

Schlussbericht, 11. Mai 2020

Volkswirtschaftlicher Nutzen von thermischen Netzen



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Nana von Felten, EBP Schweiz AG

Dr. Sabine Perch-Nielsen, EBP Schweiz AG

Frank Bruns, EBP Schweiz AG

Begleitung: Programm «Thermische Netze»

Prof. Joachim Ködel, HSLU

Diego Hangartner, HSLU

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhalt

1	Einleitung	11
1.1	Ausgangslage	11
1.2	Ziel und Vorgehen	11
2	Szenarien und Bewertungskriterien	12
2.1	Definition der Szenarien	12
2.2	Definition der Bewertungskriterien	13
2.3	Datengrundlagen	14
3	Methodik: Bewertung der Nutzen	16
3.1	Ökonomischer Nutzen	16
3.2	Ökologische Nutzen	19
4	Resultate: Nutzen von thermischen Netzen	21
4.1	Szenarien-Vergleich ökonomische Kriterien	21
4.1.1	Investitions-, Unterhalts- und Energiekosten für die Wärmeversorgung	21
4.1.2	Wertschöpfung, Vorleistungen und Importe	24
4.1.3	Beschäftigung aufgrund Wertschöpfung	27
4.2	Szenarien-Vergleich ökologische Kriterien	28
4.3	Szenarien-Vergleich qualitative Kriterien	30
5	Synthese und Fazit	33
A1	Literaturnachweis	36
A2	Berechnungsgrundlagen	37

Zusammenfassung

Der Bericht zeigt den volkswirtschaftlichen Nutzen von thermischen Netzen gegenüber Einzelheizungen auf. Dieser Nutzen wird aufgrund von ökonomischen, ökologischen und weiteren qualitativen Kriterien bewertet.

Um Verbundlösungen mit Einzelheizungen vergleichen zu können, wird ein Gebiet definiert, das sich grundsätzlich für eine Verbundlösung eignet, also in der die nachgefragte Wärmedichte genügend gross ist. Es umfasst eine gemischte Nutzung (Wohnungen, Dienstleistung, Gewerbe). In einem Referenzszenario wird ein durchschnittlicher Mix an unterschiedlichen Heizungen angenommen. Diesem werden zwei Szenarien gegenübergestellt, in denen das Gebiet einmal mit einem Holz-Wärmeverbund und einmal mit einem Grundwasser Wärmepumpe-Verbund erschlossen wird. In beiden Szenarien wird bis 5 Jahre nach dem Bau ein Anteil von 40% der Wärmeversorgung mit thermischen Netzen angenommen. Ausgehend vom Wärmebedarf wird der Endenergiebedarf pro Energieträger berechnet. Dieser Endenergiebedarf ist die Inputgrösse für die Berechnungen der ökonomischen wie auch der ökologischen Kennzahlen.

Für die *ökonomischen Kriterien* werden die jährlichen Investitions-, Unterhalts- und Energiekosten für die Wärmeversorgung sowie die Wertschöpfung und Beschäftigung betrachtet.

Die durchschnittlichen Gestehungskosten pro Szenario (über alle Heizungen) bewegen sich zwischen 10.8 Rp./kWh beim Szenario mit 40% Grundwasser-Verbund, knapp 12 Rp./kWh beim Referenzszenario und 12.5 Rp./kWh beim Szenario mit 40% Holz-Verbund. Die Szenarien unterscheiden sich somit nur leicht.

Die Energiekosten machen in jedem Szenario den grössten Anteil aus. Im Szenario Grundwasser-Verbund sind es rund zwei Drittel, im Szenario Holz-Verbund drei Viertel und im Referenzszenario gut 80% der jährlichen Gesamtkosten. Verbunde mit erneuerbaren Energien tragen somit dazu bei, die Energiekosten tief zu halten und robuster gegenüber Preisschwankungen zu sein (insbesondere von fossilen Brennstoffen).

Die Investitionskosten machen im Vergleich zu den jährlichen Gesamtkosten einen Anteil von 17% (Referenzszenario), 23% (Szenario Holz-Verbund) und 33% (Szenario Grundwasser-Verbund) aus. Gerade bei Verbunden ist mit sehr hohen Anfangsinvestitionen zu rechnen, welche sich in der Betrachtung von Jahreskosten aber auf die Lebensdauer der Anlage verteilen.

Im Vergleich dazu machen die Unterhaltskosten nur einen geringen Anteil aus (4 bis 5% der jährlichen Gesamtkosten). Die beiden Verbund-Szenarien weisen ca. 20% tiefere Unterhaltskosten aus als das Referenzszenario, weil bedeutend weniger Einzelheizungen unterhalten und kontrolliert werden müssen und die Verbunde von Skaleneffekten profitieren.

Bezüglich Wertschöpfung schneidet der Holz-Verbund am besten ab (70% höhere Wertschöpfung als im Referenzszenario). Der Unterschied zwischen Grundwasser-Verbund und Referenzszenario ist gering (3% höhere Wertschöpfung bei Verbund).

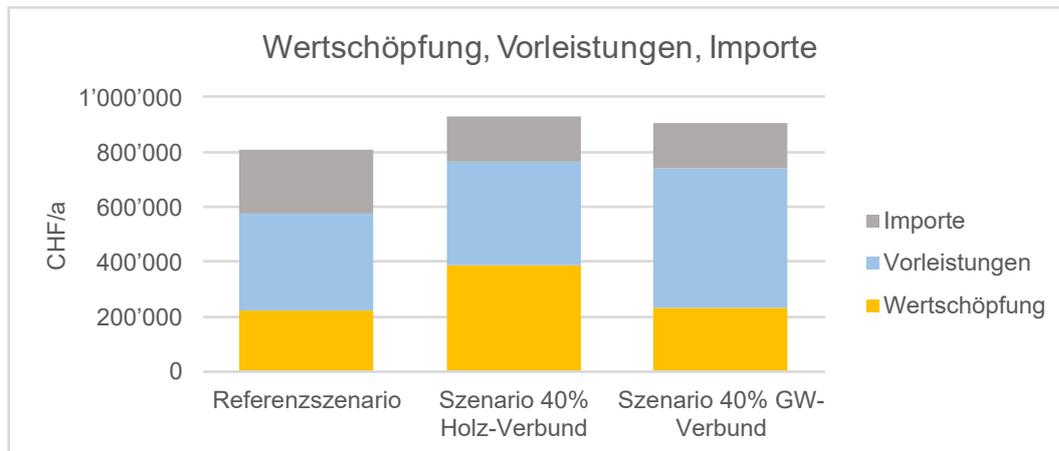


Abbildung 1: Wertschöpfung, Vorleistungen und Importe der Szenarien im Vergleich

Zählt man Wertschöpfung und Vorleistungen zusammen, weisen die beiden Verbund Szenarien einen ähnlich hohen Wert auf. Im Vergleich zum Referenzszenario tragen diese – vereinfacht ausgedrückt – gut einen Drittel mehr zur Schweizer Volkswirtschaft bei. Auch bezüglich Importe ist das Resultat eindeutig: Der Importanteil der Verbund Szenarien ist deutlich tiefer als beim Referenzszenario. In der Referenz werden viel mehr fossile Brennstoffe aus dem Ausland eingesetzt, bei den Verbunden zudem Strom und Hackschnitzel mit hohen Inland-Anteilen. Die Verbund-Lösungen führen also zu einer höheren inländischen Wertschöpfung, höheren Vorleistungen und geringeren Importen.

Die erzielte Wertschöpfung bedeutet entsprechende Arbeitsplätze. Beim Szenario mit 40% Holz-Verbund zeigen die Berechnungen für die erste Wertschöpfungsstufe eine viermal höhere Beschäftigung, welche vor allem im Forstwesen anfallen für die Bereitstellung von Hackschnitzel. Weitere positive Beschäftigungseffekte ergeben sich beim Bau der Anlage und des Verteilnetzes. Beim Szenario Grundwasser-Verbund sind diese Effekte etwas geringer, sie führen zu einer etwa 10% höheren Beschäftigung im Vergleich zum Referenzszenario. Hier fallen vor allem die arbeitsintensiven Bohrungen und die Verlegung der Verteilnetze ins Gewicht. Diese 10% verteilen sich in der Realität nicht auf die Lebensdauer der Anlage, sondern fallen ganz zu Beginn an.

Der *ökologische Nutzen* der Szenarien wird anhand der Treibhausgasemissionen (in kg CO₂-eq) und der Gesamtumweltbelastung mit der Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte, UBP) quantifiziert.

Die Treibhausgasemissionen sind in allen Verbund-Szenarien um jeweils einen Drittel tiefer als im Referenzszenario. Die Treibhausgasemissionen variieren zwischen 1'540 (Szenario 40% Grundwasser-Verbund mit Wasserkraft) und über 2'500 (Referenzszenario) Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Die maximale Einsparung beträgt also fast 40%. Weil durch die Verbund-Lösungen primär die fossilen Heizungen ersetzt werden, schneiden diese bezüglich Treibhausgasemissionen besonders gut ab. Die Unterschiede zwischen den Stromvarianten sind im Referenzszenario mit nur wenigen Wärmepumpen gering. Beim Grundwasser-Verbund hingegen sind die Treibhausgasemissionen beim Einsatz von Wasserkraft rund 10% tiefer.

Die Bewertung nach Umweltbelastungspunkten zeigt, dass der Holz-Verbund eine um ca. 16% tiefere Umweltbelastung aufweist als das Referenzszenario. Auch das Szenario Grundwasser-Verbund ist umweltfreundlicher als die Referenz. Wird als Strom der aktuelle Verbrauchermix Schweiz verwendet, ist der Vorteil gegenüber der Referenz wegen des hohen Anteils Atomstrom gering (9%). Wird hingegen Strom aus Wasserkraft eingesetzt, ist die Umweltbelastung 40% tiefer als die Referenz.

In einem *Gesamtvergleich der ökonomischen und ökologischen Kriterien* schneidet der Grundwasser-Verbund am besten ab, unter der Voraussetzung, dass beim Strom eine ökologische Variante gewählt wird.

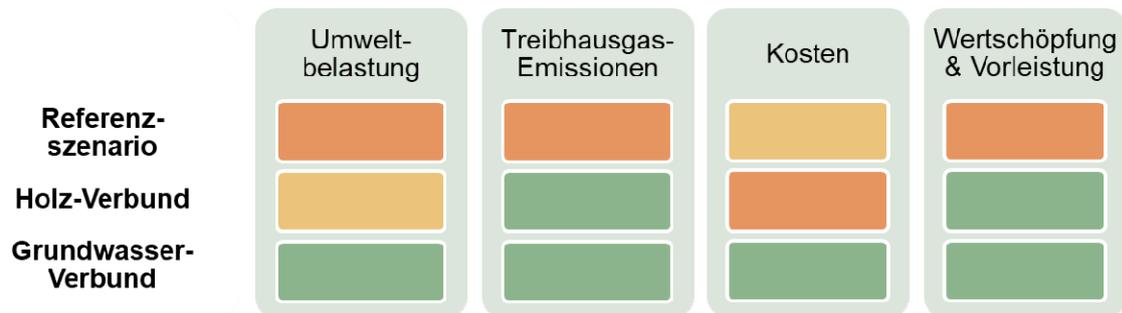


Abbildung 2: Gesamtvergleich der Szenarien. Bewertung: grün = gute Performance, gelb = mittlere Performance, orange = schwache Performance im Vergleich zu den anderen Szenarien.

Auch bei den *qualitativen Kriterien* schneiden die beiden Szenarien mit Verbund-Lösungen gut ab. Insbesondere für die Wärmebezügler wie auch für die Betreiber überwiegen die positiven Kriterien bei einem Anschluss an einen Wärmeverbund. Für Betreiber ergeben sich unter anderem Chancen für langfristige Kundenbeziehungen und stabile Ertragsquellen sowie eine Imageverbesserung durch eine umweltfreundliche Wärmeversorgung. Für Haushalte und Gewerbe bedeutet ein Anschluss an ein thermisches Netz beispielsweise die Unabhängigkeit von fossilen Energiepreisen, einen geringeren Aufwand für Betrieb und Unterhalt sowie einen persönlichen Beitrag an den Klimaschutz. Zusätzlich bestehen je nach Verbund-Variante Möglichkeiten für die Nutzung von Kühlung (bei Niedertemperaturnetzen) oder der Platzgewinn im Keller, wenn eine Ölheizung ersetzt wird. Für Gemeinden stellen sich aber auch kritische Fragen, wie zum Beispiel der Umgang mit Lärmbelastungen und Verkehrsbehinderungen und die Einschränkungen des Gewerbes während dem Leitungsbau, bei Bohrungen sowie bei Sanierungsarbeiten.

Es ist zu beachten, dass die Effekte, die in dieser Studie ausgewiesen werden, ein gesamtes Gebiet mit einem Mix an unterschiedlichen Heizsystemen vergleichen. Die Effekte wären deutlich stärker zugunsten der thermischen Netze, wenn man die Heizsysteme direkt miteinander vergleichen würde. In beiden Szenarien mit Verbund-Lösungen ist jeweils nur ein Anteil von 40% an ein thermisches Netz angeschlossen, die restlichen 60% verteilen sich auf Gas- und Ölheizungen, Wärmepumpen sowie Pelletsheizungen.

Résumé

Ce rapport montre les avantages des réseaux thermiques par rapport aux chauffages individuels sur le plan macro-économique. Ces avantages sont évalués sur la base de critères économiques, écologiques et autres critères qualitatifs.

Afin de comparer la distribution de chaleur en réseau aux chauffages individuels, on définit une zone qui convient à priori aux réseaux thermiques, c'est-à-dire là où la densité thermique est suffisamment élevée. Cette zone est constituée de bâtiments mixtes (habitations, bureaux, commerces). Dans le scénario de référence, un mix habituel composé de différents chauffages individuels est défini. Dans les deux autres scénarios, un chauffage à distance (CAD) à bois et un réseau thermique avec pompes à chaleur et utilisation des eaux souterraines sont considérés. Dans ces deux derniers scénarios, 40 % du besoin en chaleur est fourni par les réseaux thermiques après 5 ans de construction. L'énergie finale est calculée sur la base du besoin en chaleur. Cette énergie finale est utilisée pour calculer les valeurs indicatives économiques et écologiques.

Sont pris en compte pour les *critères économiques*, les coûts d'investissements annuels, les frais d'entretien et d'énergie annuels pour l'approvisionnement en chaleur ainsi que la valeur ajoutée et l'occupation.

Les coûts moyens de la chaleur (tous systèmes de chauffage confondus) se situent par scénario entre 10,8 ct/kWh pour le scénario avec 40 % de la zone fournie par le réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines, un peu moins de 12 ct/kWh dans le scénario de référence et 12,5 ct/kWh dans le scénario avec 40 % de la zone fournie par le CAD à bois. Les scénarios ne diffèrent donc que légèrement.

Les coûts de l'énergie représentent la part la plus importante dans chaque scénario. Dans le scénario réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines, elles représentent environ deux tiers, dans le scénario du CAD à bois, trois quarts, et dans le scénario de référence, un bon 80% des coûts annuels totaux. Les réseaux thermiques renouvelables contribuent ainsi à maintenir les coûts de l'énergie à un faible niveau et sont plus robustes face aux fluctuations de prix (notamment ceux des combustibles fossiles).

Par rapport aux coûts annuels totaux, les coûts d'investissement représentent 17 % (scénario de référence), 23 % (scénario CAD à bois) et 33 % (scénario réseau thermique eaux souterraines). En particulier dans le cas des réseaux thermiques, il faut s'attendre à des investissements initiaux très élevés, qui sont ensuite répartis sur la durée de vie de l'installation en termes de coûts annuels.

En comparaison, les frais d'entretien ne représentent qu'une faible proportion (4 à 5 % du total des coûts annuels). Les deux scénarios en réseaux montrent des coûts d'entretien qui se situent environ 20 % en-dessous du scénario de référence, car il faut entretenir et contrôler un nombre nettement moins important de chauffages individuels et les réseaux bénéficient d'économies d'échelle.

En termes de valeur ajoutée, c'est le CAD à bois qui s'en sort le mieux (valeur ajoutée supérieure de 70 % à celle du scénario de référence). La différence entre le réseau avec utilisation des eaux souterraines et le scénario de référence est pourtant faible (valeur ajoutée supérieure de 3 % dans le cas du réseau).

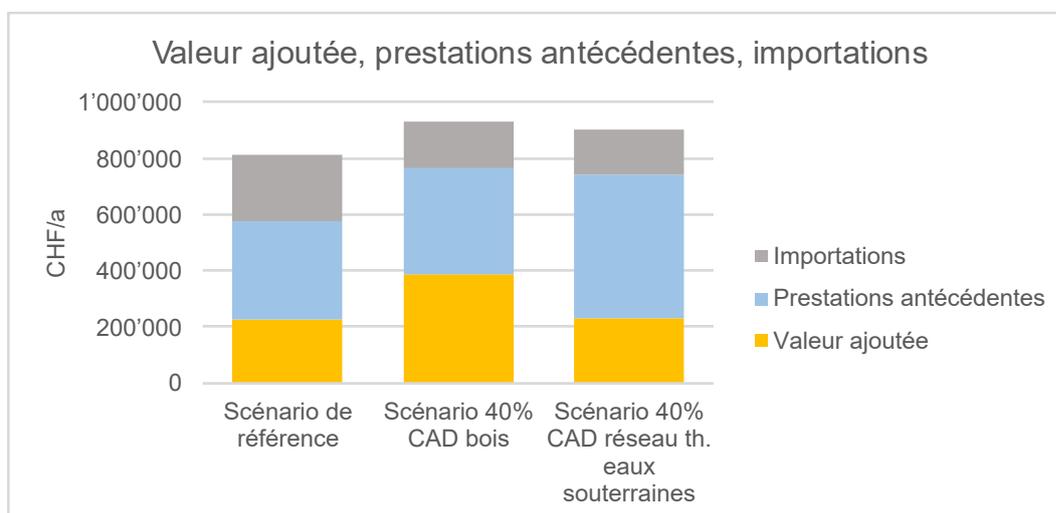


Image 1: Comparaison de la valeur ajoutée, des prestations antécédentes et des importations des trois scénarios

Si l'on additionne la valeur ajoutée et les prestations antécédentes, les deux scénarios en réseau présentent une valeur élevée similaire. Par rapport au scénario de référence, ils contribuent – de manière simple – à l'économie suisse pour un bon tiers de plus. Le résultat est également clair en ce qui concerne les importations : la part des importations dans les scénarios en réseaux est nettement inférieure à celle du scénario de référence. Dans le scénario de référence, beaucoup plus de combustibles fossiles provenant de l'étranger sont utilisés, tandis que les réseaux utilisent de l'électricité et des copeaux de bois avec une part nationale élevée. Les solutions en réseaux entraînent donc une augmentation de la valeur ajoutée nationale, une hausse des prestations antécédentes et une diminution des importations.

La valeur ajoutée signifie des emplois en plus. Dans le scénario avec 40% CAD à bois, les calculs pour le premier niveau de la chaîne de la valeur ajoutée montrent quatre fois plus d'emplois, principalement générés dans le secteur forestier grâce à la fourniture de copeaux de bois. La construction des installations techniques et du réseau de distribution a d'autres effets positifs sur l'emploi. Dans le scénario du réseau thermique avec utilisation d'eaux souterraines, ces effets sont un peu moins prononcés, entraînant une hausse d'emploi d'environ 10 % par rapport au scénario de référence. Les forages à forte intensité de main-d'œuvre et la pose des réseaux de distribution sont ici les facteurs les plus importants. En réalité, ces 10 % ne sont pas répartis sur la durée de vie de l'installation, mais ont lieu au tout début.

L'*impact écologique* des scénarios est quantifié sur la base des émissions de gaz à effet de serre (en kg de CO₂-eq) et de l'empreinte environnementale totale en utilisant la méthode de la saturation écologique (indices de charge polluante, écopoints).

Dans tous les scénarios en réseaux, les émissions de gaz à effet de serre sont inférieures d'un tiers à celles du scénario de référence. Les émissions de gaz à effet de serre varient entre 1 540 (scénario 40 % de réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines avec hydroélectricité) et plus de 2 500 (scénario de référence) tonnes d'équivalent de CO₂ par an. L'économie maximale est donc de près de 40 %. Comme les solutions en réseaux remplacent principalement les systèmes de chauffage à combustibles fossiles, elles sont particulièrement performantes en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Les écarts entre les variantes avec différents mix d'électricité sont faibles dans le scénario de référence, car seules quelques pompes à chaleur sont présentes. En revanche, dans le cas du réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines, les émissions de gaz à effet de serre sont inférieures d'environ 10 % lorsque l'on utilise l'énergie hydraulique.

L'évaluation par écopoints montre que le CAD à bois a un impact environnemental qui est environ 16% inférieur à celui du scénario de référence. Le scénario réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines est également plus respectueux de l'environnement que le scénario de référence. Si l'électricité utilisée correspond au mix de consommation actuel de la Suisse, l'avantage par rapport à la référence est faible (9 %) en raison de la forte proportion d'électricité nucléaire. En revanche, si l'on utilise de l'électricité d'origine hydraulique, l'impact environnemental est inférieur de 40 % au scénario de référence.

Une comparaison globale des critères économiques et écologiques montre que le réseau thermique avec utilisation des eaux souterraines est le plus performant, à condition qu'un mix écologique d'électricité soit choisi.

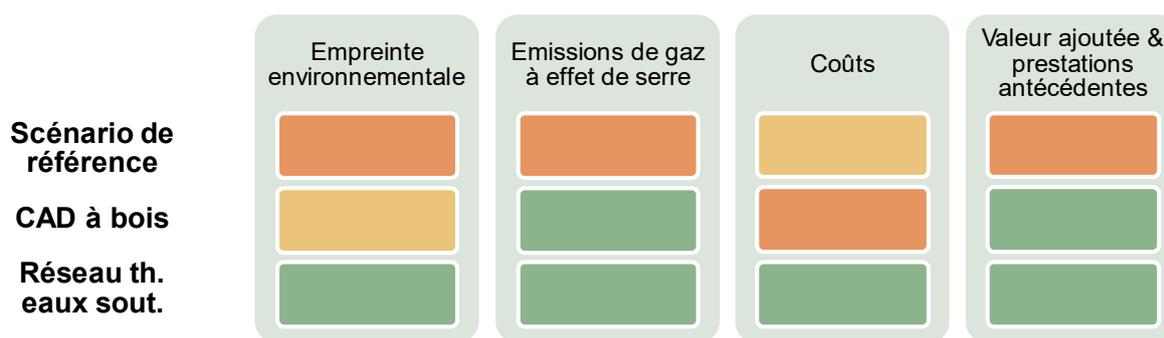


Image 2: Comparaison globale des scénarios. Critères d'évaluation: vert = bon, jaune = moyen, orange = faible par rapport aux autres scénarios.

Les deux scénarios avec les solutions en réseaux obtiennent également de bons résultats en termes de *critères qualitatifs*. Les critères positifs dominent particulièrement pour les consommateurs de chaleur et les exploitants lors d'un raccordement à un réseau de chaleur. Pour les opérateurs, il existe de nouvelles possibilités de relations à long terme avec les clients et de sources de revenus stables, ainsi qu'une amélioration de l'image grâce à un approvisionnement en chaleur respectueux de l'environnement. Pour les ménages et les entreprises, le raccordement à un réseau thermique signifie la garantie de prix stables par rapport aux fluctuations de prix des énergies fossiles, des coûts d'exploitation et de maintenance plus faibles et une contribution personnelle contre le changement climatique. En outre, grâce aux réseaux thermiques (à basse température), il est possible de refroidir et de l'espace est gagné dans la cave lors du remplacement d'une chaudière à mazout. Cependant, des questions cruciales se posent également aux municipalités, comme la manière de gérer les émissions sonores et les obstructions à la circulation, ainsi que les restrictions au commerce pendant les travaux de construction, de forage et de rénovation des conduites de chaleur.

Il convient de rappeler que les résultats de cette étude comparent une zone entière avec un mélange de différents systèmes de chauffage. Les effets seraient beaucoup plus forts en faveur des réseaux thermiques si les systèmes de chauffage étaient comparés directement. Dans les deux scénarios avec une solution mixte, seuls 40 % des besoins en chaleur sont connectés à un réseau thermique. Le reste est constitué pour la plupart, de systèmes de chauffage à base de combustibles fossiles.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Gebäudepark Schweiz wird heute zu einem grossen Teil über die fossilen Energieträger Heizöl oder Erdgas versorgt. Heizungen mit erneuerbaren Energien wie Wärmepumpen und Holzheizungen spielen derzeit eine geringere Rolle. Eine Alternative zu individuellen Heizlösungen sind Verbundlösungen. Diese ermöglichen beispielsweise die Nutzung von Wärmequellen wie Abwärme aus den Kehrlichtverbrennungen (hohe Temperaturen) oder die Wärme von See- und Grundwasser (tiefere Temperaturen). Wird See- oder Grundwasser im Verbund genutzt anstatt für Einzelheizungen, sind unter anderem weniger Wasserfassungen notwendig, was die Umwelt entlastet. Bei Verbunden mit Holz als Energieträger stehen andere Vorteile im Vordergrund. Hier ermöglicht die Verbundlösung im Vergleich zur Einzelheizung beispielsweise tiefere Feinstaubemissionen.

Das Programm «Thermische Netze» des Bundesamts für Energie stellt Grundlagen zum Thema zusammen und erarbeitet neue Beiträge wie Erfahrungsberichte, Leitfäden und Instrumente. Im Rahmen dieses Programms wird im folgenden Bericht der volkswirtschaftliche Nutzen von Verbundlösungen gegenüber Einzelheizungen analysiert.

1.2 Ziel und Vorgehen

Übergeordnetes Ziel ist, den volkswirtschaftlichen Nutzen von thermischen Netzen und Einzelheizungen zu vergleichen. Dazu wird für ein fiktives Gebiet ein Referenzszenario mit zwei Verbundscenarien, Holzschnittel und Grundwasser, verglichen. Ausgangsjahr für den Vergleich ist das Jahr 2018, die Referenzszenarien werden für das Jahr 2023 ausgewiesen. Im Referenzszenario wird ein typischer aktueller Schweizer Heizungsmix angenommen. In den Verbundscenarien wird angenommen, dass im Gebiet ein Wärmeverbund entsteht (Grundwasser resp. Holz) und einen Teil des Wärmebedarfs abdeckt (Szenarien siehe Kap. 2.1). Die Analyse umfasst neben klassischen volkswirtschaftlichen Grössen auch sozioökonomische und ökologische Aspekte (Kriterien siehe Kap. 2.2).

2 Szenarien und Bewertungskriterien

2.1 Definition der Szenarien

Um Verbundlösungen mit Einzelheizungen vergleichen zu können, wird ein Gebiet definiert, das sich grundsätzlich für eine Verbundlösung eignet, also in der die nachgefragte Wärmedichte genügend gross ist. Das gewählte Gebiet wurde anhand eines konkreten Gebiets in einem regionalen Zentrum hergeleitet. Es umfasst eine gemischte Nutzung (Wohnungen, Dienstleistung, Gewerbe). Die folgende Tabelle beschreibt das Gebiet mit zentralen Kennwerten.

	Kennwerte im Ausgangsjahr (2018)	Kennwerte im Vergleichsjahr (2023)
Gebiet	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rund 100 Hektaren (1 km²) ▪ 150 Gebäude (110 Wohngebäude, 40 Dienstleistungs- und Gewerbegebäude) ▪ 100'000 m² Energiebezugsfläche (65'000 m² Wohnnutzung, 35'000 m² Dienstleistung und Gewerbe) 	
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10'000 MWh 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 9'652 MWh
Wärmebedarfsdichte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchschnittlich rund 100 MWh pro Hektare¹ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durchschnittlich rund 96.5 MWh pro Hektare

Tabelle 1: Kennwerte Referenzszenario

Die Wärmeversorgung im Gebiet erfolgt im Ausgangsjahr 2018 zum grössten Teil fossil, wobei sowohl Öl- und Gasheizungen grosse Anteile aufweisen (siehe Tabelle 2). Für alle Szenarien wird davon ausgegangen, dass der Bedarf zwischen dem Ausgangsjahr 2018 und dem Vergleichsjahr 2023 um ca. 3.5% sinkt, da Gebäude energetisch saniert werden². In der Referenzentwicklung über 5 Jahre wird davon ausgegangen, dass Heizungen in diesem Gebiet nach Ablauf der Lebensdauer ersetzt werden. Die Annahmen zur Wahl des Energieträgers beim Heizungersatz³ führen zu einer leichten Verschiebung der Anteile. Der Anteil der Wärmepumpen steigt, während der Anteil Ölheizungen sinkt. Die Veränderungen sind nur gering, da der 1:1 Ersatz (Ersatz einer Heizung durch die gleiche Technologie) beim Wechsel des Wärmeerzeugers dominiert. Dabei ist zu beachten, dass davon ausgegangen wird, dass keine gesetzlichen Anforderungen an den Wechsel des Wärmeerzeugers gelten, also beispielsweise das Modul F der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n 2014) nicht oder noch nicht eingeführt ist.

Dieser Referenz werden zwei Szenarien gegenübergestellt, in denen das Gebiet mit einem thermischen Netz erschlossen wird (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3). Durch den Anschluss von Schlüs-

¹ Innerhalb des definierten Gebietes gibt es Zonen mit tieferer (bei Einzelheizungen) und höherer Wärmebedarfsdichte (bei Anschluss an einen Wärmeverbund)

² Konkrete Annahmen gemäss Bericht «Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen – Sektor Gebäude» von EBP im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt im Jahr 2018

³ Konkrete Annahmen aus derselben Studie

selkunden mit hohem fossilen Wärmebedarf wird davon ausgegangen, dass nach 5 Jahren (also im Vergleichsjahr 2023) ein Anteil des Wärmeverbunds von 40% erreicht wird⁴.

[%]	Heizöl	Gas	WP L/W	WP S/W	Holz	Verbund
Ausgangsszenario (2018)	40%	55%	2.4%	2.4%	< 1%	0%
Referenzszenario 2023	38%	55%	3.5%	3.5%	< 1%	0%
Szenario Holz-Verbund 2023	19%	35%	2.8%	2.8%	< 1%	40% (Holz)
Szenario Grundwasser-Verbund 2023	19%	35%	2.8%	2.8%	< 1%	40% (Gr-W.)

Tabelle 2: Zusammensetzung der Energieträger anteilmässig (in Prozent). WP L/W = Wärmepumpe Luft/Wasser, WP S/W = Wärmepumpe Sole/Wasser, GW = Grundwasser

[MWh/a]	Heizöl	Gas	WP L/W	WP S/W	Holz	Verbund
Ausgangsszenario 2018	4'000	5'500	240	240	20	0
Referenzszenario 2023	3'600	5'300	340	340	20	0
Szenario Holz-Verbund 2023	1'900	3'300	270	270	10	3'900 (Holz)
Szenario Grundwasser-Verbund 2023	1'900	3'300	270	270	10	3'900 (Gr-W.)

Tabelle 3: Zusammensetzung der Energieträger anhand der produzierten Wärme in MWh pro Jahr

2.2 Definition der Bewertungskriterien

Die drei Szenarien werden hinsichtlich ihres volkswirtschaftlichen Nutzens untersucht. Dabei wird dieser nach ökonomischen, ökologischen und weiteren qualitativen Kriterien unterschieden. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die Kriterien in den drei Bereichen aufgelistet.

Bereich	Kriterien
Ökonomische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> Investitions-, Unterhalt- und Energiekosten für die Wärmeversorgung (in CHF pro Jahr)

⁴ Annahme: nach 5 Jahren wird 80% der Anschlussdichte erreicht, wobei mit einer finalen Anschlussdichte von 50% gerechnet wird.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestehungskosten Wärme (in CHF pro kWh) ▪ Inlandsnachfrage: Wertschöpfung, Vorleistungen Schweiz und Importe (in CHF pro Jahr) ▪ Beschäftigung (in Vollzeitäquivalenten VZÄ)
Ökologische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Treibhausgasemissionen (in kg CO₂-eq) ▪ Kumulierte Umweltbelastung (in Umweltbelastungspunkten, UBP)
Weitere Kriterien (qualitativ)	<p>...für Gemeinden</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lärmbelastung und Verkehrsbehinderungen beim Leitungsbau ▪ Gesellschaftliche Akzeptanz (Aspekte: Nutzung von lokalen / regionalen Energiequellen wie Holz und Erdwärme, lokale / regionale Wertschöpfung, Beitrag an Klimaschutz, Reduktion von lokalen Schadstoffemissionen) ▪ Versorgungssicherheit bei Wärmelieferung ▪ Einschränkungen der gewerblichen Tätigkeiten während Bau/Reparaturen <p>...für Wärmebezüger</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Platzgewinn im Keller beim Umstieg von Öl ▪ Unabhängigkeit von fossilen Energiepreisen & politischen Entwicklungen ▪ Betriebsaufwand der Wärmebezüger ▪ Preisstabilität ▪ Investitionskosten ▪ Möglichkeit für Nutzung zu Kühlzwecken (bei Niedertemperaturnetz) ▪ «Psychologische Ebene»: Hoher Grad an Eigenständigkeit & Selbstbestimmung ▪ «Emotionale Ebene»: Gutes Gefühl, erneuerbare Energien zu nutzen und Beitrag an Klimaschutz zu leisten <p>...für Bauherren und Betreiber (Gemeinde, gemeinde-eigener Versorger, externer Versorger, Kombinationskonstrukt)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Risiken bei Planung, Bau, Betrieb ⁵ ▪ Aussicht auf betrieblichen Gewinn ▪ Chance für langfristige Kundenbeziehungen und stabile Ertragsquellen ▪ Imageverbesserung

Tabelle 4: Kriterien für die Bewertung der Szenarien

Die ökonomischen und ökologischen Kriterien werden im Kapitel 4.1 und 4.2 quantitativ bewertet. Die weiteren qualitativen Kriterien werden aufgrund von Experteneinschätzungen vorgenommen und in Kapitel 4.3 bewertet.

2.3 Datengrundlagen

Folgende Grundlagen wurden für die quantitative und qualitative Bewertung der Nutzen untersucht.

⁵ siehe Bericht Risiken Thermische Netze (BFE, 2018), Analyse von diversen Risiken: Planungsrisiken (Mehrkosten, Produktqualität), rechtliche Risiken (Bauklagen, Garantieklagen, etc.), kommerzielle Risiken, Angebotsseite/ Wärmelieferant und Absatzseite/Nachfrage sowie Konkurrenz), bauliche Risiken (Wetter, Altlasten, Archäologie, Etappierung Baustelle etc.), betriebliche Risiken (Umweltauflagen, etc.), politische Risiken (neue Umweltauflagen, Energierichtpläne, MUKEN, ...), finanzielle Risiken (Zinsniveau, Wiederbeschaffungswert, ...), Reputationsrisiken

Kriterium	Datengrundlagen und Fachexpertise
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HSLU Heizkostenrechner ▪ Studie EBP zu volkswirtschaftlicher Bedeutung erneuerbarer Energien (Nathani et al. 2013) ▪ « Economie et fondements de la rentabilité », (Calame N. et al., 2017) ▪ Aktuelle Preisangaben von Websites (www.elcom.admin.ch, www.propellets.ch) ▪ Begleitung durch Programm thermische Netze (HSLU) und EBP interne Experten
Wertschöpfung und Aussenbeitrag	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Studie EBP zu volkswirtschaftlicher Bedeutung erneuerbarer Energien (Nathani et al. 2013) ▪ Schweizerische Input-Output-Tabelle 2014 (BFS 2018) ▪ Wertschöpfung nach Branchen (BFS 2018) ▪ Arbeitsproduktivität nach Branchen (BFS 2019) ▪ Energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014 (BFE, 2019) ▪ Beurteilung durch Auftraggeber (HSLU) und EBP interne Experten ▪ Unterstützung durch externen Experten (C. Nathani, Geschäftsleiter von Rütter Soceco AG und Hauptautor der Energy Input-Output Studie)
Treibhausgase und UBP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KBOB Empfehlungen zu Ökobilanzdaten im Baubereich (2009/1:2016) ▪ Umweltrechner http://treeze.ch/rechner/?L=1
Weitere qualitative Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berichte des Programms «Thermische Netze» zu sozioökonomischen Aspekten (Meier et al. 2019) und zu Risiken (Küng et al. 2018) ▪ Beurteilung durch Auftraggeber (HSLU) und EBP interne Experten

Tabelle 5: Datengrundlagen zu den einzelnen Kriterien für die Bewertung der Szenarien (Details siehe Anhang A2)

3 Methodik: Bewertung der Nutzen

Die Bewertung der Nutzen erfolgt auf der Basis der drei Szenarien. Für jedes Szenario wurde ein Mix an unterschiedlichen Heizungen angenommen (siehe Kap. 2.1). Ausgehend vom Wärmebedarf je Heizung wurde mittels Nutzungsgrad / Jahresarbeitszahl der Endenergiebedarf berechnet. Dieser Endenergiebedarf ist die Inputgrösse für die nachfolgenden Berechnungen der ökonomischen wie auch der ökologischen Kennzahlen.

3.1 Ökonomischer Nutzen

Für die Bewertung des ökonomischen Nutzens wurden folgende Parameter für die definierten Szenarien quantitativ erfasst:

1. Kosten: Investitions-, Unterhalts-, Energiekosten für die Wärmeversorgung (in CHF pro Jahr), daraus abgeleitet die Gesteuerungskosten (in CHF/kWh)
2. Wertschöpfung: Wertschöpfung (in CHF pro Jahr) und Beschäftigung (in Vollzeitäquivalenten VZÄ) sowie die entsprechenden Vorleistungen in der Schweiz und Importe (in CHF pro Jahr)

Kosten: Erläuterung zum Vorgehen

Die Investitions-, Unterhalts-, Energiekosten wurden jeweils pro kW oder kWh eruiert (siehe Datengrundlagen im Kap. 2.3) und anschliessend entsprechend mit der Leistung oder dem Energiebedarf multipliziert. Dies ergibt die totalen jährlichen Kosten der jeweiligen Heizungsart (Heizöl, Gas, Wärmepumpe, Pellets und Verbunde). Dieses Total entspricht im vorliegenden Bericht dem Umsatz und ist gleichbedeutend mit dem Bruttoproduktionswert (Begriffe siehe nachfolgender Info-Kasten).

Um das Ausgangsjahr 2018 mit dem Referenzjahr 2023 vergleichen zu können, müssen alle Kosten pro Jahr ausgewiesen werden. Dazu müssen die einmaligen Investitionsausgaben in durchschnittliche jährliche Kosten umgerechnet werden. Dazu wird mit dem Annuitätenfaktor multipliziert, der die jeweilige Lebensdauer der Anlagen und einen Zinssatz berücksichtigt. Mit der Lebensdauer werden die durchschnittlich jährlichen Kosten (Abschreibungen) der jeweiligen Anlagen erfasst, mit dem Zinssatz sollen Zahlungen/Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten miteinander vergleichbar gemacht werden. Hier wird ein Zinssatz von 0 % verwendet, da es sich im vorliegenden Fall nicht um eine Investitionsplanung handelt und somit nicht betrachtet wird, zu welchem Zeitpunkt welche Investitionen getätigt werden sollen.

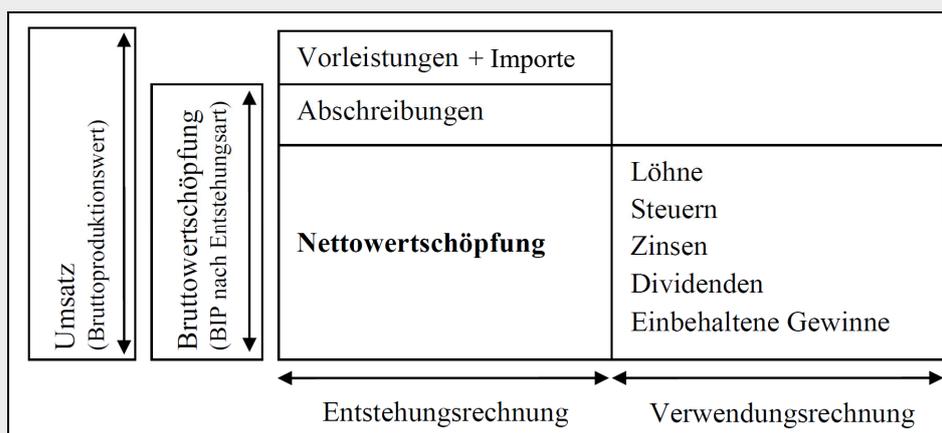
Wertschöpfung: Begriffe und Erläuterung zum Vorgehen

Im Rahmen dieser Studie wird für die erste Stufe der Wertschöpfungskette die Bruttowertschöpfung der verschiedenen Szenarien berechnet und miteinander verglichen. Sie besteht aus den generierten Lohneinkommen, Steuern, Zinsen, Dividenden, Gewinnen sowie den Abschreibungen.

Dazu werden auch die Vorleistungs- und Importanteile für dieses erste Wertschöpfungsglied berechnet. Die Beschäftigung lässt sich aus der Arbeitsproduktivität einer Branche ableiten und wird in Anzahl Vollzeitäquivalenten (VZÄ) ausgewiesen. Sie ist eng gekoppelt an die Wertschöpfung.

Begriffsdefinitionen⁶

Die folgende Abbildung zeigt die Definition der verwendeten ökonomischen Begriffe.



- **Bruttoproduktionswert:** Der Bruttoproduktionswert entspricht dem Umsatz (in CHF) eines Unternehmens oder der Summe von Unternehmen eines Produktionssektors. Für den Bruttoproduktionswert werden auch die abgekürzten Begriffe Bruttoproduktion oder Produktionswert verwendet. In der vorliegenden Studie entspricht dies dem Umsatz, der in den einzelnen Szenarien generiert wird.
- **Bruttowertschöpfung:** Werden die Vorleistungsbezüge vom Bruttoproduktionswert abgezogen, resultiert die Bruttowertschöpfung. Die Wertschöpfung bezeichnet den Mehrwert, der im Zuge einer wirtschaftlichen Tätigkeit eines Unternehmens oder eines Produktionssektors anfällt. Der Mehrwert wird dazu verwendet, die beteiligten Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Boden zu entgelten sowie durch Abschreibungen die Wiederbeschaffung der Anlagen sicherzustellen.
- **Nettowertschöpfung:** Die Nettowertschöpfung ist das Entgelt für die Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital in einem Unternehmen oder einem Produktionssektor. Sie setzen sich zusammen aus den Löhnen, Steuern, Zinsen, Dividenden und einbehaltenen Gewinnen. Nach ökonomischer Definition wird der hier beschriebene Mehrwert ohne Abschreibungen als *Nettowertschöpfung* bezeichnet.
- **Vorleistungen:** Die Vorleistungen entsprechen dem Wert der Waren und Dienstleistungen, die während der betrachteten Periode verbraucht werden, um andere Waren und Dienstleistungen herzustellen. Die Vorleistungen umfassen somit den für den Produktionsprozess notwendigen Input.⁷ Zu den Vorleistungen gehören z.B. Mietkosten, Elektrizitätskosten für den Betrieb von Maschinen und die Kosten für die Maschine. Die Vorleistungen entsprechen der Differenz zwischen dem Bruttoproduktionswert und der Wertschöpfung.

⁶ In Anlehnung an den Bericht «Inländische Wertschöpfung bei der stofflichen und energetischen Verwendung von Holz» (EBP 2013)

⁷ Siehe BFS Definitionen: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/grundlagen/definitionen.html>

- *Importe*: Die Importe umfassen Vorleistungen aus dem Ausland. Sie werden in dieser Studie separat dargestellt.
- *Arbeitsproduktivität*: Die Arbeitsproduktivität entspricht der Bruttowertschöpfung (BWS) pro Arbeitsinput. Sie dient dazu, die Effizienz des Arbeitsinputs im Produktionsprozess zu messen. In der vorliegenden Studie entspricht die Arbeitsproduktivität der Bruttowertschöpfung zu laufenden Preisen pro Beschäftigte und wird in CHF pro Vollzeitäquivalent (VZÄ) ausgedrückt.

Die Berechnung der Wertschöpfung und Beschäftigung erfolgt in drei Schritten, die auf folgenden Zusammenhängen basieren:

1. Schritt: Bruttoproduktionswert = Menge * Kosten
(bspw. Endenergiebedarf * Kosten pro kWh oder Leistung einer Heizung * Kosten pro kW)
2. Schritt: Wertschöpfung = Bruttoproduktionswert * Wertschöpfungsanteil
3. Schritt: Vorleistungen = Bruttoproduktionswert * Vorleistungsanteil
4. Schritt: Beschäftigung = Bruttowertschöpfung / Arbeitsproduktivität

Der Wertschöpfungsanteil und die Arbeitsproduktivität (Beschäftigung pro Franken Bruttoproduktionswert) unterscheiden sich je nach Branche. Die Branchen werden der allgemeinen Systematik der Wirtschaftszweige (NOGA) des Bundesamts für Statistik entnommen, diese bilden auch die Basis der benötigten Datengrundlagen «Input-Output-Tabelle»⁸ und «Arbeitsproduktivität nach Branchen»⁹. Zusätzlich dient die energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014 (BFE, 2019) für detailliertere Angaben zu gewissen Energiebranchen. Das geplante Vorgehen wurde für diesen Teil erweitert um zusätzliche vertiefte Abklärungen (inkl. Expertengespräche) zur Methodik wie auch zu Wertschöpfungs- und Importanteilen von Energieträgern.

Die Investitions-, Unterhalts-, Energiekosten wurden anteilmässig auf die entsprechenden Branchen verteilt. Beispielsweise wurden die Energiekosten für Pellet-Heizungen der Branche «Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)» (NOGA 16) zugeordnet, da hier auch explizit die Herstellung von Pellets dazu gehört. Anhand dieser Zuteilung wurden danach die Wertschöpfung und Beschäftigung berechnet und je Szenario ausgewiesen.

Die Anteile der Vorleistungen und Importe wurden wiederum je Branche basierend auf der schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014 (BFS 2018a) sowie ergänzend dazu auf der Energy Input-Output Tabelle (BFE 2019a) berechnet und für jedes Szenario ausgewiesen. Bei sehr generischen NOGA-Branchen (z.B. Grosshandel), wurden die entsprechenden Vorleistungs- und Im-

⁸ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/volkswirtschaft/input-output.html> (zuletzt aufgerufen am 13.11.2019)

⁹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.9546255.html> (zuletzt aufgerufen am 13.11.2019)

portanteile (z.B. für Handel mit Heizöl) angepasst, sofern bessere Datengrundlagen verfügbar waren.

Interpretation der Nutzen:

Bei der Interpretation der Nutzen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

Analyse der ersten Wertschöpfungsebene: In dieser Studie wird nur die erste Ebene der Wertschöpfungskette betrachtet, also die direkten Effekte und deren Vorleistungs- und Importanteile. Dies entspricht der Bruttowertschöpfung und der Beschäftigung der direkt mit der Umsetzung beauftragten Unternehmen (z.B. Heizungsinstallateur, Heizöllieferant, Tiefbau-Firma für Leitungslegung). Die weiteren Stufen der Wertschöpfungskette (also die der Vorleister) sowie die induzierten Effekte werden in dieser Studie nicht näher untersucht. Diese indirekten Effekte entsprechen der Wertschöpfung und Beschäftigung bei den Produzenten von Vorleistungen, welche die beauftragten Unternehmen und Betriebe benötigen. Die induzierten Effekte umfassen die Wertschöpfung und Beschäftigung, die dadurch entstehen, dass die Beschäftigten der Unternehmen der direkten und indirekten Effekte ihr Einkommen wieder ausgeben (Multiplikatorwirkung).

Analyse ohne Verdrängungseffekte: Es handelt sich durchwegs um Nutzen ohne Berücksichtigung von Verdrängungseffekten (Crowding-Out). Diese entstehen dann, wenn die Finanzierung einer Umsetzungsmassnahme an anderen Orten zu negativen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten führt, weil die Mittel für ebendiese Finanzierung abgezogen werden. Allenfalls sind diese Verdrängungseffekte aus Sicht der Betreiber zu beachten, weil sehr grosse Summen in den Ausbau von Fernwärme investiert werden, welche für andere Zwecke nicht zur Verfügung stehen.

Analyse auf Ebene Schweiz: Die ökonomische Analyse erfolgt innerhalb der Systemgrenze Schweiz. Eine Beurteilung, ob die ausgewiesenen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in der Region selber erfolgen, kann gegebenenfalls in einer separaten Studie qualitativ auf Basis von Einschätzungen lokaler bzw. regionaler Kennern der Situation erfolgen.

3.2 Ökologische Nutzen

Der ökologische Nutzen der Szenarien wird anhand der anfallenden Treibhausgasemissionen (in kg CO₂-eq) und der Gesamtumweltbelastung mit der Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte, UBP) quantifiziert. Die Berechnungsgrundlagen für die Szenarien befinden sich in Anhang A1.

Die Ökobilanzierung basiert auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (ecoinvent v2.2) und dem Umweltrechner¹⁰, welcher kompatibel ist mit ecoinvent v2.2. Mit dem Rechner wurden Varianten bei der Zusammensetzung des Stroms für die Einzelheizung Wärmepumpen (Luft/Wasser und Sole/Wasser) und dem Grundwasser-Verbund berechnet.

¹⁰ <http://treeze.ch/rechner/?L=1>

Ökobilanzdaten basieren auf Stoff- und Energieflüssen, welche bezüglich ihrer Umweltrelevanz bewertet werden (gemäss ecoinvent Methodik). In den Stoff- und Energieflüssen zur Bereitstellung von Endenergie sind das Bereitstellen der benötigten Energieträger (ausgehend von der Gewinnung der Primärenergieträger), die Bereitstellung und Entsorgung der Infrastruktur (Bohrinseln, Pipelines, Kraftwerke, Verteilnetze, etc.) sowie alle Emissionen, inklusive Emissionen durch die Verbrennung der Energieträger enthalten. Zur Bereitstellung von Nutzenergie sind zusätzlich der Nutzungsgrad der Wärmebereitstellung sowie die Bereitstellung und Entsorgung der Wärmeerzeuger enthalten (KBOB 2016).

Die **Umweltbelastungspunkte (UBP)** quantifizieren die Umweltbelastungen durch die Nutzung von Energie- und stofflichen Ressourcen, von Land und Süsswasser, durch Emissionen in Luft, Gewässer und Boden, durch die Ablagerung von Rückständen aus der Abfallbehandlung sowie durch Verkehrslärm. Die Beurteilung mit der Methode der ökologischen Knappheit zeigt (in UBP) ein vollständiges Bild der Umweltauswirkungen auf und basiert auf der Schweizerischen Umweltpolitik. Sie entspricht den Anforderungen eines „true and fair view“ bezüglich Umweltinformationen (KBOB 2016).

Die **Treibhausgasemissionen** quantifizieren die kumulierten Wirkungen verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz CO₂. Die Treibhauswirkung wird auf Basis der Treibhauspotenziale des 5. Sachstandberichts des IPCC (2013) quantifiziert. Die in dieser Empfehlung ausgewiesenen Treibhausgasemissionen sind ein Kennwert für die Klimaerwärmung. Sie sind nicht gleichbedeutend mit dem standortgebundenen CO₂-Ausstoss (KBOB 2016).

Für die vorliegende Analyse wurde der Wärmebedarf der Heizungen (Öl, Gas, Wärmepumpe, Holz) mit den jeweiligen Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen pro kWh verrechnet. Die Resultate pro Szenario werden in Kapitel 4 aufgezeigt.

4 Resultate: Nutzen von thermischen Netzen

4.1 Szenarien-Vergleich ökonomische Kriterien

4.1.1 Investitions-, Unterhalts- und Energiekosten für die Wärmeversorgung

Im Folgenden werden die Szenarien aufgrund ihrer Investitions-, Unterhalts- und Energiekosten verglichen. Die Kosten pro Jahr werden jeweils für die drei Szenarien im Jahr 2023 ausgewiesen. Alle Berechnungsgrundlagen sind im Anhang A1 jeweils für die einzelnen Heizungstypen aufgeschlüsselt.

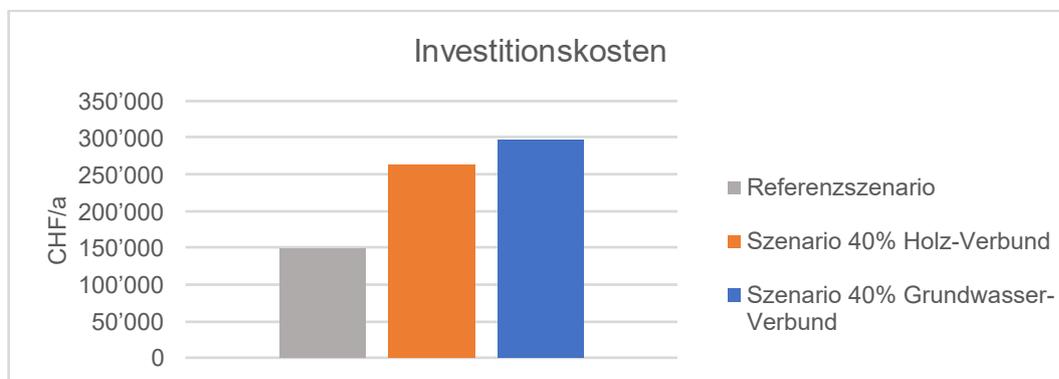


Abbildung 3: Investitionskosten der Szenarien im Vergleich

Um die in unterschiedlichen Jahren anfallenden Investitionskosten über die Szenarien miteinander vergleichen zu können, werden über die Lebensdauer der Anlagen durchschnittliche jährliche Kosten berechnet, siehe dazu die methodischen Grundlagen in Kapitel 3.1. Diese durchschnittlichen Werte widerspiegeln nicht die reale Entwicklung. Bei den Einzelheizungen wird jeweils nach rund 20 Jahren ein Ersatz angenommen, was über die Zeit zu einigermaßen einheitlich verteilten Investitionen führt. Beim Verbund ist die Verteilung hingegen viel weniger einheitlich, da der grösste Anteil der Kosten zu Beginn für den Bau der Zentrale und der Hauptleitungen anfällt.

Bei beiden Verbund-Szenarien ist mit höheren Investitionskosten als im Referenzszenario zu rechnen (siehe Abbildung 3). Ein wichtiger Grund dafür liegt beim Bau des Verteilnetzes, der im Fall der Einzelheizungen nicht nötig ist. Bei der Grundwasser-Wärmepumpe kommen zudem hohe Kosten für Bohrungen und Brunnenausbau hinzu.

Die Investitionskosten pro installierter Leistung Wärme variieren von knapp 500 Fr./kW bei Gas Einzelheizungen bis zu 2'500 Fr./kW bei der Erstellung eines Holz Wärmeverbundes oder 3'200 Fr./kW bei der Erstellung eines Grundwasser Wärmeverbundes.

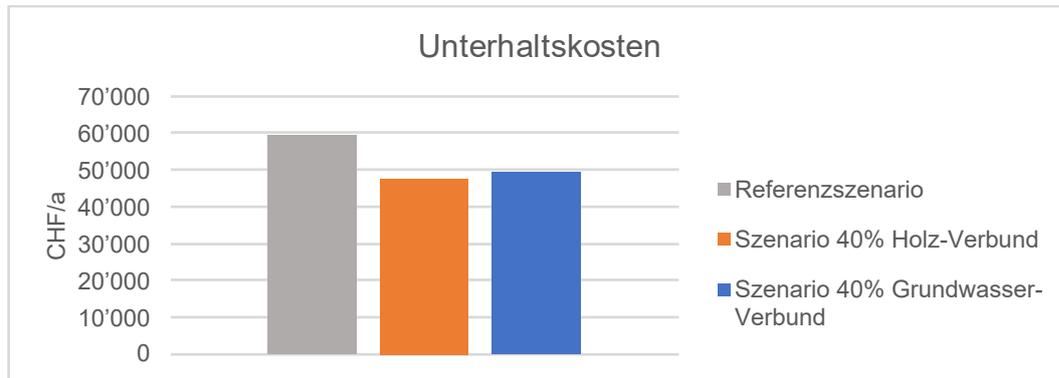


Abbildung 4: Unterhaltskosten der Szenarien im Vergleich

Die beiden Verbund-Szenarien weisen ca. 20% tiefere Unterhaltskosten aus als das Referenzszenario (Abbildung 4). Es müssen weniger Einzelheizungen unterhalten und kontrolliert werden, die Verbunde profitieren bei der Wärmezentrale von Skaleneffekten. Bei beiden Verbunden sind aber spezifische Wartungsarbeiten erforderlich. Beim Holz-Verbund sind es z.B. Kaminfegerarbeiten oder Luftreinhalte-Kontrollen. Beim Szenario Grundwasser-Verbund sind die Kosten leicht höher als beim Szenario Holz-Verbund, weil zusätzlich zu den Kontrollen der Energiezentrale auch Kontrollarbeiten bei den Entnahme- und Rückgabebrunnen vorgesehen sind. Für beide Verbunde gilt, dass sich je nach Zustand und Lage der Anlagen die Unterhaltskosten stark variieren können.

Die Bandbreite der Unterhaltskosten pro Leistungseinheit beträgt zwischen 6 Fr./kW bei einem Grundwasser Wärmeverbund, 7 Fr./kW bei einem Holz Wärmeverbund, ca. 12 Fr./kW bei Sole/Wasser Wärmepumpen und 13 Fr./kW bei Gas Einzelheizungen.

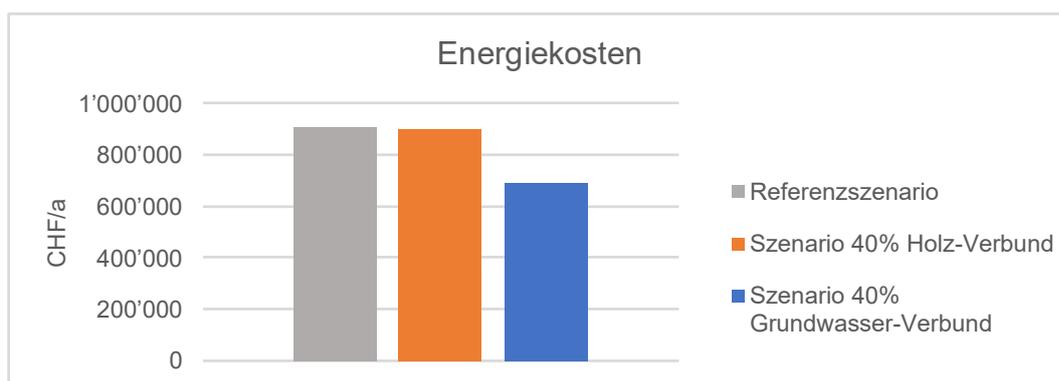


Abbildung 5: Energiekosten der Szenarien im Vergleich

Die Energiekosten sind beim Szenario Grundwasser-Verbund mit jährlich knapp 560'000 Fr. für das betrachtete Areal am tiefsten, da nur Strom für den Betrieb benötigt wird, eine hohe JAZ gilt und bei der grossen Strommenge ein tieferer Strompreis resultiert als für Einzelheizungen. Die beiden anderen Szenarien haben grosse Mengen an fossilen und erneuerbaren Rohstoffen, also Öl, Gas oder Holz, welche sich in den Kosten niederschlagen (Abbildung 5). Im Referenzszenario

ist der Anteil an Wärmepumpen Einzelheizungen immer noch zu gering, um tiefere Energiekosten auszuweisen.

Die Energiekosten für Holz (8 Rp./kWh für Pellets, 6.5 Rp./kWh für Hackschnitzel) sind im langjährigen Mittel gemäss Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) des BFS leicht tiefer als Öl (9 Rp./kWh) und Gas (9 Rp./kWh). Die Holz-Wärmeverbunde weisen trotz tiefen Rohstoffpreisen hohe Wärmekosten auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der angenommene Nutzungsgrad nur gerade 70% beträgt¹¹.

Im Folgenden werden die drei Kosten-Komponenten zusammen dargestellt, um die jährlichen Gesamtkosten sowie die Gestehungskosten auszuweisen.

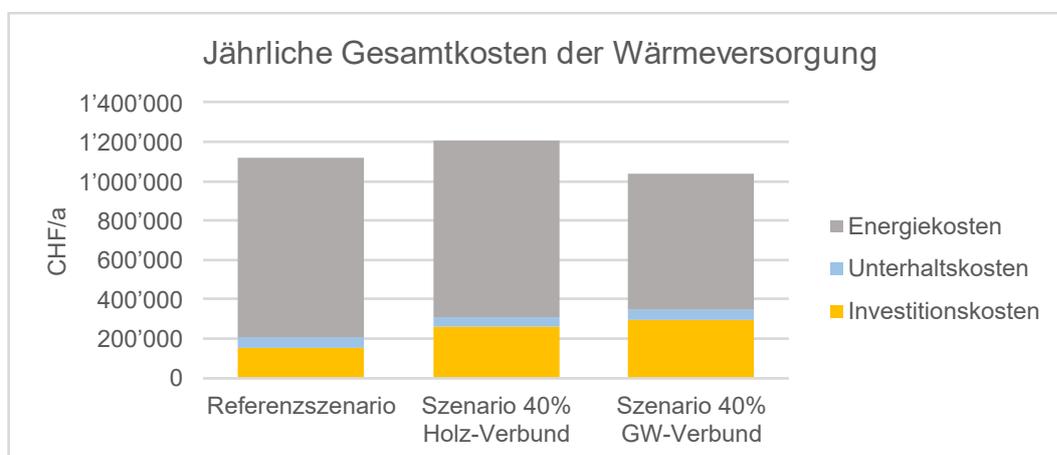


Abbildung 6: Aufteilung der jährlichen Gesamtkosten pro Szenario nach Investitions-, Unterhalt- und Energiekosten

Vergleicht man die drei Szenarien bezüglich ihrer jährlichen Gesamtkosten, fallen die Unterschiede gering aus (Abbildung 6). Die Energiekosten machen in allen drei Szenarien bei Weitem den grössten Anteil aus. Im Szenario Grundwasser-Verbund sind es rund zwei Drittel, im Szenario Holz-Verbund drei Viertel und im Referenzszenario gut 80% der jährlichen Gesamtkosten.

Die Investitionskosten werden auf einen jährlichen Betrag heruntergebrochen (siehe Methodik Kap. 3.1) und machen im Vergleich dazu einen Anteil von 17% (Referenzszenario), 23% (Szenario Holz-Verbund) und 33% (Szenario Grundwasser-Verbund) aus.

Im Vergleich dazu machen die Unterhaltskosten nur einen geringen Anteil aus (4 bis 5% der jährlichen Gesamtkosten). Hier zeigt sich, dass die Verbundlösungen zwar in der Investition teurer sind (wegen den hohen Kosten für das Netz und bei Grundwasser-Wärmeverbunden zusätzlich für die Bohrungen), der Betrieb aber deutlich günstiger ist. Insbesondere der Grundwasser-Verbund führt durch die hohe Jahresarbeitszahl (JAZ) zu einem effizienten Einsatz der Energie (Stromkosten). Beim Szenario Holz-Verbund ist der Energiekostenanteil hoch, obwohl für die benötigten Hackschnitzel ein tieferer Preis angenommen wurde als für fossile Brennstoffe. Dies ist auf den tiefen Nutzungsgrad von 70% (bei Gas 95%, bei Heizöl 90%) zurückzuführen.

¹¹ Annahme Nutzungsgrad inkl. Verluste Netz (ca. 10%). Gleiche Annahme gilt auch für die JAZ bei Grundwasser-Verbund.

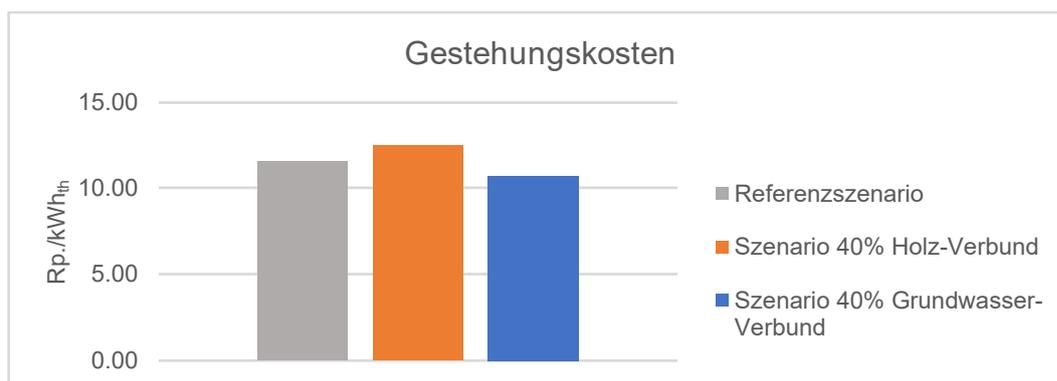


Abbildung 7: Gestehungskosten der Szenarien im Vergleich

Aus den Gesamtkosten lassen sich die Gestehungskosten ableiten (Abbildung 7). Diese Wärme-Gestehungskosten setzen sich wiederum zusammen aus den Investitions-, Unterhalt- und Energiekosten. Sie bilden den *durchschnittlichen theoretischen Preis* ab, den die Wärmebezüger pro kWh thermische Energie im betrachteten Gebiet bezahlen. Dieser Preis entspricht dem Durchschnitt und ist zusammengesetzt aus den Wärmegestehungskosten der einzelnen Heizsysteme, wo sich die Kundenpreise zwischen 10.1 Rp/kWh bei Luft/Wasser Wärmepumpen Einzelheizungen und 14.0 Rp/kWh bei einem Anschluss an einen Holz Wärmeverbund bewegen.

Durchschnittliche Gestehungskosten pro Szenario (über alle Heizungen) bewegen sich zwischen 10.8 Rp/kWh beim Szenario Grundwasser-Verbund, knapp 12 Rp/kWh beim Referenzszenario und 12.5 Rp/kWh beim Szenario Holz-Verbund. Die höheren Gestehungskosten beim Szenario Holz-Verbund erklären sich durch den tiefen Nutzungsgrad der Feuerungsanlagen (siehe auch Erklärungen bei Gesamtkosten im vorangehenden Abschnitt). Holz-Verbunde werden in der Schweiz teilweise gefördert (von Kantonen, von der Stiftung KliK), um diese konkurrenzfähiger zu machen. Subventionen werden im Rahmen dieser Studie aber nicht mit einberechnet. Aus Kostensicht erzielt der Grundwasser-Verbund das beste Resultat, da er die Leistungen mit den geringsten Kosten erbringt.

4.1.2 Wertschöpfung, Vorleistungen und Importe

Aus Sicht der schweizerischen Volkswirtschaft ist von Interesse, inwieweit die Kosten zu Wertschöpfung und Beschäftigung in der Schweiz führen. Dazu werden die Investitions-, Unterhalt- und Energiekosten aus dem vorangehenden Kapitel den entsprechenden Branchen zugeteilt. In den folgenden Auswertungen werden die direkte Wertschöpfung, die Vorleistungen, die Importe sowie die Beschäftigung je Szenario dargestellt (siehe auch Methodik Kap. 3.1).

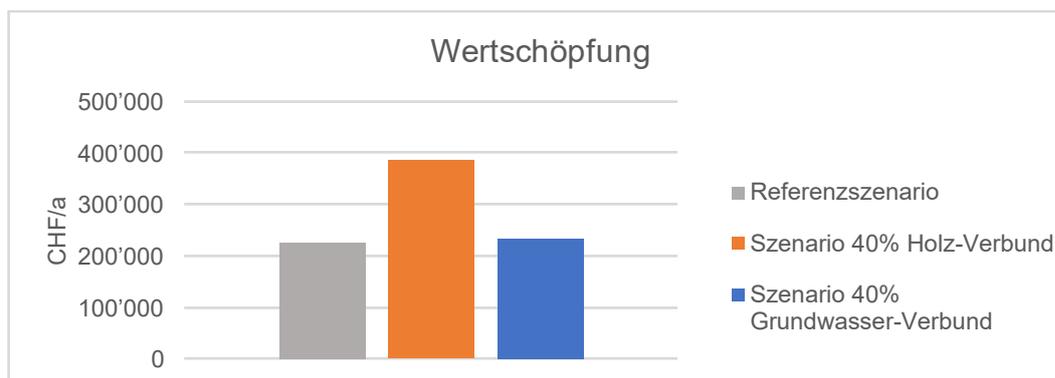


Abbildung 8: Wertschöpfung der Szenarien im Vergleich

Das Szenario Holz-Verbund weist eine deutlich höhere inländische Wertschöpfung (+72%) auf als das Referenzszenario (siehe Abbildung 8). Bei einem Grundwasser-Verbund ist gegenüber dem Referenzszenario (+3%) nur mit einer marginal höheren Wertschöpfung zu rechnen.

Die hohe Wertschöpfung beim Holz-Verbund liegt vor allem daran, dass die Forstwirtschaft mit der Bereitstellung von Hackschnitzel einen hohen inländischen Wertschöpfungsanteil aufweist. Die hohen Energiekosten in diesem Szenario führen somit zu einer vergleichsweise höheren Wertschöpfung, als wenn das Geld mehrheitlich für fossile Brennstoffe aus dem Ausland (wie im Referenzszenario) ausgegeben wird. Auch wenn nur 40% der Wärme aus dem Holz-Verbund stammt, trägt dieser zu 66% der Wertschöpfung bei.

Im Szenario Grundwasser-Verbund bildet sich bei der vorliegenden Betrachtung der direkten Effekte der erhöhte Strombedarf nicht mit einer besonders hohen Wertschöpfung ab. Die Energiekosten werden nämlich grösstenteils der Branche «Stromverteilung und -handel» zugeordnet, welche einen tiefen Wertschöpfungs- und einen hohen Vorleistungsanteil aufweist¹². In diesem Szenario wird ca. 40% der Wärme aus dem Grundwasser-Verbund bereitgestellt, der Anteil an der gesamten Wertschöpfung ist leicht höher (43%).

¹² Der Anteil der Energiekosten, welcher der eigentlichen Stromproduktion zugeordnet wird, beträgt lediglich 15% (berechnet gemäss BFE 2019a). Bei der Stromproduktion sind die verhältnisse umgekehrt: der Wertschöpfungsanteil ist sehr hoch bei einem tiefen Vorleistungsanteil, insbesondere auch bei Strom aus erneuerbaren Energien. Der erläuternde Bericht (BFE 2019c) zur hier verwendeten Datengrundlage (Energy IOT, BFE 2019a) zeigt aber, dass der grösste Anteil der *absoluten Bruttowertschöpfung* der neuen Energiebranchen nicht nur auf Stromverteilung und -handel, sondern auch auf die kapitalintensive Stromerzeugung in Laufwasser-, Speicher- und Kernkraftwerke entfällt (p. 88ff). Die Betrachtung der direkten Effekte bildet diese Wertschöpfung in den Vorleistungsbranchen nicht ab.

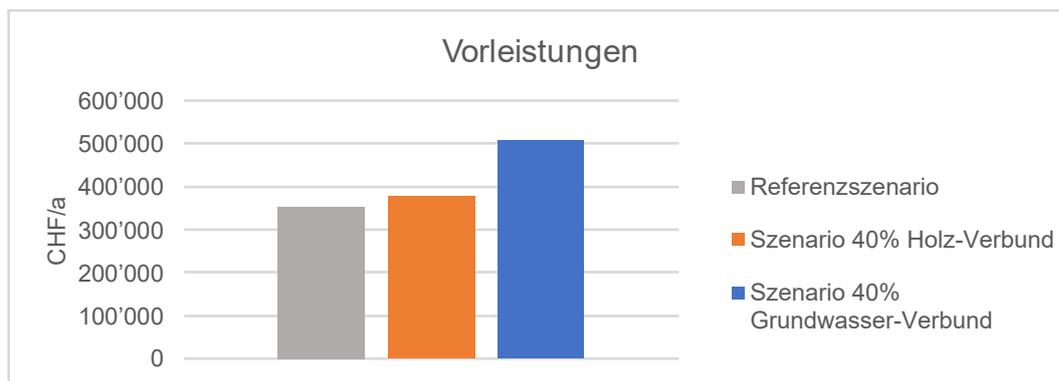


Abbildung 9: Vorleistungen in der Schweiz der Szenarien im Vergleich

Vorleistungen umfassen die für den Produktionsprozess (in diesem Fall: Wärmeerzeugung und -versorgung) notwendigen Inputs. Beim Szenario Grundwasser-Verbund ergeben sich im Vergleich zum Referenzszenario fast 45% mehr Vorleistungen, beim Holz-Verbund sind es ca. 7% mehr Vorleistungen (Abbildung 9). Die hohen Vorleistungsanteile beim Grundwasser-Verbund liegen – wie bereits für Abbildung 8 erläutert – an den vergleichsweise hohen Vorleistungsanteilen der Branche «Stromverteilung und -handel». Ausserdem fliesst ein grosser Teil der Investitionskosten eines Grundwasser-Verbundes an den Tiefbau (Bohrungen für die Grundwasser Wärmepumpe sowie für das Verteilnetz), welcher wiederum einen relativ hohen Vorleistungsanteil aufweist.

Das Verhältnis zwischen Wertschöpfung und Vorleistung ist in allen drei Szenarien unterschiedlich. Beim Referenzszenario machen die Vorleistungen gut 60% aus, beim Holz-Verbund sind es knapp 50% und beim Grundwasser-Verbund fast 70%.

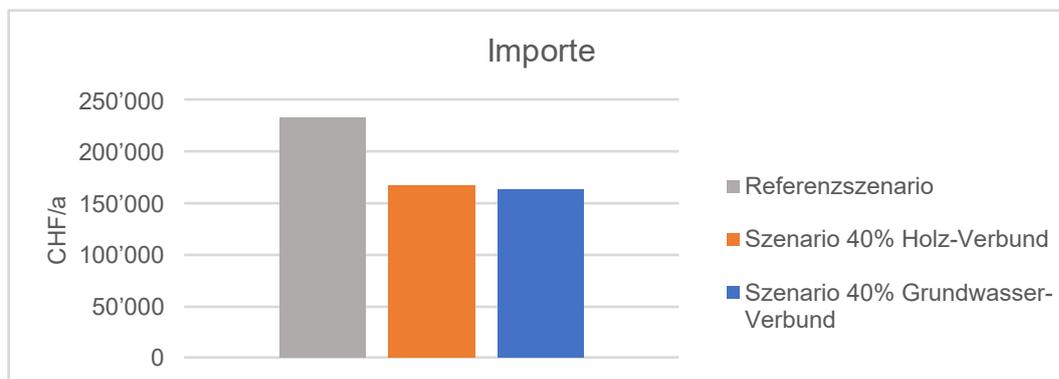


Abbildung 10: Importe der Szenarien im Vergleich

Vergleicht man die Importanteile der drei Szenarien, weist das Referenzszenario die höchsten Anteile auf, nämlich 43% mehr als das Szenario Grundwasser-Verbund; der Holz-Verbund hat fast den gleichen Importanteil wie der Grundwasser-Verbund (siehe Abbildung 10). Die Erklärung dafür ist der höhere Verbrauch an fossilen Brennstoffen (Erdgas und Heizöl) im Referenzszenario, welche zu 100% aus dem Ausland importiert werden¹³. Die Energieträger Holz und Strom hingegen

¹³ Methodischer Hinweis zu Importanteil bei Heizöl und Erdgas: Betrachtet man ausschliesslich die erste Wertschöpfungskette, führt dies dazu, dass nur der Detailhandel (offizielle Branchenzuteilung für Heizölhandel) und der Gasversorger (Branchenzuteilung gemäss Energy Input-Output Tabelle) mitgerechnet werden. Da diese ihre Rohstoffe von Zwischenhändlern beziehen, ist der Importanteil nahe 0. Aufgrund dieser Betrachtung ist nicht ersichtlich, dass insbesondere beim

weisen sehr tiefe Importanteile auf. Bei den Pellets für die Einzelheizungen wurde ein Importanteil von ca. 30% angenommen. Für Holz-Verbunde werden gemäss Holzenergie Schweiz primär Hackschnitzel aus der Schweiz eingesetzt. Diese werden meistens direkt vom Forstbetrieb und teilweise auch von privaten Waldbesitzern bezogen. Für die Hackschnitzel wird ein Importanteil von ca. 5% angenommen. Beim Strom wird gemäss Energy IOT (BFE 2019a) angenommen, dass durchschnittlich ca. 6% des Stroms importiert wird. Während der Heizperiode, d.h. im Winterhalbjahr, ist der Importanteil höher. Für die vorliegende Auswertung wurde ein Anteil von 13% angenommen (berechnet aus BFE 2019d).

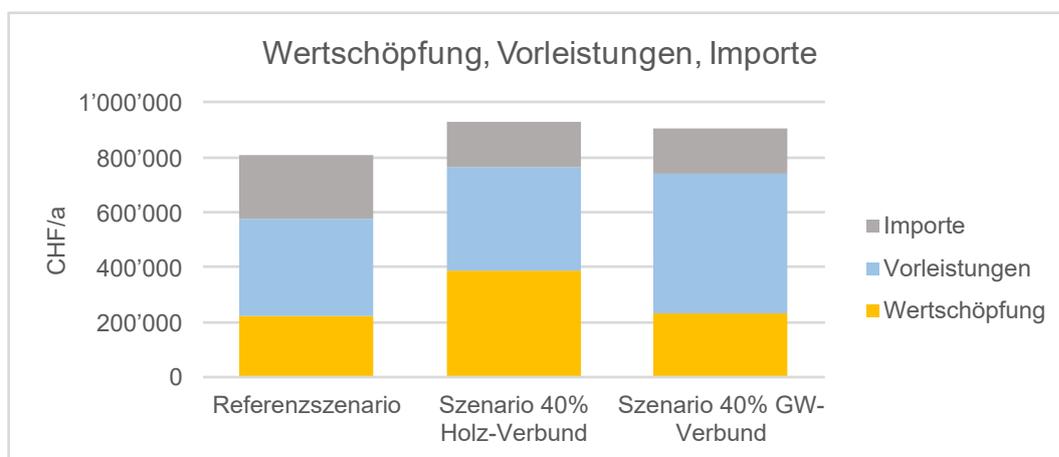


Abbildung 11: Wertschöpfung, Vorleistungen und Importe der Szenarien im Vergleich

Die Abbildung 11 zeigt auf, wie sich Wertschöpfung, Vorleistungen und Importe in den drei Szenarien verteilen. Zählt man Wertschöpfung und Vorleistungen zusammen, weisen die beiden Verbund Szenarien einen ähnlich hohen Wert auf. Im Vergleich zum Referenzszenario sind diese Summen um fast ein Drittel höher (+32% beim Holz-Verbund und +28% beim Grundwasser-Verbund). Die unterschiedliche Verteilung zwischen Wertschöpfung und Vorleistung liegt primär an der weiter oben beschriebenen Abgrenzung zwischen den Branchen «Stromproduktion» und «Stromverteilung und -handel» (höherer Vorleistungsanteil für das Szenario Grundwasser-Verbund) und dem Bedarf an Hackschnitzel (höherer Wertschöpfungsanteil für das Szenario Holz-Verbund). Der Importanteil ist bei beiden Verbund-Szenarien (je 18%) deutlich tiefer als im Referenzszenario (knapp 30%), weil viel weniger fossile Brennstoffe importiert werden.

4.1.3 Beschäftigung aufgrund Wertschöpfung

Die Beschäftigung wurde anhand der Arbeitsproduktivität pro Branche berechnet (siehe dazu auch Methodik Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Sie gehört zur Wert-

Referenzszenario ein erheblicher Anteil an Importen «versteckt» ist. Um den realen Importanteil aufzuzeigen, wurden auf der Grundlage der Energy IOT und den dort abgebildeten Zwischenhändlern ein spezifischer Importanteil für die vorliegenden Szenarien berechnet.

schöpfungsanalyse, wird hier aber separat dargestellt aufgrund der Einheit in Vollzeitäquivalenten (VZÄ).

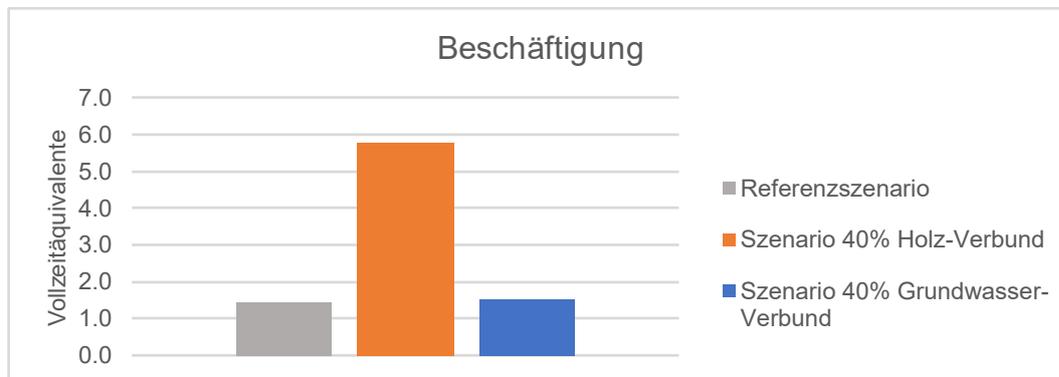


Abbildung 12: Anzahl Vollzeitäquivalente (VZÄ) im Szenarien-Vergleich

Für das Szenario Holz-Verbund wird in der ersten Wertschöpfungsstufe mit rund viermal mehr Beschäftigten im Vergleich zum Referenzszenario gerechnet. Diese Beschäftigten sind vor allem in der Forstwirtschaft tätig. Ein kleinerer Anteil ist im Baugewerbe tätig, beispielsweise im Tiefbau für die Verlegung der Verteilnetze wie auch die Installation von Heizungsanlagen.

Das Szenario Grundwasser-Verbund führt zu einer etwa 6% höheren Beschäftigung im Vergleich zum Referenzszenario. Hier fallen vor allem die arbeitsintensiven Bohrungen und die Verlegung der Verteilnetze ins Gewicht. Diese Arbeiten, bzw. die Beschäftigungseffekte erscheinen in der Abbildung aber verteilt auf die Lebensdauer eines Verbundes (Annahme: Zentrale 20 Jahre, Netz 40 Jahre). In der Realität erfolgen diese Arbeiten zum grössten Teil beim Bau, also zu Beginn an und sind in diesem Fall viel höher und nehmen in den Folgejahren stark ab.

Die Unterhaltskosten pro Einheit Wärme sind bei den Verbund-Lösungen geringer als bei Einzelheizungen, somit fallen auch die Beschäftigungseffekte bescheidener aus. Allerdings werden diese durch die grossen Anfangsinvestitionen fast vollständig kompensiert, siehe dazu auch Abbildung 7 im Kapitel 4.1.1.

Übergeordnet entstehen in allen Szenarien nicht vernachlässigbare Beschäftigungseffekte im (Zwischen-) Handel mit Brennstoffen bzw. Strom. Betroffen sind dabei die Branchen Detailhandel (Handel mit Heizöl), Stromhandel und Gasversorgung. Nur der Brennstoff Holz wird meist direkt beim Produzent (Forstbetrieb für Hackschnitzel, Sägerei für Pellets) bezogen. Insgesamt ist das Baugewerbe (Hoch- und Tiefbau) in allen Szenarien die Branche mit den höchsten Beschäftigungseffekten (Ausnahme: Brennstoff bei Holz-Verbund), wobei unter Baugewerbe sehr unterschiedliche Tätigkeiten zusammengefasst werden: von Installationsleistungen über den Bau von Heizzentralen (z.B. für Verbunde) bis zum Verlegen von Verteilnetzen.

4.2 Szenarien-Vergleich ökologische Kriterien

Im Folgenden werden die Szenarien in Bezug auf ihre Umweltbelastung und die Treibhausgasemissionen verglichen.

Die ökologischen Auswirkungen der verschiedenen Szenarien ist stark von der Qualität des für die Wärmepumpen eingesetzten Stroms abhängig. Deshalb werden hier für das Referenzszenario und das Szenario Grundwasser-Verbund zwei verschiedene Strommixe angenommen und verglichen: der durchschnittliche Verbrauchermix Schweiz und eine sehr ökologische Variante (Wasserkraft ohne Pumpspeicherung). Das Szenario Holz-Verbund wird nicht mit zwei unterschiedlichen Stromvarianten abgebildet, da der Anteil an Wärmepumpen nur geringfügig höher ist als im Referenzszenario und durch die Varianten beim Referenzszenario bereits gut abgedeckt sind.

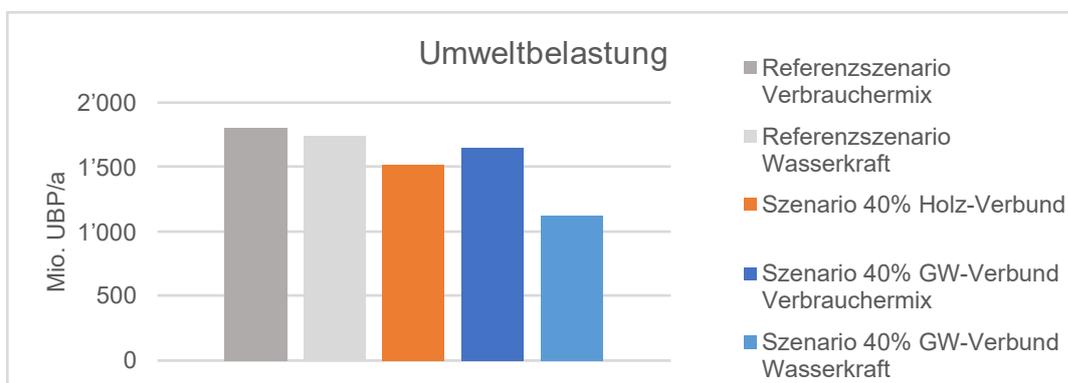


Abbildung 13: Umweltbelastung der Szenarien im Vergleich

Die Umweltbelastung variiert zwischen 1'200 (Grundwasser-Verbund) und 1'800 (Referenzszenario) Millionen UBP pro Jahr. Der Holz-Verbund weist eine um ca. 16% tiefere Umweltbelastung auf als das Referenzszenario. Das Szenario Grundwasser-Verbund mit Verbrauchermix hat durch den hohen Stromanteil eine höhere Umweltbelastung als der Holz-Verbund, kann aber mit der Nutzung von erneuerbarem Strom die Umweltbelastung um fast ein Drittel senken.

Die hohe Umweltbelastung des Szenario Grundwasser-Verbund mit Verbrauchermix rührt daher, dass der hohe Anteil Kernkraft zu hohen Umweltbelastungen führt (radioaktive Abfälle), welche fast gleich hoch sind wie die Umweltbelastungen, die durch den Ersatz von Öl und Gas vermieden werden. Wählt man hingegen die ökologische Stromvariante, reduziert sich die Umweltbelastung um fast 40% (Vergleich Referenzszenario zu Szenario Grundwasser-Verbund mit Wasserkraft).

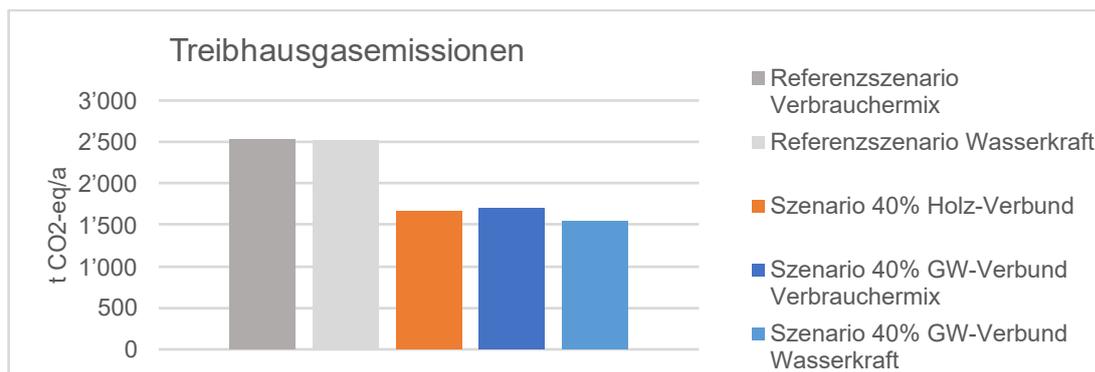


Abbildung 14: Treibhausgasemissionen der Szenarien im Vergleich

Die Treibhausgasemissionen variieren zwischen 1'540 (Szenario Grundwasser-Verbund mit Wasserkraft) und über 2'500 (Referenzszenario) Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Die Einsparung vom tiefsten gegenüber dem Referenzszenario beträgt fast 1'000 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Dies entspricht einer Reduktion von rund 40%, welche auf die vermiedenen Emissionen der fossilen Heizungen zurückzuführen sind, die durch die Verbundlösung ersetzt werden.

Die Unterschiede im Referenzszenario zwischen den Stromvarianten ist gering, da ausschliesslich ein sehr kleiner Anteil der Wärme mit Wärmepumpen erzeugt wird und Strom benötigt. Beim Grundwasser-Verbund hingegen sind die Treibhausgasemissionen beim Einsatz von Wasserkraft rund 10% tiefer. Die Unterschiede zwischen den Stromvarianten sind grundsätzlich sehr gering, da auch der Verbrauchermix Schweiz mit grossen Anteilen Wasserkraft und Kernkraft tiefe Treibhausgasemissionen aufweist.

4.3 Szenarien-Vergleich qualitative Kriterien

Zur Ergänzung der quantitativen Kriterien wurden qualitative Kriterien beigezogen, welche aus drei unterschiedlichen Akteurs-Perspektiven beurteilt wurden: die Gemeinde, die Wärmebezüger und der Betreiber einer Anlage.

Die Bewertung erfolgt mit einem Ampelsystem:

grün	Trifft zu für die Haupt-Wärmelieferanten des Szenarios	Haupt-Wärmelieferanten: Gas (55%) und Öl (38%)
gelb	Trifft teilweise zu (d.h. nur für einen Teil der Wärmeerzeugung)	Haupt-Wärmelieferanten: Hackschnitzel Wärmeverbunde (40%) und Gas (35%)
orange	Trifft nicht zu auf die Haupt-Wärmelieferanten des Szenarios	Haupt-Wärmelieferanten: Grundwasser Wärmeverbunde (40%) und Gas (35%)

Die Auswertung erfolgte durch HSLU-Experten und EBP-interne Energie-Fachpersonen. Die nachfolgende Tabelle 4 gibt die konsolidierte Einschätzung wieder. Wo die Einschätzungen sehr unterschiedlich waren oder je nach Wärmelieferant sehr unterschiedliche Aussagen gelten, wurden die Bewertungen grau hinterlegt («unklar»).

Akteur	Kriterium	Referenzszenario	40% Holz- Wärmeverbund	40% Grundwasser- Wärmeverbund
Gemeinde	Wenig Lärmbelastung / Verkehrsbehinderungen bei Leitungsbau, Bohrungen, Zulieferung			
	Hohe gesellschaftliche Akzeptanz ¹⁴	je nach Gemeinde	je nach Gemeinde	je nach Gemeinde
	Versorgungssicherheit bei Wärmelieferung			
	Keine Einschränkungen von gewerblichen Tätigkeiten während Bau/Sanierung			
Wärmebezügler	Platzgewinn im Keller bei Umstieg von Öl			
	Unabhängigkeit von fossilen Energiepreisen und politischen Entwicklungen			
	Geringer Betriebsaufwand der Wärmebezügler			
	Preisstabilität	unklar		
	Möglichkeit für Nutzung zu Kühlzwecken (nur bei Niedertemperaturnetz möglich)			
	«Psychologische Ebene»: Hoher Grad an Eigenständigkeit und Selbstbestimmung			
	«Emotionale Ebene»: Nutzung erneuerbarer Energien & Beitrag an Klimaschutz			
Betreiber	Wenig Risiken bei Planung, Bau, Betrieb ¹⁵			
	Aussicht auf betrieblichen Gewinn			
	Chance für langfristige Kundenbeziehungen und stabile Ertragsquellen			
	Imageverbesserung			

Tabelle 6: Bewertung der qualitativen Kriterien

Aufgrund der qualitativen Kriterien schneiden die Szenarien mit Verbund-Lösungen gut ab. Das Szenario Grundwasser-Verbund erzielt 9 Punkte (grün), das Szenario Holz-Verbund 8 Punkte und das Referenzszenario 5 Punkte.

Zu beachten ist, dass das Referenzszenario einen hohen Anteil an Gas (55%) aufweist, welches auch leitungsgebunden ist. Somit gelten ein Teil der Vorteile von Verbundlösungen (z.B. Kunden-

¹⁴ Aspekte: Nutzung von lokalen / regionalen Energiequellen wie Holz und Erdwärme, lokale / regionale Wertschöpfung, Beitrag an Klimaschutz, Reduktion von lokalen Schadstoffemissionen

¹⁵ Analyse von diversen Risiken: Planungsrisiken (Mehrkosten, Produktqualität), rechtliche Risiken (Bauklagen, Garantieklagen, etc.), kommerzielle Risiken, Angebotsseite/ Wärmelieferant und Absatzseite/Nachfrage sowie Konkurrenz, bauliche Risiken (Wetter, Altlasten, Archäologie, Etappierung Baustelle etc.), betriebliche Risiken (Umweltauflagen, etc.), politische Risiken (neue Umweltauflagen, Energierichtpläne, MUKEN, ...), finanzielle Risiken (Zinsniveau, Wiederbeschaffungswert, ...), Reputationsrisiken

bindung) auch für den Teil Gasheizungen im Referenzszenario. Das gleiche gilt auch für die Nachteile (z.B. Lärmbelastigungen beim Bau). Allerdings ist die «psychologische Ebene» (Verlust von Selbstbestimmung) weit weniger ausgeprägt bei Gasbezüglern als bei Bezüglern von Fernwärme.

Die Perspektive der Betreiber wird bei Verbundlösungen aus Sicht der Wärmenetz-Betreiber beurteilt, bei Einzelanlagen aus Sicht der Hauseigentümer.

Das Ausmass der Risiken bei Verbundlösungen ist stark abhängig von einzelnen Projekten und den jeweiligen Standorten. Tendenziell sind aber Grundwasserfassungen kritischer. Beim Gasnetz gibt es zusätzlich das Risiko einer restriktiven Klimapolitik.

Langfristige Kundenbindungen wären unter aktuellen Bedingungen bei allen leitungsgebundenen Energieträgern möglich (Gas, Strom, Fernwärme). Aufgrund der geplanten Liberalisierungen bei Gas und Strom sind diese zukünftig aber nicht mehr im gleichen Mass gegeben (nur noch stabile Kundenbeziehung für die Netznutzung). Die Aussicht auf betrieblichen Gewinn gilt nur für den Anteil der Gasheizungen in allen Szenarien; bei den anderen Heizsystem wird nicht mit hohen Gewinnmargen gerechnet.

Die Preisstabilität ist sehr schwierig einzuschätzen. Bei allen erneuerbaren Energien haben Preisschwankungen aber in jedem Fall geringere negative Auswirkungen. Energiepreise von Strom und Pellets / Holzschnitzel sind indirekt über diverse Mechanismen an die Preise von Heizöl und Erdgas gekoppelt. Auch die Energielieferung bei Verbunden ist oft gekoppelt an den Energiepreis von fossilen Brennstoffen. Somit ist kein Szenario unabhängig von Energiepreisen. Bei Grundwasser ist die Nutzung des Grundwassers (Konzession) stabil innerhalb der Kosten, beim Strom ist die Preisentwicklung aber unklar und es ist insbesondere im Winter zukünftig mit höheren Preisen zu rechnen, was sich negativ auf den Grundwasser-Verbund auswirken könnte.

Grundsätzlich wird die Wärmeversorgung in der Schweiz als sehr sicher und professionell bewertet, unabhängig vom Energieträger.

5 Synthese und Fazit

Szenarien im Vergleich

Im Vergleich mit einem durchschnittlichen Referenzszenario in der Schweiz schneiden die beiden Verbund-Szenarien (mit jeweils einem Anteil von 40% des Wärmebezugs durch thermische Netze und einem durchschnittlichen Heizungsmix bei den restlichen 60%) sowohl aus ökonomischer wie auch ökologischer Sicht besser ab.

Bezüglich der jährlichen Gesamtkosten fallen die Unterschiede zwischen den Szenarien gering aus. Die Energiekosten machen in allen drei Szenarien den grössten Anteil aus. Die Investitionskosten sind bei den beiden Verbund-Szenarien deutlich höher aufgrund des Verteilnetzes. Beim Grundwasser-Verbund kommen zusätzlich aufwändige Bohrungen dazu. Im Vergleich dazu machen die Unterhaltskosten nur einen geringen Anteil aus. Die beiden Verbund-Szenarien weisen ca. 20% tiefere Unterhaltskosten aus als das Referenzszenario, weil bedeutend weniger Einzelheizungen unterhalten und kontrolliert werden müssen und die Verbunde von Skaleneffekten profitieren.

Betrachtet man nur die erste Wertschöpfungsstufe, schneidet das Szenario mit 40% Holz-Verbund relevant besser ab wegen der arbeitsintensiven schweizerischen Forstwirtschaft. Das Szenario mit 40% Grundwasser-Verbund ist minim besser im Vergleich mit dem Referenzszenario. Wird die Wertschöpfung pro erzeugte Wärme ausgedrückt, sind es beim Holz-Verbund rund 40 Franken pro MWh, beim Grundwasser-Verbund 24 Franken pro MWh und beim Referenzszenario 23 Franken pro MWh.

Der Grundwasser-Verbund weist vergleichsweise hohe Vorleistungsanteile auf, welche indirekt auch zur Wertschöpfung Schweiz beitragen (als sogenannte «indirekte Effekte», welche in der vorliegenden Studie nicht betrachtet wurden). Diese Werte liegen an den hohen Vorleistungsanteilen der Branchen «Stromverteilung und -handel» und «Tiefbau» (Bohrungen für die Grundwasser Wärmepumpe sowie für das Verteilnetz). Zählt man also Wertschöpfung und Vorleistungen zusammen, weisen die beiden Verbund Szenarien einen ähnlich hohen Wert auf. Im Vergleich zum Referenzszenario tragen diese – vereinfacht ausgedrückt – gut einen Drittel mehr zur Schweizer Volkswirtschaft bei.

Bezüglich Importe ist das Resultat auch eindeutig: Der Importanteil der Verbund Szenarien ist deutlich tiefer als beim Referenzszenario. In der Referenz werden viel mehr fossile Brennstoffe aus dem Ausland eingesetzt, bei den thermischen Netzen sind es vermehrt Strom und Hackschnittel mit hohen Inland-Anteilen. Dies zeigt, dass die beiden betrachteten Verbund-Lösungen zu einer höheren inländischen Wertschöpfung und Vorleistungen und geringeren Importen führen.

Auch bei den ökologischen Kriterien schneiden die Verbund-Lösungen besser ab. Das Szenario mit 40% Holz-Verbund weist eine um ca. 16% tiefere Umweltbelastung auf als das Referenzszenario. Auch das Szenario mit 40% Grundwasser-Verbund ist umweltfreundlicher als die Referenz. Wird für als Strom der aktuelle Verbrauchermix Schweiz verwendet, ist der Vorteil

gegenüber der Referenz wegen des hohen Anteils Atomstrom gering. Wird hingegen Strom aus Wasserkraft eingesetzt, ist die Umweltbelastung 40% tiefer als die Referenz. Die Treibhausgasemissionen sind in allen Verbund-Szenarien um mindestens einen Drittel tiefer als im Referenzszenario. Die Einsparung vom besten Szenario (Grundwasser-Verbund mit Wasserkraft) gegenüber dem Referenzszenario beträgt rund 1'000 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr.

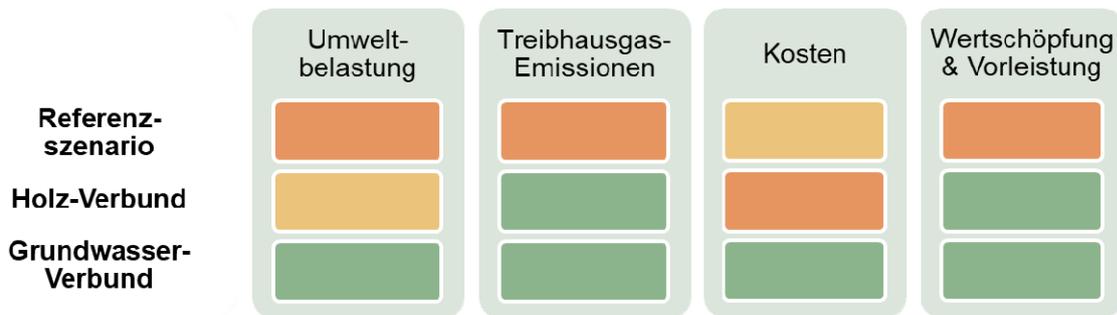


Abbildung 15: Gesamtvergleich der Szenarien. Bewertung: grün = gute Performance, gelb = mittlere Performance, orange = schwache Performance im Vergleich zu den anderen Szenarien.

In einem Gesamtvergleich schneidet der Grundwasser-Verbund am besten ab, unter der Voraussetzung, dass beim Strom eine ökologische Variante gewählt wird. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Wertschöpfung in der vorliegenden Betrachtung zusammen mit den Vorleistungen bewertet wird (da beide zur Schweizer Volkswirtschaft beitragen, siehe auch oben). Werden also diese beiden Aspekte gemeinsam betrachtet, weisen die beiden Verbund-Szenarien unter «Wertschöpfung und Vorleistung» bedeutend bessere Resultate auf als das Referenzszenario.

Ergänzt man die quantitativen ökonomischen und ökologischen Aspekte mit weiteren qualitativen Kriterien (Kapitel 4.3) werden die Resultate bestärkt. Aus der Perspektive der involvierten Akteure überwiegen die positiven Kriterien bei einem Anschluss an einen Wärmeverbund insbesondere für Wärmebezügler wie auch für Betreiber. Für Haushalte und Gewerbe ermöglicht ein Anschluss an ein thermisches Netz beispielsweise die Unabhängigkeit von fossilen Energiepreisen, einen geringeren Aufwand für Betrieb und Unterhalt sowie einen persönlichen Beitrag an den Klimaschutz. Zusätzlich bestehen je nach Verbund-Variante Möglichkeiten für die Nutzung von Kühlung (bei Niedertemperaturnetzen) oder der Platzgewinn im Keller, wenn eine Ölheizung ersetzt wird. Für Betreiber ergeben sich unter anderem neue Chancen für langfristige Kundenbeziehungen und stabile Ertragsquellen sowie eine Imageverbesserung durch eine umweltfreundliche Wärmeversorgung. Für Gemeinden stellen sich aber auch kritische Fragen, wie zum Beispiel der Umgang mit Lärmbelastungen und Verkehrsbehinderungen und die Einschränkungen von gewerblichen Tätigkeiten während dem Leitungsbau, bei Bohrungen sowie bei Sanierungsarbeiten.

Einordnung der Resultate

In dieser Studie wird nur die erste Ebene der Wertschöpfungskette betrachtet, also die direkten Effekte und deren Vorleistungs- und Importanteile. Dies entspricht der Bruttowertschöpfung und der

Beschäftigung der direkt mit der Umsetzung beauftragten Unternehmen. Die indirekten Effekte weiteren Stufen der Wertschöpfungskette (das heisst, die Wertschöpfung und Beschäftigung bei den Produzenten von Vorleistungen) sowie die induzierten Effekte wurden nicht betrachtet, obwohl diese auch massgeblich zur Schweizer Volkswirtschaft beitragen. Die Resultate würden sich bei einer solchen Betrachtung verfeinern lassen.

Ausserdem ist zu beachten, dass die Effekte, die in dieser Studie ausgewiesen werden, ein gesamtes Gebiet mit einem Mix an unterschiedlichen Heizsystemen verglichen. Die Effekte wären deutlich stärker zugunsten der thermischen Netze, wenn man die Heizsysteme direkt miteinander vergleichen würde. In beiden Szenarien mit Verbund-Lösungen ist jeweils nur ein Anteil von 40% an ein thermisches Netz angeschlossen, es sind somit weiterhin viele fossile Heizungen enthalten.

Ausblick

Aufgrund der ökologischen Ausrichtung (Nutzung von erneuerbaren Energien und damit verbunden die tiefen CO₂-Emissionen) ist der Ausbau von thermischen Netzen im Interesse der Energiestrategie 2050 und der Schweizer Klimapolitik. Das Potenzial ist signifikant: Gemäss Weissbuch Fernwärme sind bis 2050 rund 17 TWh Fernwärme möglich (entspricht knapp 40% der Wärmeversorgung). 2018 waren es gemäss Schätzung des Verbands Fernwärme Schweiz rund 8 bis 9%. Durch den Ausbau bis 2050 können rund drei Millionen Tonnen CO₂-Emissionen weniger emittiert werden. Neben den beiden untersuchten Szenarien Holz-Verbund und Grundwasser-Verbund sind viele weitere erneuerbare Quellen möglich: Abwärme aus Seen, Fluss- und Abwasser, Geo- und Solarthermie, Biomasse sowie klassischerweise Abwärme aus Kehrrichtverbrennungsanlagen.

Um den Ausbau von thermischen Netzen voranzutreiben ist – neben vielen weiteren Massnahmen – eine proaktive Kommunikation der aus volkswirtschaftlicher Sicht positiven Resultate wichtig. Je nach Zielgruppe können gezielt Argumente bedient werden, beispielsweise sind für einen potenziellen Betreiber eines thermischen Netzes oder für eine Gemeinde Schätzungen zu Beschäftigung und Wertschöpfung hilfreich.

Die Analysen dieser Studie ermöglichen keine Aussagen zu den regionalen Unterschieden und Effekten. Eine Vertiefung könnte dazu beitragen, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für einen vermehrten Bau von thermischen Netzen besser zu kennen. Beispielsweise spielt es aus Kostenperspektive eine grosse Rolle, ob das Netz in dichtem städtischem Raum oder in eher ländlichen Regionen gebaut werden soll. Ausserdem ist zentral, welche erneuerbaren Energieträger regional zur Verfügung stehen (Waldflächen, Gewässer, Grundwasser, etc.). Solche regionalen Faktoren beeinflussen natürlich auch den volkswirtschaftlichen Nutzen, zum Beispiel Auswirkungen auf die regionale Beschäftigung und die Investitionen. Die vorliegende Analyse zeigt auf, wie vielschichtig der volkswirtschaftliche Nutzen von thermischen Netzen ist, und dass er sowohl regionenspezifisch wie auch in einem Gesamtkontext zu betrachten ist.

A1 Literaturnachweis

Bundesamt für Umwelt BAFU (2013): Volkswirtschaftliche Beurteilung von Umweltmassnahmen (VOBU). Leitfaden.

Bernath K., von Felten N., Buser B., Walker D. (2013): Inländische Wertschöpfung bei der stofflichen und energetischen Verwendung von Holz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU

Bundesamt für Energie BFE (2019a): Energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014

Bundesamt für Energie BFE (2019b): Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018

Bundesamt für Energie BFE (2019c): Energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014, Schlussbericht vom 4. Juli 2019.

Bundesamt für Energie BFE (2019d): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2018

Bundesamt für Statistik BFS (2019a): Arbeitsproduktivität nach Branchen

Bundesamt für Statistik BFS (2019b): Landesindex der Konsumentenpreise LIK; Detailresultate aktueller Monat (November 2019)

Bundesamt für Statistik BFS (2018a): Schweizerische Input-Output-Tabelle 2014

Bundesamt für Statistik BFS (2018b): Wertschöpfung nach Branchen

Bundesamt für Statistik BFS (2011) : IOT 2011, Erläuterungen und Hinweise zur Nutzung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2011

Calame N., Favarger P., Rognon F. (2017) : Economie et fondements de la rentabilité. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Programm «Thermische Netze»

Hoesli B., Gnehm R., Conrad C., Binder I. (2016): Rechte und Pflichten bei der Wärmeversorgung im Verbund. Studie im Auftrag von EnergieSchweiz und diversen Kantonen

Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB (2016): Empfehlungen zu Ökobilanzdaten im Baubereich (2009/1:2016)

Küng L., Kräuchi P., Kayser G. (2018): Risiken bei thermischen Netzen. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Programm «Thermische Netze»

Meier B., Moser C., Vogler C., Dettli R. (2019): Sozioökonomische Aspekte thermischer Netze. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Programm «Thermische Netze»

Nathani C., Bernath K. Schmid C., Rieser A., Rüter H., von Felten N., Walz R., Marschneider-Weidemann F. (2013): Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE

Verband Fernwärme Schweiz (2014): Weissbuch Fernwärme VFS Strategie. Langfristperspektiven für erneuerbare und energieeffiziente Nah- und Fernwärme in der Schweiz.

A2 Berechnungsgrundlagen

Einzelheizung Öl			
	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Quelle</i>
Investitionskosten	CHF/kW	616	Heizkostenrechner HSLU
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	11	Heizkostenrechner HSLU
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.09	BFS LIK (Mittelwert)
Lebensdauer	Jahre	20	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad	JAZ oder %	90%	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen	kg CO ₂ -eq/kWh	0.322	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte	UBP/kWh	251	KBOB Ökobilanzdaten

Einzelheizung Gas			
	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Quelle</i>
Investitionskosten	CHF/kW	484	Heizkostenrechner HSLU
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	13	Heizkostenrechner HSLU
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.09	BFS LIK (Mittelwert)
Lebensdauer	Jahre	20	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad	JAZ oder %	95%	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen	kg CO ₂ -eq/kWh	0.249	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte	UBP/kWh	151	KBOB Ökobilanzdaten

Einzelheizung Wärmepumpe Luft/Wasser			
	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Quelle</i>
Investitionskosten	CHF/kW	1267	Heizkostenrechner HSLU
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	10	Heizkostenrechner HSLU
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.18	Eclom (Mittelwert)
Lebensdauer	Jahre	20	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad	JAZ oder %	2.8	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen Verbraucher mix	kg CO ₂ -eq/kWh	0.063	KBOB Ökobilanzdaten
Treibhausgasemissionen Wasserkraft (ohne Pump- speicherung)	kg CO ₂ -eq/kWh	0.0308	KBOB Ökobilanzdaten

Umweltbelastungspunkte Verbrauchermix	UBP/kWh	149	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	UBP/kWh	40	KBOB Ökobilanzdaten

Einzelheizung Wärmepumpe Sole/Wasser			
	Einheit	Wert	Quelle
Investitionskosten	CHF/kW	3055	Heizkostenrechner HSLU
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	12	Heizkostenrechner HSLU
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.18	Elcom (Mittelwert)
Lebensdauer	Jahre	20	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad	JAZ oder %	3.2	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen Verbrauchermix	kg CO2-eq/kWh	0.046	KBOB Ökobilanzdaten
Treibhausgasemissionen Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	kg CO2-eq/kWh	0.0233	Umweltrechner treeze
Umweltbelastungspunkte Verbrauchermix	UBP/kWh	110	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte Wasserkraft (ohne Pumpspeicherung)	UBP/kWh	34	Umweltrechner treeze

Einzelheizung Holz (Pellets)			
	Einheit	Wert	Quelle
Investitionskosten	CHF/kW	731	Heizkostenrechner HSLU und EBP 2019
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	11	Heizkostenrechner HSLU und EBP 2019
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.08	BFS LIK (Mittelwert)
Lebensdauer	Jahre	20	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad	JAZ oder %	85%	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen	kg CO2-eq/kWh	0.038	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte	UBP/kWh	108	KBOB Ökobilanzdaten

Holz-Wärmeverbund (Holzschnitzel)			
	Einheit	Wert	Quelle
Investitionskosten	CHF/kW	2'500	Heizkostenrechner HSLU und

			EBP 2019
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	6	Heizkostenrechner HSLU und EBP 2019
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.065	HSLU Heizkostenrechner
Lebensdauer	Jahre	20 Heizung 40 Netz	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad (System inkl. Netz)	JAZ oder %	70%	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen	kg CO ₂ -eq/kWh	0.04	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte	UBP/kWh	120	KBOB Ökobilanzdaten

Grundwasser-Wärmeverbund			
	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>	<i>Quelle</i>
Investitionskosten	CHF/kW	3200	Heizkostenrechner HSLU und EBP 2019
Unterhaltskosten	CHF/(kW*a)	7	Heizkostenrechner HSLU und EBP 2019
Energiekosten	CHF/(kWh*a)	0.14	Elcom
Lebensdauer	Jahre	20 Heizung 40 Netz	Heizkostenrechner HSLU
Jahresnutzungsgrad (System inkl. Netz)	JAZ oder %	3.5	Heizkostenrechner HSLU
Treibhausgasemissionen Verbrauchermix	kg CO ₂ -eq/kWh	0.062	KBOB Ökobilanzdaten
Treibhausgasemissionen Wasserkraft (ohne Pump- speicherung)	kg CO ₂ -eq/kWh	0.023	Umweltrechner treeze
Umweltbelastungspunkte Verbrauchermix	UBP/kWh	155	KBOB Ökobilanzdaten
Umweltbelastungspunkte Wasserkraft (ohne Pump- speicherung)	UBP/kWh	33	Umweltrechner treeze