stromverteilnetzes ist die Abregelung der Photovoltaik auf 70% der Nominalleistung nicht zielführend.
- Die Massnahme bringt allerdings kaum Nachteile (vernachlässigbare Produktionsverluste).
- Die maximale zeitgleiche 1-stündige PV-Einspeisung in der Stadt Thun kann durch das 70%-PV-Peak-Shaving im Jahr 2050 gegenüber dem Basiszenario lediglich um 5% reduziert werden.
- Die Einschätzung der BKW²² zur Reduktion des Netzausbaubedarfs durch das 70%-Peak-Shaving wird durch die vorliegende Analyse nicht bestätigt.
- Um den Netzausbaubedarf deutlich zu reduzieren, braucht es eine deutlich stärkere Abregelung der Photovoltaikanlagen auf rund 50% ihrer Nominalleistung. Roger Nordmann, Präsident Swissolar, empfiehlt sogar eine Abregelung der Photovoltaikanlagen auf 35% ihrer Nominalleistung²³.

8.5 Handlungsempfehlungen

- Die Umsetzung des Netto-Null-Ziels verlangt eine starke Flexibilisierung der Last sowie eine Verstärkung der Verteilnetze.
- Das Netto-Null-Ziel ist bei kurzfristigen Netzvorhaben sowie der langfristigen Zielnetzplanung zu berücksichtigen. Der Handlungsbedarf im Stromverteilnetz ist gross. Bereits 2035 wird das Stromverteilnetz der Stadt Thun ohne Gegenmassnahmen an verschiedenen Stellen überlastet.

22 BKW (2020): BKW-Blog «Energie am Morgen»: Was kostet eine Energiewende mit Solarenergie? [Link](#).

23 ee news (2019): Nationale PV-Tagung: «Vom Peak-Shaving auf 35 % vom Nominalwert zu ungedeckten Unternehmensrisiken bis hin zu den 3 D.». [Link](#).

- Die Dimensionierung der Hausanschlüsse sowie der breite Einsatz von Lastmanagementsystemen auf Ebene der Haushalte sind wichtige Bausteine für einen künftig flexibleren und sicheren Netzbetrieb.
- Zur Reduktion der Lastspitzen müssen die Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge an privaten Ladestationen zeitlich flexibel und mit tiefer Ladeleistung erfolgen.
- Energieeffizienzmassnahmen im Gebäudebereich sind entscheidend, so dass die notwendige Leistung der Wärmepumpen reduziert werden kann und damit die Stromnetze entlastet werden.
- Eine winteroptimierte Photovoltaik-Erzeugung (Maximierung des Winterstromanteils durch Ausrichtung und Neigung, insbesondere Fassaden-Anlagen) ist sehr zu empfehlen und kann die Exporte im Sommer deutlich um rund 20% reduzieren, gleichzeitig verringert sich die Importabhängigkeit im Frühling und Herbst. Auch die Verteilnetze werden durch eine winteroptimierte Photovoltaik-Erzeugung erheblich entlastet. Allerdings vermag auch eine winteroptimierte Photovoltaik-Erzeugung die steigende Importabhängigkeit im Winter nicht zu reduzieren, zudem bleiben im Sommer weiterhin hohe Stromüberschüsse bestehen.
- Eine Flexibilisierung der Lasten kann dazu beitragen, dass der Photovoltaikstrom in allen Jahreszeiten besser genutzt werden kann und so Stromüberschüsse/ Exporte reduziert werden können.
- Eine Flexibilisierung der Last kann über flexible Tarife, anderweitige Anreize oder Lastverschiebung/Laststeuerung erreicht werden.
- Solarbatterien können die Herausforderungen der höheren Importabhängigkeit im Winter und der hohen Stromüberschüsse im Sommer kaum mindern und sind daher nicht zusätzlich zu fördern.
- Es ist zu prüfen, ob der Einsatz von grösseren Quartierspeichern die Belastung der Verteilnetze reduzieren kann.
- Die Stadt Thun und die Energie Thun AG setzt sich im Rahmen ihrer Möglichkeiten für ein sinnvolles PV-Peak-Shaving ein. Wie strikt dieses umgesetzt werden soll, muss noch geprüft werden. Die Abschätzungen zur Wirkung dieser Massnahme gehen heute in der Literatur noch stark auseinander.
- Ein Photovoltaik-Produktions-Ziel von 120 GWh entspräche einem adäquaten Thuner Anteil an einem schweizerischen Ziel von 30 TWh Photovoltaik-Produktion. Inwiefern und mit welchen Begleitmassnahmen dieses Ziel trotz technischer Herausforderungen umgesetzt werden soll, muss politisch definiert werden.
- Die Energie Thun AG setzt sich im Rahmen Ihrer Möglichkeiten für eine sinnvolle Lösung des Winterstromproblems ein.

A1 Handlungskompetenzen von Bund und Kanton

A1.1 Sektor Gebäude

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Kompetenz Bund	— CO₂-Abgabe auf Brennstoffe , Teilzweckbindung zur Förderung von energetischen Sanierungen und erneuerbarer Energien	
	— CO₂-Grenzwerte für Gebäude (enthalten in aktueller Totalrevision CO ₂ -Gesetz)	
	— Abgaben auf den Strom (Netzzuschlag) zur Finanzierung der Förderung von Effizienz und erneuerbarem Strom	
	— Sensibilisierung der Bevölkerung	
	— Finanzierung von Forschungs- und Leuchtturmprojekten	
	— Vorbildrolle bei eigenen Gebäuden	
Kompetenz Kanton	— Vorschriften für die Effizienz von Anlagen und Geräten	— Förderung von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom
	— Förderung von Stromeffizienz: ProKilowatt	
	— Bauvorschriften für Neubauten und energierelevante Umbauten	
	— Energieberatung	
	— Förderung von energetischen Sanierungen und erneuerbarer Energien	
	— Grossverbrauchermodell	
	— Sensibilisierung der Bevölkerung	
	— Vorbildrolle bei eigenen Gebäuden	
	— Förderung von Stromeffizienz: Beteiligung an Programmen und Projekten von ProKilowatt	— Vorschriften zur lokalen Stromproduktion
		— Räumliche Koordination im kantonalen Richtplan: Eignungs- und Potenzialgebiete identifizieren
	— Förderung von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarem Strom	
	— Investitionen in erneuerbare Stromproduktion über Versorger mit kantonaler Beteiligung	
	— Bewilligungsverfahren	

Tabelle 22 Handlungskompetenzen von Bund und Kanton im Sektor Gebäude zur Reduktion von CO₂-Emissionen

A1.2 Sektor Verkehr

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Kompetenz Bund	<ul style="list-style-type: none"> — Steuervergünstigung bei Pendeln über kurze Distanzen — Leistungs- und lärmabhängige Verkehrsabgaben — leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe — Flugticketabgabe — Finanzierung öffentlicher Verkehr — Einführung Road Pricing — Nutzerfinanzierung im Verkehr — Vollkostenpreis in der Mobilität 	<ul style="list-style-type: none"> — Emissionsvorschriften/ -grenzwerte für Fahrzeuge — CO₂-Lenkungsabgabe auf fossile Treibstoffe — Regeln zur Begünstigung von erneuerbaren Treibstoffen — Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure — als Financier des Bahnangebotes Anforderungen an die Qualität des Stroms stellen (Bahninfrastrukturfonds)
Kompetenz Kanton	<ul style="list-style-type: none"> — Anpassung kantonaler Richtplan und regionales Gesamtverkehrs- und Siedlungskonzept, um nachhaltigere und energieeffizientere Raumstruktur zu erreichen — Ausgestaltung Motorfahrzeugsteuer (Ermässigung für Energieeffizienz) — Qualität Angebot öffentlicher Verkehr, z.B. ÖV on demand (attraktiveres und flexibleres Angebot in ländlichen Orten) — Vorbildrolle — Veloförderprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> — Ausgestaltung Motorfahrzeugsteuer — finanzielle Mittel sprechen zur Elektrifizierung des lokalen Bus- und Tramverkehrs — als Besteller und Financier des Busangebotes Anforderungen stellen (Elektrifizierung, Treibstoff, Qualität Strom, etc.) — Förderung Ladeinfrastruktur mit kantonalem Förderprogramm für erneuerbare Energien und Energieeffizienz — Vorschriften im Baugesetz/in der Bauverordnung für Parkplätze (z.B. Ladeinfrastrukturen in Gebäuden)

Tabelle 23 Handlungskompetenzen von Bund und Kanton im Sektor Verkehr zur Reduktion von CO₂-Emissionen

A1.3 Sektor Industrie

	Reduktion und Effizienz	Erneuerbare Energien
Kompetenz Bund	<ul style="list-style-type: none"> — CO₂- Abgabe auf Brennstoffe, für grosse Emittenten verbunden mit Zielvereinbarungen, Rückerstattung und Einbindung in den Emissionshandel — Emissionsverminderungsprojekte — Energieförderungen und Energiesparprogramme (ProKilowatt, Klimastiftung Schweiz. PEIK) — Abgaben auf den Strom (Netzzuschlag), verbunden mit Zielvereinbarungen und Rückerstattung — Finanzierung von Forschungs- und Leuchtturmprojekten 	
	<ul style="list-style-type: none"> — Vorschriften für die Effizienz von Anlagen und Geräten 	<ul style="list-style-type: none"> — Anforderungen an klimaneutrale Gase (Inland und Ausland) für Steuerbefreiung
Kompetenz Kanton	<ul style="list-style-type: none"> — Grossverbrauchermodell: Zielvereinbarungen und Energieverbrauchsanalyse — Förderung von erneuerbarer Energie und Effizienzmassnahmen (u.a. Beteiligung an Programmen und Projekten von ProKilowatt zur Förderung von Stromeffizienz) — Energieberatung 	

Tabelle 24 Handlungskompetenzen von Bund und Kanton im Sektor Industrie zur Reduktion von CO₂-Emissionen