

Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt

# Netto-Null Treibhausgas- Emissionen Kanton Basel-Stadt Grundlagenbericht

Zürich, 27. Juli 2021

Rolf Iten, Stefan Kessler, Sabine Fries, Martin Soini

## **Impressum**

### **Netto-Null Treibhausgas-Emissionen Kanton Basel-Stadt**

Grundlagenbericht

Zürich, 27. Juli 2021

Netto Null BS\_Grundlagenbericht\_21-07-27.docx

### **Auftraggeber**

Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt des Kantons Basel-Stadt

Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt

### **Projektleitung**

Marcus Diacon, Abteilungsleiter

Amt für Umwelt und Energie, Abteilung Energie

Hochbergerstrasse 158

4019 Basel

Tel. +41 61 639 23 61

E-mail: marcus.diacon@bs.ch

### **Autorinnen und Autoren**

Rolf Iten, Stefan Kessler, Sabine Fries, Martin Soini

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage, Ziele und Fragestellungen</b>	<b>5</b>
1.1.	Ausgangslage	5
1.2.	Ziele	6
1.3.	Fragestellungen	6
<b>2.</b>	<b>Methodik</b>	<b>8</b>
2.1.	Systemgrenzen und Themenbereiche	8
2.2.	Generelle Referenzentwicklung	9
2.3.	Netto-Null-Szenarien	10
2.4.	Quantitative Analyse	11
2.5.	Qualitative Analyse	15
<b>3.</b>	<b>Gebäude und deren Energieversorgung</b>	<b>16</b>
3.1.	Eckpunkte des Rechnungsmodells	16
3.2.	Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen	17
3.3.	Zielbilder Gebäude und deren Energieversorgung	20
3.4.	Schlüsselmassnahmen	23
3.5.	Emissionsreduktionspfade	24
3.5.1.	SNN 2040	24
3.5.2.	Vergleich 2030/35/40/50	27
3.6.	Finanzielle und weitere Auswirkungen	27
3.6.1.	Finanzielle Auswirkungen	27
3.6.2.	Weitere Auswirkungen	30
<b>4.</b>	<b>Personen- und Güterverkehr</b>	<b>33</b>
4.1.	Eckpunkte des Berechnungsmodells	33
4.2.	Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen	33
4.3.	Zielbilder Personen- und Güterverkehr	38
4.4.	Schlüsselmassnahmen	40
4.5.	Emissionsreduktionspfade	43
4.5.1.	SNN 2040	43
4.5.2.	Vergleich 2030/35/40/50	46
4.6.	Finanzielle und weitere Auswirkungen	47

4.6.1.	Finanzielle Auswirkungen	47
4.6.2.	Weitere Auswirkungen	48
<b>5.</b>	<b>Industrie</b>	<b>50</b>
5.1.	Einleitung	50
5.2.	Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen	50
5.3.	Zielbild	51
5.4.	Schlüsselmassnahmen	52
5.5.	Emissionsreduktionspfade	53
<b>6.</b>	<b>Negative Emissionen und Treibhausgas-Zertifikatehandel</b>	<b>56</b>
6.1.	Einleitung	56
6.2.	Potenziale und Kosten	56
6.2.1.	Treibhausgas-Senken	56
6.2.2.	Rolle des Handels mit Treibhausgas-Zertifikaten	57
<b>7.</b>	<b>Vergleichender Überblick und Gesamtbeurteilung</b>	<b>59</b>
7.1.	Emissionsreduktionspfade 30/35/40/50	59
7.2.	Relevanz von Negativemissionen und Zertifikaten zur Kompensation von Treibhausgasemissionen	60
7.3.	Strategische Stossrichtungen	61
7.4.	Notwendige Investitionen und deren Wirtschaftlichkeit	62
7.5.	Weitere Auswirkungen	66
7.6.	Gesamtbeurteilung	67
<b>Annex</b>		<b>70</b>
<b>Literatur</b>		<b>71</b>

## 1. Ausgangslage, Ziele und Fragestellungen

### 1.1. Ausgangslage

Im Oktober 2018 veröffentlichte der Weltklimarat (International Panel on Climate Change IPCC) einen Bericht (IPCC 2018), der aufzeigt, dass die Erderwärmung auf maximal 1,5 Grad Celsius begrenzt werden muss und die notwendigen Emissionsreduktionspfade zur Erreichung dieses Ziels aufzeigt. Aus diesem Bericht geht hervor, dass die weltweite Treibhausgas-Neutralität bis 2050 erreicht werden muss. Verbleibende Treibhausgasemissionen müssen durch natürliche und technische Treibhausgasenken kompensiert werden («Netto-Null» Treibhausgasemissionen).

Der Bundesrat hat 2019 beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 nicht mehr Treibhausgase ausstossen soll, als natürliche und technische Speicher aufnehmen können. Mit dem Netto-Null-Ziel trägt er den jüngsten wissenschaftlichen Erkenntnissen des Weltklimarates (IPCC) Rechnung, dass bereits ab einer durchschnittlichen Klimaerwärmung von 1,5 Grad mit gravierenden Folgen für Mensch und Artenvielfalt zu rechnen ist. Im Januar 2021 hat der Bundesrat die «Langfristige Klimastrategie der Schweiz» gutgeheissen. Damit kommt die Schweiz einer Verpflichtung aus dem Pariser Übereinkommen nach.

Im Kanton Basel-Stadt wurde die Klimagerechtigkeitsinitiative ([www.basel2030.ch](http://www.basel2030.ch)) erreicht. Diese fordert, dass Netto-Null bis 2030 in allen Sektoren erreicht wird und dass dieses Ziel in der Kantonsverfassung Basel-Stadt verankert wird. Dabei soll der Staat verbindliche Absempfade für Treibhausgase festlegen und nach dem Verursacherprinzip handeln.

Als Ausgangspunkt zu berücksichtigen sind die Ziele, welche bereits im heutigen Energiegesetz definiert sind: (1) Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf maximal 1 Tonne pro Einwohner und Jahr bis 2050 (Zwischenziele: 3.8 Tonnen bis 2030; 2.3 Tonnen bis 2035), (2) langfristig Energieversorgung mit mindestens 90% erneuerbaren Energien und mit nicht anders nutzbarer Abwärme.

Das Amt für Umwelt und Energie wurde beauftragt, einen Gegenvorschlag auszuarbeiten. Als Grundlage hat das AUE den vorliegenden Bericht erstellen lassen, der vier Szenarien für eine Netto-Null-Zielsetzung für den Kanton Basel-Stadt mit den Zeithorizonten 2030, 2035, 2040 und 2050 analysiert. Der Bericht baut auf der Studie «Netto-Null Treibhausgasemissionen Zürich» auf und wendet die gleiche Methodik auf den Kanton- Basel-Stadt an.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. INFRAS/Quantis 2020 für die Szenarienanalysen und INFRAS/perspectives 2020 zum Thema Negativemissionen.

## 1.2. Ziele

Die Studie verfolgt folgende Hauptziele:

- In Form von Szenarienanalysen aufzeigen, ob und wie die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Kanton Basel-Stadt auf «Netto-Null Treibhausgasemissionen» gesenkt werden können. Dabei sollen die Zieljahre 2030, 2035, 2040 und 2050 betrachtet werden.
- Die Szenarienanalysen sollen die Reduktionspfade der direkten und indirekten THG-Emissionen für die Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie im Kanton Basel-Stadt umfassen (vgl. Kapitel 2.1 «Systemgrenzen und Themenbereiche»).
- Ergänzend soll aufgezeigt werden, welche Rolle Negativemissionen durch die Ausnutzung von Senkenpotenzialen auf Kantonsgebiet und durch die Beschaffung von Kompensationszertifikaten auf dem internationalen Markt spielen.
- Die notwendigen energetischen Investitionen für die Erreichung der Zielpfade sollen quantitativ abgeschätzt werden. Analog zum Bericht für die Stadt Zürich sollen die grössten Verursacher der Emissionen (Sektoren Gebäude und Verkehr) aufgezeigt werden.
- Die sozialen und ökologischen Auswirkungen, welche mit der Realisierung der Reduktionspfade verbunden sind, sollen primär qualitativ aufgezeigt werden.
- Abschliessend sollen die untersuchten Szenarien bezüglich Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken vergleichend beurteilt werden.

## 1.3. Fragestellungen

### *Zielsetzung*

- Was bedeutet eine Zielsetzung «null Treibhausgasemissionen» auf dem Territorium des Kantons Basel-Stadt bis 2030, 2035, 2040 bzw. 2050 für die Bereiche Gebäude, Mobilität und Industrie?
- Mit welchen Stossrichtungen kann diese Zielsetzung erreicht werden? «Wie sieht der Kanton Basel-Stadt aus», wenn diese Zielsetzung erreicht ist («Zielbild»)?
- Welche Chancen und Risiken bzw. Synergien und Zielkonflikte sind mit diesen Zielsetzungen bzw. diesen Zielbildern verbunden?
- Wie viele Treibhausgasemissionen fallen im Zieljahr (2030, 2035, 2040 bzw. 2050) im Rahmen der Vorketten der Energiebereitstellung noch an?
- Welches Potenzial besteht, um diese Restemissionen mittels Negativemissionen (Senken, Kompensationszertifikate) zu kompensieren?

### *Umsetzung*

- Wie entwickeln sich die Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung bereits umgesetzter, geplanter sowie realistischerweise zu erwartenden Politikmassnahmen auf EU-, Bundes-,

Kantons- und Gemeindeebene bis 2050 (Referenzentwicklung)? Wie gross ist der Handlungsbedarf, der sich aus dem Vergleich dieser Referenzentwicklung mit dem Ziel null Treibhausgasemissionen auf dem Territorium des Kantons Basel-Stadt bis 2030, 2035, 2040 bzw. 2050 ableitet?

- Wie und wie stark kann der Kanton Basel-Stadt die Entwicklung in Richtung null Treibhausgasemissionen auf dem Territorium des Kantons bis 2030, 2035, 2040 bzw. 2050 selbst vortreiben (kantonaler Gestaltungsspielraum)? Welche Rolle spielen Politikmassnahmen auf übergeordneter Ebene (v.a. Bund)?

#### *Auswirkungen*

- Welche konkreten quantitativen Absenkpfade ergeben sich bei den Treibhausgasemissionen? Welche Bedeutung haben dabei die Bereiche Gebäude und deren Energieversorgung, Personen- und Güterverkehr sowie Industrie?
- Mit welchen volkswirtschaftlichen Mehrkosten bzw. Einsparungen ist die Umsetzung der Zielsetzungen verbunden?
- Welche weiteren ökologischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen sind mit der Zielsetzung und ihrer Umsetzung verbunden? Welche Chancen und Risiken bzw. Synergien und Zielkonflikte sind dabei besonders relevant?

## 2. Methodik

### 2.1. Systemgrenzen und Themenbereiche

#### Systemgrenzen

Die vorliegende Analyse baut auf der Methodik auf, welche im Grundlagenbericht für die Stadt Zürich verwendet wurde (vgl. INFRAS/Quantis 2020). Aufgrund der Relevanz für den kantonalen Handlungsspielraum wird allerdings auf die direkten Emissionen auf Kantonsgebiet fokussiert. Die zentralen Eckpunkte der Methodik sind folgende:

- Quantifiziert werden Szenarien für die **direkten Emissionen** in den Bereichen Gebäude, Verkehr und Industrie. Zu den direkten energiebedingten Emissionen auf Kantonsgebiet gehören Emissionen aus Heizöl, Erdgas, Benzin und Diesel (andere fossile Energieträger spielen keine relevante Rolle), die auf Kantonsgebiet eingesetzt werden (im Verkehr sind also ausschliesslich Fahrten auf Kantonsgebiet erfasst).
- Weiter berücksichtigt werden energiebedingte Emissionen im Zusammenhang mit den **Vorketten** der Energienutzung. Dazu gehören die praktisch vollständig ausserhalb des Kantons anfallenden Emissionen v.a. aus den Vorketten von Strom, Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel (die Vorketten der Holz-Nutzung machen absolut einen geringen Anteil aus).
- **Graue Emissionen** ausserhalb des Kantons im Zusammenhang mit der Herstellung (Material, Herstellungsprozesse ausserhalb des Kantons) im Zusammenhang mit Gebäuden und Geräten sowie mit dem Verkehr auf dem Territorium des Kantons Basel-Stadt werden gemäss Methodik bzw. Abgrenzung in INFRAS/Quantis 2020 ebenfalls berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt in dieser quantitativen Analyse werden die sogenannten **indirekten Emissionen**, welche nicht im direkten Einflussbereich des Kantons liegen – es sind dies Emissionen

- aus dem Flugverkehr,
- im Zusammenhang mit dem Konsum der BS- Haushalte (Ernährung und weitere Konsumgüter),
- im Zusammenhang mit Finanzanlagen (Kanton, Haushalte und Unternehmen),
- von Produkten und Dienstleistungen von in der Stadt ansässigen Unternehmen,<sup>2</sup>
- von privaten bzw. geschäftlichen Reisen bzw. Aufhalten von nicht in der Stadt wohnhaften Personen (v.a. der Konsum in der Stadt und Mobilität bis an die Stadtgrenze).

---

<sup>2</sup> Die entlang des Life-Cycle entstehenden indirekten Emissionen wurden nicht einbezogen, da entsprechende Abschätzungen mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, insbesondere weil Annahmen über die Entwicklungen ausserhalb des Kantons eine zentrale Rolle spielen. Grobe Abschätzungen für die Stadt Zürich zeigen, dass diese Emissionen sehr bedeutend sind (vgl. Infrac/Quantis 2020)

## Themenbereiche

Tabelle 1 zeigt die analysierten Themenbereiche in einer Übersicht:

**Tabelle 1: Themenbereiche**

Themenbereich	Eckpunkte Abgrenzung Themenbereich
<b>Siedlung, Gebäude und deren Energieversorgung</b> (Kapitel 3)	Gebäude auf Kantonsgebiet, inkl. allen gebäudebezogenen (Energie-)Dienstleistungen (Anlagen, Geräte etc.) und inkl. zentrale Anlagen und Infrastrukturen der Energieversorgung von Gebäuden
<b>Personen- und Güterverkehr</b> (Kapitel 4)	Verkehr auf Kantonsgebiet, inkl. Fahrzeuge und Verkehrsinfrastruktur, alle Fahrzeuge des Personenverkehrs
<b>Industrie</b> (Kapitel 0)	Emissionen durch Prozessenergie in Industrie und Gewerbe

## 2.2. Generelle Referenzentwicklung

Für die Szenario-Analyse definieren wir je Themenbereich eine Referenzentwicklung. Diese beschreibt, wie sich die Politikmassnahmen und die übergeordneten Kontextfaktoren, die Nachfrage und das Angebot sowie die Auswirkungen 2020 bis 2050 unter den getroffenen Annahmen voraussichtlich entwickeln (die Referenzentwicklung startet im Jahr 2020; aufgrund der erwartungsgemäss starken Effekte von COVID-19 stützen wir uns quantitativ auf die Vorjahre 2018 und 2019 ab).

Die Referenzentwicklung dient als Basis für die Analysen zu den Netto-Null-Szenarien. Der Vergleich zwischen einem Netto-Null-Szenario und der Referenzentwicklung ermöglicht Folgerungen zu folgenden Aspekten:

- wie hoch der Handlungsbedarf bezüglich zusätzlich notwendigen bzw. intensivierten Politikmassnahmen zur Zielerreichung ist;
- auf welche Weise und wie stark sich Nachfrage und Angebot im Themenbereich verändern, wenn die zusätzlichen Politikmassnahmen umgesetzt werden;
- wie stark die Treibhausgasemissionen reduziert werden und welche weiteren Auswirkungen in welchem Ausmass resultieren, wenn die zusätzlichen Politikmassnahmen umgesetzt werden.

Die Referenzentwicklung basiert auf der Grundannahme, dass sowohl bei den Politikmassnahmen wie auch bei «autonomen», d.h. nicht oder nicht hauptsächlich politikgetriebenen Aspekten von Nachfrage und Angebot, keine disruptiven Veränderungen erfolgen. Auf der Ebene der

Politikmassnahmen nehmen wir für die Referenzentwicklung an, dass das Ambitionsniveau bezüglich der offiziellen Klimaschutzziele sowohl international, in der EU<sup>3</sup> sowie beim Bund (Netto-Null bis 2050<sup>4</sup>) hoch ist.

Für Basel-Stadt gehen wir in der Referenzentwicklung von einem Absenkpfad bzw. einer Zielsetzung, die sich am revidierten Energiegesetz orientiert (vgl. Klimaschutzbericht BS, S. 66), aus. Dabei beziehen wir bereits beschlossene bzw. umgesetzte sowie geplante Politikmassnahmen ein, bei denen die Wahrscheinlichkeit aus heutiger Sicht hoch ist, dass sie kurz- bis mittelfristig umgesetzt werden. Bei den Rahmenfaktoren unterstellen wir ebenfalls stetige Entwicklungen für die Periode 2020 bis 2050. Insbesondere schliessen wir grössere Sprünge bei der Technologie und Marktentwicklung bis 2050 explizit aus.

### 2.3. Netto-Null-Szenarien

Mit Netto-Null-Szenarien bezeichnen wir Szenarien für die energiebedingten Emissionen des Kantons Basel-Stadt, die grundsätzlich mit dem Ziel Netto-Null Treibhausgasemissionen kompatibel sind. Für unsere Szenario-Analyse definieren und analysieren wir je Themenbereich mögliche Netto-Null-Szenarien in zwei Schritten:

- Definition politikrelevanter Netto-Null-Zielsetzungen und deren Konkretisierung in Form von Zielbildern,
- Identifikation von Schlüsselmassnahmen, mit denen die Netto-Null-Zielsetzungen bis 2050, 2040, 2035 bzw. 2030 erreicht werden können,
- Qualitative und quantitative Analyse zu den Auswirkungen, die mit den jeweiligen Zielsetzungen und ihrer Umsetzung zusammenhängen.

#### Zielbilder

Wir zeigen politikrelevante «Netto-Null-Welten» auf, die wir pro Themenbereich in Zielbildern konkretisieren. Je Themenbereich stellen wir in Eckpunkten dar, wie Basel-Stadt voraussichtlich aussehen wird, wenn die Netto-Null-Zielsetzung erreicht ist. Dabei konzentrieren wir uns auf die wichtigsten fachlichen Inhalte.

Für die wichtigsten nachfrage- und angebots- sowie auswirkungsseitigen Aspekte analysieren wir quantitativ, wie stark sich diese je nach Zielszenario (Netto-Null bis 2050, 2040, 2035 bzw. 2030) vom Ausgangszustand 2020 bzw. dem Zustand gemäss Referenzentwicklung abheben.

<sup>3</sup> Vgl. z.B. offizielles Protokoll zum Entschluss [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2019-0217\\_DE.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2019-0217_DE.html)

<sup>4</sup> Vgl. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimaziel-2050.html>

Wir führen diese Analyse ausgehend vom Zielszenario 2040 durch. Anschliessend überlegen wir, wo entscheidende Unterschiede liegen, wenn eine Netto-Null-Zielsetzung mit früherem bzw. späterem Zieljahr angestrebt wird (2030, 2035 bzw. 2050).

### **Politikmassnahmen**

Im Vergleich zwischen Zielsetzungen, Zielbildern und der Referenzentwicklung zeigen sich die jeweiligen Ziellücken bei den Treibhausgasemissionen und der politische Handlungsbedarf, wenn die Zielsetzung Netto-Null erreicht werden soll. Es werden erste grobe Vorschläge gemacht, welche zusätzlichen Schlüsselmassnahmen ergriffen werden müssen.

### **Auswirkungen**

Wie bei den Zielbildern und den Politikmassnahmen starten wir unsere Untersuchung zu den Auswirkungen ausgehend vom Zielszenario 2040. Anschliessend analysieren wir, wo entscheidende Unterschiede liegen, wenn eine Netto-Null-Zielsetzung mit den Zieljahren 2030, 2035 bzw. 2050 umgesetzt wird.

Im Vordergrund stehen die quantitativen Auswirkungen auf die Reduktion bei den jährlichen Treibhausgasemissionen sowie die dafür notwendigen energetischen Mehrinvestitionen. Ergänzend behandeln wir qualitativ zusätzliche Auswirkungen, die mit dem themenbereichsspezifischen Absenkungspfad verbunden sein dürften.

## **2.4. Quantitative Analyse**

Das Modell errechnet die jährlichen Emissionen der gewählten Sektoren ausgehend von sektorspezifischen Mengengerüsten und Annahmen zu spezifischen Verbräuchen, Wirkungsgraden und Emissionsfaktoren.

### **Gebäude**

Im Gebäudesektor wird grundsätzlich in Wohn- und Nicht-Wohngebäude unterteilt, mit jeweils unterschiedlichen Annahmen. Das Mengengerüst wird in beiden Fällen durch die Energiebezugsflächen gebildet. Ausgehend vom aktuellen Stand des Gebäudeparks im Kanton Basel-Stadt werden Annahmen zu Zubauten und Ersatzneubauten getroffen (konstant in allen zukünftigen Jahren). Dieses Vorgehen ergibt die Gesamtfläche des Gebäudeparks, die beheizt und mit elektrischem Strom versorgt werden muss.

Der **spezifische Heizwärme- und Warmwasserbedarf** (kWh Nutzwärme pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche) folgt im Referenzjahr 2020 aus einem Auszug des Gebäude- und Wohnungsregisters des Statistischen Amtes des Kantons Basel-Stadt. Für die Fortschreibung werden Annah-

men zur Entwicklung der Qualität der Gebäudehülle von Neubauten getroffen (jährliche Reduktion Raumwärmebedarf Neubauten zum Erstellungszeitpunkt). Weiter werden die Sanierungsraten sowie die Auswirkungen der Sanierungen auf den spezifischen Raumwärmebedarf abgeschätzt (Raumwärmebedarf im Gebäudezustand «energetisch vollständig saniert»). Zusammen mit den Annahmen zur Entwicklung der Energiebezugsfläche (siehe oben) führt dies zu einer Abnahme des spezifischen Raumwärmebedarfs von rund -20% bis 2050 im Referenzszenario. Im Gegensatz dazu bleiben die spezifischen Nutzenergieverbräuche zur Bereitstellung von Warmwasser konstant.

Der Versorgungsmix der Gebäude für Heizung und Warmwasser wird als Heizsystemanteile der Energiebezugsflächen ausgedrückt. Dabei wird zwischen Heizöl, Gas, Fernwärme, Wärmepumpen und Holzheizungen unterschieden. Der aktuelle Stand 2020 für Wohn- und Nicht-Wohngebäude ergibt sich aus einer Auswertung des eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregisters durch das Statistische Amt des Kantons Basel-Stadt. Die Fortschreibung der Anteile der Öl- und Gasheizungen beruht auf der Annahme, dass es zu keinen signifikanten Neuinstallationen dieser Heizungstypen kommt. Ausgehend von der Liste bekannter fossiler Heizungsanlagen mit bekanntem Installationsjahr und als konstant angenommener Lebensdauer werden die zukünftig verbleibenden Anlagen abgeschätzt. Die durch **Fernwärme** versorgten Flächenanteile werden anhand der Angaben im Ratschlag König-Lüdin zum Ausbau der Fernwärme (Regierungsrat Kanton Basel-Stadt 2020) kalibriert. Dort wird insbesondere ein starker Ausbau der Fernwärme mit einem Maximum der Wärmeabgabe im Jahr 2035 beschrieben. Zusammen mit einem leichten Ausbau der Holzenergie wird der Rest der benötigten Wärme durch dezentrale Wärmepumpen bereitgestellt. Diese Annahme impliziert einen kontinuierlichen Ausbau von Wärmepumpen.

Für die **Nutzungsgrade** der verschiedenen Heiztechnologien (Nutzenergie pro Endenergie eingesetzten Brennstoffs/Stroms) werden allgemein übliche Werte angenommen. Bei Wärmepumpen ergibt sich zukünftig durch technische Verbesserungen und klimatische Effekte eine stete Zunahme der Jahresarbeitszahl.

Analog zum Wärmebedarf wird der **Strombedarf** ebenfalls als spezifischer Wert relativ zur Energiebezugsfläche ausgedrückt. Diese Werte (Wohnen und Nicht-Wohnen) folgen aus dem Stromverbrauch der kantonalen Energiestatistik sowie den Annahmen zur EBF. Zukünftige Absenkungen sind durch Effizienzverbesserungen der Geräte bedingt.

Die Emissionen der eingesetzten Brennstoffe und Energieträger folgen aus den verwendeten Emissionsfaktoren je Endenergie. Hierbei wird zwischen **direkten Emissionen auf Kantonsgebiet und den indirekten Emissionen der Vorketten** unterschieden (vgl. INFRAS/Quantis 2020):

- Die Verbrennung von Heizöl führt zu sowohl direkten als auch indirekten Emissionen (Erzeugung und Bereitstellung). Die entsprechenden Emissionsfaktoren werden zeitlich und bezüglich der Szenarien als konstant angenommen.
- Der eingesetzte Gasmix setzt zukünftig je Energieeinheit geringere Treibhausgasmengen frei. Dies wird durch die zunehmenden Anteile von Bio- und synthetischen Gasen ermöglicht.
- Bereits im Referenzjahr 2020 kommt im Kanton Basel-Stadt hauptsächlich erneuerbarer Strom mit geringem Emissionsfaktor zum Einsatz. Dieser Emissionsfaktor wird in allen zukünftigen Jahren und Netto-Null-Szenarien konstant. Aufgrund des niedrigen Wertes führt eine Elektrifizierung in allen Sektoren zu starken Emissionsverminderungen.
- Der Emissionsfaktor der Fernwärme folgt aus den Annahmen zum zukünftigen Fernwärmemix. Die aktuellen Werte ergeben sich aus den Angaben des Nachhaltigkeitsberichts der IWB. Für zukünftige Jahre wird ein gleichbleibender Energieeinsatz von Kehrriecht und Klärschlamm unterstellt. Der aktuell bereits vollzogene Ausbau der Holzenergienutzung wird fortgeführt (stärker in den Netto-Null-Szenarien). Der Rest der benötigten Wärme wird durch die Verbrennung des Gasmix (siehe oben) erzeugt. Die Dekarbonisierung dieses Brennstoffes wirkt sich somit auch auf den Emissionsfaktor der Fernwärme aus.

In der Summe folgt daraus eine Abnahme der Emissionen durch Wärme- und Strombereitstellung im Gebäudebereich von -55% bis 2050 im Referenzszenario.

Zusätzlich zu den energiebedingten Emissionen fallen im Gebäudebereich **Life-Cycle-Emissionen** für den Gebäudebestand, Sanierungen und Neubauten an. Die hierbei getroffenen Annahmen sind weitgehend identisch jenen der Szenarien für die Stadt Zürich (Tabelle 14 in INF-RAS/Quantis 2020).

**Photovoltaikanlagen** werden im Modell in Hinblick auf Energie- und Umweltkosteneinsparungen betrachtet, sowie in Hinblick auf ihre Installationskosten. Das Gesamtpotenzial ergibt sich aus den «sonnendach»-Daten des BFE, die zusätzlich durch die Daten des kantonalen Solarkatasters plausibilisiert werden. Die Nutzung von Fassaden ist in dem Potenzial enthalten. Die Referenzentwicklung geht von einer 30-%igen Ausschöpfung dieses Potenzials im Jahr 2050 aus. Im SNN 2050 ist diese Ausschöpfung doppelt so hoch. Die Annahme, dass 40% der geeigneten Dachfläche begrünt werden, stellt dabei eine obere Grenze des effektiv nutzbaren Potenzials dar. Die übrigen Netto-Null-Szenarien gehen davon aus, dass die Ausbaurrate erhöht wird, der absolute Ausbau jedoch aufgrund des kürzeren Zeitraums bis zum jeweiligen Zieljahr hinter dem Wert des SNN 2050 zurückbleibt: So beträgt der Ausschöpfungsgrad im SNN 2040 im Jahr 2040 etwa 48%.

## Verkehr

Die Darstellung des Verkehrssektors geht von den Fahrleistungen (Personenwagen, Nutzfahrzeuge und Busse) in Fahrzeugkilometern auf Kantonsgebiet sowie den Verkehrsleistungen (Bahn, Tram) in Personenkilometern aus. Die entsprechenden Werte werden dem Verkehrsmo- dell des Kantons Basel-Stadt entnommen (INFRAS 2021). Im Falle des schienengebundenen Verkehrs werden die Werte anhand der Jahresberichte der Basler Verkehrsbetriebe plausibili- siert.<sup>5</sup>

Für **Personenwagen**, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse wird ein **Flottenmix** (als Anteil an den Fahrleistungen in %) strukturiert in die fünf Antriebskategorien (ICE, PHEV, BEV, CNG/LPG, FCEV)<sup>6</sup> unterteilt. Hierbei werden dieselben Annahmen wie in den Netto-Null- Szenarien für die Stadt Zürich getroffen (INFRAS/Quantis 2020). Die einzige Ausnahme ist die Stadtbusflotte, die gemäss öffentlichen Angaben der BVB bis zum Jahre 2027 auf batterieelek- trische Fahrzeuge umgestellt wird.

Für jede Antriebskategorie definieren wir darauf basierend einen **spezifischen Endenergie- verbrauch pro 100 Fahrzeug-km** (bei BEV und PHEV inklusive Ladeverlusten). Das Vorhaben im schienengebundenen Verkehr ist analog (Endenergie pro 100 Personen-km).

Für die **Emissionsfaktoren** (Gas und Strom) werden identische Werte wie im Gebäudebe- reich verwendet. Zusätzlich werden entsprechende Werte für fossile Flüssigtreibstoffe sowie für Wasserstoff definiert. Wie bereits beim Erdgas gehen wir hier von einer zunehmenden De- karbonisierung der Energieträger aus.

Die **Emissionen**, die durch die Fahrzeugherstellung inkl. Wartung bedingt werden (in g CO<sub>2</sub>eq pro Fzg-km), werden ebenfalls für jedes der betrachteten Jahre festgelegt. Die diesbezü- lichen Annahmen sind identisch jenen der Netto-Null-Szenarien für die Stadt Zürich (INF- RAS/Quantis 2020). Dasselbe gilt für die Emissionen aus Bau und Instandhaltung der Infrastruk- tur.

Für die **Kostenschätzung** definieren wir zusätzlich die Mehrkosten der Anschaffung neuer Fahrzeuge (batteriebetriebene Fahrzeuge, Brennstoffzellenfahrzeuge) im Vergleich zu konven- tionellen ICE-Modellen, sowie Treibstoffpreise.

## Prozessenergie der Industrie und F-Gase

Der prozessbedingte Endenergiebedarf industrieller Abnehmer folgt aus dem **Grossverbrau- chermodell** des Kantons Basel. Die entsprechenden Daten wurden uns von Vertretenden des

<sup>5</sup> Vgl. <https://www.bvb.ch/de/unternehmen/geschaeftsbericht/>

<sup>6</sup> ICE = herkömmlicher Antrieb («Internal Combustion Engine»), PHEV = Plug-in-Hybrid («Plugin Hybrid Electric Vehicle»), BEV = Batteriefahrzeug («Battery Electric Vehicle»), CNG/LNG = Gasfahrzeug («Compressed Natural Gas Vehicle» oder «Liquefied Petroleum Gas Vehicle»), FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug («Fuel Cell Electric Vehicle»).

Kantons zugestellt, aufgeschlüsselt nach Energieträger und Unternehmen. Die relevanten Unternehmen gehören der Pharma- und Lebensmittelindustrie an. Zusätzliche Angaben zu den Restrukturierungs- und Dekarbonisierungsabsichten der Unternehmen erlauben es, eine Fortschreibung der Endenergienutzung und somit der Emissionen zu erstellen. Während bei manchen Unternehmen eine Abnahme des Nutzenergiebedarfs angemessen ist, ist der weitaus grösste Teil der Emissionsverminderungen auf die Dekarbonisierung der genutzten Energieträger zurückzuführen.

Für die Emissionen von **F-Gasen**<sup>7</sup> werden schweizerische Pro-Kopf-Werte gemäss dem Nationalen Treibhausgasinventar verwendet<sup>8</sup>. Dies ist bezogen auf die Industrie- und Gebäudestruktur des Kantons Basel-Stadt die mit Abstand wichtigste Emissionsquelle bei den F-Gasen (Einschätzung INFRAS). Die Abnahme bis 2050 ist angelehnt an die Ziele der EU-Verordnung Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase (Senkung auf 21% bis 2035).

#### **Kostenschätzung für den Gebäude- und Verkehrsbereich**

Basierend auf den Analysen in INFRAS/Quantis 2020 schätzen wir zunächst die Investitionsvolumen ab, die mit der Umsetzung der verschiedenen Netto-Null-Szenarien verbunden sind. Den Annuitäten dieser Investitionen stellen wir dann die bewirkten Energie- und Klimakosteneinsparungen (monetär bewertete, im Kanton Basel-Stadt vermiedene Schadenskosten des Klimawandels) gegenüber. Die Annahme zu den Klimaschadenskosten von 200 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> stützt sich auf Umweltbundesamt 2019.

## 2.5. Qualitative Analyse

Die quantitativen Analysen werden punktuell ergänzt durch eine qualitative Analyse. Hauptthemen sind die Zielebilder, welche eine Netto-Null-Welt im Kanton Basel-Stadt abbilden, BS-spezifische Schlüsselmassnahmen für die Umsetzung der Netto-Null-Zielsetzung sowie die wichtigsten ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen, welche mit der Realisierung der Zielsetzungen verbunden sind.

Die Darstellungen basieren ebenfalls weitgehend auf den in INFRAS/Quantis 2020 durchgeführten Analysen, welche – soweit notwendig – auf die Verhältnisse im Kanton Basel-Stadt angepasst wurden. Dazu wurden Basel-Stadt-spezifische Grundlagen einbezogen (vgl. Literaturliste) sowie Gespräche mit Vertretern des Amtes für Umwelt und Energie geführt.

<sup>7</sup> Der Begriff «F-Gase» steht für fluorierte Treibhausgase und ist ein Sammelbegriff für teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>). Emissionen von F-Gasen entstehen insbesondere durch deren Verwendung in Kälteanlagen und Schaltanlagen.

<sup>8</sup> Nationales Treibhausgasinventar, Submission April 2020, CRF Tables, Blatt "Table2(I)s2", Source Category F1 Refrigeration and Air Conditioning

### 3. Gebäude und deren Energieversorgung

#### 3.1. Eckpunkte des Rechnungsmodells

Im Kapitel 3 befassen wir uns mit dem Themenbereich «Gebäude und deren Energieversorgung». Dabei stützen wir uns auf ein Berechnungsmodell mit folgenden Eckpunkten:

- Zentrale Basis bildet ein Mengengerüst der berücksichtigten **Energiebezugsflächen** (EBF). Dabei unterscheiden wir zwischen zwei Nutzungskategorien (Wohnen, Nicht-Wohnen), und ob es sich um Gebäudebestands-EBF (Stand 2020), seit 2020 ersetzte EBF oder ggü. Stand 2020 zugebaute EBF handelt.
- Darauf basierend wird der **Endenergiebedarf** für die Raumwärme- und Warmwasserversorgung in folgender Reihenfolge modelliert: spezifischer Raumwärme- und Warmwasserbedarf pro m<sup>2</sup> EBF, Heizsystemmix nach fünf grob definierten Kategorien (Heizöl, Gas, Wärmepumpe, Nah-/Fernwärme, Holz), Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung je Heizsystem-Kategorie. Dabei verwenden wir Durchschnittswerte pro Nutzungskategorie, ohne weitere Differenzierung nach Gebäudealter.
- Zusätzlich nehmen wir einen **spezifischen Strombedarf** (pro m<sup>2</sup> EBF) an (für Wohnen sowie Nicht-Wohnen), der den gesamten Park an elektrischen Anlagen und Geräten einbezieht, die dem Gebäudebereich zuzuordnen sind (Klima/Lüftung/Haustechnik, Beleuchtung, I&K- und Unterhaltungsgeräte, Kochherde, Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Tumbler sowie sonstige Elektrogeräte).
- Den Endenergiebedarf (Heizöl, Gas bei angenommenem Anteil erneuerbare Gase, Strom, Nah-/Fernwärme, Umweltwärme) «übersetzen» wir mit **Emissionsfaktoren**<sup>9</sup> in energiebedingte Emissionen. Dabei unterscheiden wir direkte Emissionen auf Stadtgebiet sowie Emissionen ausserhalb der Stadt (Vorketten). Bei den Anteilen der Fernwärme bezieht sich der Emissionsfaktor nur auf den zugeführten Brennstoff (z.B. Gas zur Spitzenlastdeckung). Die Emissionen aus der Kehrlichtverbrennung werden nicht berücksichtigt, weil hier nicht anders nutzbare Abwärme für die Fernwärme genutzt wird. Die abfallbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden nach der heute üblichen Methode dem Konsum zugeordnet und werden hier nicht berücksichtigt.
- Die **vor- und nachgelagerten Emissionen** des Bauens sowie des Gerätebereichs definieren wir anhand von spezifischen, jährlichen Emissionen, die bei Instandsetzung/Sanierung, Neubau oder Anschaffung als zusätzliche Emission zu berücksichtigen sind (Werte in

---

<sup>9</sup> Basierend auf der aktuellen Ecoinvent Datenbank Version 3.6. Diese weichen leicht von den KBOB-Emissionsfaktoren ab, die der städtischen Treibhausgasstatistik zugrunde liegen. Die KBOB-Faktoren basieren aktuell auf der Version 2.2. der Ecoinvent Datenbank, werden aber zukünftig auch aktualisiert. Bezogen auf die Hauptergebnisse und die Aussagen der Studie sind die Unterschiede vernachlässigbar.

g pro m<sup>2</sup> EBF und Jahr). Dazu haben wir die im Rahmen der Studie für die Stadt Zürich verwendeten Daten beigezogen (vgl. INFRAS/Quantis 2020). Die zeitliche Entwicklung definieren wir auf Basis von Sanierungsraten, den ersetzten und zugebauten EBF sowie unterstellten Lebenszyklen.

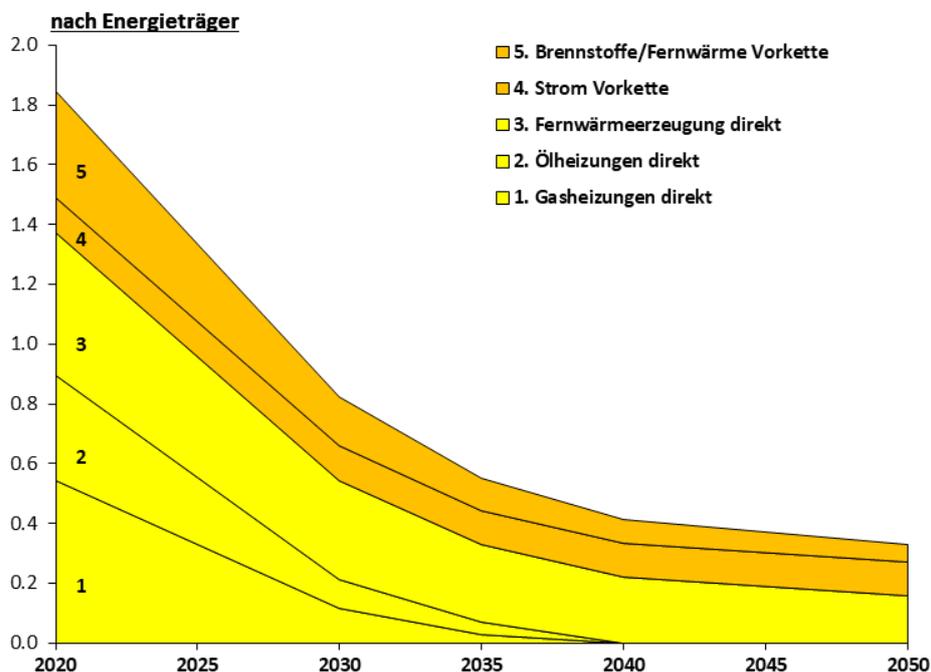
### 3.2. Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen

#### Reduktionspfad gemäss Referenzentwicklung

Abbildung 1 zeigt die zugrunde gelegte Referenzentwicklung der energiebedingten Emissionen für den Themenbereich «Gebäude und deren Energieversorgung». Ausgewählte Annahmen und (Zwischen-)Ergebnisse führen wir direkt im Anschluss auf.

**Abbildung 1: Siedlung, Gebäude und deren Energieversorgung – Referenzentwicklung 2020 bis 2050**

energiebedingte Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Modellierung und Grafik INFRAS

Bereits die hier dargestellte Referenzentwicklung ist durch eine starke Abnahme der energiebedingten pro-Kopf-Emissionen charakterisiert. Dies folgt insbesondere aus den Annahmen zu den fossilen gas- und heizölbefeuerten Heizungsanlagen: Das Ausscheiden der bestehenden fossilen Heizungen führt zusammen mit den vermiedenen Neuinstallationen dieser Heizungstypen zu einem raschen Abfall der damit verbundenen Emissionen. Im Fall der Gasheizungen

trägt die Annahme einer kontinuierlichen Verminderung der Emissionsfaktoren zu den sinkenden Emissionen bei: Die direkten spezifischen Emissionen von Gas sind im Jahr 2035 (letzter Zeitabschnitt mit dezentralen Gasheizungen) rund 21% geringer als im Jahr 2020.

Der Fernwärmeausbau wirkt zusammen mit der unvollständigen Dekarbonisierung dieses Energieträgers den Emissionsverminderungen entgegen (Datenreihe 3 in Abbildung 1). Hierdurch ergeben sich insbesondere auch die Emissionen der Vorkette. Die durch den Stromverbrauch bedingten Emissionen nehmen durch die zunehmende Verwendung von Wärmepumpen zu. Durch den geringen und konstanten angenommenen Emissionsfaktor sind ihre Beiträge zu den Gesamtemissionen jedoch beschränkt. Aus diesem Grund trägt die zunehmende Verwendung von Wärmepumpen im Gesamtbild entscheidend zu den Emissionsreduktionen bei.

#### **Annahmen zu den wichtigsten quantitativen Parametern im Berechnungsmodell**

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten zugrunde liegenden Annahmen des Excel-Modells:

**Tabelle 2: Ausgewählte Annahmen und Zwischenergebnisse zu Abbildung 1 (Referenzentwicklung)**

	2020	2030	2040	2050	Δ20-50
Bevölkerung (Tausende)	202	218	227	232	+15%
Arbeitsplätze (Tausende)	191	207	221	224	+17%
Energiebezugsfläche EBF total (in Mio. m <sup>2</sup> )	18.9	19.4	19.9	20.5	+8%
▪ davon Wohnen (%)	66%	66%	66%	66%	
▪ davon Büro (%)	15%	15%	15%	15%	
▪ davon Rest (%)	19%	19%	19%	19%	
Wärmeversorgungsmix (% der m <sup>2</sup> EBF total)					
▪ Heizöl	12%	4%	0%	0%	-100%
▪ Gas	32%	10%	0%	0%	-100%
▪ Nah- oder Fernwärme	53%	64%	74%	71%	+33%
▪ Wärmepumpe	2%	21%	24%	26%	+1561%
Strombedarf exkl. Wärmeerzeugung, inkl. Kühlung (in kWh pro m <sup>2</sup> EBF)					
▪ Wohnen	32	30	29	28	-14%
▪ Nicht-Wohnen	84	83	83	82	-2%
Emissionsfaktoren direkte Emissionen auf Stadtgebiet (in g CO <sub>2</sub> -Äqu. pro kWh Endenergie)					
▪ Heizöl	265	265	265	265	+0%
▪ Gas / Anteil erneuerbares Gas in %	177 /13%	150	130 /120 /40%		-32%
▪ Nah- und Fernwärme / Anteil Fossile bei Erzeugung in %	112 /32%	72	45 /35 /16%		-69%
Emissionsfaktoren energiebedingte Vorketten ausserhalb Stadt (in g CO <sub>2</sub> -Äqu. pro kWh Endenergie) <sup>1</sup>					
▪ Heizöl	39	38	37	36	-8%
▪ Gas / Anteil erneuerbares Gas in %	53 /7%	50	47 /44 /40%		-17%
▪ Nah- und Fernwärme	34	24	16	13	-62%
▪ Strom	25	25	25	25	+0%
<b>Ergebnisse Endenergiebedarf (in Mio. kWh pro Jahr)</b>					
Endenergiebedarf Total	2'700	2'500	2,400	2,300	-15%
▪ davon Heizöl	270	76	0	0	-100%
▪ davon Gas	620	170	0	0	-100%
▪ davon Nah- oder Fernwärme	860	1'000	1'100	1'000	+21%
▪ davon dezentral genutzte Umweltwärme	18	210	210	210	+1065%
▪ davon Strom für dezentrale Wärmepumpen	8	90	93	96	+1154%
▪ davon übriger Strom	940	940	940	950	+1%
<b>Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Emissionen (in t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn)</b>					
CO <sub>2</sub> -Emissionen Total energiebedingt (inkl. Vorketten)	1.85	0.82	0.41	0.33	-82%
▪ davon Öl- und Gasfeuerungen direkt	0.89	0.21	0	0	-100%
▪ davon Fernwärmeversorgung direkt	0.48	0.33	0.22	0.16	-67%
▪ davon Vorketten Brennstoffe/Fernwärme	0.36	0.16	0.08	0.06	-84%
▪ davon Vorketten Strom	0.12	0.12	0.11	0.11	-4%

1) Nicht berücksichtigt sind die Vorketten der Wärmeerzeuger, diese sind aber im Vergleich zum Gesamttotal klein.  
Modellierung und Tabelle INFRAS

### **Annahmen zu den zugrunde liegenden Politikmassnahmen**

Ausgangspunkt für diese Quantifizierung bilden folgende Annahmen zu den Politikmassnahmen:

#### *Reduktion Wärmebedarf:*

- Sanierungspflichten (Gebäudehülle) erst nach 2040 eingeführt, bis 2050 noch wenig wirksam
- Erhöhung CO<sub>2</sub>-Abgabe bis 2030 bzw. bis 2050 auf 160 Fr. bzw. 500 Fr. pro t CO<sub>2</sub>
- Fortführung der finanziellen Förderung im Bereich Wärmedämmung über 2030 hinaus
- Ggü. Stand 2020 keine wesentlich stärker wirkenden Politikmassnahmen zu Gebäudebelegung, individuelles Verhalten bezüglich Raumtemperatur, Fensterlüftung, Warmwasserverbrauch, Betriebsoptimierung haustechnischer Anlagen

#### *Gas- und Ölheizungsersatz:*

- Gesetzliche Pflicht bei Heizungsersatz fossile Heizungen durch ein mit erneuerbarer Energie betriebenes Heizungssystem zu ersetzen,
- Erhöhung CO<sub>2</sub>-Abgabe bis 2030 bzw. bis 2050 auf 160 Fr. bzw. 500 Fr. pro t CO<sub>2</sub>
- Keine verbindlichen Vorgaben zur Gasnetzstilllegung
- Fortführung finanzielle Förderung Gasheizungsersatz über 2030 hinaus
- Steigerung Stromeffizienz Gerätebereich:
  - Gesetzliche Anforderungen an strombetriebene Anlagen und Geräte werden in heute absehbarem Tempo in Abstimmung auf das Vorgehen in der EU weiterentwickelt.
  - Fortführung der finanziellen Förderung (wettbewerbliche Ausschreibungen) über 2030 hinaus.
  - Ggü. Stand 2020 keine wesentlich stärker wirkenden Politikmassnahmen zu Geräteanzahl oder Stromverbrauch pro Person, individuellem Verhalten bezüglich Gerätenutzung (insbesondere Betrieb ohne Nutzen, Nutzungsdauer)

#### *PV-Ausbau auf Stadtgebiet*

- PV-Installationspflicht gemäss MukEn 2014 ohne wesentliche Verschärfung bis 2050
- Förderung im Umfang von 30 bis 60% der Investitionskosten
- Reduktion Emissionen Vorketten Strom: ggü. Stand 2020 keine weiteren wesentlich stärker wirkenden Politikmassnahmen

Die unterstellten bereits durch den Kanton umgesetzten Massnahmen sind im Kapitel 4.4. Schlüsselmassnahmen einleitend zusammengefasst.

### **3.3. Zielbilder Gebäude und deren Energieversorgung**

Die folgenden Zielbilder haben illustrativen Charakter und zeigen auf, wie der Kanton Basel-Stadt aussieht, wenn die Netto-Null-Zielsetzung zu verschiedenen Zeithorizonten erreicht ist.

Sie sind daher naturgemäss normativ. Im Zentrum der Zielbilder steht der Umsetzungshorizont 2040 (vgl. Kapitel 2.3). Die wichtigsten Abweichungen für die restlichen Umsetzungshorizonte (2030, 2035, 2050) sind im Anschluss daran kurz erläutert. Die Zielbilder sind im Dialog mit den quantitativen Modellanalysen entstanden und zeigen unsere Einschätzung, welche materiellen Ziele bis zu den verschiedenen Zielzeitpunkten erreicht werden können.

Die Zielbilder im Bereich Gebäude und deren Energieversorgung sind durch die folgenden groben Entwicklungen seit 2020 charakterisiert:

- **Sinkender Wärmebedarf im Bereich Wohnen und Nicht-Wohnen:** Der absolute Wärmebedarf der Gebäude ist primär aufgrund gesteigerter Energieeffizienz (Sanierungen, Ersatzneubauten, effizientere Neubauten) bis 2040 gegenüber 2020 deutlich gesunken, vor allem im Bereich Nicht-Wohnen mit rund -20%, im Bereich Wohnen gut -10%). Sanierungen haben allerdings nur im beschränkten Rahmen stattgefunden, da mit Neubauten die Energieeffizienz stärker gesenkt werden konnte. Dennoch ist die durchschnittliche Sanierungsrate im Vergleich zum Referenzszenario von ca. 1% auf rund das Doppelte gesteigert worden. Ersatzneubauten wurden primär zur Verdichtung vorgenommen.
- **Dekarbonisierung der Heizungen:** Bei den bestehenden Gebäuden wurden Öl- und Gasheizungen bis 2040 vollständig durch erneuerbare Systeme ersetzt bzw. bei Neubauten nicht mehr eingebaut. Sie sind primär durch einen starken Ausbau der Fernwärme im Bereich Wohnen (+71% gegenüber 2020) sowie sekundär durch den Ausbau von Wärmepumpen abgelöst worden. In beiden Bereichen (bestehende Gebäude, Neubauten) haben auch Holzfeuerungen an Bedeutung gewonnen, machen jedoch im Versorgungsmix weiterhin einen kleineren Anteil aus (weniger als 5%).
- **Ausbau der Fernwärme:** Das Fernwärmenetz ist bis 2040 stark ausgebaut: Die Fernwärme beträgt 75% im Wärmeversorgungsmix der Gebäude und stammt zu über 50% aus Holz. Der Anteil an Erdgas ist aus dem Fernwärmemix verschwunden, auch Kehrrecht hat eine sinkende Bedeutung.
- **Ausbau Photovoltaik:** Der Ausschöpfungsgrad für Photovoltaik ist gegenüber 2020 deutlich gestiegen und beträgt fast 50% des angenommenen Potenzials (vgl. 2.4).
- **Abnahme spezifischer Stromverbrauch:** Der spezifische Stromverbrauch ist v.a. im Bereich Wohnen gesunken (ca. 10-15% gegenüber 2020), weil die Geräte (z.B. Kochherde, Beleuchtung) effizienter geworden sind.
- **Verdichtete Siedlungsstruktur:** Attraktive, durchmischte Quartiere sind realisiert. Dies wirkt sich zwar nur bedingt auf den Gebäudeenergieverbrauch aus, hat aber wichtige Implikationen für den Mobilitätsbereich (vgl. Kapitel 4).

### Vergleich Zielbilder 2030/2035/2050

Bei einem kürzeren Umsetzungshorizont (2030, 2035) ist im Gegensatz zum Zielbild 2040 mit verschiedenen Abweichungen zu rechnen, welche dazu beitragen, dass das Netto-Null-Ziel nicht im gleichen Ausmass erreichbar ist:

- Im Bereich des Wärmebedarfs der Gebäude ist mit einer weniger umfangreichen Reduktion des Wärmebedarfs zu rechnen (bis 2035 rund -10% bzw. bis 2030 nur gut -5% gegenüber 2020), weil einerseits weniger Gebäude saniert sind und andererseits weniger Ersatzneubauten vorgenommen werden können.
- Öl- und Gasheizungen sind noch nicht in allen bestehenden Gebäuden ersetzt worden. Somit machen bis 2030 Öl- und Gasheizungen noch immer einen beträchtlichen Anteil aus (rund ein Sechstel); bis 2035 ist dieser Anteil jedoch bereits wesentlich reduziert (nur noch gut 5%).
- Das Fernwärmenetz ist bis 2030 noch deutlich weniger stark ausgebaut und macht deshalb – insbesondere im Wohnbereich – einen weniger grossen Anteil im Energiemix aus (lediglich 60% gegenüber 75% im Jahr 2040). 2035 hingegen ist das Fernwärmenetz bereits vollständig ausgebaut.
- Das geeignete Potenzial der Photovoltaik (vgl. 2.4) ist bis 2030 nur zu knapp 30% ausgeschöpft, bis 2035 kann der Ausschöpfungsgrad auf fast 40% gesteigert werden.
- Der spezifische Strombedarf im Bereich Wohnen sinkt bis 2030 bzw. 2035 wesentlich weniger (ca. -11% bzw. -17% gegenüber 2020).

Bei einem längeren Umsetzungshorizont (2050) sind gegenüber 2040 noch weitere Reduktionen der Treibhausgasemissionen möglich: Im Bereich der Photovoltaik kann ein höherer Ausschöpfungsgrad erreicht werden (60%) und der spezifische Strombedarf sinkt noch stärker als beim Zielbild 2040 (-34% gegenüber 2020). Die restlichen Aspekte des Zielbilds unterscheiden sich nicht wesentlich vom Zielbild 2040.

### Chancen der Zielbilder

Über die Reduktion von Treibhausgasemissionen hinaus sind die Zielbilder im Bereich Gebäude und Energie mit folgenden **Chancen für eine nachhaltige Zukunft** verbunden:

- Die BewohnerInnen des Kantons Basel-Stadt leben in einem Gebäudepark, der bezüglich der energiebedingten Emissionen Netto-Null-kompatibel ist.
- Die Wohn- und Arbeitsplatzqualität ist dank gesteigerter Energieeffizienz ganzjährig hoch.
- Bis auf wenige Ausnahmen (Holzfeuerungen) entstehen keine lokalen Luftschadstoffemissionen mehr aus Gebäuden, wobei auch hier davon ausgegangen werden kann, dass infolge der Luftreinhalteverordnung sowie Fortschritten bei Betrieb und Auslegung der Anlagen die

Schadstoffemissionen gering sind. Dies wirkt sich positiv auf die Gesundheit der Bevölkerung aus.

Auch wenn die Netto-Null-Zielsetzung aus Territorialperspektive erreicht wird, bleiben bei allen Zeithorizonten Treibhausgasemissionen aus den Vorketten. Im Bereich Gebäude setzen sich diese im Wesentlichen aus der Herstellung der Brennstoffe, der Gebäudematerialien und Geräte sowie aus der Vorkette der Stromproduktion zusammen.

### 3.4. Schlüsselmassnahmen

Die heute umgesetzten Klimaschutzmassnahmen im Gebäudebereich sind im Klimaschutzbericht Kanton Basel-Stadt dokumentiert (vgl. Klimaschutzbericht S. 31ff):

- Gesetzliche Pflicht, bei Heizungsersatz fossile Heizungen durch ein mit erneuerbarer Energie betriebenes Heizungssystem zu ersetzen,
- Verbot und Sanierungspflicht von Elektroheizungen und Elektroboilern,
- Gesetzliche Vorschrift zu Gebäudeautomation und Betriebsoptimierung (Heizung, Lüftung, Klima, Kälte) bei Nichtwohnbauten<sup>[1]</sup>,
- Hoher Standard für Gebäudehüllen von Neubauten (vergleichbar mit MINERGIE),
- Eigenstromerzeugung bei Neubauten durch PV oder andere Technologien,
- Ausrichtung von Förderbeiträgen an Privatpersonen und Firmen im Kanton Basel-Stadt für Massnahmen im Bereich erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiebewusstsein,<sup>[2]</sup>
- Kostenlose Energieberatung für Gebäudeeigentümerschaften und KMU,
- Pflicht für Bezug von erneuerbarem Strom für Stromkunden, die Strom im Markt erwerben dürfen,
- Lenkungsabgabe auf Elektrizität.

Diese Massnahmen sind konsequent weiterzuführen und gegebenenfalls zu intensivieren bzw. gezielt zu ergänzen.

Folgende zusätzliche Massnahmen kommen in Frage, damit die Ziele möglichst erreicht werden:

- **Vorbildwirkung Kanton:** Vollständiger Ersatz der fossilen Heizungen durch erneuerbare Heizungssysteme bei allen kantonalen Bauten bis 2030,

<sup>[1]</sup> Verwaltung, Schulen, Verkauf, Restaurants, Versammlungslokale, Spitäler, Industrie, Lager, Sportbauten, Hallenbäder.

<sup>[2]</sup> Im kantonalen Energiegesetz ist seit 1984 eine Förderabgabe in der Höhe von 9% der Netzkosten in der Stromrechnung (maximal 12%) festgeschrieben. Mit den jährlichen Einnahmen von rund 10 Mio. Franken werden Förderbeiträge an Privatpersonen und Firmen im Kanton Basel-Stadt für Massnahmen im Bereich erneuerbare Energie, Energieeffizienz sowie Energiebewusstsein und Zukunftsideen ausgerichtet.

- Ausbau und Dekarbonisierung der **Fernwärme** (generell alle Wärmeverbände): Umstellung von heute 80% auf 100% fossilfreie Energien bis 2030,
  - Generell Umsetzung der im Ratschlag betreffend «Ausbau der leitungsgebundenen Wärmerversorgung durch die IWB» dargestellten Strategie (vgl. Regierungsrat Kanton Basel-Stadt 2020),
  - Ausbau von Wärmenetzen (Beispiel: Neuer Wärmeverbund Lehenmatt/Birs mit Abwärme aus ARA-Birs),
  - Nutzung der Abwärme der ARA Basel.
- Massiver **Ausbau der PV-Stromerzeugung** auf Kantonsgebiet:
  - Möglichst vollständige Nutzung des Solarpotenzials der kantonalen Gebäude und Infrastrukturen,
  - Spezialtarif oder zusätzliche Einmalvergütung für Fassadenanlagen,
  - Weitere Massnahmen gemäss Motion Stöcklin sind zu prüfen und nach Möglichkeit umzusetzen, damit das Ausbautempo zielführend erhöht werden kann:
    - Installationspflicht für PV-Anlagen bei gut bis sehr gut geeigneten Dachflächen und Fassaden, sodass die Gebäude einen Teil der von ihnen benötigten Energie erneuerbar selbst produzieren,
    - Einrichtung einer obligatorischen Versicherung, welche das finanzielle Risiko von Schäden an Solaranlagen trägt und die Kosten übernimmt, wenn Anlagen aus objektiven Gründen vorzeitig entfernt werden müssen
    - Prüfung zusätzlicher kantonaler Finanzierungsmodelle (z.B. Bürgschaften für Bankdarlehen) um die Finanzierung der Solaranlagen sicherzustellen.

## 3.5. Emissionsreduktionspfade

### 3.5.1. SNN 2040

Unter der Voraussetzung, dass der Kanton Basel-Stadt die Reduktion auf null energiebedingte Emissionen auf Kantonsgebiet forciert, indem er alle Schlüsselmassnahmen gemäss Kapitel 3.4 konsequent umsetzt und durch Begleitmassnahmen unterstützt, betragen die jährlichen energiebedingten Emissionen im Jahr 2040 nur noch 0.10 Tonnen CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn – hauptsächlich aufgrund der Strom-Vorketten (vgl. Abbildung 2).

Das Szenario Netto-Null 2040 zeichnet sich im Vergleich zur Referenzentwicklung durch eine stärkere Dekarbonisierung der Fernwärme aus. Wie bereits im Referenzfall haben die fossilen dezentralen Heizungsanlagen bis zu diesem Jahr ihr Lebensende erreicht. Aus diesem Grund fallen die direkten Emissionen des Gebäudesektors im Jahr 2040 weg.

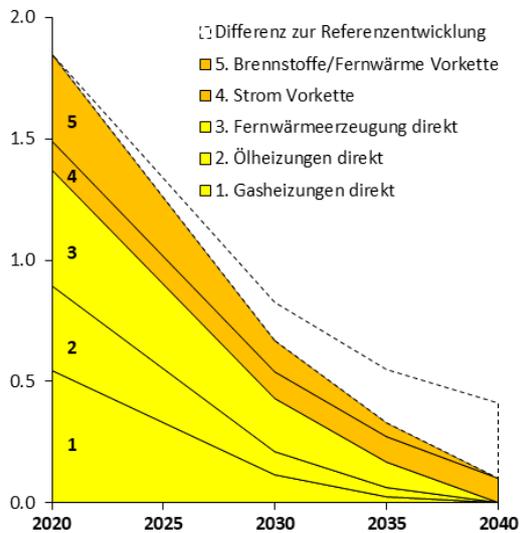
Weitere Anpassungen im Vergleich zur Referenz betreffen geringere Neubauraten, höhere Sanierungsraten, geringere spezifische Wärmebedarfe der Neubauten, eine stärkere Nutzung

von Holzheizungen (auf tiefem absolutem Niveau) und ein geringerer Verbrauch elektrischen Stroms.

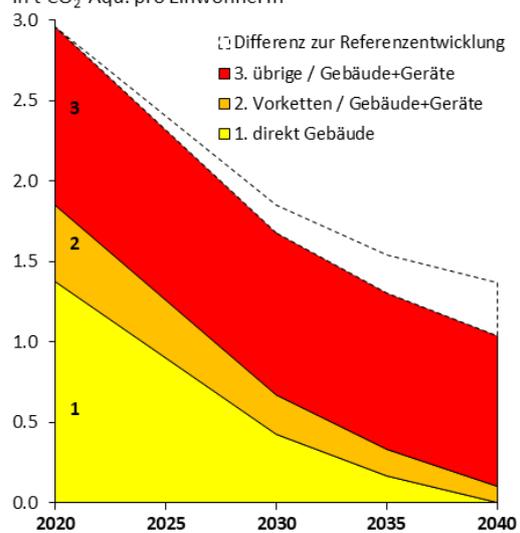
**Abbildung 2: Gebäude und deren Energieversorgung – Szenario SNN 2040**

### SNN 2040

energiebedingte Emissionen nach Energieträger  
in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Treibhausgasemissionen inkl. graue Energie der Gebäude  
und Sanierungen  
in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Dargestellt sind die Emissionen auf Kantonsgebiet (gelb) sowie die Emissionen aus den Vorketten (orange) – einmal gegliedert nach Energieträger (links) und einmal aggregiert mit zusätzlichen Emissionen der grauen Energie des Gebäudebestands und der Sanierungen («übrige», rot). Die Modellierung erfolgt auf Basis der übergeordneten Annahme, dass der Kanton Basel-Stadt alle Schlüsselmassnahmen gemäss Kapitel 3.4 konsequent umsetzt (begleitet durch weitere geeignete Massnahmen).

Modellierung und Grafik INFRAS.

### Annahmen zu den wichtigsten quantitativen Parametern im Berechnungsmodell

Die wichtigsten zugrunde liegenden Annahmen im Excel-Modell zeigt folgende Tabelle:

Tabelle 3: Ausgewählte Annahmen und Zwischenergebnisse zu Abbildung 2 (SNN 2040)

	2020	2030	2040	Δ20-40
Bevölkerung (Tausende)	202	218	227	+13%
Arbeitsplätze (Tausende)	191	207	221	+16%
Energiebezugsfläche EBF total (in Mio. m <sup>2</sup> )	18.9	19.1	19.3	+2%
▪ davon Wohnen (%)	66%	66%	65%	
▪ davon Büro (%)	15%	15%	15%	
▪ davon Rest (%)	19%	19%	19%	
Wärmeversorgungsmix (% der m <sup>2</sup> EBF total)				
▪ Heizöl	12%	4%	0%	-100%
▪ Gas	32%	10%	0%	-100%
▪ Nah- oder Fernwärme	53%	65%	74%	+39%
▪ Wärmepumpe	2%	19%	22%	+1266%
Strombedarf exkl. Wärmeerzeugung, inkl. Kühlung (in kWh pro m <sup>2</sup> EBF)				
▪ Wohnen	32	28	25	-23%
▪ Nicht-Wohnen	84	83	82	-1%
Emissionsfaktoren direkte Emissionen auf Stadtgebiet (in g CO <sub>2</sub> -Äqu. pro kWh Endenergie)				
▪ Heizöl	265	265	265	+0%
▪ Gas / Anteil erneuerbares Gas in %	177 / 13%	150	90	-49%
▪ Nah- und Fernwärme / Anteil Fossile bei Erzeugung in %	112 / 32%	49 / 18%	0 / 0%	-100%
Emissionsfaktoren energiebedingte Vorketten ausserhalb Stadt (in g CO <sub>2</sub> -Äqu. pro kWh Endenergie) <sup>1</sup>				
▪ Heizöl	39	38	37	-5%
▪ Gas / Anteil erneuerbares Gas in %	53 / 13%	50	45	-15%
▪ Nah- und Fernwärme	34	16	0	-100%
▪ Strom	25	25	25	+0%
<b>Ergebnisse Endenergiebedarf (in Mio. kWh pro Jahr)</b>				
Endenergiebedarf Total	2'700	2'400	2'200	-19%
▪ davon Heizöl	270	75	0	-100%
▪ davon Gas	620	170	0	-100%
▪ davon Nah- oder Fernwärme	860	980	1'000	+16%
▪ davon dezentral genutzte Umweltwärme	18	190	180	+900%
▪ davon Strom für dezentrale Wärmepumpen	8	81	80	+953%
▪ davon übriger Strom	940	840	750	-20%
<b>Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Emissionen (in t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn)</b>				
CO <sub>2</sub> -Emissionen Total energiebedingt (inkl. Vorketten)	1.85	0.67	0.10	-94%
▪ davon Öl- und Gasfeuerungen direkt	0.89	0.21	0	-100%
▪ davon Fernwärmeversorgung direkt	0.48	0.22	0.00	-100%
▪ davon Vorketten Brennstoffe/Fernwärme	0.36	0.13	0.00	-100%
▪ davon Vorketten Strom	0.12	0.11	0.10	-12%

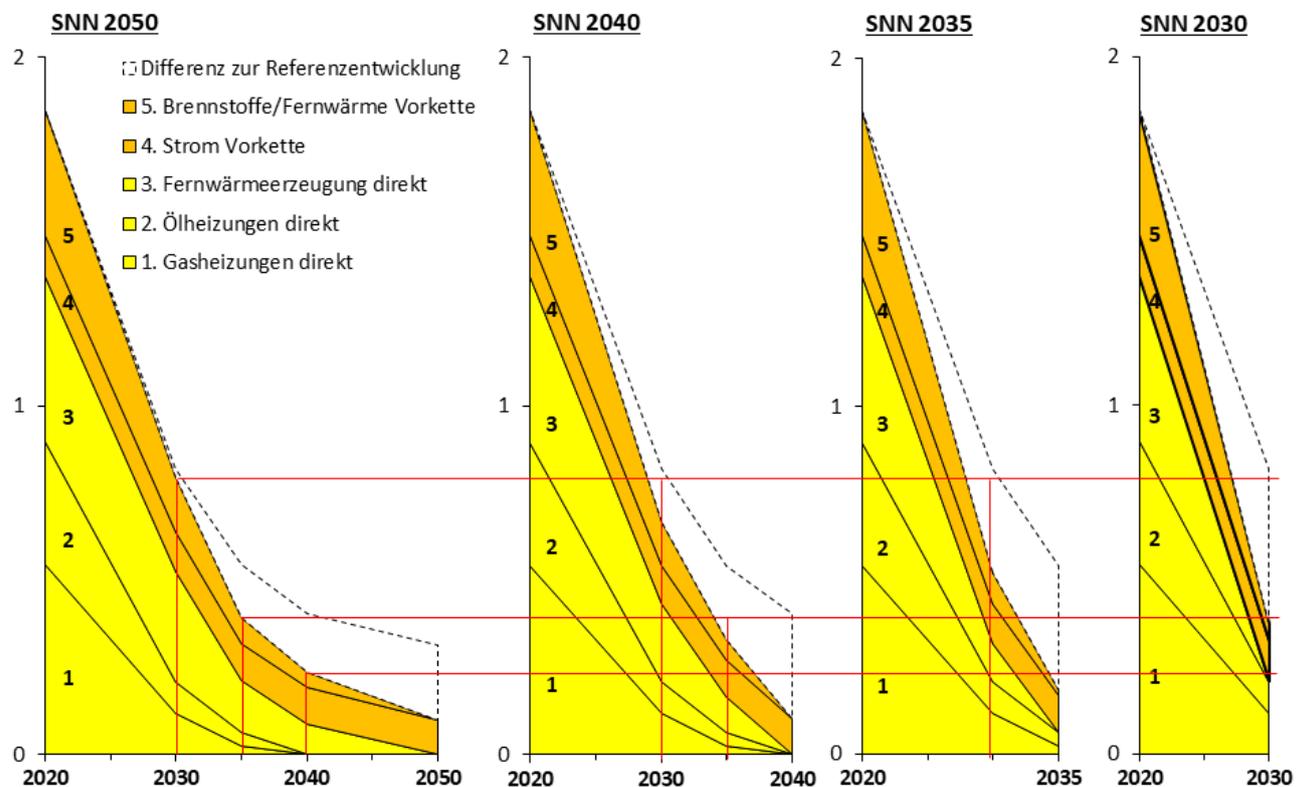
1) Nicht berücksichtigt sind die Vorketten der Wärmeerzeuger, diese sind aber im Vergleich zum Gesamttotal klein. Modellierung und Tabelle INFRAS.

### 3.5.2. Vergleich 2030/35/40/50

Die Unterschiede zwischen den Netto-Null-Szenarien (Abbildung 3) sind insbesondere durch die stärkere Absenkung des Emissionsfaktors der Fernwärme bedingt: Dadurch fallen auch die direkten Emissionen des SNN 2040 im Jahr 2040 auf null ab. In den Szenarien NN 2035 und 2030 haben nicht alle fossilen dezentralen Heizungen ihre Lebensdauer erreicht. Aus diesem Grund verbleiben auch hier in den Zieljahren noch direkte Emissionen.

**Abbildung 3: Gebäude und deren Energieversorgung – Vergleich der Reduktionspfade der vier Szenarien**

energiebedingte Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Modellierung und Grafik INFRAS.

## 3.6. Finanzielle und weitere Auswirkungen

### 3.6.1. Finanzielle Auswirkungen

Wir haben mehrere ökonomische Kenngrößen mit dem für diesen Zweck erstellten Excel-Modell geschätzt, die in Tabelle 4 dargestellt sind. Es sind dies die **notwendigen Investitionen**, die dadurch resultierenden **Einsparungen bei den Energiekosten und den Klimakosten** sowie der

«**Nettoeffekt**» (Annuität der Investitionen minus Einsparungen) – jeweils für die Referenzentwicklung (gegenüber dem Status quo 2020), das Szenario «Netto-Null 2050» (gegenüber der Referenzentwicklung) sowie im Total gegenüber dem Status quo 2020. Zu beachten ist, dass wir bei den Einsparungen durch die Wärmedämmung und den Fenstersatz sowie den Ersatz von Öl- und Gasheizungen aus methodischen Gründen nicht differenzieren können, auf welche Investitionen die Einsparungen zurückgehen.<sup>10</sup> Die energiebezogenen Mehrinvestitionen sind so definiert, dass sie die Mehrkosten gegenüber einer energetisch nicht verbesserten Referenz darstellen. Z.B. heisst dies für die Installation einer Wärmepumpenheizung, dass die energiebezogene Mehrinvestition die zusätzliche Investition (brutto, d.h. Kosten der Gebäudeeigentümer plus Förderbeiträge) gegenüber einem 1:1-Ersatz der bestehenden fossilen Feuerung nach Ablauf deren Lebensdauer ist.

---

<sup>10</sup> Idealerweise wird zunächst die Gebäudehülle vollständig energetisch saniert, bevor das Heizsystem gewechselt wird. Der Einspareffekt der Gebäudehülleninvestition wird allerdings überschätzt, wenn für die Schätzung kein Heizsystemwechsel angenommen wird. Umgekehrt macht eine Berechnung von Einsparungen der Gebäudehülleninvestition mit gewechseltem Heizsystem ebenfalls keinen Sinn (diese läge dann sehr tief).

Tabelle 4: Investitionen und Kosteneffekte SNN 2040

		Wärmedämmung und Fensterersatz	Ersatz von Öl- und Gasheizun- gen <sup>1)</sup>	Zwi- schen total	Installation von PV- Anlagen	Total (gerundet)
<b>INVESTITIONEN<sup>2)</sup></b>						
Gesamtinvestitionen 2020–2040 (in Mio. Fr.)	REF	1320	480		80	1880
	SNN	+1550	+300		+140	+1990
	TOT	2870	780		220	3870
Energiebezogene Mehrinvestitionen 2020–2040 (in Mio. Fr.)	REF	940	290		80	1310
	SNN	+1180	+270		+140	+1590
	TOT	2120	560		220	2900
Annuität der energiebez. Mehr- investitionen (2040) (in Mio. Fr./Jahr)	REF	56	28	84	6	90
	SNN	+28	+8		+5	+41
	TOT	84	36	120	11	131
<b>EINSPARUNGEN<sup>3)</sup> (positive Werte sind Einsparungen)</b>						
Jährliche Energie- kosteneinsparung (2040) (in Mio. Fr./Jahr)	REF	44		44	17	61
	SNN	+32			+21	+53
	TOT	76		76	38	114
Jährl. Klimakosten- einsparung (2040), bei 200 Fr./t CO <sub>2</sub> (in Mio. Fr./Jahr)	REF	57		57	1	58
	SNN	+13			+1	+14
	TOT	70		70	2	72
<b>NETTOEFFEKT (= INVESTITIONEN minus EINSPARUNGEN)</b>						
Jahreskosten 2040 exkl. Klimakosten- einsparung (in Mio. Fr./Jahr)	REF	40		40	-11	29
	SNN	+4			-16	-12
	TOT	44		44	-27	17
Jahreskosten 2040 inkl. Klimakosten- einsparung (in Mio. Fr./Jahr) <sup>4)</sup>	REF	-17		-17	-12	-29
	SNN	-9			-17	-26
	TOT	-26		-26	-29	-55

1) Umfasst den gesamten energetischen Umbau der Wärmeerzeugung im Gebäudesektor.

2) Wir unterscheiden bei den betrachteten Massnahmen zwischen «Gesamtinvestitionen» (gesamte Investitionen für die entsprechende Massnahme) und «energiebezogenen Mehrinvestitionen» (Gesamtinvestitionen minus notwendige Investitionen für die reine Instandsetzung). Abkürzungen: REF = Referenzentwicklung gegenüber dem Status quo 2020. SNN = Entwicklung Szenario «Netto-Null 2040» gegenüber der Referenzentwicklung. TOT = Entwicklung Szenario «Netto-Null 2040» gegenüber dem Status quo 2020.

3) Die Schätzung der eingesparten Klimakosten berücksichtigt die Emissionen der Vorketten der Energiebereitstellung. Die grauen Emissionen, die mit den Massnahmen verbunden sind, sind jedoch nicht einbezogen.

4) Die Klimakosten werden mit einem einheitlichen Kostensatz von 200 Fr. pro t CO<sub>2</sub>-Äqu. monetarisiert. Dieser Kostensatz entspricht dem vom deutschen Umweltbundesamt mit der Methodenkonvention 3.0 empfohlenen durchschnittlichen Satz für die Klimaschadenskosten durch Treibhausgasemissionen (vgl. Umweltbundesamt 2019).

Modellierung und Tabelle INFRAS/Quantis.

Die wichtigsten Ergebnisse der Schätzungen können wie folgt zusammengefasst werden:<sup>11</sup>

- Insgesamt schätzen wir die notwendigen energiebezogenen Investitionen im SNN 2040 auf knapp 4 Mia. Fr., wobei 1,9 Mia Fr. bereits in der Referenzentwicklung anfallen.
- Die Gesamtinvestitionen in die Gebäudehülle machen mit 2,9 Mia. Fr. den grössten Anteil, gefolgt von den Investitionen in den Heizungsersatz (780 Mio. Fr.) und in den Bau von PV-Anlagen (220 Mio. Fr.).
- Damit verbunden sind im Jahr 2040 Jahreskosten der notwendigen energiebezogenen Investitionen (Annuitäten) in der Höhe von insgesamt 130 Mio. Fr., wobei 90 Mio. Fr. der Referenzentwicklung und 40 Mio. Fr. den zusätzlichen energetischen Investitionen im SNN 2040 zuzuschreiben sind.
- Die Investitionen implizieren rechnerische Energiekosteneinsparungen im Jahr 2040 von insgesamt 110 Mio. Fr. (60 Mio. Fr./Jahr REF und gut 50 Mio. Fr./Jahr SNN 2040). Die damit verbundene Reduktion der Klimakosten schätzen wir für das Jahr 2040 auf gut 70 Mio. Fr./Jahr (ca. 50 Mio. Fr./Jahr REF, ca. 20 Mio. Fr./Jahr SNN 2040).
- Die berechneten Nettoeffekte zeigen, dass sich das Investitionsprogramm im Bereich der Wirtschaftlichkeitsschwelle bewegt.
- Eine Schätzung der notwendigen Investitionen in den Fernwärmeausbau sind im entsprechenden Ratschlag enthalten (vgl. Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt (2020). Die notwendigen Investitionen werden auf insgesamt gut 300 Mio. Fr. geschätzt (vgl. Tabelle 9 im 7.4).

### 3.6.2. Weitere Auswirkungen

#### **Aktivitätsniveau der Szenarien im Vergleich**

Tabelle 5 zeigt ausgewählte Kennziffern zum Vergleich der in den vier Szenarien notwendigen Aktivitäten. Zu beachten ist, dass gemäss unseren Annahmen die verbleibenden Emissionen des Gebäudebereichs im Zieljahr je nach Szenario sehr unterschiedlich sind.

---

<sup>11</sup> Bei der Interpretation dieser Schätzungen ist generell zu beachten, dass für diese Modellberechnungen eine Vielzahl von Annahmen notwendig sind, die im Annex dokumentiert sind.

**Tabelle 5: Ausgewählte Kennziffern zur Illustration der jährlich notwendigen Aktivitäten bei den 4 Zielszenarien**

Kennzahl <sup>1</sup>	SNN 2050	SNN 2040	SNN 2035	SNN 2030
Im Zieljahr verbleibende energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen inkl. Vorketten in Tonnen pro Kopf und Jahr	0.17	0.37	0.59	0.95
Energetische Mehrinvestitionen (in Mio. Fr. pro Jahr) für SNN gegenüber Status Quo 2020	146	184	240	321
Erforderliche Anzahl ersetzte Öl- und Gasheizungen für vollständigen Ersatz wie in SNN 2050 <sup>7</sup> (in Stk. pro Jahr) <sup>2</sup>	835	835	1085	1469
Neu installierte PV-Leistung pro Jahr (in MW <sub>p</sub> ) / zusätzlich verbaute PV-Modulfläche (in Tausend m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>	16 / 79	21 / 100	24 / 115	29 / 142
Investitionsvolumen pro Jahr für Ausbau thermische Netze (Mio. Fr. pro Jahr)	26	26	26	26
Maximale Sanierungsrate im Zieljahr <sup>4</sup>	2.7%	2.2%	1.8%	1.3%

<sup>1</sup> Für SNN 2030 und SNN 2040 wird als sehr optimistische Annahme eine unvermeidbare Vorlaufzeit von 3 Jahren berücksichtigt. D.h. alle Jahreswerte beziehen sich auf folgende effektive Umsetzungsdauern: SNN 2050 = 27 Jahre, SNN 2040 = 17 Jahre, SNN 2030 = 7 Jahre.

<sup>2</sup> Gemäss Angaben AUE wurden in den letzten Jahren zwischen 400 und 450 Heizungen pro Jahr ersetzt.

<sup>3</sup> Die Proportionalität zwischen den Angaben ist nicht gegeben, weil wir den realisierbaren Flächenausbau und den spezifischen Flächenertrag individuell für jedes Szenario definieren.

<sup>4</sup> Wir gehen im Zielbild im Abschnitt 3.3 davon aus, dass die Sanierungsrate nicht beliebig gesteigert werden kann und bei SNN 2030 und 2040 effektiv bedeutend tiefer liegen wird als der hier ausgewiesene theoretische Wert für SNN 2030.

Tabelle INFRAS. Quelle: Berechnungen INFRAS.

Die Zahlen führen uns zur Folgerung, dass eine Zielerreichung vor 2040 sehr schwierig bis unmöglich sein dürfte, da die notwendigen Anstrengungen kaum in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit unter Einhaltung der Regeln demokratischer Prozesse realisierbar sind.

### Weitere ökologische, soziale und volkswirtschaftliche Auswirkungen

Die wichtigsten Auswirkungen sehen wir in folgenden Bereichen:

- Die Dekarbonisierung des Gebäudeparks wirkt sich positiv auf die Entwicklung der **Luftqualität** aus. Zusammen mit der Reduktion der Luftschadstoffemissionen im Verkehr und in weiteren Bereichen ist mit einer markanten Verbesserung der Immissionswerte zu rechnen, insbesondere bei den Stickoxidemissionen und der Feinstaubbelastung.
- Die **sozialen Verteilungswirkungen** hängen stark von der konkreten Ausgestaltung der Massnahmen ab. Grundsätzlich verlangen die Massnahmen hohe Investitionen der Gebäudeeigentümer. Solange keine Sanierungspflicht besteht, ist eine markante finanzielle Förderung notwendig. Die sozialen Folgen (insbes. Einfluss auf Mietzinsen) sind zu berücksichtigen und

müssen über geeignete Begleitmassnahmen gemindert werden (z.B. durch ergänzende Vorgaben bei den Überwälzungsregeln im Mietrecht (VMWG)).

- Die Massnahmen im Bereich Gebäude lösen eine hohe zusätzliche Investitionstätigkeit aus. Die Investitionen führen dazu, dass der Import fossiler Energieträger durch Investitionen in effizientere Gebäudehüllen, erneuerbare Heizsysteme, thermische Netze etc. substituiert wird. Damit sind **grosse Chancen für das lokale und regionale baunahe Gewerbe** verbunden. Bei einer schrittweisen Vorgehensweise über die angenommene Frist von knapp 30 Jahren sind die zusätzlichen finanziellen Belastungen durch die Massnahmen sowohl für die Haushalte und die Unternehmen als auch die Stadt insgesamt gut verkraftbar. Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass die Dekarbonisierung der direkten Emissionen des Gebäudeparks unter den angenommenen Rahmenbedingungen volks- und betriebswirtschaftlich rentabel sind.

Zu beachten sind verschiedene Synergien und Zielkonflikte:

- Die **Bautätigkeit** in der Stadt nimmt zu, was in der (langen) Übergangsphase zu zusätzlichen Belastungen der Bevölkerung, der Beschäftigten und des lokalen Gewerbes (v.a. Detailhandel) führt. Der Ausbau der thermischen Netze kann durch eine sorgfältig geplante Vorgehensweise auf eine stadtverträgliche Art und Weise gestaltet werden. Die zusätzliche Hochbautätigkeit wird zu nicht vermeidbaren aber aus unserer Sicht verkraftbaren Belastungen führen.
- Der **Grundwasserschutz** und der **Schutz archäologischer Schätze** (und ggf. weitere) sind eine zu beachtende Rahmenbedingung für die Umsetzung der Szenarien. Die entsprechenden Vorgaben kann der Kanton nicht in Eigenregie aufweichen.
- **Denkmalschutz**: Um die Transformation in der geforderten Zeit zu erreichen, ist es notwendig, in diesem Bereich eine Bereinigung der Zielkonflikte zu erreichen und Musterlösungen für Bauherrschaften bereitzustellen. Sonst wird der zeitliche und finanzielle Rahmen für private Bauherrschaften zu eng.
- Synergien ergeben sich u.a. durch die **bauliche Verdichtung** und die **höhere Energieeffizienz** der Gebäude. Die hohe Rate an Fassadensanierungen bietet z.B. die Möglichkeit einer Verbesserung des Stadtklimas durch begrünte Fassaden. Allerdings ist dabei der Trade-off mit der Installation von PV-Anlagen an Fassaden zu berücksichtigen.

## 4. Personen- und Güterverkehr

### 4.1. Eckpunkte des Berechnungsmodells

In diesem Kapitel befassen wir uns mit dem Themenbereich «Personen- und Güterverkehr». Das Berechnungsmodell für die quantitativen Analysen der Szenarien basiert auf folgenden Eckpunkten:

- Wie beim quantitativen Modell zum Gebäudebereich arbeiten wir mit fünf Zeitschnitten 2020 (Ausgangslage), 2030, 2035, 2040 und 2050.
- Zentrale Basis bildet ein Mengengerüst zu den jährlichen Fahrleistungen auf Kantonsgebiet (in Fahrzeug-km). Analog werden der schienegebundene ÖV (Tram und Bahn) durch Verkehrsleistungen in Personen-km beschrieben.
- Für Personenwagen, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse unterstellen wir einen Flottenmix (als Anteil an den Fahrleistungen in %) strukturiert in die fünf Antriebskategorien ICE, PHEV, BEV, CNG/LPG, FCEV<sup>12</sup>. Für jede Antriebskategorie definieren wir darauf basierend einen spezifischen Endenergieverbrauch pro 100 Fahrzeug-km (bei BEV und PHEV inklusive Ladeverlusten).
- Für Trams definieren wir einen Stromverbrauch pro 100 Personen-km (inklusive Signale und Weichenheizungen). Für die Bahn definieren wir einen Stromverbrauch pro 100 Fahrzeug-km (ebenfalls inklusive Signale und Weichenheizungen).
- Die Kalibrierung des Modells erfolgt auf Basis der Statistik der Basler Verkehrs-Betriebe und des kantonalen Gesamtverkehrsmodells.

### 4.2. Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen

#### Reduktionspfad gemäss Referenzentwicklung

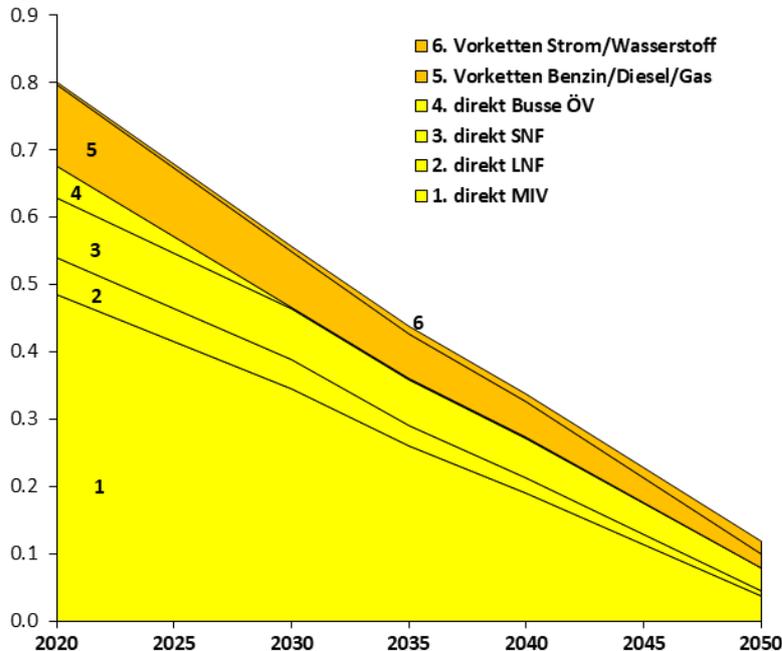
Abbildung 4 zeigt die durch uns zugrunde gelegte Referenzentwicklung der energiebedingten Emissionen für den Themenbereich «Personen- und Güterverkehr». Ausgewählte Annahmen und (Zwischen-)Ergebnisse führen wir direkt im Anschluss auf.

---

<sup>12</sup> Abkürzungen: ICE = herkömmlicher Antrieb («Internal Combustion Engine»), PHEV = Plug-in-Hybrid («Plugin Hybrid Electric Vehicle»), BEV = Batteriefahrzeug («Battery Electric Vehicle»), CNG/LNG = Gasfahrzeug («Compressed Natural Gas Vehicle» oder «Liquefied Petroleum Gas Vehicle»), FCEV = Brennstoffzellenfahrzeug («Fuel Cell Electric Vehicle»).

**Abbildung 4: Personen- und Güterverkehr auf Kantonsgebiet – Referenzentwicklung 2020-2050**

energiebedingte Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Dargestellt sind die direkten Emissionen auf Kantonsgebiet (gelb) sowie die Emissionen aus den Vorketten (orange), gegliedert nach Fahrzeugtyp (direkte Emissionen) und nach Energieträgern (Emissionen der Vorketten).

Modellierung und Grafik INFRAS.

Wie schon im Gebäudebereich sinken die Emissionen des Verkehrssektors bereits in der Referenzentwicklung stark ab. Dies ist insbesondere auf die kontinuierliche Verdrängung von Fahrzeugen mit fossilem Antrieb im motorisierten Individualverkehr zurückzuführen: Ihr Anteil sinkt bis 2035 auf 77% und bis 2050 auf 18%. Gleichzeitig wird die MIV-Flotte zunehmend durch batterieelektrische Fahrzeuge dominiert (Anteil von 60% im Jahr 2050). Durch den niedrigen Emissionsfaktor des im Kanton Basel-Stadt bezogenen Stroms (siehe Datenreihe «6.») führt diese strukturelle Verschiebung zu starken Emissionsverminderungen. Darüber hinaus nimmt der Emissionsfaktor der Flüssigtreibstoffe (analog dem Gas im Gebäudesektor) durch die zunehmende Verwendung von synthetischen und Biotreibstoffen sukzessive ab. Diese Entwicklung vollzieht sich analog bei den schweren und leichten Nutzfahrzeugen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen spielen konventionelle Antriebe jedoch auch in Zukunft eine grössere Rolle (70% konventionell im Jahr 2050).

Die Busflotte des öffentlichen Verkehrs der Stadt Basel wird gemäss Plänen der Verkehrsbetriebe bis zum 2027 auf batterieelektrische Fahrzeuge umgestellt. In den Daten in Abbildung

4 äussert sich dies durch die Reduktion der Datenreihe «4. direkt Busse ÖV» auf nahezu null bis 2030.

**Annahmen zu den wichtigsten quantitativen Parametern im Berechnungsmodell**

Die wichtigsten zugrundeliegenden Annahmen im Excel-Modell zeigt folgende Tabelle:

**Tabelle 6: Ausgewählte Annahmen und Zwischenergebnisse zur Referenzentwicklung im Bereich Personen- und Güterverkehr (Abbildung 4)**

	2020	2030	2040	2050	Δ20-50
Bevölkerung (Tausende)	202	218	227	232	+15%
Arbeitsplätze (Tausende)	191	207	221	224	+17%
<b>Veränderung Verkehrsleistungen/EinwohnerIn (ggü. 2020)</b>					
▪ Personenwagen	-	-8%	-12%	-15%	-15%
▪ Dieselbusse (ÖV)	-	-4%	-6%	-5%	-5%
▪ Tram (ÖV)	-	-0%	+2%	+7%	+7%
▪ Bahn (ÖV)	-	-0%	+2%	+7%	+7%
▪ Leichte und schwere Nutzfahrzeuge	-	-3%	-4%	-2%	-2%
<b>Personenwagen: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>					
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	97% (1%)	88%	66%	18% (40%)	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.3% (13%)	1.0%	2.5%	5% (40%)	
▪ Plug-in-Hybrid	2.2%	6.0%	11.0%	15.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.8%	5.0%	20.0%	60.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	0.0%	1.0%	2.0%	
<b>Leichte Nutzfahrzeuge: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>					
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	99% (1%)	91%	64%	28% (40%)	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.3% (13%)	1.0%	2.5%	5% (40%)	
▪ Plug-in-Hybrid	0.5%	1.0%	3.0%	5.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.2%	7.0%	30.0%	60.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	0.0%	1.0%	2.0%	
<b>Schwere Nutzfahrzeuge: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>					
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	100% (1%)	96%	89%	70% (40%)	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.0% (13%)	1.0%	2.5%	5% (40%)	
▪ Plug-in-Hybrid	0.0%	1.0%	3.0%	5.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.0%	1.0%	3.0%	10.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	1.0%	3.0%	10.0%	
<b>Ergebnisse Endenergiebedarf (in Mio. kWh pro Jahr)</b>					
▪ Flüssiger Treibstoff	524	403	276	101	-80%
▪ Gas	1	5	10	18	+1300%
▪ Strom	41	69	95	150	+260%
▪ Wasserstoff	0	0	3	9	-
<b>Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Emissionen (in t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn)</b>					
▪ CO <sub>2</sub> -Emissionen direkt	0.68	0.47	0.27	0.08	-88%
▪ CO <sub>2</sub> -Emissionen Vorketten	0.14	0.12	0.09	0.08	-44%

Modellierung und Tabelle INFRAS.

### **Annahmen zu den zugrunde liegenden Politikmassnahmen**

Anders als etwa im Gebäudebereich ist der Einflussbereich des Kantons auf technologische Änderungen im Personen- und Güterverkehr relativ gering. Der Umstieg auf fossilfreie Antriebe ist im Wesentlichen abhängig von den Vorgaben des Bundes. Im Zentrum stehen hier die Anpassung der Flottengrenzwerte (für Neuwagen) und marktwirtschaftliche Steuerungsinstrumente wie eine CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Treibstoffe bzw. Mobility Pricing oder LSVA. Entsprechend sind die Annahmen, wie der Bund seine Klimapolitik im Verkehr definiert und welche Wirkung das auf die Umstellung der Flotte und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Kantonsgebiet hat, äusserst sensitiv.

Für die Bestimmung der Referenzentwicklung bilden die Energieperspektiven des Bundes den Ausgangspunkt.<sup>13</sup> Die hier unterstellte Referenzentwicklung geht aber davon aus, dass der Bund nicht weitermacht wie bisher, sondern seine grossen Hebel in Richtung fossilfreie Antriebe nutzt. Entsprechend wird ein ambitioniertes, aber realistisches Handeln auf Bundesebene (damit verbunden natürlich auch auf EU-Ebene) unterstellt.

Konkret basiert die Quantifizierung der Referenzentwicklung auf folgenden Annahmen zu den Politikmassnahmen:

- Massnahmen mit **Wirkung auf die Verkehrsleistungen**, v.a. im MIV
  - Ablösung der Mineralölsteuer durch Mobility Pricing ab 2030; weil dadurch der Treibstoffpreis sinken würde, wird die CO<sub>2</sub>-Abgabe sukzessive erhöht, auf 100 Fr./t)
  - Umsetzung der kantonalen Infrastrukturpläne gemäss Agglomerationsprogrammen
  - Weiterhin Förderanreize für fossilfreie Mobilität mit kantonalen Verkehrsabgaben
- Massnahmen mit **Wirkung auf den Flottenmix und die Fahrzeugeffizienz**
  - Verschärfung der Flottengrenzwerte gemäss Plänen CO<sub>2</sub>-Gesetz
  - CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Treibstoffe aufgrund Ausgestaltung ab ca. 2025 mit zunehmend spürbarem Einfluss auf Flotten-Antriebsmix (vgl. oben)
- Die bereits umgesetzten Massnahmen des Kantons sind in Kapitel 4.4 zusammengefasst.

Die Zusammenstellung verdeutlicht, dass bereits im Referenzfall ambitionierte Massnahmen auf Kantons- und Bundesebene unterstellt sind, die zum heutigen Zeitpunkt noch nicht alle vorgesehen oder konkretisiert sind, aber als zweckmässig für eine proaktive Klimapolitik im Verkehrsbereich erachtet werden (z.B. CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Treibstoffen, Mobility Pricing).

<sup>13</sup> Vgl. die Berichte und Tabellen auf <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>, besucht am 7.7.2021.

### 4.3. Zielbilder Personen- und Güterverkehr

Die folgenden Zielbilder für den Personen- und Güterverkehr haben illustrativen Charakter und zeigen auf, wie der Kanton Basel-Stadt aussieht, wenn die Netto-Null-Zielsetzung bei den direkten Emissionen des Personen- und Güterverkehrs auf Kantonsgebiet erreicht ist. Sie sind daher naturgemäss normativ. Die Zielbilder sind im Dialog mit den quantitativen Modellanalysen entstanden und zeigen unsere Einschätzung, welche materiellen Ziele bis zu den verschiedenen Zielzeitpunkten erreicht werden können.

Im Zentrum der Zielbilder steht der Umsetzungshorizont 2040 (vgl. Kapitel 2.3). Die wichtigsten Abweichungen für die restlichen Umsetzungshorizonte (2030, 2035, 2050) sind im Anschluss daran kurz skizziert.

Das **Zielbild bei angestrebter Zielerreichung 2040** im Bereich Personen- und Güterverkehr zeichnet sich durch die folgenden Eckpunkte aus:

- **Sinkende Fahrleistungen im MIV; Zunahme des ÖV:** Die Fahrleistung im MIV hat deutlich abgenommen gegenüber 2020 (gegen -15%) zugunsten einer Zunahme des ÖV (Tram, Trolleybusse, Bahn und in geringerem Ausmass von Bussen). Aufgrund von vermehrter Heimlieferung hat hingegen auch die Fahrleistung von Lieferwagen und Lastwagen leicht zugenommen. Das Angebot an öffentlichen Parkplätzen ist trotz der Verdichtung und Bevölkerungswachstum deutlich geschrumpft. Die neu entstandenen (verkehrsfreien) Räume können alternativ genutzt werden und tragen zu einer höheren Aufenthaltsqualität der Wohnumgebung bei.
- **Nachhaltiges Mobilitätsverhalten, Kanton der kurzen Wege:** Die Haushalte sind zunehmend autofrei. Velo- und Fussverkehr, multimodale Transportketten und Sharing-Angebote bilden neben dem ÖV das Rückgrat der Mobilität. Lange Wege werden wann immer möglich vermieden (mehr Homeoffice, mehr Quartierleben, mehr lokaler Konsum). Geschäfts- und Büroliegenschaften sowie Freizeitangebote sind für multimodale Transportketten umgerüstet. Anstelle des privaten Autos werden vermehrt Heimlieferungs-Angebote genutzt. Neubauten sind mit Mobilitätsstationen für Sharing-Angebote ausgebaut.
- **Anteil konventionell betriebener Fahrzeuge deutlich reduziert:** Im MIV sind nur noch rund die Hälfte der Personenwagen konventionell angetrieben. Rund 30% der Personenfahrzeuge sind batteriebetrieben. Im ÖV fahren seit 2027 fast ausschliesslich batteriebetriebene Busse. Der restliche MIV und ÖV wird durch hybride Fahrzeuge ersetzt oder (zu einem geringeren Ausmass) mit erneuerbaren Treibstoffen betrieben. Auch im Güterverkehr hat der Anteil konventionell betriebener Fahrzeuge deutlich abgenommen, v.a. bei den Lieferwagen, die zu einem Drittel batteriebetrieben sind. Bei Gütertransporten per Bahn (auf Kantonsgebiet) werden zudem keine Dieselfahrzeuge mehr eingesetzt.

- **Smarte City Logistik:** Dank neuen Konzepten der intelligenten City-Logistik (z.B. City Hubs, intelligente Lagersysteme, Abholstationen) sind die Versorgungsfahrten effizienter geworden.

### Vergleich Zielbilder 2030/2035/2050

Bei kürzerem Umsetzungshorizont (2030, 2035) ergeben sich wesentliche Abweichungen gegenüber dem Zielbild 2040, welche dazu führen, dass das Netto-Null-Ziel nur bedingt erreicht werden kann:

- Im Bereich der Fahrleistungen im MIV und ÖV müssen v.a. für 2030 massiv grössere Anstrengungen unternommen werden, wenn die Netto-Null-Ziele erreicht werden sollen.
- Im Bereich des Antriebmix ist bei einem kürzeren Zeithorizont (2030, 2035) ein weniger ambitioniertes Zielniveau zu erwarten: 2035 (bzw. 2030) dürften im MIV noch zwei Drittel (bzw. über 80%) der Personenwagen konventionell angetrieben sein und erst ein kleinerer Anteil durch batteriebetriebene Fahrzeuge ersetzt worden sein. Insbesondere die Entwicklung von erneuerbaren Treibstoffen für den Schwerverkehr bedarf einer längeren Transitionszeit, welche bei den beiden kürzeren Umsetzungshorizonten kaum zu erreichen ist.

Bei einem Umsetzungshorizont 2050 wären hingegen weitergehende Fortschritte insbesondere im Bereich des Flottenmix beim Antrieb zu erwarten: Bis 2050 dürften konventionell betriebene Personen- und Lieferwagen fast vollständig verschwunden sein und neben batteriebetriebenen Fahrzeugen zunehmend auch durch hybride Personenwagen sowie durch mit erneuerbaren Treibstoffen/Gasen betriebene Fahrzeuge ersetzt worden sein. Eine ähnliche Entwicklung ist auch für Lastwagen zu erwarten (insgesamt konventionell betriebene Lastwagen in der Minderheit), wenn auch in weniger starkem Ausmass. Die restlichen Aspekte des Zielbilds unterscheiden sich nicht wesentlich vom Zielbild 2040.

### Chancen im Zusammenhang mit der Netto-Null-Zielsetzung

Wenn im Bereich Verkehr das Netto-Null-Ziel erreicht wird, bietet dies neben verringerten Treibhausgasemissionen auch **wichtige Chancen** auf verschiedenen Ebenen:

- Die gesteigerte Flächeneffizienz, Energieeffizienz und die Emissionsneutralität des Verkehrs gehen Hand in Hand. Dadurch wird die Attraktivität von öffentlichen Räumen erhöht und eine Stadt bzw. ein Kanton von kurzen Wegen kann umgesetzt werden.
- Die Abnahme des Individualverkehrs führt zu einer geringeren Lärmbelastung und weniger Unfällen pro EinwohnerIn. Dadurch wird einerseits die Verkehrssicherheit und andererseits die Gesundheit der BewohnerInnen positiv beeinflusst.

- Der Strukturwandel im Verkehr bringt unter anderem mit sich, dass die Luftschadstoffbelastung geringer ist als im Jahr 2020 – mit positiven Auswirkungen auf die Gesundheit der BewohnerInnen.

Auch wenn die Netto-Null-Zielsetzung aus Territorialperspektive erreicht wird, bleiben bei allen Zeithorizonten Treibhausgasemissionen aus den Vorketten. Im Bereich Verkehr setzen sich diese im Wesentlichen aus der Herstellung der Fahrzeuge und Bahninfrastruktur zusammen.

#### 4.4. Schlüsselmassnahmen

Über die letzten Jahre war die Entwicklung im Bereich Mobilität trotz unternommener Anstrengungen insgesamt unbefriedigend (Vgl. Regierungsrat Kanton Basel-Stadt 2019a, S. 29). Wenn im Bereich Personen- und Güterverkehr die Ziele erreicht werden sollen, sind grosse Anstrengungen notwendig – insbesondere bei kürzeren Umsetzungshorizonten. Dies bedingt ein Umdenken in Gesellschaft und Wirtschaft in Richtung eines umweltfreundlicheren Mobilitätsverhaltens.

Die heute umgesetzten Klimaschutzmassnahmen im Verkehrsbereich sind im Klimaschutzbericht Kanton Basel-Stadt dokumentiert (vgl. Klimaschutzbericht S. 46ff):

##### *Personen-Verkehr:*

- Parkraummanagement: Beschränkung der Parkplätze, kombinierte Mobilitätsangebote erhöhen (Bike & Ride, Park & Ride)
- Ökologisierung Kantonale Motorfahrzeugsteuer: Bonus-Malus-System basierend auf den Kriterien Leergewicht des Fahrzeugs und CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilometer, Steuerrabatt 50% bei Elektrofahrzeugen während max. 10 Jahren ab Inkrafttreten der Gesetzesänderung (d.h. bis 2028).
- Emissionsminderung im Öffentlichen Verkehr: Ab 2027 soll der gesamte ÖV-Regelbetrieb der BVB zu 100% mit erneuerbaren Energien betrieben werden.
- Förderung E-Mobilität: Bisher Pilotprojekt bis 2020 zum Ausbau von Ladestationen (vgl. zum aktuellen Stand und der Perspektiven Regierungsrat Kanton Basel-Stadt 2019b), Öffentlicher Strassenraum/Förderung von Fuss- und Veloverkehr: Tempo 30- und Begegnungs-Zonen zur Verkehrsberuhigung, durchgängige Fusswegnetze und Förderung des Langsamverkehrs sowie des öffentlichen Verkehrs, Kompensation des Zusatzverkehrs durch den Ausbau übergeordneter Nationalstrassen
- Mobilitätsmanagement: Programm-Mix aus Serviceangeboten und Kommunikationsmassnahmen zur Förderung der nachhaltigen Mobilität
- ÖV-Programm mit Tramnetzentwicklung und Ausbau trinationale S-Bahn Basel

- Vermehrtes Carsharing
- Verringerung gefahrene Fahrzeugkilometer

#### *Güterverkehr*

- Güterlogistik: Bau eines trimodalen Containerterminals
- Umsetzung Städtisches Güterverkehrskonzept

Wir sehen folgende zusätzliche, bzw. verstärkende Schlüsselmaßnahmen, damit das Netto-Null-Ziel möglichst erreicht wird:

#### *Unterstützung Elektromobilität, fossilfreie Antriebe:*

- Sukzessive Umrüstung der verwaltungseigenen Fahrzeugflotte (ist bereits im Referenzfall unterstellt),
- Förderung der Flottenumwälzung auch für die privaten Fahrzeuge von Bevölkerung/Wirtschaft (Bsp. laufende Aktion «Wirtschaft unter Strom» mit Förderbeiträgen für Firmenwagen),
- Beeinflussbare Rahmenbedingungen zum Bau von Ladestationen durch Private möglichst günstig ausgestalten (z.B. Umrüstung aller Regiebetriebe und Beteiligungen Spitäler, Ausbildungsstätten etc.),
- Förderung Ladeinfrastruktur: Mit dem Ratschlag Gesamtkonzept Elektromobilität wurde vom Grossen Rat die Installation von 200 Ladesäulen auf öffentlichen Parkplätzen genehmigt; bei der Beratung des Ratschlags Gesamtkonzept Elektromobilität hat die Umwelt- Verkehrs- und Energiekommission des Grossen Rates eine Motion eingereicht, die 4'000 Ladesäulen verlangt (1'000 in öffentlichen Parkhäusern, 1'000 in privaten Parkhäusern und 2'000 auf privaten Abstellplätzen); geeignete Umsetzung zu prüfen und umzusetzen ,
- Realisierung (mit anderen Partnern) von E-Hubs, die sowohl Strom als auch E-Fahrzeuge (Kleinfahrzeuge, E-Bikes, E-Mikromobilität) anbieten und vermarkten),
- Abgabe von vergünstigtem Strom (ggf. gemäss Vorschlag UVEK: bei Strom für E-Mobilität auf die Lenkungsabgabe zu verzichten, dafür aber einen Aufschlag für die Finanzierung der Ladestationen zu erheben),
- Vergünstigte Konditionen beim Errichten von Photovoltaik-Anlagen für E-Mobilität,
- Einrichtung von Wasserstofftankstellen (für die eigene Nutzfahrzeugflotte, für Dritte).

Nicht zuletzt sind alle durch den Kanton zusätzlich aktivierbaren Hebel so schnell wie möglich umzulegen, dass sich der PV-Ausbau stark beschleunigt. Entsprechende Schlüsselmaßnahmen haben wir im Kapitel 3 zum Gebäudebereich genannt.

### *Senkung des MIV-Anteils*

Im Zentrum stehen folgende Massnahmen:

- Schneller und verstärkter Ausbau des **Velonetzes** – auch kantons- und landesgrenzenübergreifend.
- Ein grosser Beitrag zur Senkung der Verkehrsleistungen im MIV kann geleistet werden, wenn das städtische Strassennetz sukzessive Flächen vom MIV an den Veloverkehr abgibt (bei gleichbleibendem Flächenanteil und Bevorzugung ÖV). Die bereits implementierten Massnahmen sind mit hoher Priorität möglichst rasch umzusetzen.
- Ein «Quantensprung» ist zudem bei der Planung und Bewirtschaftung von Parkraum im Kanton nötig:
  - «null neue Parkplätze»-Politik (durch Anpassung der Parkplatzverordnung),
  - verbesserte Zugänglichkeit von Neubauten insbesondere zur Velo- und Sharing-Infrastruktur,
  - bestehende Parkplätze vermehrt für Sharing-Fahrzeuge reservieren,
  - bei allen bestehenden Parkplätzen zunächst in Test-Zonen und danach in schrittweiser Verschärfung verbindliche Einschränkungen zur Nutzung durch herkömmlich betriebene Fahrzeuge implementieren.

In den folgenden Bereichen geht es um eine forcierte und ambitionierte Umsetzung von bestehenden Pfeilern der städtischen Mobilitätsstrategie:

- Intensivierung **ÖV-Ausbau** gemäss den aktuellen Ausbauprogrammen und forcierten Zusatzaktivitäten (v.a. neue kantons- und länderübergreifende Kapazitäten).
- Stärkung **verhaltensorientierter Massnahmen**:
  - Mobilitätsmanagement im breiteren Sinne (raum- und siedlungsplanerisch unter Berücksichtigung Freizeitaktivitäten und Naherholung, Layout öffentliche Räume etc.).
  - «Konsumexperimente» und Sensibilisierung im Bereich Mobilität und City-Logistik (heute z.B. Bike-to-Work, Urban-Bike-Festival, morgen z.B. Aktion «Kanton Basel-Stadt fährt eine Woche lang kein Auto» etc.).
- Konsequente **Verkehrsberuhigung** (Tempo 30, Begegnungszonen) und Steigerung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum (Plätze, Flanierräume). Dies dient als Basis für die Verbesserung des Fussverkehrs (als Teil der Wegekette, im Einkaufs- und Freizeitbereich. Dabei sind auch die Bedürfnisse des ÖV (Fahrplan, Attraktivität) zu berücksichtigen).
- Weiterarbeit im Bereich des Güterverkehrs- und Logistikkonzepts:

- Infrastruktur z.B. Ausweitung und prioritäre Nutzung von Güterverkehrsflächen als multifunktionale Logistikhubs mit Wohn- und Arbeitsnutzungen; Einrichtung von Quartierhubs, Feinverteilungskonzepte, Förderung von Konzepten zur Feinverteilung mit fossilfreien Antrieben etc.
- Vorbildwirkung der Kantonsverwaltung als Akteur verstärken (eigenes umfassendes Mobilitätsmanagement), u.a.:
  - Geschäftsreisen-Minimierung, Geschäftsreisen-Routen- und -Verkehrsmitteloptimierung, Sensibilisierung des privaten Reiseverhaltens der Mitarbeitenden.
  - Emissionsreduktionsfokussiertes Flottenmanagement der Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen, Spezialfahrzeuge.
- Konsequenter ökologischer Umgang bei der Zulassung von neuen Mobilitätsangeboten im Dienste einer nachhaltigen Mobilitätskette (z.B. Mobility-as-a-Service-Angebote, Mobilitätsplattformen, integriertes Ticketing, Zulassung von automatisierten Fahrzeugen nur im kollektiven Verkehr).

## 4.5. Emissionsreduktionspfade

### 4.5.1. SNN 2040

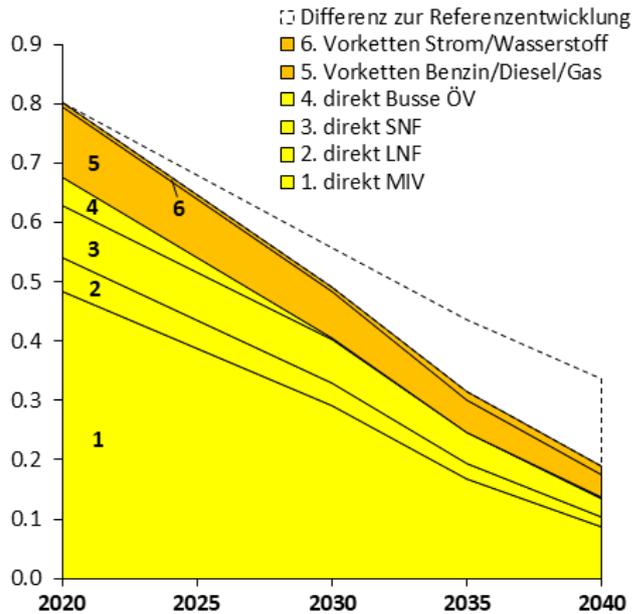
Unter der Voraussetzung, dass der Kanton Basel-Stadt die Reduktion auf null direkte energiebedingte Emissionen forciert, indem er alle Schlüsselmassnahmen gemäss Kapitel 4.4 konsequent umsetzt (Voraussetzung: Bund ändert nationale Gesetzgebung so, dass Kanton Null-Emissionszone durchsetzen kann), betragen die jährlichen energiebedingten Emissionen im Jahr 2040 nur noch rund 200 kg CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn, rund 76% weniger als 2020. Die Verbleibenden Emissionen sind hauptsächlich auf die 2040 noch verbleibenden konventionellen Fahrzeuge zurückzuführen (vgl. Abbildung 5). Für die zugrundeliegende Quantifizierung haben wir die Annahmen gemäss den im Kapitel 4.3 beschriebenen Zielbildern und die Umsetzung der Schlüsselmassnahmen im Kapitel 4.4 unterstellt.

Im Vergleich zur Referenzentwicklung zeichnet sich das SNN 2040 durch eine stärkere Verringerung der MIV-Fahrleistungen aus (rund 14% Abnahme im Jahr 2040 gegenüber 2020, im Vergleich zu 1.3% Abnahme im Referenzfall im selben Zeitraum). Parallel dazu nimmt die ÖV-Nutzung stärker zu (rund 32% Zunahme der schienengebundenen Verkehrsleistungen im SNN 2040 gegenüber 15% im Referenzszenario). Die Dekarbonisierung der Treibstoffe folgt derselben Logik wie jene des Gasmix im Gebäudesektor: In allen Netto-Null-Szenarien werden die direkten Emissionen durch die Verwendung von synthetischen und Biotreibstoffen auf null gesenkt.

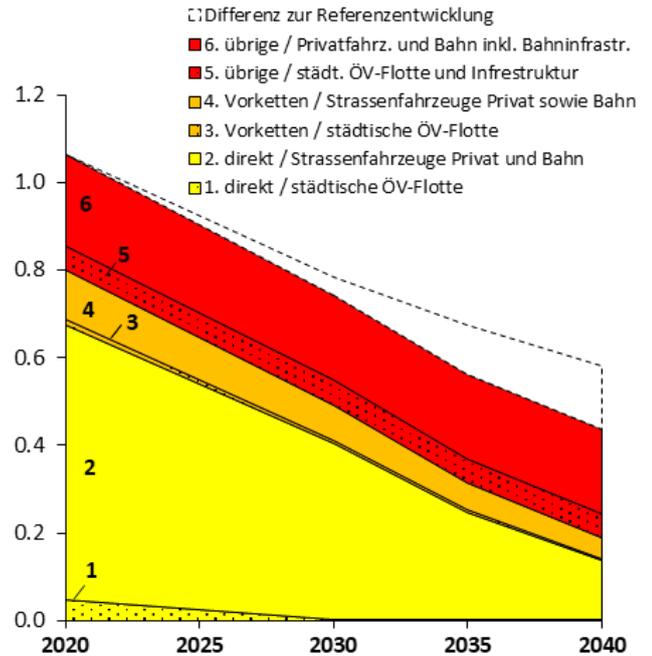
Abbildung 5: Personen- und Güterverkehr – Szenario SNN 2040

**SNN 2040**

energiebedingte Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors inkl. graue Energie in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Dargestellt sind die direkten Emissionen auf Stadtgebiet (gelb) sowie die Emissionen aus den Vorketten (orange) – einmal thematisch gegliedert (links) und einmal breiter aggregiert und inklusive der grauen Energie aus Fahrzeugherstellung und Infrastruktur. Die Modellierung erfolgt auf Basis der Annahme, dass der Kanton Basel-Stadt alle Schlüsselmaßnahmen gemäss Kapitel 4.4 konsequent umsetzt (begleitet durch weitere geeignete Massnahmen).

Modellierung und Grafik INFRAS.

**Tabelle 7: Ausgewählte Annahmen und Zwischenergebnisse zum Szenario Netto-Null 2040 im Personen- und Güterverkehr (Abbildung 5)**

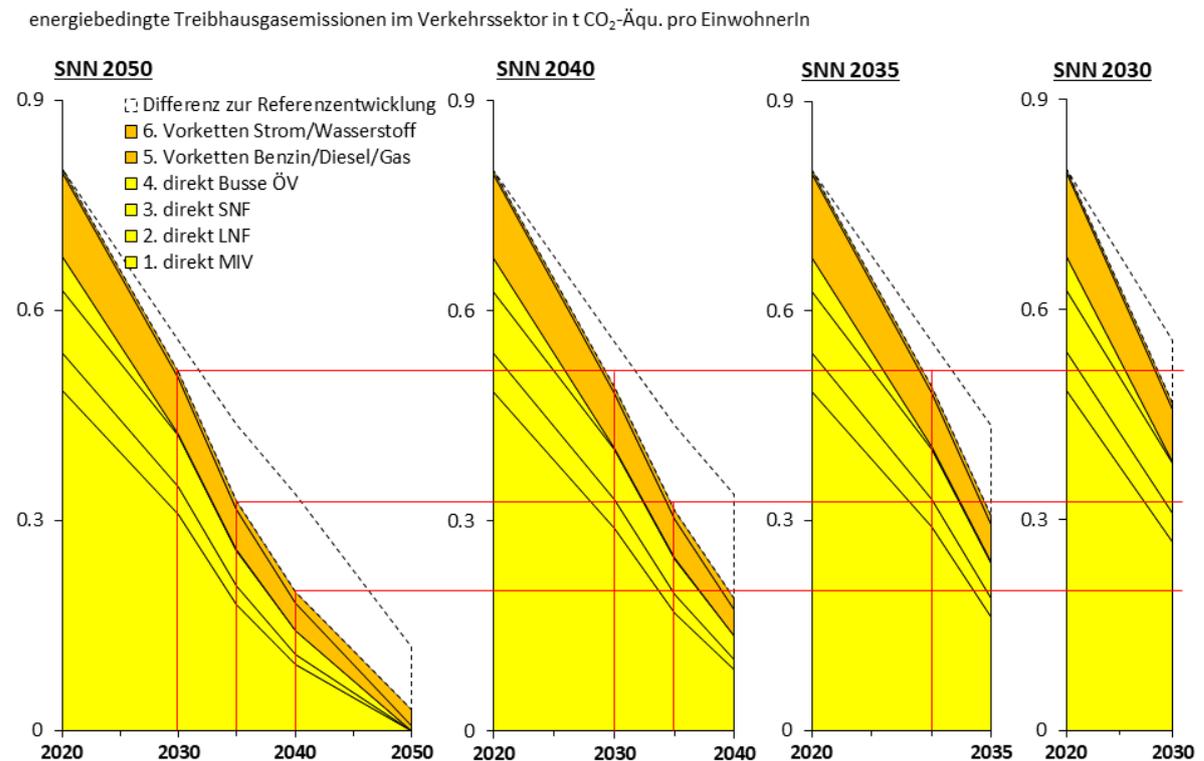
	2020	2030	2040	Δ20-40
Bevölkerung (Tausende)	202	218	227	+13%
Arbeitsplätze (Tausende)	191	207	221	+16%
<b>Veränderung Verkehrsleistungen/EinwohnerIn (ggü. 2020)</b>				
▪ Personenwagen	-	-14%	-23%	-23%
▪ Dieselbusse (ÖV)	-	-3%	-3%	-3%
▪ Tram (ÖV)	-	+7%	+16%	+16%
▪ Bahn (ÖV)	-	+8%	+19%	+19%
▪ Leichte und schwere Nutzfahrzeuge	-	+0%	-2%	-2%
<b>Personenwagen: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>				
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	97% (1%)	86%	51%	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.3% (13%)	1.0%	2.5%	
▪ Plug-in-Hybrid	2.2%	6.0%	11.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.8%	7.5%	35.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	0.0%	1.0%	
<b>Leichte Nutzfahrzeuge: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>				
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	99% (1%)	91%	59%	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.3% (13%)	1.0%	2.5%	
▪ Plug-in-Hybrid	0.5%	1.0%	3.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.2%	7.0%	35.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	0.0%	1.0%	
<b>Schwere Nutzfahrzeuge: Flottenmix nach Antriebskategorien</b>				
▪ Konventionell (Anteil erneuerbarer Treibstoff)	100% (1%)	96%	75%	
▪ Gasfahrzeug (Anteil erneuerbares Gas)	0.0% (13%)	1.0%	2.5%	
▪ Plug-in-Hybrid	0.0%	1.0%	3.0%	
▪ Rein batteriebetrieben	0.0%	1.0%	10.0%	
▪ Brennstoffzelle Wasserstoff	0.0%	1.0%	10.0%	
<b>Ergebnisse Endenergiebedarf (in Mio. kWh pro Jahr)</b>				
▪ Flüssiger Treibstoff	524	380	202	-60%
▪ Gas	1	4	9	+625%
▪ Strom	41	75	116	+180%
▪ Wasserstoff	0	0	6	-
<b>Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Emissionen (in t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn)</b>				
▪ CO <sub>2</sub> -Emissionen direkt	0.68	0.40	0.14	-80%
▪ CO <sub>2</sub> -Emissionen Vorketten	0.12	0.09	0.05	-58%

Modellierung und Tabelle INFRAS.

#### 4.5.2. Vergleich 2030/35/40/50

Die alternativen Netto-Null-Szenarien gehen von verschärften Absenkpfeilen aus (siehe insbesondere den Vergleich für das Jahr 2030 (rote Linie) in Abbildung 6). Im Vergleich zum SNN 2040 werden die Zielwerte des Jahres 2040 der Fahr- und Verkehrsleistungen (mehr ÖV inkl. Bahn, weniger MIV) schon entsprechend früher (2035 und 2030 in den SNN 2035 und SNN2030, respektive) bzw. später (2050 im SNN 2050) erreicht. Die Annahmen des SNN 2040 zur Veränderung des Flottenmix werden für alle anderen Szenarien beibehalten. So wird etwa im Jahr 2035 des SNN 2035 ein Anteil von 21% batterieelektrischer Fahrzeuge im MIV unterstellt. Dasselbe Vorgehen wird für die Treibstoffe angewandt: Die Dekarbonisierung der Flüssigtreibstoffe ist für alle Netto-Null-Szenarien identisch: Im Jahr 2050 sind die spezifischen direkten Emissionen gleich null (siehe gelbe Datenreihen im SNN 2050 in Abbildung 6). Bis zu diesem Zeitpunkt verläuft die Dekarbonisierung analog dem Gebäudesektor kontinuierlich.

**Abbildung 6:** Personen- und Güterverkehr – Vergleich der Szenarien



Modellierung und Grafik INFRAS.

## 4.6. Finanzielle und weitere Auswirkungen

### 4.6.1. Finanzielle Auswirkungen

Die finanziellen Auswirkungen der Massnahmen «Reduktion Fahrleistungen auf Kantonsgebiet» (v.a. im MIV) und Transformation Flottenmix (v.a. Antriebssubstitution) sind schwierig abzuschätzen. Im Folgenden ein paar Überlegungen dazu basierend auf Infrac/Quantis 2020:

- Die Grössenordnung der Investitionen in den **Ausbau des Velonetzes** ist abhängig vom konkreten Ansatz. Grössere Projekte werden durch den Bund mitfinanziert. Weitergehende Kapazitätsanpassungen wie Spurumverteilungen oder Priorisierungen an Lichtsignalanlagen sind bezüglich Investitionen nicht teuer, bewirken aber eine (erwünschte) Einschränkung des MIV.
- Zusätzliche Massnahmen im Bereich der **Parkierung** sind bezüglich Vollzugskosten ebenfalls nicht teuer. Es lässt sich argumentieren, dass sich der Umstieg vom MIV auf die multimodale Transportkette ökonomisch zumeist rechnet.
- Zusätzliche Massnahmen im **Mobilitätsmanagement** sind ebenfalls nicht sehr kostenintensiv. Deren volkswirtschaftlicher Nutzen (weil Freiwilligkeit unterstellt) lässt sich isoliert nicht beziffern, dürfte aber einer nachhaltigen Verkehrspolitik äusserst positiv sein. Ein wichtiger Beitrag ist auch die Vermeidung von zusätzlichem Verkehr.
- Die Aufwertung des öffentlichen Raums und des Fusswegnetzes ist ein genereller Standortnutzen für Basel-Stadt. Die Steigerung der Aufenthaltsqualität erbringt sowohl für die Standortkonkurrenz für Unternehmen als auch für den Tourismus wirtschaftliche Nutzen.
- **Verbote** von Fahrzeugen im Strassenraum lösen ebenfalls wenig Investitionen aus (Signalisation). Umgekehrt dürfte das «Enforcement» relativ teuer sein. Auch hier ist eine ökonomische Beurteilung nur möglich, wenn die Alternativen bewertet werden. Wenn dadurch unerwünschte Ausweicheffekte in die umliegenden Gemeinden resultieren, können unerwünschte Zusatzkosten entstehen.
- **Transformation Flottenmix (v.a. Antriebssubstitution):** Als Grundlage für die Analyse der ökonomischen Auswirkungen können die Erkenntnisse aus dem Projekt «Umweltauswirkungen von Fahrzeugen im urbanen Kontext» (INFRAS/PSI/Quantis 2020) dienen. Wichtigste Erkenntnisse:
  - Bei den Personenwagen gehen wir davon aus, dass in den 2030er-Jahren der Punkt erreicht wird, an dem batteriebetriebene Fahrzeuge in der Anschaffung nicht teurer sind als herkömmliche Fahrzeuge. Unter Berücksichtigung der Energiekosteneinsparungen im Betrieb ist die Umstellung von herkömmlichen auf batteriebetriebene Fahrzeuge wohl schon vor 2030 wirtschaftlich, auch wenn Benzin- und Dieselpreise exkl. Steuern und Abgaben unterstellt werden.

- Bei den Lieferwagen gehen wir bezüglich der Anschaffungskosten von ähnlichen Entwicklungen aus. Bei unseren Annahmen zu Preisen und spezifischen Energieverbräuchen bringt die Umstellung von herkömmlichen auf batteriebetriebene Fahrzeuge aber geringere Energiekosteneinsparungen. Insgesamt wird die Umstellung ab den 2030er-Jahren aber ohne Mehrkosten möglich sein.
- Ungünstiger schneiden Umstellungen bei schweren Nutzfahrzeugen und Bussen von herkömmlichem Antrieb auf Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb ab, wobei die Unsicherheiten hier sehr hoch sind.
- Generell nicht berücksichtigt sind die Mehrkosten im Bereich der Energieversorgungsinfrastruktur (Ladeinfrastruktur E- und H<sub>2</sub>-Mobilität). Für die Installation von Ladestationen ist mit Investitionen zwischen wenigen 1'000 Fr. bis zu 200'000<sup>14</sup> Fr. zu rechnen. Auch hier sind die Unsicherheiten sehr hoch und die Ergebnisse stark von diversen Annahmen abhängig. Allerdings sind die entsprechenden Infrastrukturmehrkosten im Vergleich zu den übrigen Kosten (Fahrzeuge inkl. Betriebsenergie) um Größenordnungen geringer.

#### 4.6.2. Weitere Auswirkungen

Eine klimaneutrale Stadtmobilität ist in Bezug auf die Qualität des öffentlichen Raums, die minimalen Lärm- und Schadstoffimmissionen und die erhöhte Verkehrssicherheit positiv zu würdigen. Dies verbessert wiederum die **Aufenthaltsqualität** und ist ein wichtiger **Standortfaktor**, sowohl für die Wirtschaft als auch die Bevölkerung. Smart City und Smart Transport sowie ein hoher Fuss- und Veloanteil sind im internationalen Städteranking wichtige Faktoren, die sich auch auf die Standortwahl von innovativen Firmen (u.a. auch Headquarters) positiv auswirken.

Bezüglich **sozialer Verteilungswirkungen** ist Folgendes zu erwarten: Zunächst sind die Verteilungswirkungen davon abhängig, wer in Zukunft im Kanton wohnt. Aktuelle Entwicklungen zeigen in einzelnen aufgewerteten Quartieren eine gewisse Gentrifizierung. Es wird stark davon abhängen, wie die zukünftige Entwicklung in Wachstums- bzw. Transformationsquartieren von statten geht.

Der Umstieg auf **Elektromobilität** führt kurzfristig (solange E-Fahrzeuge vor allem in der Anschaffung teurer sind) zu zusätzlichen relativen Belastungen unterer Einkommenschichten. Fördermassnahmen begünstigen eher obere Einkommenschichten. Diese Zusatzbelastung verringert sich allerdings mit zunehmendem Angebot von E-Fahrzeugen und insbesondere von Kleinfahrzeugen.

---

<sup>14</sup> Die Preisspanne der Stationen beträgt für Wallboxen zuhause (max. 11kW) rund 1'000 bis 3'000 Fr., für 22kW Ladestationen 3'500 bis 12'000 Fr. und für Schnellladestationen 50kW rund 40'000 Fr. Eine grössere Schnellladestation kostet je nach Installation Tankstelleninfrastruktur (2-3 Säulen, Asphaltierung etc.) bis zu 200'000 Fr.

Die unterstellten Massnahmen (Veloförderung, Parkraum) als Unterstützung der «Verkehrswende» sind demgegenüber sozialverträglich: Schon heute nutzen untere Einkommenschichten den ÖV und das Velo überdurchschnittlich. Zudem wirken sich Lenkungsabgaben auf Treibstoffen (bei Pro-Kopf-Rückerstattung) positiv auf die Einkommensverteilung aus.

## 5. Industrie

### 5.1. Einleitung

In diesem Kapitel werden die Emissionen der Prozesse abgedeckt, d.h. diejenigen, die nicht durch die Gebäude oder den Strassenverkehr verantwortet werden und folglich in den Kapiteln 3 und 4 nicht behandelt sind. Da das Netto-Null-Ziel gemäss Pariser Klimaübereinkommen alle Treibhausgase erfasst, wird in diesem Kapitel auch die Treibhausgaswirkung durch F-Gas-Emissionen<sup>15</sup> erfasst, welche in der Einschätzung der Autoren für das Territorium des Kantons Basel-Stadt die bedeutendste Quelle von nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgasen darstellen.

In diesem Kapitel ist wichtig zu berücksichtigen, dass die energiebedingten direkten Emissionen von Industrie- und Gewerbebetrieben im Zusammenhang mit dem gebäudebezogenen Endenergieverbrauch für Raumwärme- und Warmwasserversorgung, die damit verbundenen Vorketten sowie die vor- und nachgelagerten Prozesse des Bauens und der Geräte bereits im Kapitel 3 abgedeckt sind.

Relevant sind in diesem Kapitel folgende Emissionsquellen:

- Energiebedingte Emissionen durch den Endenergieverbrauch zur Bereitstellung von **Prozesswärme** (Direktbefuerung, Dampf, Heisswasser mit fossilen Energieträgern und Strom),
- Emissionen von **F-Gasen aus Kälteanlagen, Klimaanlage und Wärmepumpen** (alle Sektoren, inkl. Gebäudebereich und Verkehr),
- Emissionen von F-Gasen in weiteren technischen Anwendungen.<sup>16</sup>

### 5.2. Referenzentwicklung für die energiebedingten Emissionen

Für die Referenzentwicklung bis ins Jahr 2050 gelten im Bereich Prozessenergie und F-Gase folgende Annahmen:

- Die Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energien für die Bereitstellung von Prozesswärme reduzieren sich gegenüber 2020 um rund 60%. Dies ist eine Folge der Dekarbonisierung der Fernwärme sowie des Gasnetzes und – in geringerem Umfang – Einsparungen zur Verringerung des Nettoenergiebedarfs. Diese Emissionen sind im Verhältnis zu den gesamten Emissionen auf Kantonsgebiet weiterhin auf einem sehr tiefen Niveau.
- Der prozessbedingte Stromverbrauch von Industrie und Gewerbe bleibt unverändert.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Der Begriff «F-Gase» steht für fluorierte Treibhausgase und ist ein Sammelbegriff für teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>).

<sup>16</sup> Z.B. als Schutzgas bei der Halbleiterherstellung und bei Giessereiverfahren, Lösungs- und Reinigungsmittel in industriellen Prozessen, Lichtbogenlöschung in elektrischen Schaltanlagen.

<sup>17</sup> Der Pro-Kopf-Verbrauch sinkt leicht aufgrund der steigenden Bevölkerungszahl.

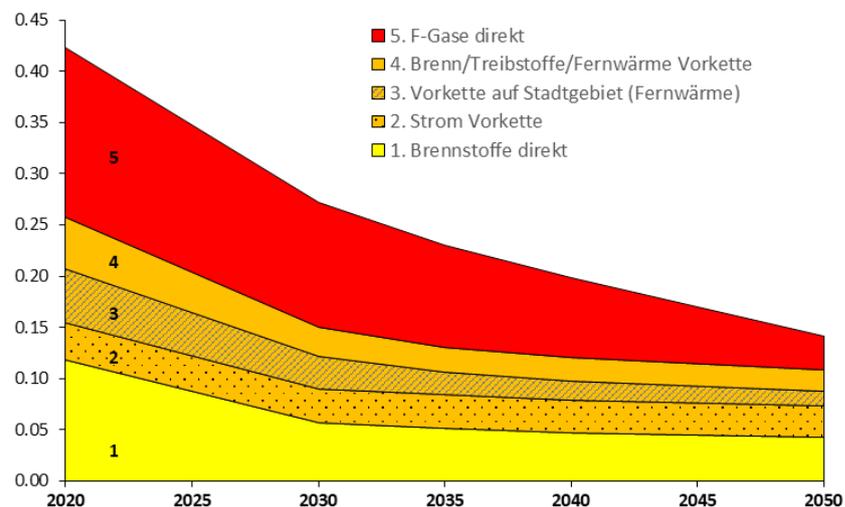
- Die Treibhausgaswirkung der F-Gas-Emissionen aus industriellen und gewerblichen Kälteanlagen und Wärmepumpen reduziert sich bis 2050 pro Kopf um rund 80%.<sup>18</sup>

Unter diesen Annahmen sinken die Emissionen in der Referenzentwicklung vom Ausgangswert von rund 0.32 t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn im Jahr 2020 bis zum Jahr 2050 um rund 64% auf 0.12 t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn.

**Abbildung 7: Prozessemissionen der Industrie auf Stadtgebiet – Referenzentwicklung 2020-2050**

#### Referenzentwicklung

Treibhausgasemissionen der industriellen Prozess und F-Gase  
in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Modellierung und Grafik INFRAS.

### 5.3. Zielbild

Die Skizze eines Zielbilds für die Industrie bis ins Jahr 2050 aufgrund der dynamischen Entwicklungen in diesem Bereich gleicht dem Blick in die berühmte Kristallkugel. Im Folgenden fassen wir ein paar plausible Eckpunkte der Entwicklung bis 2050 zusammen. Diese orientieren sich an der Idee, dass im Jahr 2050 keine direkten energiebedingten Emissionen mehr auf Kantonsgebiet erfolgen sollen.

Für die Bereitstellung von **Prozesswärme** kommen nur noch die folgenden Energieträger und Technologien zum Einsatz:

- Tieftemperatur-Prozesswärme (bis 100 °C): Fernwärme, Hochtemperatur-Wärmepumpen,

<sup>18</sup> Ausgangswert ist der Pro-Kopf-Wert von 0.166 t CO<sub>2</sub>-Äqu. gemäss schweizerischem Treibhausgasinventar; Absenkpfad angelehnt an die Ziele der [EU-Verordnung Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase](#).

- Mitteltemperatur-Prozesswärme (100-500 °C): Biomasse- und Biogas-Feuerungen, elektrische Wärmeerzeuger (direkt oder mit Thermoölkreislauf),
- Hochtemperatur-Prozesswärme (ab 500 °C): Mit Biogas- oder synthetischen Brennstoffen aus erneuerbaren Energien betriebene Feuerungen.

Biogas und synthetische Brennstoffe aus erneuerbaren Energien können grundsätzlich alle Temperaturbereiche abdecken. Aufgrund des beschränkten Potenzials mit Nutzungskonkurrenz zum Verkehrsbereich und den hohen Kosten werden sie aber nur für Prozesse eingesetzt, bei denen hohe Anforderungen an die Temperaturniveaus gelten und keine Niedertemperaturoptionen zur Verfügung stehen.

Folgende weiteren Eckpunkte zur Prozesswärme sind im Zielbild relevant:

- Die Prozesse sind deutlich effizienter als im Jahr 2020. Der realisierte Effizienzgewinn wird allerdings durch die höhere Wirtschaftsleistung teilweise kompensiert. Insgesamt liegt der prozessbezogene Endenergieverbrauch nur rund 10% tiefer als 2020.
- Der Hauptanteil der Dekarbonisierung wird über die Dekarbonisierung der eingesetzten Energieträger (insbesondere Fernwärme und Gas) erreicht.
- Der absolute Strombedarf der industriellen und gewerblichen Prozesse bleibt konstant, weil Effizienzgewinne durch erhöhte Wirtschaftsleistung und Elektrifizierung kompensiert werden.

Die Industrie- und Gewerbebetriebe haben zwar insgesamt mehr Kälteanlagen und installierte Kälteleistung, die **Treibhausgaswirkung der F-Gas-Emissionen** liegen aber um 90% tiefer als im Jahr 2020.<sup>19</sup> Dies, weil durch den Bund und international bedeutende Anstrengungen unternommen wurden, F-Gase mit hohem Treibhausgaspotenzial zu verbieten oder zu regulieren, und weil inzwischen für fast alle Anwendungen klimafreundliche, technisch effiziente Kältemittel zur Verfügung stehen. Die Anwendung von Ammoniak, CO<sub>2</sub> und Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ist inzwischen eine Standardlösung, die von der Effizienz her in den wichtigsten Anwendungen gleichwertig oder besser als die F-Gase-Kältemittel sind.

## 5.4. Schlüsselmaßnahmen

Die Handlungs- und Politikmassnahmenansätze ergeben sich direkt aus dem im Kapitel 5.3 definierten Zielbild. Es gibt keine eigentlichen Schlüsselmaßnahmen im Handlungsbereich der städtischen Politik. Die entsprechenden Regulierungen liegen im Wesentlichen im Kompetenzbereich des Bundes (CO<sub>2</sub>-Abgabe, Zielvereinbarungen für Industrie und Gewerbe, ChemRRV für F-Gase). Der Kanton hat primär eine Vollzugsrolle, insbesondere bei den Zielvereinbarungen

<sup>19</sup> Annahme INFRAS, dass eine weitere Halbierung gegenüber den EU-Zielen bis 2035 gemäss F-Gase-Verordnung möglich ist.

mit der Industrie. Bezüglich potenzieller Handlungsansätze können folgende Punkte genannt werden:

- Reduktion der **prozessenergiebedingten Emissionen**: Auf übergeordneter Ebene zielen politische Massnahmen des Bundes auf Erhöhungen der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe sowie Verschärfungen der Anforderungen an Zielvereinbarungen mit Abgabebefreiung ab. Auf kantonaler und städtischer Ebene ist ein direkter «Klima-Dialog» mit den wichtigsten Emittenten denkbar, weiters punktuelle finanzielle Unterstützung für Pilotprojekte des Sektors Industrie/Gewerbe. Da der im Kanton bezogene Strommix weitgehend CO<sub>2</sub>-neutral ist, ist die Ausgangslage diesbezüglich bereits sehr gut. Bezüglich sonstiger Emissionsverminderungen ist das Engagement der relevanten Unternehmen gemäss Einschätzung der kantonalen Behörden heterogen. Jedoch sind grössere CO<sub>2</sub>-Emittenten in Zielvereinbarungen mit Bund oder Kanton eingebunden. Hemmnisse in Hinblick auf die Dekarbonisierung der Prozessenergie sind das Primat der Wirtschaftlichkeit sowie die erforderliche kurze Amortisationsdauer.
- Reduktion der **Treibhausgaswirkung von F-Gasen**: Auf übergeordneter internationaler Ebene wäre die Weiterentwicklung des Montrealer Protokolls zum Schutz der Ozonschicht sowie die Verschärfung der THG-relevanten Anforderungen mit internationalen Reduktionszielen für F-Gase bis 2050 zweckmässig. Auf Bundesebene könnten die Emissionen durch die konsequente Weiterentwicklung der ChemRRV mit dem Ziel eines Verbots von F-Gasen mit hohem Treibhausgaspotenzial eingedämmt werden. Weiter wäre die Besteuerung aller F-Gase anhand ihrer Klimawirkung eine potenziell effektive Massnahme. Auf kantonaler und städtischer Ebene wären insbesondere der Verzicht auf Beschaffung von Kälte- und Klimaanlageanlagen und Wärmepumpen mit Kältemitteln mit einem Treibhausgaspotenzial (GWP) über 50 denkbar. Ein Fokus auf die Reduktion der SF<sub>6</sub>-Emissionen elektrischer Schaltanlagen trägt ebenfalls zur Verminderung der Reduktion von F-Gasen bei. Treiber der Eindämmung von F-Gas-Emissionen ist die bereits beschlossene und in Etappen verschärfte internationale Regulierung. Weiter haben erste europäische Länder klimawirkungsbezogene Abgaben auf F-Gase eingeführt. Hemmnisse bezüglich der Emissionsverminderung von F-Gasen sind die lange Lebensdauer der Anlagen sowie der Mangel an technisch gleichwertigen Alternativen mit tieferem Treibhausgaspotenzial. Weiter erfordert die Auslegung von Kälteanlagen und der Entscheid für bestimmte Kältemittel eine Gesamtsicht unter Einbezug der Vorketten des Strombedarfs.

## 5.5. Emissionsreduktionspfade

Ambitioniertere Reduktionspfade des Industriesektors sind durch die Dekarbonisierung der relevanten Energieträger bedingt. Es werden keine zusätzlichen Anpassungen des Endenergieaufwands unterstellt. Die direkten Emissionen der Brennstoffe nehmen bis zum Zieljahr 2040 um

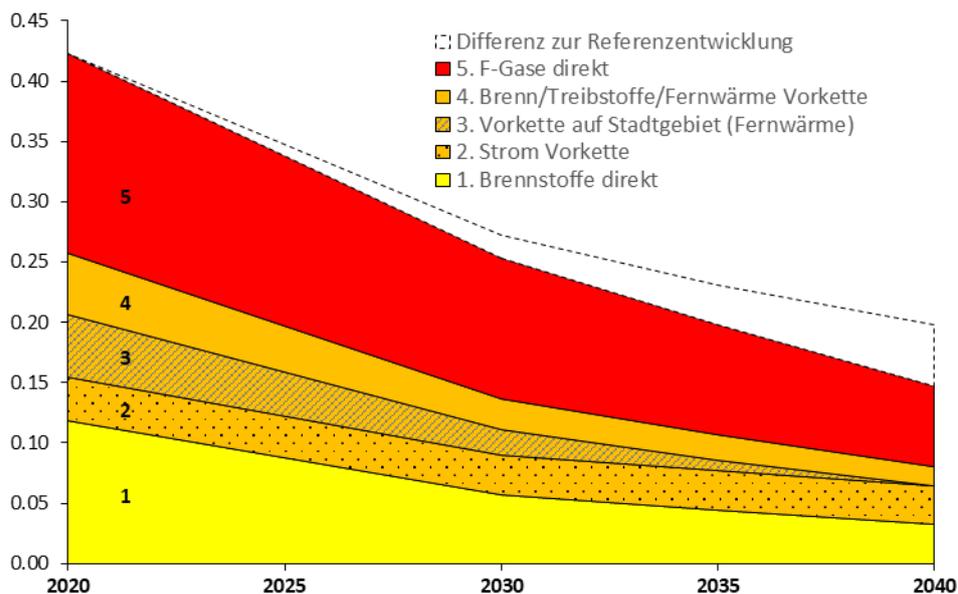
rund 72% ab. Die Abnahme der Pro-Kopf-Emissionen aus dem Stromverbrauch um rund 11% sind identisch der Referenzentwicklung und ausschliesslich auf das Bevölkerungswachstum zurückzuführen: Die absoluten Emissionen bleiben konstant. Die Fernwärme erreicht wie bereits im Gebäudesektor im Jahr 2040 CO<sub>2</sub>-Neutralität durch die vollständige Vermeidung von Gasverbrennung.

Die Rate der F-Gasemissionsreduktion wird in den Netto-Null-Szenarien verdoppelt: Im Gegensatz 2040 wird durch die Umsetzung der Schlüsselmassnahmen eine Verminderung von 60% des pro-Kopf-Wertes im Vergleich zum Jahr 2020 erreicht.

**Abbildung 8:** Industrielle Prozesse und F-Gase – Szenario SNN 2040

### Netto Null 2040

Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn

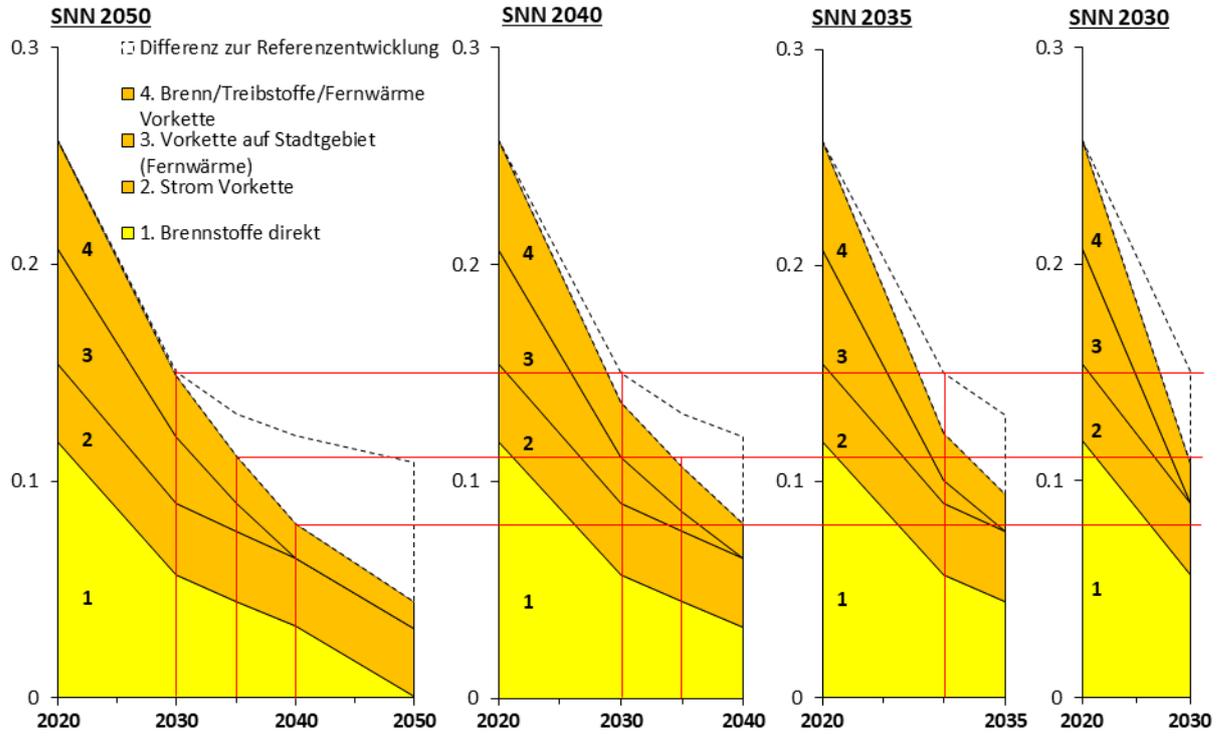


Modellierung und Grafik INFRAS.

Abbildung 9 zeigt den Vergleich der Netto-Null-Szenarien. Wie eingangs erwähnt wird das Mengengerüst (Endenergie) im Industriesektor nicht zwischen den verschiedenen Netto-Null-Szenarien variiert. Die Unterschiede sind durch die Dekarbonisierung der verwendeten Energieträger bedingt.

**Abbildung 9:** Industrielle Prozesse – Vergleich der Netto-Null-Szenarien

energiebedingte Treibhausgasemissionen der Industrie in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Modellierung und Grafik INFRAS.

## 6. Negative Emissionen und Treibhausgas-Zertifikatehandel

### 6.1. Einleitung

Um ihre Klimaschutzziele zu erreichen, können für Kantone und Gemeinden künftig auch der Einsatz von Negativemissionstechnologien sowie der Handel mit internationalen Emissionszertifikaten infrage kommen. Wo liegt ihr Potenzial und wie sinnvoll sind diese Instrumente für Basel-Stadt auf dem Weg zu Netto-Null-Emissionen?

Als eine der Grundlagen für die langfristigen Klimastrategien von Kanton und Stadt Zürich hat INFRAS zusammen mit Perspectives Climate Group analysiert, inwiefern für beide Akteure Negativemissionstechnologien und der Handel mit internationalen Treibhausgas-Zertifikaten sinnvoll sein könnten. Der Bericht erörtert, mit welchen Potenzialen, Kosten und möglichen Handlungsoptionen kurz- und mittelfristig zu rechnen ist. Die folgenden Darstellungen bauen auf diesem Bericht auf (vgl. INFRAS/Perspectives 2020). Die nachfolgenden Aussagen basieren auf einfachen Abschätzungen von INFRAS zur Übertragbarkeit auf den Kanton Basel-Stadt.

### 6.2. Potenziale und Kosten

#### 6.2.1. Treibhausgas-Senken

Welche Negativemissionstechnologien – also technische oder biologische Ansätze zur CO<sub>2</sub>-Entfernung aus der Atmosphäre (kurz: NETs) – kommen für den Kanton Basel-Stadt infrage?

Grundsätzlich gibt es nach unserer Einschätzung auf dem Territorium des Kantons Basel-Stadt für drei Typen von NETs relevante Potenziale. Grob geordnet nach Höhe des Potenzials sind dies:

- Biomasseverwertung mit CCS<sup>20</sup> (Kehrichtverwertungsanlage, Biomassekraftwerk, Klärschlammverbrennung)
- Direktes «CO<sub>2</sub>-Einfangen» mit CCS (DACCS<sup>21</sup>)
- Holz als Baustoff.

Bei den weiteren Optionen wie z.B. Erweiterung und Verdichtung der Waldfläche, Agroforstwirtschaft, Einbringen von Pflanzenkohle, Wiedervernässung von organischen Böden wie Mooren und div. weiteren Ansätzen zur Steigerung des Bodenkohlenstoffgehaltes und beschleunigte Verwitterung durch Ausbringen von staubförmigen Mineralien erwarten wir aufgrund der naturräumlichen und geografischen Voraussetzungen keine wesentlichen Potenziale.

Das bedeutendste Potenzial liegt sicher in der technischen Abscheidung und geologischen Speicherung im Rahmen der Abfallverwertung, der Verbrennung von Biomasse und fossilen

<sup>20</sup> CCS: "Carbon Capture and Storage", d.h. CO<sub>2</sub>-Abscheidung mit Speicherung im Untergrund

<sup>21</sup> DACCS: Direct Air Carbon Capture and Storage

Energien für Strom und Fernwärme, sowie der Abwasserreinigung. In den heute im Kanton Basel-Stadt bestehenden Anlagen und unter der Annahme, dass bis 2040 die Fernwärme ausschliesslich mit erneuerbaren Energien produziert wird, liegt das technische Potenzial für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung bei maximal rund 190'000 t CO<sub>2</sub> pro Jahr (KVA 80kt/Biomasse-Heizkraftwerk 100kt, Pro Rheno 10 kt) (Quelle: Schätzung INFRAS unter Annahme einer CO<sub>2</sub>-Abscheideeffizienz von 95%). In INFRAS/Perspectives 2020 werden die Vermeidungskosten von BECCS<sup>22</sup> und vergleichbaren Technologien für 2040 in einem optimistischen Szenario auf 175 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> geschätzt, im pessimistischen Szenario deutlich höher.

Das Potenzial für DACCS ist unsicher. Der limitierende Faktor ist die Verfügbarkeit von günstiger, CO<sub>2</sub>-freier Energie, da der Prozess einen hohen Energiebedarf aufweist. Typischerweise wird Abwärme mit relativ geringer Temperatur (80-120°C) als Energiequelle genutzt. Im Weiteren ist der bedeutende Platzbedarf zu berücksichtigen, was aber weniger limitierend sein dürfte. Als grobe Schätzung auf Basis der Analysen für die Stadt Zürich gehen wir davon aus, dass das technische Potenzial im Bereich von maximal 20'000 – 40'000 t CO<sub>2</sub> liegen könnte. Das wirtschaftliche Potenzial bis 2050 liegt aber mit Sicherheit deutlich tiefer und eher im Bereich von maximal 10'000 bis 15'000 t CO<sub>2</sub>. In INFRAS/Perspectives 2020 werden die Vermeidungskosten mit DACCS im optimistischen/pessimistischen Szenario für 2040 mit 120 resp. 700 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> angegeben.

Das Senkenpotenzial der Nutzung von Holz als Baumaterial hängt von der Nutzungsdauer der entsprechenden Produkte ab, aber insbesondere auch von einer Verwertung am Ende der Lebensdauer, welche zu einer permanenten Speicherung von CO<sub>2</sub> (beispielsweise durch Verwertung in einer BECCS-Anlage) führt. Ohne CCS handelt es sich nur um eine temporäre Speicherleistung während der Nutzungsphase der Gebäude. Aufgrund der für die Schweiz geschätzten Potenzials von 1 – 2 Mio. t CO<sub>2</sub>/Jahr (Bundesrat 2020) könnte das Potenzial im Kanton Basel-Stadt bei maximal rund 40'000 t CO<sub>2</sub>/Jahr liegen. INFRAS/Perspectives 2020 beziffert die Vermeidungskosten im optimistischen/pessimistischen Szenario für 2040 mit weniger als 0 resp. 50 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> (die Kosten der Verbrennung mit CCS am Ende der Nutzungsdauer ist dabei nicht eingerechnet, vgl. dazu den Abschnitt oben zu BECCS).

### 6.2.2. Rolle des Handels mit Treibhausgas-Zertifikaten

INFRAS analysierte im erwähnten Bericht, welche Optionen sich für die Stadt und den Kanton Zürich durch den Handel mit internationalen Treibhaus-Zertifikaten bieten. Mit den Artikeln 6.2 und 6.4 des Pariser Klimaschutzabkommens besteht die Möglichkeit, dass dieses Instrument auch für den Kanton auf dem Weg zu «Netto-Null» eine Rolle spielen könnte. Die Analyse

---

<sup>22</sup> BECCS: „Bio-Energy with Carbon Capture and Storage“

zeigte, dass dieses neue Instrument mit beträchtlichen Schwierigkeiten bezüglich des Nachweises der «Additionalität» (Zusätzlichkeit) und der Umweltintegrität, sowie oft mit fehlenden institutionellen Ressourcen in den Gastländern zur Umsetzung der Marktmechanismen zu kämpfen hat. Da mit dem Abkommen von Paris nun alle Länder ihre eigenen Klimaziele definiert haben und eine rasche globale Dekarbonisierung angestrebt wird, dürfte der internationale Handel mit Zertifikaten nur eine vorübergehende Option darstellen. Modellierungen lassen erkennen, dass sich die spezifischen Verminderungskosten in den Ländern ab dem Jahr 2030 angleichen dürften, da alle Länder eigene Minderungsleistungen erreichen wollen, womit der Handel seinen Nutzen einbüsst (IETA 2019).

Als temporäre Übergangsmassnahme bis zur vollständigen Umsetzung der Massnahmen auf Kantonsgebiet kann der Kauf und Stilllegung von inländischen oder internationalen Zertifikaten aber durchaus sinnvoll sein um einen rascheren «Netto-Null»-Absenkpfad zu verfolgen. Dies darf aber nicht dazu führen, dass eigene Massnahmen verzögert werden. Zudem müssen sehr hohe Qualitätsanforderungen gestellt werden, da sonst der Umweltnutzen wegfällt. Wir gehen davon aus, dass die Verfügbarkeit von ausreichenden Mengen von entsprechenden Zertifikaten zumindest bis 2030 nicht kritisch ist, da die relative Kaufkraft im internationalen Vergleich hoch ist.

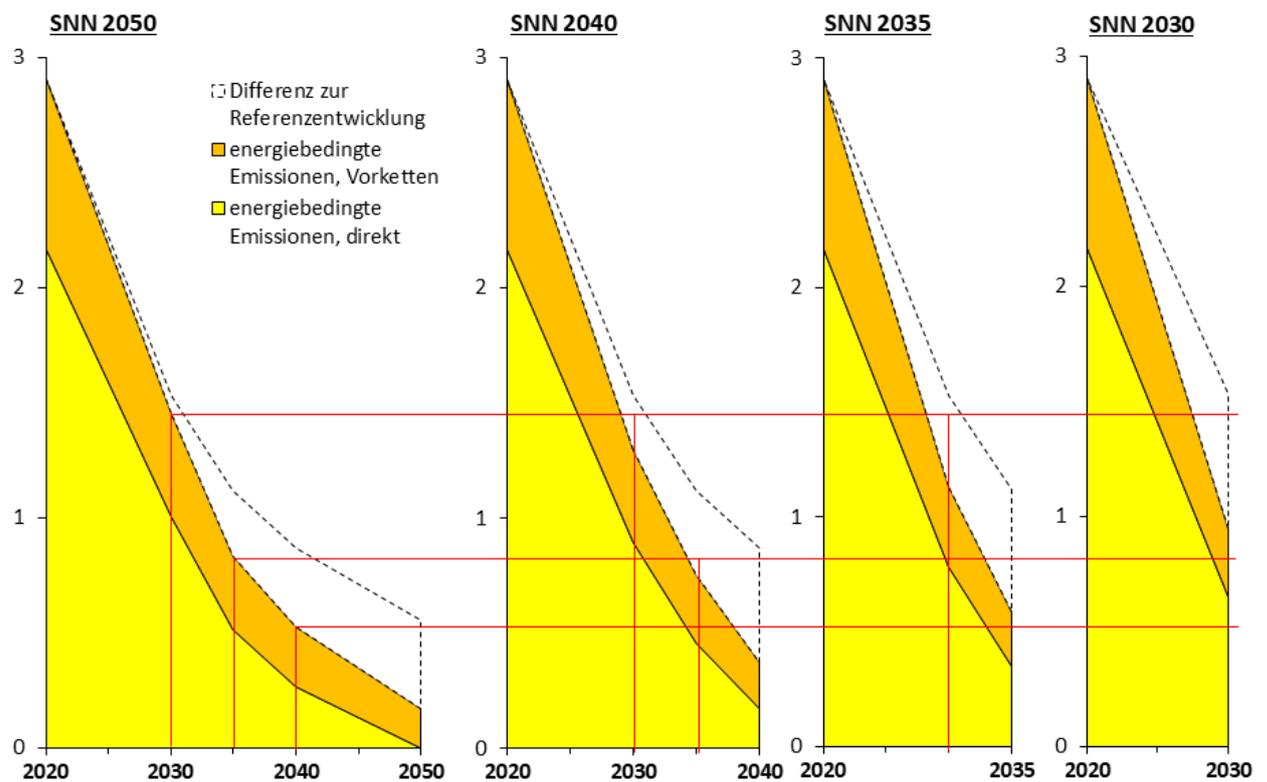
Eine Prognose zu den Zertifikatspreisen ist mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Geht die internationale Gemeinschaft aber konsequent in Richtung den Zielen des Pariser Abkommens, so werden die internationalen Preise für Treibhausgas-Zertifikate im Jahr 2040 deutlich über 100 Fr./t CO<sub>2</sub> liegen, Tendenz rasch steigend. Die zeigt auch die Modellierung der Schattenspreise für die erforderlichen Massnahmen durch die IETA (2019).

## 7. Vergleichender Überblick und Gesamtbeurteilung

### 7.1. Emissionsreduktionspfade 30/35/40/50

Abbildung 10: Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen in den vier SNN-Szenarien

energiebedingte Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-Äqu. pro EinwohnerIn



Modellierung und Grafik INFRAS.

Dargestellt ist die Entwicklung der jährlichen energiebedingten Treibhausgasemissionen in den vier Szenarien SNN 2050 (2020-2050), SNN 2040 (2020-2040), SNN 2035 (2020-2035) und SNN 2030 (2020-2030). Die roten Hilfslinien dienen dem szenarienübergreifenden Vergleich der Emissionsentwicklungen.

Die direkten Emissionen des SNN-2050-Szenarios gehen im Jahr 2050 auf null zurück. Die Vorkettenemissionen der Treibstoffe bleiben teilweise erhalten (0.17 t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn 2050). Die übrigen Netto-Null-Szenarien sind ambitionierter in der Absenkung (vergleiche die

Werte im Jahr 2030 (rote Hilfslinie)). Jedoch verbleiben im Zieljahr gewisse Emissionen (insbesondere auch direkte), da der Zeitraum für eine vollständige Absenkung nicht ausreichend ist (direkt + Vorkette SNN 2040: 0.37 t CO<sub>2</sub> pro EinwohnerIn im Jahr 2040).

## 7.2. Relevanz von Negativemissionen und Zertifikaten zur Kompensation von Treibhausgasemissionen

### Negativemissionen

Die relevanten Potenziale für Negativemissionstechnologien im Kanton Basel-Stadt hängen alle davon ab, ob eine wirtschaftliche und permanente Speicherung von CO<sub>2</sub> vorhanden ist. Die Speicherung kann vor Ort oder im In- oder Ausland erfolgen, wobei dann die Transportaufwendungen zu berücksichtigen sind. Einzig mit Holzbauten lässt sich eine temporäre Speicherleistung erreichen, die auf dem Reduktionspfad etwas «Zeit verschafft» und weitere graue Emissionen vermeidet.

Eine optimistische Schätzung des gesamthaft vorhandenen technischen Potenzials ergibt eine Grössenordnung von unter 1 t CO<sub>2</sub>/EinwohnerIn. Unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten und Akzeptanz dürfte es bis zum Jahr 2040 bei deutlich unter 0.5 t CO<sub>2</sub>/EinwohnerIn liegen. Die Informationen zur Wirtschaftlichkeit sind allerdings heute noch sehr unsicher und möglicherweise ist auch die oben angegebene Schätzung noch zu optimistisch. Das Potenzial liegt gemäss heutigem Wissensstand eher tiefer als die Summe der im Jahr 2040 auf Kantonsgebiet verbleibenden direkten Emissionen.

### Zertifikate

Zertifikate zur Kompensation von Treibhausgasemissionen sind ein komplexes Instrument, da die zugrunde liegenden Projekte nicht in jedem Fall einen klar positiven und einschätzbaren Umweltnutzen bringen. Das Instrument kann sinnvoll sein, wenn aus technischen, sozialen und politischen Gründen keine Möglichkeit für eine ausreichend schnelle Absenkung der Treibhausgasemissionen über «eigene» Massnahmen im Kantonsgebiet besteht. Die Marktexperten erwarten, dass die Konkurrenz um Treibhausgas-Zertifikate und damit ihr Preis bald deutlich steigen wird, insbesondere wenn diese aus qualitativ guten Projekten stammen. Es ist zudem mit einer hohen Unsicherheit und Volatilität bei der Preisentwicklung zu rechnen. Dies ist ein fundamentaler Unterschied zu Massnahmen, die direkt im Kantonsgebiet umgesetzt werden (z.B. forcierter Heizungersatz), wo die Vermeidungskosten in der Regel recht genau abschätzbar sind.

### 7.3. Strategische Stossrichtungen

Um das Ziel zu erreichen, dass kein Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel mehr eingesetzt werden, ist der Kanton Basel-Stadt massgeblich von der Entwicklung der Klimaschutzpolitik auf Ebene Bund abhängig. Der Kanton kann in seinem eigenen Einflussbereich aber weiterhin einen entscheidenden Klimaschutzbeitrag leisten. Strategische Stossrichtungen und Schlüsselmassnahmen sind dabei weitgehend unabhängig vom Zeitpunkt der angestrebten Zielerreichung. Der Unterschied liegt in der Geschwindigkeit der Umsetzung.

Im **Gebäudebereich** wird Netto-Null für die direkten Treibhausgasemissionen erreicht, wenn Öl- und Gasheizungen durch erneuerbare Energiesysteme ersetzt und die dafür notwendigen Sanierungen der Gebäudehüllen erfolgen (Wärmedämmung und Fensterersatz). Gleichzeitig muss der **Ausbau der Fernwärmenetze** forciert werden und mit erneuerbaren Energien gespeist werden, damit im dichtbesiedelten Kanton Basel-Stadt auch jene Gebäude von fossilen Heizungen wegkommen, bei denen eine Wärmeversorgung mit lokalen erneuerbaren Energien weniger zweckmässig ist. Diese Massnahmen führen auch unter Einbezug der zu «investierenden» grauen Emissionen nach nur wenigen Jahren zu einer Klimaschutzwirkung. Die in diesen Bereich bereits bestehenden Massnahmen sollen deshalb weiterhin konsequent umgesetzt und gezielt ergänzt bzw. intensiviert werden.

Im **Verkehrsbereich** soll der Umstieg auf batteriebetriebene Personenwagen so schnell wie möglich erfolgen. Bereits heute wird unter Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung (inkl. Batterie) bei Nutzung von vorwiegend erneuerbarem Strom bereits nach wenigen Jahren eine positive Klimaschutzwirkung erzielt. Allerdings sind für eine kantonale Klimaschutzpolitik, die mit den internationalen Klimazielen konsistent ist, Massnahmen zur Förderung der Elektromobilität konsequent mit verkehrsvermeidenden und verkehrsverlagernden Massnahmen zu kombinieren. Ähnliches gilt beim Güterverkehr, bei dem letztlich nur eine Kombination aus Flottenumstellung und intelligenter City-Logistik zum Ziel führen kann – wobei die technologische Entwicklung heute wesentlich weniger absehbar ist als beim MIV.

Im Bereich der **Stromversorgung** ist der Fokus auf einen möglichst starken und möglichst schnellen Ausbau bei der gebäudegebundenen Photovoltaik zu legen. Mit dem Umstieg auf eine vollständige Elektrifizierung des MIV und zahlreichen zusätzlichen Wärmepumpen akzentuiert sich die Dringlichkeit des Photovoltaikausbaus auf Kantonsgebiet zusätzlich.

Im **Industriebereich** liegen die zentralen Hebel im Wesentlichen im Kompetenzbereich des Bundes (CO<sub>2</sub>-Abgabe, Zielvereinbarungen für Industrie und Gewerbe, ChemRRV für F-Gase). Der Kanton hat primär eine Vollzugsrolle, insbesondere bei den Zielvereinbarungen mit der Industrie.

#### 7.4. Notwendige Investitionen und deren Wirtschaftlichkeit

Tabelle 8 zeigt die Schätzung ausgewählter ökonomischer Kennziffern für die beiden Bereiche Gebäude und Verkehr, die weitaus am meisten energiebedingte Emissionen auf Kantonsgebiet verursachen.

Tabelle 8: Gesamte quantifizierte Investitionen und Kosteneffekte (ganzer Kanton) bei SNN 2040

		Gebäude <sup>1)</sup>	Fernwärme <sup>2)</sup>	Zwischentotal Gebäude	Verkehr	Total
<b>INVESTITIONEN<sup>3)</sup></b>						
Gesamtinvestitionen 2020-2040 [in Mio. Fr.]	REF	1630	250	1880	n.a.	1880
	SNN	+1930	+60	+1990	n.a.	+1990
	TOT	3560	310	3870	n.a.	3870
Energiebezogene Mehrinvestitionen 2020-2040 [in Mio. Fr.]	REF	1070	240	1310	84	1394
	SNN	+1510	+80	+1590	+86	+1676
	TOT	2580	320	2900	170	3070
Annuität der energiebez. Mehrinvestitionen (2040) [in Mio. Fr./Jahr]	REF	77	13	90	12	102
	SNN	+42	-1	+41	+4	+45
	TOT	119	12	131	16	147
<b>EINSPARUNGEN<sup>4),5)</sup> (positive Werte sind Einsparungen)</b>						
Jährliche Energiekosteneinsparung (2040) [in Mio. Fr./Jahr]	REF	82	-21	61	16	77
	SNN	+47	+6	+53	+2	+55
	TOT	129	-15	114	18	132
Jährliche Klimakosteneinsparung (2040), bei 200 Fr./t CO <sub>2</sub> <sup>6)</sup> [in Mio. Fr./Jahr]	REF	46	12	58	20	78
	SNN	+16	-2	+14	+6	+20
	TOT	62	10	72	26	98
<b>NETTOEFFEKT</b>						
Jahreskosten 2040 exkl. Klimakosteneinsparung [in Mio. Fr./Jahr]	REF	-5	34	29	-4	25
	SNN	-5	-7	-12	+2	-10
	TOT	-10	27	17	-2	15
Jahreskosten 2040 inkl. Klimakosteneinsparung [in Mio. Fr./Jahr]	REF	-51	22	-29	-24	-53
	SNN	-21	-5	-26	-4	-30
	TOT	-72	17	-55	-28	-83

1) Wärmedämmung und Fensterersatz, Ersatz von Öl- und Gasheizungen, Installation von PV-Anlagen.

2) Bei Fernwärme wurden die Mehrinvestitionen bei bestehenden Gebäuden berücksichtigt, da nur diese zu zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen führen und entsprechend für die Kosten-Nutzenbetrachtung relevant sind.

3) Wir unterscheiden bei den betrachteten Massnahmen zwischen «Gesamtinvestitionen» (gesamte Investitionen für die Massnahme) und «Energiebezogene Mehrinvestitionen» (Gesamtinvestitionen minus notwendige Investitionen für die reine Instandsetzung). Abkürzungen: REF = Referenzentwicklung gegenüber Status quo 2020. SNN = Entwicklung Szenario «Netto-Null 2040» gegenüber Referenzentwicklung. TOT = Entwicklung Szenario «Netto-Null 2040» gegenüber Status quo 2020.

4) Die Schätzung der eingesparten Klimakosten berücksichtigt die Emissionen der Vorketten der Energiebereitstellung mit. Graue Emissionen, die mit den Massnahmen verbunden sind, sind aber nicht einbezogen.

5) Negativer Wert = Einsparung.

6) Die Klimakosten werden mit einem einheitlichen Kostensatz von 200 Fr. pro t CO<sub>2</sub>-Äqu. monetarisiert. Dieser Kostensatz entspricht dem vom deutschen Umweltbundesamt mit der Methodenkonvention 3.0 empfohlenen durchschnittlichen Satz für die Klimaschadenskosten durch Treibhausgasemissionen (vgl. Umweltbundesamt 2019).

- Die **energiebezogenen Mehrinvestitionen** summieren sich im Szenario SNN 2040 bis im Jahr 2040 auf insgesamt 3.4 Milliarden Fr., wobei in der Referenzentwicklung mit energiebezogenen Mehrinvestitionen in der Grössenordnung von 1.6 Milliarden Fr. zu rechnen ist und durch die Realisierung des SNN 2040 zusätzliche Mehrinvestitionen in der Grössenordnung von gut 1.8 Milliarden Fr. anfallen. Der mit Abstand grösste Anteil entfällt auf die Massnahmen zur Dekarbonisierung des Gebäudeparks. Der Ausbau der thermischen Netze ist ebenfalls mit bedeutenden Investitionen verbunden, allerdings rund einen Faktor 10 tiefer als die Gebäude und damit in einem ähnlichen Bereich wie die Dekarbonisierung des Fahrzeugparks.
- Damit verbunden sind im Jahr 2040 **Jahreskosten** (Annuitäten) in der Höhe von insgesamt 0.16 Milliarden Fr., wovon je die Hälfte der Referenzentwicklung und den zusätzlichen energetischen Investitionen im SNN 2040 zuzuschreiben ist.
- Die Investitionen implizieren rechnerische **Energiekosteneinsparungen** im Jahr 2040 von insgesamt 0.12 Milliarden Fr. (-0.1 Mia. Fr./Jahr REF und -0.2 Mia. Fr./Jahr für SNN 2040). Die damit verbundene Reduktion der Klimakosten schätzen wir für 2040 auf -0.1 Milliarden Fr./Jahr (-0.09 Mia. Fr./Jahr REF, -20 Mio. Fr./Jahr SNN 2040).
- Die berechneten **Nettoeffekte** weisen auf überschaubare Zusatzkosten bzw., wenn die Klimakosteneinsparungen berücksichtigt werden, auf einen Netto-Nutzen im Szenario SNN 2040 von ca. 70 Mio. Fr. hin.

Tabelle 9 zeigt eine Schätzung der notwendigen Investitionen und deren Wirtschaftlichkeit im Vergleich der 4 Szenarien:

Tabelle 9: Notwendige Investitionen und deren Wirtschaftlichkeit – Vergleich der Szenarien

	SNN 2050	SNN 2040	SNN 2035	SNN 2030
<b>Restemissionen im Zieljahr<sup>1)</sup></b>				
energiebedingte Emissionen im Zieljahr (kg CO <sub>2</sub> -Äqu./Einwohner/Jahr)	170 direkt: 0 Vorkette: 170	375 direkt: 170 Vorkette: 205	590 direkt: 350 Vorkette: 240	950 direkt: 650 Vorkette: 300
<b>Ökonomische Auswirkungen<sup>2)</sup></b>				
Mehrinvestitionen <sup>3)</sup> , Mio. Fr./Jahr (durchschnittlich)	162	180	254	332
Annuität der kumulierten Mehrinvestitionen im Zieljahr <sup>4)</sup> , Mio. Fr./Jahr	196	147	145	112
Energiekosteneinsparung im Zieljahr <sup>5)</sup> , Mio. Fr./Jahr (positiv = Einsparungen)	222	132	48	41
Klimakosteneinsparung im Zieljahr <sup>6)</sup> , Mio. Fr./Jahr (positiv = Einsparungen)	105	98	55	44
jährliche Netto-Kosten im Zieljahr <sup>7)</sup> , Mio. Fr./Jahr (exkl. Klimakosten)	-26	15	97	71
jährliche Netto-Kosten im Zieljahr <sup>7)</sup> , Mio. Fr./Jahr (inkl. Klimakosten)	-131	-83	42	28

1) Unter Wahrung von Demokratie und Rechtsstaat erreichbares Minimalniveau der energiebedingten Emissionen gemäss Berechnungsmethodik der bestehenden kantonalen Treibhausgasbilanzierung.

2) Basis bilden Bottom-up-Modelle für den Gebäudepark sowie den Verkehr auf dem Territorium des Kantons Basel-Stadt sowie (als Teilmenge davon) für die Gebäude im städtischen Finanz- und Verwaltungsvermögen sowie die städtische Fahrzeugflotte inklusive städtischem ÖV (Tram und VBZ-Busse).

3) Im Durchschnitt zu tätigen in der Periode 2024-2050 (SNN 2050/27 Jahre), 2024-2040 (SNN 2040/17 Jahre), 2024-2035 (SNN 2035/12 Jahre) bzw. 2024-2030 (SNN 2030/7 Jahre). Als sehr optimistische Annahme wird eine unvermeidbare Vorlaufzeit von 3 Jahren berücksichtigt, um die tiefgreifenden Politikmassnahmen in Kraft zu setzen. Mit «Mehrinvestitionen» sind energiebedingte Mehrinvestitionen gemeint, d.h. Gesamtinvestitionen abzüglich der Investitionen für die reine Instandhaltung (Beispiele: beim Heizungsersatz die notwendigen Gesamtinvestitionen für den Heizsystemwechsel abzüglich der Investitionen, die für einen 1:1-Ersatz der bestehenden fossilen Heizung hätten getätigt werden müssen; bei der Fassadenanierung die Gesamtinvestitionen abzüglich der Investitionen für Verputzausbesserung und Neuanstrich).

4) Der grösste Teil der Mehrinvestitionen fällt im Gebäudebereich an, mit Lebenszyklen, die z.T. weit über das Zieljahr hinausgehen. Die damit verbundenen Jahreskosten steigen also kontinuierlich an und erreichen im Zieljahr den angegebenen Wert. Gerechnet mit 2,5% Verzinsung sowie typischen Lebensdauern je Massnahme (Infrastruktur 50-60 Jahre, Gebäudehülle 30-40 Jahre, Haustechnik 20-25 Jahre, Fahrzeuge 10-15 Jahre).

5) Die Energieeinsparungen ggü. Status quo steigen analog zu den Mehrinvestitionen kontinuierlich an. Bewertet mit Energiepreisen 2050 exkl. Steuern/Abgaben (Einsparung = negatives Vorzeichen).

6) Einsparung energiebedingte Emissionen (direkte + Vorketten), bewertet bei 200 Fr./t CO<sub>2</sub>-Äqu.

7) Annuität der kumulierten Mehrinvestitionen im Zieljahr minus Kosteneinsparungen im Zieljahr (ohne/mit Klimakosten). Negatives Vorzeichen = jährliche Einsparungen höher als Jahreskosten.

- Die Tabelle zeigt unsere quantitativen Schätzungen der **Restemissionen** im Zieljahr für die vier Szenarien, die in den Szenarien notwendigen Mehrinvestitionen pro Jahr, Annuitäten der kumulierten Mehrinvestitionen im Zieljahr sowie die im Zieljahr zu erwartenden Gröszenordnungen der Nettokosten exkl. und inklusiv Berücksichtigung der erzielten Reduktion der Klimakosten.



massive finanzielle Förderung notwendig. Die damit verbundenen direkten Verteilungswirkungen sind schwierig einzuschätzen. Soweit die Förderbeiträge aus dem allgemeinen Finanzhaushalt des Kantons finanziert werden, tragen höhere Einkommenshaushalte überdurchschnittlich zur Finanzierung bei, dürften aber auch überdurchschnittlich von den Förderbeiträgen profitieren. Zu berücksichtigen sind primär die Wirkungen auf die Mietzinsen. Unerwünschte Verteilungswirkungen können über geeignete Begleitmassnahmen abgemindert werden (z.B. durch ergänzende Vorgaben bei den Überwälzungsregeln im Mietrecht (VMWG<sup>24</sup>)).

- Auch im Bereich Verkehr sind die Verteilungswirkungen im Auge zu behalten. Der Umstieg auf Elektromobilität führt kurz- bis mittelfristig zu zusätzlichen relativen Belastungen unterer Einkommensschichten. Fördermassnahmen begünstigen eher obere Einkommensschichten. Diese Zusatzbelastung verringert sich allerdings mit zunehmendem Angebot von E-Fahrzeugen und insbesondere Kleinfahrzeugen. Die unterstellten Massnahmen (Veloförderung, Parkraum) als Unterstützung der «Verkehrswende» ist demgegenüber sozialverträglich.
- Bei einer schrittweisen Transformation über eine Periode von 20 bis 30 Jahren sind nach unserer Einschätzung die zusätzlichen finanziellen Belastungen durch die Massnahmen sowohl für die Haushalte und Unternehmen als auch die Stadt insgesamt gut verkraftbar. Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass die Dekarbonisierung der direkten Emissionen des Gebäudeparks und des Verkehrs unter den angenommenen Rahmenbedingungen wie oben dargestellt letzten Endes volks- und betriebswirtschaftlich rentabel sind.
- Insgesamt akzentuieren sich die finanziellen und weiteren Belastungen, wenn die Reduktionsziele bis 2040 oder gar 2030 erreicht werden sollen. Wir gehen jedoch nicht davon aus, dass sich die generellen Tendenzen bei den sozialen Auswirkungen markant ändern.
- Schliesslich bleibt zu betonen, dass die mit den Reduktionspfaden erzeugten positiven Wirkungen auf die Umwelt- und Lebensqualität in der Stadt zur Sozialverträglichkeit der Netto-Null-Strategie beiträgt.

## 7.6. Gesamtbeurteilung

Unabhängig vom angestrebten Umsetzungszeitpunkt ist davon auszugehen, dass tiefgreifende Veränderungen nicht schlagartig umgesetzt werden können. Daher ist unabhängig vom Zielzeitpunkt von einer ansteigenden Umsetzungsdynamik auszugehen. Wenn in der Praxis kurzfristig unüberwindbare Hemmnisse bestehen (z.B., weil durch Politikmassnahmen nur bedingt beeinflussbar), ermöglicht ein längerer Umsetzungshorizont (insbesondere im Vergleich zu 2030 und

---

<sup>24</sup> Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen.

teilweise auch 2035) eine überproportionale Veränderung. Dies bedeutet, dass die Herausforderungen und der Zielzustand im Jahr 2040 in vielen Bereichen ähnlicher sind wie im Jahr 2050 als im Jahr 2030.

Grundsätzlich gilt für Netto-Null Treibhausgasemissionen zudem, dass Treibhausgasenken, negative Emissionstechnologien und Kompensationslösungen nur für die Reduktion von unvermeidbaren Restemissionen genutzt werden können (vgl. auch INFRAS/Perspectives 2020). Der Grund liegt in den kleinen Volumina, welche durch diese Technologien bis 2040/50 absorbiert werden können. Aufgrund des beträchtlichen Zeitbedarfs zur Entwicklung und Skalierung der Treibhausgasenken und negativen Emissionstechnologien steigt der Druck erheblich, die energiebedingten Emissionen tatsächlich auf null zu senken, je früher der Realisierungszeitpunkt ist. Dies, sofern die Systemgrenze für das Netto-Null-Ziel auf die Gesamtemissionen bezogen wird.

Unsere Analysen zeigen deutliche Vorteile für die Szenarien SNN 2050 und SNN 2040 (letzteres bei einer raschen und entschlossenen Umsetzung), insbesondere bezüglich Machbarkeit sowie Wirtschafts- und Sozialverträglichkeit:

- Die technische und politische Machbarkeit (Akzeptanz Bevölkerung) ist deutlich besser. Der Transformationsprozess kann strategisch sorgfältig geplant und umgesetzt werden, sodass die Chancen gross sind, dass eine nachhaltige energiebezogene Infrastruktur und Energieversorgung – insbesondere im Gebäude- und Verkehrsbereich erreicht werden kann.
- Die Szenarien SNN 2030 und 2035 – in geringerem Ausmass – auch SNN 2040 weisen dagegen den Hauptvorteil auf, dass die notwendigen Reduktionen der Treibhausgase und der lokalen Umweltbelastung (v.a. Luft und Lärm) früher erreicht werden können.
- Das Szenario SNN 2050 ist dagegen bezüglich Wirtschaftsverträglichkeit und Sozialverträglichkeit überlegen, weil Spitzenbelastungen des Umbaus des Energiesystems besser über die Zeit verteilt und dadurch reduziert werden können.
- SNN 2050 schneidet schliesslich besser ab bezüglich der volkswirtschaftlichen Kosten sowie den notwendigen jährlichen personellen und finanziellen Umsetzungsressourcen.

Wie erwähnt liegt die Stärke des Szenarios SNN 2030 – theoretisch – in der früheren Reduktionswirkung bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen und sonstigen Umweltbelastungen wie Luftschadstoffemissionen (z.B. Stickoxide), allerdings möglicherweise zu einem hohen Preis. Wir sehen die Gefahr, dass SNN 2030 langfristig zu geringeren Klimawirkungen führt als die anderen Szenarien. Aus unserer Sicht besteht das Risiko, dass technologisch Wege eingeschlagen werden, um rasch Emissionsreduktionen zu erzielen, die langfristig nicht – bzw. nur verzögert – zu einem nachhaltigen Umbau der energiebezogenen Infrastruktur führen.

Insgesamt zeigt sich beim Entscheid für das «richtige» Reduktionsszenario somit ein klassischer Trade-off, der zu optimieren ist: eine sehr rasche Reduktion der Treibhausgasemissionen versus eine strategisch sorgfältiger geplante und für die Wirtschaft, die Bevölkerung und den Kanton besser verkraftbare Herausforderung bei einer etwas längerfristigen Zielsetzung. Denkbar ist, dass ein Szenario, welches die Netto-Null-Zielsetzung für die energiebedingten Emissionen auf Kantonsgebiet auf 2040 festlegt, letztlich der Optimierung dieses Trade-offs am nächsten kommt. Ergänzend sollte anvisiert werden, dass der Kanton in seinem direkten Handlungsbereich das Netto-Null-Ziel schon früher erreicht.

## Annex

**Tabelle 10: Übersicht der wichtigsten Anpassungen in der Modellierung der Szenarien SNN 2050, SNN 2035 und SNN 2030 ggü. SNN 2040**

	SNN 2050	SNN 2035	SNN 2030
<b>Gebäude/gesamtes Stadtgebiet</b>			
Neubaufflächen	Analog SNN 2040	Analog SNN 2040	Analog SNN 2040
Sanierungsrate: lineare Zunahme identisch in allen Netto-Null-Szenarien (definiert durch Durchschnitt 2% 2020-2050)	Erreicht 2.7% im Jahr 2050	Erreicht 1.8% im Jahr 2035	Erreicht 1.3% im Jahr 2030
Neubauqualität: lineare Zunahme der jährlichen Reduktion analog Sanierungsrate	Lineare Zunahme identisch in allen Netto-Null-Szenarien	Lineare Zunahme identisch in allen Netto-Null-Szenarien	Lineare Zunahme identisch in allen Netto-Null-Szenarien
PV-Ausbau	2.1 Mio. m2	1.4 Mio. m2	1.0 Mio. m2
Ölheizungen	Keine (Ende der Lebensdauer erreicht, analog SNN 2040)	Noch 2% der bestehenden Ölheizungen (Rest hat Lebensdauer erreicht)	Noch 4% der bestehenden Ölheizungen (Rest hat Lebensdauer erreicht)
Gasheizungen	Keine (Ende der Lebensdauer erreicht, analog SNN 2040)	Noch 4% der bestehenden Gasheizungen (Rest hat Lebensdauer erreicht)	Noch 13% der bestehenden Gasheizungen (Rest hat Lebensdauer erreicht)
Fernwärmeausbau		Identisch SNN 2040	
Wärmepumpen		Analog SNN 2040	
Vorkettenintensität		Analog SNN 2040	
<b>Verkehr</b>			
Verkehrsmenge	Die 2050 erreichten Verkehrsmengen entsprechen den Zielwerten 2040 im SNN 2040.	Eine ambitioniertere Entwicklung im Vergleich zum SNN 2040: Die Zielwerte werden im Vergleich zum SNN 2040 bereits fünf Jahre früher erreicht.	Mit maximalen Anstrengungen der Stadt (u.a. Parkplatzbewirtschaftung, Reduktion MIV-Verkehrsflächen) werden analoge Verkehrsmengen erreicht wie im Jahr 2040 bei SNN 2040.
ÖV	Im Vergleich zum SNN 2040 findet der Ausbau und verstärkte Nutzung des ÖV verzögert statt.	Durch forcierten Ausbau wird 2035 gleiche Fahrleistung Tram/Trolley erreicht wie in SNN 2040 im Jahr 2040.	Durch forcierten Ausbau wird 2040 90% der Fahrleistung Tram/Trolley erreicht wie in SNN 2050 im Jahr 2050 (langer Planungsvorlauf und deshalb nicht gleiche Verlagerung möglich wie bei SNN 2050 im Jahr 2050).
Flottenmix (innerhalb Fahrzeugkategorien)		Analog SNN 2040	
Vorketten Treibstoffe	Analog SNN 2040 (SynGas bis 2030 noch nicht in wesentlichen Mengen verfügbar)		

## Literatur

- Bundesrat 2020:** Von welcher Bedeutung könnten negative CO<sub>2</sub>-Emissionen für die künftigen klimapolitischen Massnahmen der Schweiz sein? Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 18.4211 Thorens Goumaz vom 12. Dezember 2018. September 2020.  
<https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/62745.pdf>
- Ecoplan 2015:** Auswirkungen eines Klima- und Energielenkungssystems für 2030 – Analyse mit einem berechenbaren Gleichgewichtsmodell für die Schweiz, im Auftrag des Bundesamts für Energie, des Bundesamts für Umwelt und der Eidgenössischen Finanzverwaltung
- Ecoplan 2012:** Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform – Analyse mit einem berechenbaren Gleichgewichtsmodell für die Schweiz im Auftrag des Bundesamts für Energie, der Eidgenössischen Steuerverwaltung und der Eidgenössischen Finanzverwaltung
- IETA 2019:** The Economic Potential of Article 6 of the Paris Agreement and Implementation Challenges. Summary Report. International Emissions Trading Association (IETA) in Zusammenarbeit mit der Universität of Maryland. [https://www.ieta.org/resources/International\\_WG/Article6/CLPC\\_A6\\_report\\_no\\_crops.pdf](https://www.ieta.org/resources/International_WG/Article6/CLPC_A6_report_no_crops.pdf) [January 16 2020]
- INFRAS 2021:** Strassenverkehrsemissionen Basel-Stadt und Basel-Landschaft 2016-2040; Update Luftmodul GVM, im Auftrag Lufthygieneamt beider Basel
- INFRAS/Perspectives 2020:** Negative Emissionen und Kompensationsleistungen – Potentiale, Kosten und mögliche Rolle, im Auftrag Energiebeauftragte der Stadt Zürich und AWEL Kanton Zürich, Juni 2020
- INFRAS 2020:** Handlungsfelder zur Dekarbonisierung des Kantons Zürich, Grundlagenstudie im Auftrag Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
- INFRAS/Quantis 2020:** Netto-Null Treibhausgasemissionen Stadt Zürich, Grundlagenbericht, im Auftrag der Stadt Zürich, September 2020
- INFRAS/PSI/Quantis 2020:** Umweltauswirkungen von Fahrzeugen im urbanen Kontext, im Auftrag des Umwelt- und Gesundheitsschutzes (UGZ) der Stadt Zürich, Juni 2020
- INFRAS 2019:** Finanzielle Auswirkung von Abgaben auf Brennstoffe, Treibstoffe und Flugtickets Rechenbeispiele für ausgewählte Haushalte, Zürich 2019
- Industrielle Basel IWB, 2020:** Nachhaltigkeitsbericht 2020, Basel 2020
- Rausch S., Böhringer C., Kosch M., Landis F., Müller A. van Nieuwkoop R. 2017:** Promotion- or Steering-based Energy Policy: Assessing Efficiency and Distributional Impacts
- Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt (2020):** Ratschlag betreffend Ausbau der leitungsgebundenen Wärmeversorgung durch die IWB Industrielle Werke Basel sowie Bericht zur

Motion Dominique König-Lüdin und Konsorten betreffend Ausbau Fern- und Nahwärme,  
Basel 2020

**Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt (2019a):** Klimaschutzbericht, Auf dem Weg in eine ressourcenschonende und CO<sub>2</sub>-arme Zukunft, Basel 2019

**Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt (2019b):** Ratschlag Gesamtkonzept Elektromobilität,  
Basel 2019

**Umweltbundesamt (Matthey A., Bünger B.) 2019:** Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung  
von Umweltkosten, Kostensätze Stand 02/ 2019

**Umwelt- und Verkehrskommission des Grossen Rats des Kanton Basel-Stadt (2021):** Bericht  
der Umwelt-, Verkehrs- und Energiekommission zum Ratschlag Gesamtkonzept Elektromobilität, Basel 2021