

Szenarien 2035 und 2040

CO₂-Budget



Stadt Ingolstadt



Diese Studie wurde erstellt von:

Wolfgang Seitz

ENERGIEAGENTUR nordbayern GmbH

Fürther Str. 244a | 90429 Nürnberg | Fon: 0911/ 99 43 96-0 | E-Mail: seitz@ea-nb.de

Oktober 2021

Szenarien 2035 und 2040

CO₂-Budget



1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	SZENARIEN KN 2040 UND KN 2035	6
2.1	SZENARIO KN 2040	8
2.1.1	Szenario KN 2040 Sektor Haushalte	9
2.1.2	Szenario KN 2040 Sektor GHDI	10
2.1.3	Szenario KN 2040 Sektor kommunale Verbraucher	11
2.1.4	Szenario KN 2040 Sektor Verkehr	12
2.2	SZENARIO KN 2035	14
2.2.1	Szenario KN 2035 Sektor Haushalte	15
2.2.2	Szenario KN 2035 Sektor GHDI	17
2.2.3	Szenario KN 2035 Sektor kommunale Verbraucher	18
2.2.4	Szenario KN 2035 Sektor Verkehr	19
3	CO₂-BUDGET DER STADT INGOLSTADT	21
4	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	23

1 Zusammenfassung

Die Szenarien stellen keine Prognosen dar, sondern definieren Parameter, mit denen die Zielvorgaben erreicht (Szenario KN 2040) bzw. annähernd erreicht (Szenario KN 2035) werden können.

Szenario KN 2040

- Rückgang des Energieverbrauch bis 2040 um 51 % und Rückgang der THG-Emissionen um 95 % in Bezug auf 1990
- die komplette Energieversorgung erfolgt auf Basis erneuerbarer Energien
- Sektor Haushalte: Steigerung der jährlichen Sanierungsrate auf bis zu 3,25% (aktuell ca. 1 %)
- Sektor GHDI: Steigerung der Energieeffizienz um fast 3 % jedes Jahr
- Sektor kommunale Liegenschaften: Rückgang spezifischer Energieverbrauch um 34 % bis 2040
- Sektor Verkehr: Rückgang der Verkehrsleistung (Personenverkehr) um 34 % und der Transportleistung um 6 % bis 2040

Die angesetzten Parameter sind sehr ambitioniert und unter heutigen Gesichtspunkten sehr schwer zu erreichen. Soll das Ziel Klimaneutralität 2040 verwirklicht werden, sind umgehend weitgehende Maßnahmen zu ergreifen.

Szenario 2035

- Rückgang des Energieverbrauch bis 2035 um 55 % und Rückgang der THG-Emissionen um 92 % in Bezug auf 1990
- die komplette Energieversorgung erfolgt auf Basis erneuerbarer Energien
- Sektor Haushalte: Steigerung der Sanierungsrate auf bis zu 3,9 % (aktuell ca. 1 %)
- Sektor GHDI: Steigerung der Energieeffizienz um über 4 % pro Jahr
- Sektor kommunale Liegenschaften: Rückgang spezifischer Energieverbrauch um 35 % bis 2035
- Sektor Verkehr: Rückgang der Verkehrsleistung (Personenverkehr) um 34 % und der Transportleistung um 10 % bis 2035
- Die angesetzten Parameter sind unter heutigen Gesichtspunkten kaum umsetzbar. Dennoch wird das Ziel Klimaneutralität bis 2035 nicht ganz erreicht.

CO₂-Budget Stadt Ingolstadt

- Das CO₂-Budget der Stadt Ingolstadt beträgt 13.800.000 Tonnen.
- Bei den aktuellen jährlichen Emissionen ist das Budget in 8,2 Jahren aufgebraucht

2 Szenarien KN 2040 und KN 2035

Die Zielmarke der Bundesrepublik Deutschland zur Erreichung der Klimaneutralität wurde als Reaktion auf die Entscheidung des Bundesverfassungsgerichts im Frühjahr in der Novellierung des Klimaschutzgesetzes von 2050 auf 2045 vorverlegt. Ab dann wird von negativen Emissionen ausgegangen, das heißt aus der Atmosphäre soll dann CO₂ entnommen werden.

In dieser Kurzstudie werden die Parameter definiert, unter denen eine Klimaneutralität der Stadt Ingolstadt bis 2040 (Szenario KN 2040) bzw. bis 2035 (Szenario KN 2035) möglich wäre. Klimaneutralität bedeutet nicht, dass keine Emissionen mehr stattfinden dürfen, sondern dass die Emissionen nicht höher sind, als die Menge an CO₂ die durch Wälder, Moore, etc. wieder aufgenommen wird. Dies entspricht in Deutschland in etwa einer Reduktion der Emissionen um 95 % in Bezug auf die Werte von 1990.

Die Ausgangslage für ambitionierte Reduktionsszenarien ist in Ingolstadt schwieriger als in vielen anderen Kommunen. In Ingolstadt gingen die THG-Emissionen von 1990 bis 2020 lediglich um 5 % zurück, während der Rückgang in Deutschland 40 % betrug. Und selbst bei dieser Ausgangslage erfordert das Ziel Klimaneutralität bis 2045 massive Anstrengungen in allen Sektoren und Lebensbereichen. Um eine Klimaneutralität zu erreichen, muss nahezu die komplette Energieversorgung erneuerbar erfolgen. Geringste Mengen fossiler Energieträger können nur im Notfall in stark begrenztem Ausmaß zur Sicherstellung der Stromversorgung zum Einsatz kommen. Die Energieversorgung sollte so weit wie möglich im Land erfolgen. Massive Importe erneuerbarer Energien erzeugen durch den Energieaufwand für den Transport und durch Transportverluste höhere THG-Emissionen als vor-Ort erzeugte Energien und erschweren die Zielerreichung. Der Versuch den Import fossiler Energieträger eins zu eins durch den Import erneuerbarer Energieträger zu ersetzen wird Klimaneutralität, zu welchem Zeitpunkt auch immer, nicht ermöglichen.

Auch für den Einsatz erneuerbarer Energien werden Emissionen angerechnet. Diese sind zwar deutlich niedriger, in der Regel um den Faktor 10, aber selbst eine Umstellung der Energieversorgung auf 100 % erneuerbare Energien in der Strom und Wärmeversorgung ist nicht ausreichend, um Klimaneutralität zu erreichen. In allen Sektoren ist zusätzlich ein massiver Rückgang des Energieverbrauchs notwendig.

Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaneutralität müssen umgehend ergriffen werden, wenn das Ziel bis 2045, 2040 oder gar bis 2035 erreicht werden soll.

Wirtschaftliche Aspekte wurden bei der Simulation der Szenarien nicht betrachtet. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen hängt jedoch zu einem großen Teil auch von den Kosten für THG-Emissionen ab, die in Ansatz gebracht werden bzw. eingespart werden.

2.1 Modellierung der Szenarien

Die Berechnung der Szenarien erfolgte mit dem Szenarienmodul der ECOspeed Region Bilanzierungssoftware, mit der bereits die Endenergie- und THG-Bilanz erstellt wurde. Die statistischen Grundannahmen zukünftige Entwicklung der Bevölkerung und Erwerbstätigen wurde mit der Verwaltung der Stadt Ingolstadt abgestimmt und ist in beiden Szenarien gleich angesetzt. Die Modellierung des Energieverbrauchs erfolgt getrennt nach Sektoren. Unter Verwendung von Emissionsfaktoren werden dann die THG-Emissionen je Sektor berechnet. Die Gesamtwerte für die Stadt Ingolstadt sind die Summenwerte aus den einzelnen Sektoren. Die Emissionsfaktoren sind für beide Szenarien identisch. Die Fernwärme

wird bereits ab 2035 als komplett erneuerbar angesetzt, der Strom ist 2035 zu über 80 % erneuerbar und 2040 zu über 90 %. Bilanztechnisch muss der Strom nicht in Ingolstadt bereitgestellt werden. Eine entsprechende Verbesserung des deutschen Strommix ist Voraussetzung für die Szenarien. Zertifikate für erneuerbaren Strom können, entsprechend dem BSKO-Standard (Bilanzierungssystematik kommunal) nicht angerechnet werden, da eine Verbesserung der Emissionen in einem Bilanzkreis eine entsprechende Verschlechterung in einem anderen bedingt.

Die Modellierung der einzelnen Sektoren ist unterschiedlich komplex.

Parameter für die Modellierung des Sektors private Haushalte:

- Wohnfläche, berechnet aus Einwohner, Einwohner pro Wohnung und Wohnungsgröße
- Sanierungsrate nach Baualtersklassen
- Effizienzniveau Altbau, spezifischer Energieverbrauch kWh/m² nach der Sanierung
- Effizienzniveau Neubau, spezifischer Energieverbrauch kWh/m²
- Energieträgermix

Parameter für die Modellierung des Sektors GHDI:

- Zuordnung der Erwerbstätigen nach Wirtschaftszweigen
- Spezifischer Energieverbrauch pro Erwerbstätiger entsprechend dem Wirtschaftszweig (Veränderung entspricht den Effizienzgewinnen)
- Energieträgermix

Parameter für die Modellierung der kommunalen Verbraucher

- Gebäudefläche
- Spezifischer Wärmebedarf je m² (Gebäudesanierungen)
- Spezifischer Strombedarf je m² (Effizienzgewinne)
- Energieträgermix
- Effizienzgewinne Straßenbeleuchtung (pauschal in %)

Parameter für die Modellierung Sektor Verkehr

Personenverkehr

- Verkehrsleistung (Personenkilometer pro Einwohnerin)
- Transportmix (Art des Verkehrsmittels, mIV, Bus, Zug)
- Fahrzeugbelegung (Personen pro PKW, Bus, Zug)
- Spezifischer Verbrauch nach Verkehrsmittel (Effizienzsteigerung)
- Energieträgermix

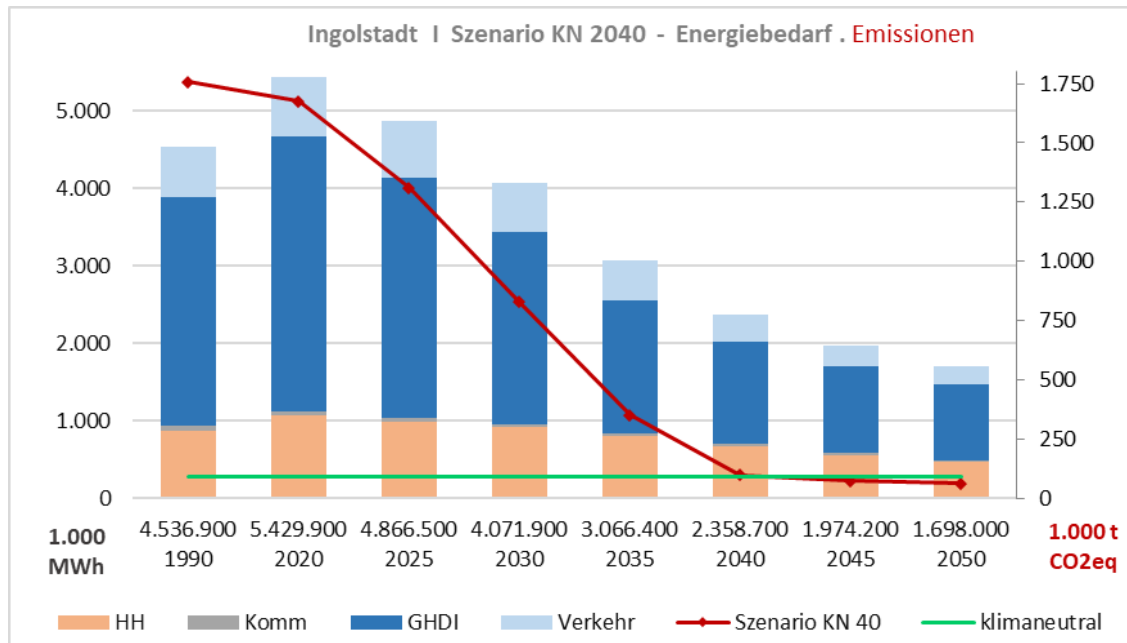
Güterverkehr

- Transportleistung pro Erwerbstätiger
- Transportmix (LKW, Güterzug)
- Auslastung (Tonnenkilometer pro Fahrzeugkilometer)
- Spezifischer Verbrauch nach Verkehrsmittel (Effizienzsteigerung)
- Energieträgermix

2.2 Szenario KN 2040

Die THG-Emissionen aller Sektoren betragen 2040 nur noch 5 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 95 % zu 1990 und 94 % zu 2020. Auch wenn bei einzelnen Sektoren die Reduktion geringer als 95 % ist, wird das Ziel Klimaneutralität bis 2040 in Summe erreicht.

Abbildung 1 Ingolstadt; Szenario KN 2040 Energiebedarf . Emissionen

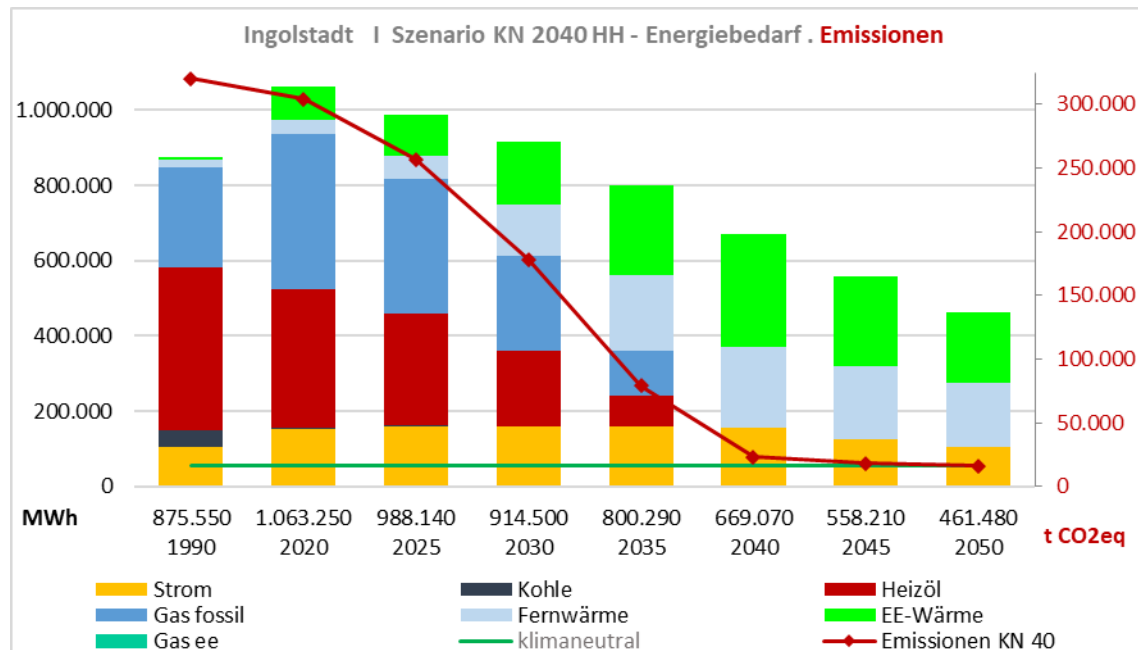


Der Energiebedarf verringert sich um 51 % bezogen auf 1990 und um 59 % bezogen auf 2020.

Die angesetzten Parameter wurden nicht hinsichtlich einer möglichen Umsetzung oder Wirtschaftlichkeit überprüft, sondern sind Voraussetzung zur Erreichung einer Klimaneutralität bis 2040. Im Detail könnten manche Stellschrauben auch geringfügig anders gestellt werden. Insgesamt ändert sich jedoch nichts an der Gesamtaussage. Um eine Klimaneutralität zu erreichen, muss die Energieversorgung (Wärme 100 %; Strom über 80 % bzw. 90 %) durch erneuerbare Energien erfolgen. Zusätzlich muss eine massive Reduktion des Energieverbrauchs in allen Sektoren erfolgen. Der Umsetzungsprozess ist unverzüglich in die Wege zu leiten, um falsche Pfadabhängigkeiten zu vermeiden.

2.2.1 Szenario KN 2040 Sektor Haushalte

Abbildung 2 Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor Haushalte Energiebedarf . Emissionen



Die THG-Emissionen im Sektor Haushalte betragen 2040 noch 7 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 93 % zu 1990 und 92 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 24 % bezogen auf 1990 und um 37 % bezogen auf 2020.

Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2040 Haushalte zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors Haushalte erfolgt 2040 durch erneuerbare Wärme, überwiegend Umweltwärme mit Wärmepumpe, in geringeren Anteilen auch durch Solarthermie und Biomasse sowie Fernwärme und Strom. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom überwiegend.

Die beheizte Wohnfläche reduziert sich zum aktuellen Bestand um 3 %. Der Wohnflächenbedarf von aktuell 44,2 m²/Einwohner verringert sich auf 40,8 m²/Einwohner. Dies erfordert geringere Wohnungsgrößen und/oder eine höhere Wohnungsbelegung. Neubauten erfolgen nur noch als Ersatzbauten bei Abbruch von Bestandsgebäuden und werden im KfW-40-Standard bzw. Passivhausstandard errichtet. Die Sanierungsquote (Anteil der energetischen Komplettsanierungen am Wohnflächenbestand) steigt von aktuell ca. 1 % auf bis zu 3,25 %. Im Durchschnitt liegt sie bei knapp 2,8 % über den gesamten Zeitraum. Das bedeutet, dass 53 % der gesamten Wohnflächen innerhalb von 20 Jahren vollständig energetisch saniert werden. Das Sanierungsniveau liegt im Bereich des KfW-55-Standards. Alle fossilen Energieträger bei der Wärme- und Warmwassererzeugung werden durch erneuerbare Energien oder Fernwärme ersetzt. Aktuell liegt der Anteil von erneuerbaren Energien und Fernwärme im Sektor Wohnen bei 14 %.

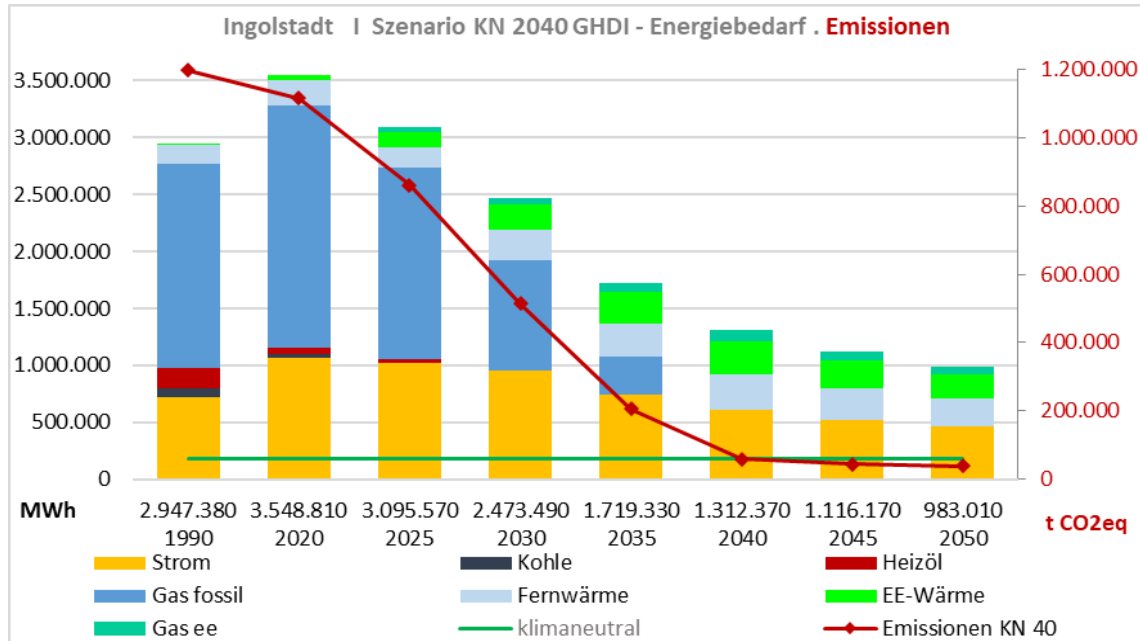
Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor Wohnen bis 2040 stellt eine ambitionierte Herausforderung dar. Neben dem sehr hohen Investitionsbedarf für die Umstellung von 86 % der Heizungsanlagen, der Sanierung von über 50 % des Gebäudebestands auf sehr hohes Niveau und dem großflächigen Ausbau der Fernwärme ist die begrenzte Kapazität der Bauwirtschaft ein entscheidendes Hemmnis.

2.2.2 Szenario KN 2040 Sektor GHDI

Die THG-Emissionen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie betragen 2040 noch 5 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 95 % zu 1990 und 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 55 % bezogen auf 1990 und um 63 % bezogen auf 2020.

Abbildung 3 Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor GHDI Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2040 Sektor GHDI zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors GHDI erfolgt 2040 durch erneuerbare Wärme (Umweltwärme, Biomasse, Solarthermie), Fernwärme und Strom und in geringen Teilen durch erneuerbares Gas bzw. grünen Wasserstoff. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom überwiegend.

Der zukünftige Energiebedarf und die daraus resultierenden Emissionen werden mittels des spezifischen Energiebedarfs pro Erwerbstätiger entsprechend dem jeweiligen Wirtschaftszweig simuliert. Die Zahl der Erwerbstätigen geht bis 2040 um 4 % zurück. Der Anteil von Erwerbstätigen in energieintensiven Wirtschaftszweigen wird 2040 um 14 % niedriger angesetzt als 2020, der Anteil in weniger energieintensiven Bereichen (GHD) dementsprechend höher. Um die Zielvorgaben zu erreichen, wird von einem Rückgang des Energiebedarfs/pro Erwerbstätigen von 54 % bis 2040 ausgegangen. Dies entspricht einer jährliche Steigerung der Energieeffizienz von fast 3 %.

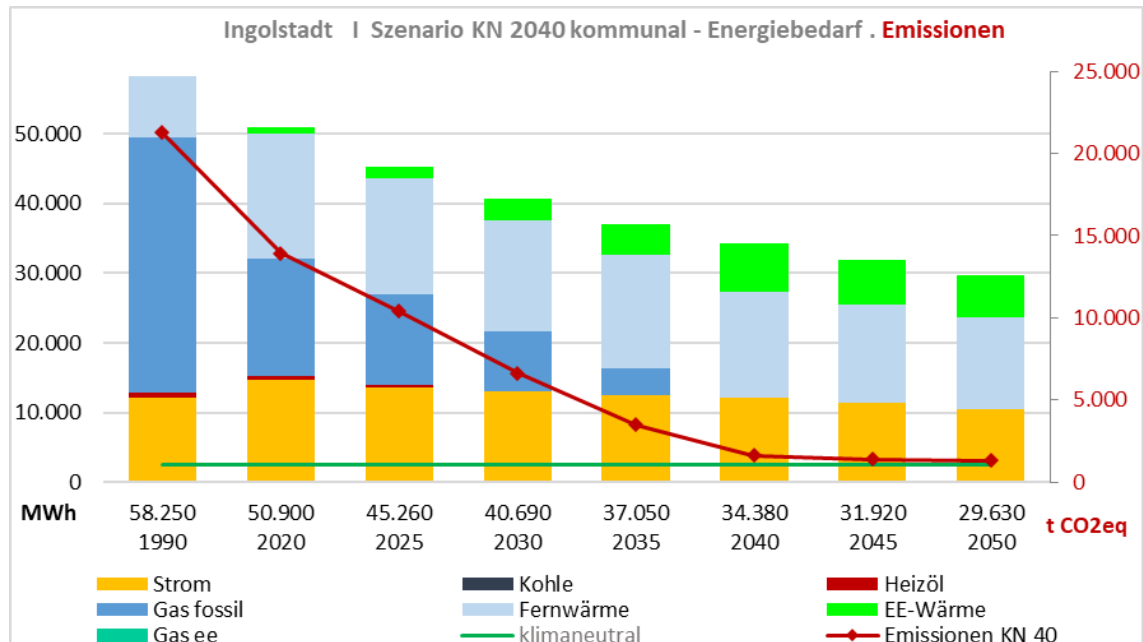
Die Erreichung des Klimaneutralität im Sektor GHDI bis 2040 stellte eine ambitionierte Herausforderung dar. Neben dem sehr hohen Investitionsbedarf für die Umstellung der Wärmeerzeugung auf 100 % erneuerbare Energien und Fernwärme (2020 lag der Anteil erneuerbarer Energien und Fernwärme an der Wärmebereitstellung bei 11 %) setzt die Effizienzsteigerung von fast 3 % jährlich über alle Betriebe eine sehr hohe Messlatte.

2.2.3 Szenario KN 2040 Sektor kommunale Verbraucher

Die THG-Emissionen im Sektor kommunale Verbraucher betragen 2040 noch 8 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 92 % zu 1990 und 88 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 41 % bezogen auf 1990 und um 32 % bezogen auf 2020.

Abbildung 4 Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor komm. Verbraucher Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2040 kommunale Verbraucher zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors kommunale Verbraucher erfolgt 2040 durch erneuerbare Wärme, überwiegend durch Umweltwärme, in geringeren Anteilen auch durch Solarthermie und Biomasse sowie Fernwärme und Strom. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom überwiegend.

Das Szenario KN 2040 kommunale Verbraucher wird simuliert über den spezifischen Wärme und Strombedarf der Gebäudeflächen sowie den Strombedarf für die Straßenbeleuchtung.

Bei den kommunalen Liegenschaften wird, entgegen der Entwicklung der letzten Jahre, nur noch von einem sehr geringen zusätzlichen Flächenbedarf von 1.500 m² bis 2040 ausgegangen. Der durchschnittliche Wärmebedarf über alle betrachteten Gebäude sinkt bis 2040 um 35 %, der Stromverbrauch um 27 %. Der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung geht um 28 % zurück. Der geringfügige Neubau wird im KfW 40-Standard bzw. Passivhausstandard erstellt.

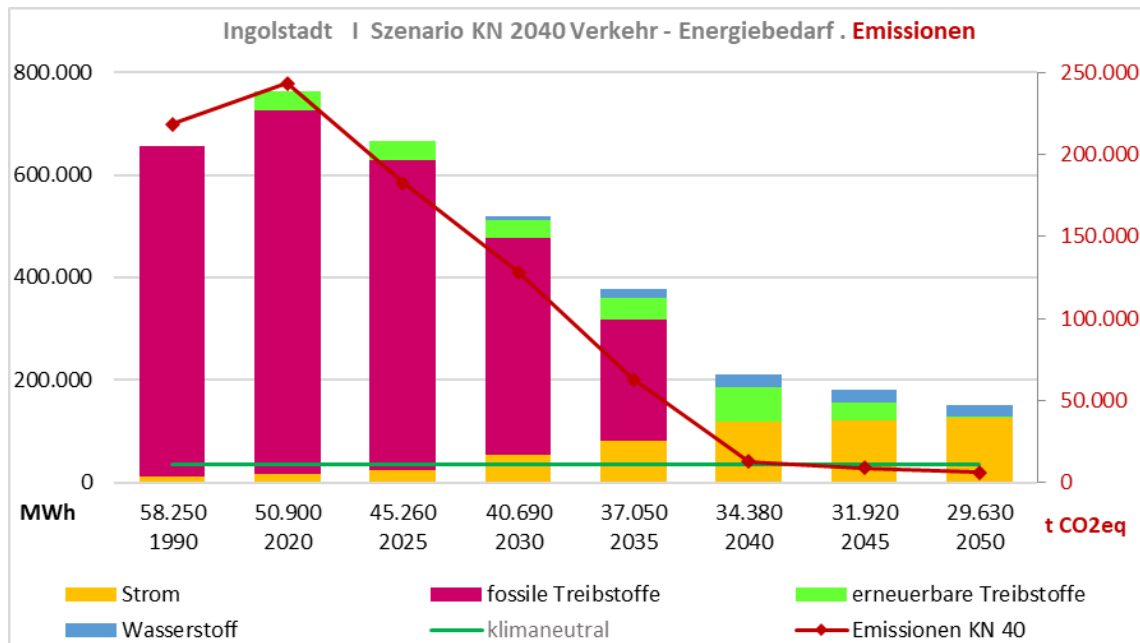
Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor kommunale Liegenschaften bis 2040 stellt eine ambitionierte Herausforderung dar. Der Gebäudebestand, der sich bereits auf einem vergleichsweise guten energetischen Niveau befindet (spezifischer Wärmebedarf 97 kWh/m²) muss in seiner Gesamtheit um 35 % auf einen spezifischen Verbrauchswert von 63 kWh/m² verbessert werden. Dazu müssten überschlägig fast 40 % der Gebäudeflächen auf höchstes Niveau saniert werden sowie die komplette Wärmeversorgung (aktueller Anteil: 52 %) auf erneuerbare Energie und Fernwärme umgestellt werden. Neben dem hohen Investitionsbedarf sind auch hier die vorhandenen Kapazitäten des Baugewerbes als Hemmnis zu sehen.

2.2.4 Szenario KN 2040 Sektor Verkehr

Die THG-Emissionen im Sektor Verkehr betragen 2040 noch 6 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 94 % zu 1990 und 95 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 68 % bezogen auf 1990 und um 72 % bezogen auf 2020.

Abbildung 5 Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor Verkehr Energiebedarf . Emissionen



Der Sektor Verkehr ist der einzige Sektor, dessen Emissionen von 1990 bis 2020 gestiegen sind. Eine Reduktion auf 5 % der Emissionen bezogen auf 1990 bedeutet somit eine noch größere Reduktion bezogen auf den Wert von 2020.

Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2040 Verkehr zugrunde:

Der gesamte Energiebedarf des Sektors Verkehr wird 2040 durch erneuerbare Energien gedeckt. Überwiegend durch Strom (über 80 % erneuerbar), als Übergangslösung auch durch erneuerbare Treibstoffe und in Teilbereichen durch grünen Wasserstoff.

Die Verkehrsleistung im Personenverkehr, die durch motorisierten Verkehr abgewickelt wird, sinkt bis 2040 um 34 %. Dies erfolgt entweder durch wirklichen Rückgang oder durch Verlagerung zum Fuß- und Radverkehr (auch E-Bikes). Der verbleibende Mix verändert sich zugunsten des Bus- und Bahrverkehrs. Der Anteil des motorisierte Individualverkehr (mIV) verringert sich von aktuell 79 % auf 62 %, der Anteil des Busverkehr steigt von 12 % auf 22 % und der des Schienenverkehrs von 9 % auf 16 %. Durch den absoluten Rückgang des motorisierten Verkehrs fallen die jeweiligen Verschiebungen geringer aus. Der mIV ist 2040 größtenteils elektrifiziert, alternative Treibstoffe spielen nur übergangsweise für den noch vorhandenen Bestand an Verbrennern eine Rolle. Die Energieeffizienz der elektrische Antriebe steigert sich um 13 %.

Die Transportleistung im Güterverkehr reduziert sich um 6 % bis 2040. Der Anteil des LKW-Verkehrs verringert sich von aktuell 86,5 % auf 80 %, der Anteil des Schienengüterverkehrs steigt von 13,5 % auf

20 %. Es werden weder beim LKW-Verkehr noch beim Schienenverkehr fossile Treibstoffe eingesetzt. Für die nicht elektrifizierten Bahnstrecken und Fahrzeuge kommen biogene Treibstoffe bzw. grüner Wasserstoff zur Anwendung.

Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor Verkehr bis 2040 stellt eine ambitionierte Herausforderung dar. Die Emissionen im Sektor Verkehr sind von 1990 bis 2020 um 12 % gestiegen. Die Ausgangslage ist somit schwieriger als in anderen Sektoren. Um Klimaneutralität zu erreichen, muss im Personenverkehr ein massiver Rückgang der Verkehrsleistung erfolgen und im Güterverkehr ein moderater Rückgang der Transportleistung. Allgemein wird jedoch mit einem Anstieg, vor allem des Güterverkehrs gerechnet. Der Ausstieg aus der Verbrennertechnologie und der Umstieg zur Elektromobilität muss relativ kurzfristig erfolgen. Alternative Treibstoffe und Wasserstoff haben, bedingt durch ihren Herstellungsprozess deutlich höhere Emissionen als elektrische Antriebe und werden nur in begrenztem Masse eingesetzt.

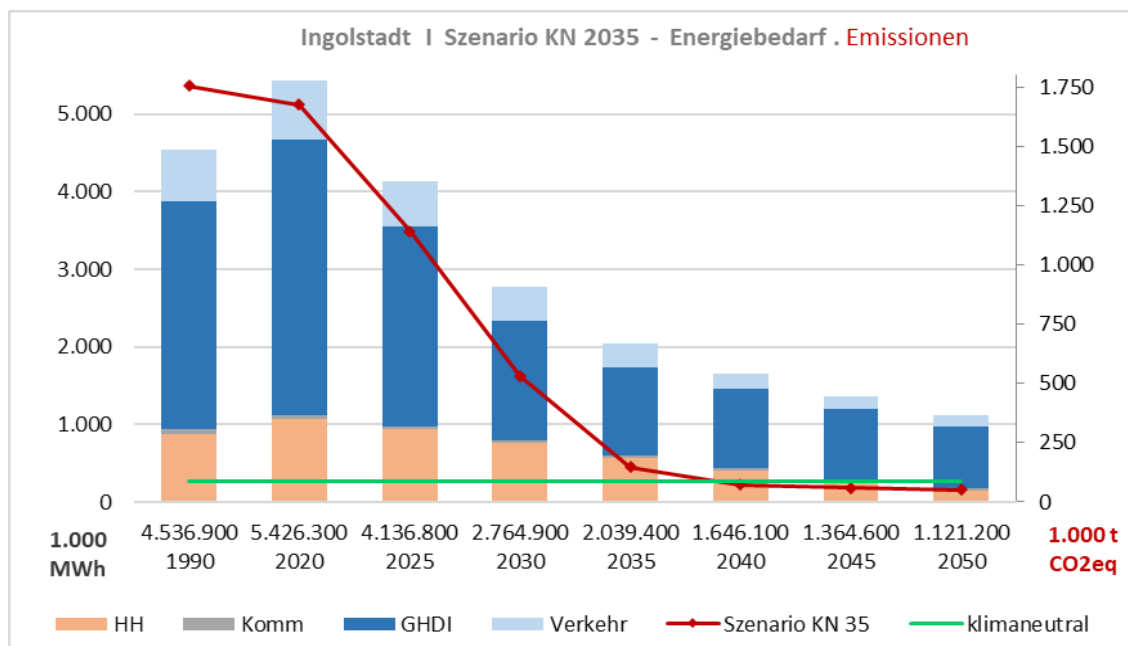
2.3 Szenario KN 2035

Die THG-Emissionen im aller Sektoren betragen 2035 noch 8 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 92 % zu 1990 und 91 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 55 % bezogen auf 1990 und um 62 % bezogen auf 2020.

Das Ziel Klimaneutralität bis 2035 wird nicht vollständig erreicht.

Abbildung 6 Ingolstadt; Szenario KN 2035 Energiebedarf . Emissionen



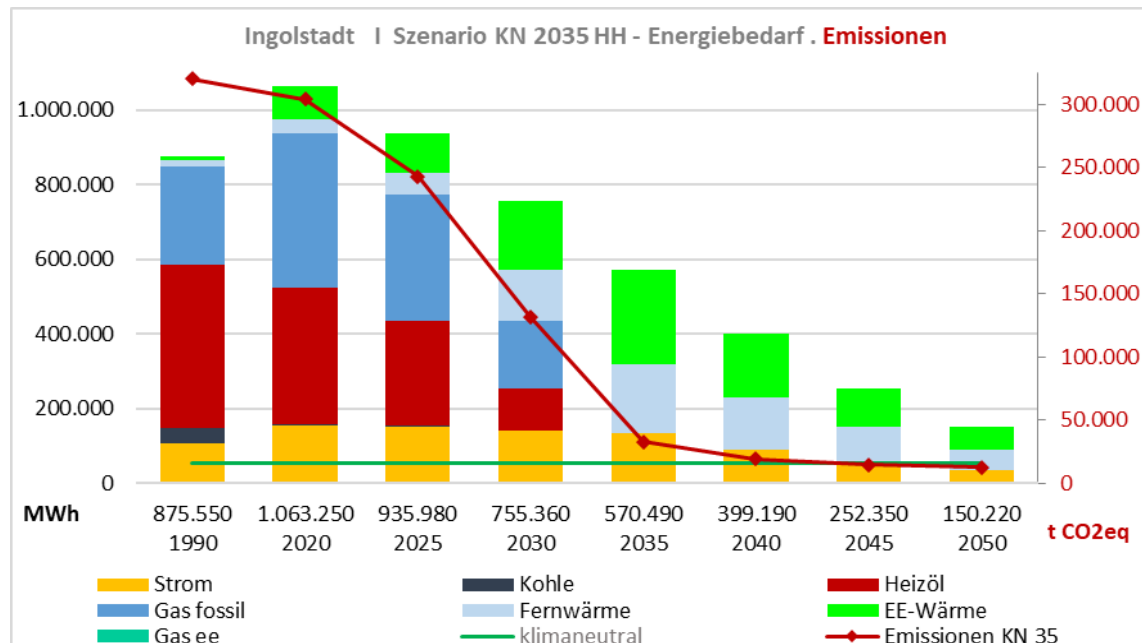
Die angesetzten Parameter für das Szenario KN 2035 wurden nicht hinsichtlich einer möglichen Umsetzung oder Wirtschaftlichkeit überprüft, sondern sind Voraussetzung zur Erreichung einer Klimaneutralität bis 2035. Im Detail könnten manche Stellschrauben auch geringfügig anders gestellt werden. Insgesamt ändert sich jedoch nichts an der Gesamtaussage. Um eine Klimaneutralität zu erreichen, muss nahezu die komplette Energieversorgung durch erneuerbare Energien erfolgen und es muss eine massive Reduktion des Energieverbrauchs in allen Sektoren erfolgen. Durch die kürzere Zeitspanne bis 2035 ist dieses Szenario nochmals deutlich anspruchsvoller als das Szenario KN 2040. Umso wichtiger ist es den Umsetzungsprozess unverzüglich in die Wege zu leiten.

2.3.1 Szenario KN 2035 Sektor Haushalte

Die THG-Emissionen im Sektor Haushalte betragen 2035 noch 10 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 90 % zu 1990 und 89 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 35 % bezogen auf 1990 und um 66 % bezogen auf 2020.

Abbildung 7 Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor Haushalte Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2035 Haushalte zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors Haushalte erfolgt 2035 durch erneuerbare Wärme, überwiegend durch Umweltwärme, in geringeren Anteilen auch durch Solarthermie und Biomasse sowie Fernwärme und Strom. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom nahezu vollständig.

Die beheizte Wohnfläche reduziert sich zum aktuellen Bestand um 3 %. Der Wohnflächenbedarf von aktuell 44,2 m²/Einwohner verringert sich auf 40,8 m²/Einwohner. Dies erfordert geringere Wohnungsgrößen und/oder eine höhere Wohnungsbelegung. Neubauten erfolgen nur noch als Ersatzbauten bei Abbruch von Bestandsgebäuden und werden im KfW-40-Standard bzw. Passivhausstandard errichtet. Die Sanierungsquote (Anteil der energetischen Komplettanierungen am Wohnungsbestand) steigt von aktuell ca. 1 % auf bis zu 3,90 %. Im Durchschnitt liegt sie bei knapp 3,3 % über den gesamten Zeitraum bis 2035. Das bedeutet, dass 46 % des gesamten Wohnungsbestandes innerhalb von 15 Jahren vollständig energetisch saniert werden müssen. Das Sanierungsniveau liegt im Bereich des KfW-40-Standards. Alle fossilen Energieträger bei der Wärme und Warmwassererzeugung werden durch erneuerbare Energien oder Fernwärme ersetzt. Aktuell liegt der Anteil von erneuerbaren Energien und Fernwärme im Sektor Wohnen bei 14 %.

Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor Wohnen bis 2035 ist nochmals deutlich schwieriger als eine Klimaneutralität bis 2040. Das Zeitfenster ist um 25 % kleiner als beim Szenario KN 2040. Der Investitionsbedarf ist fast annähernd so hoch. Die Kapazität der Bauwirtschaft stellt ein noch größeres

Hemmnis dar, da die Sanierungsquote pro Jahr deutlich höher ist und der Zeitraum zum Aufbau zusätzlicher Kapazitäten kürzer.

Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen stellt sich nochmals schwieriger dar, da auch Heizanlagen die nur 15 Jahre alt sind ausgetauscht werden müssen.

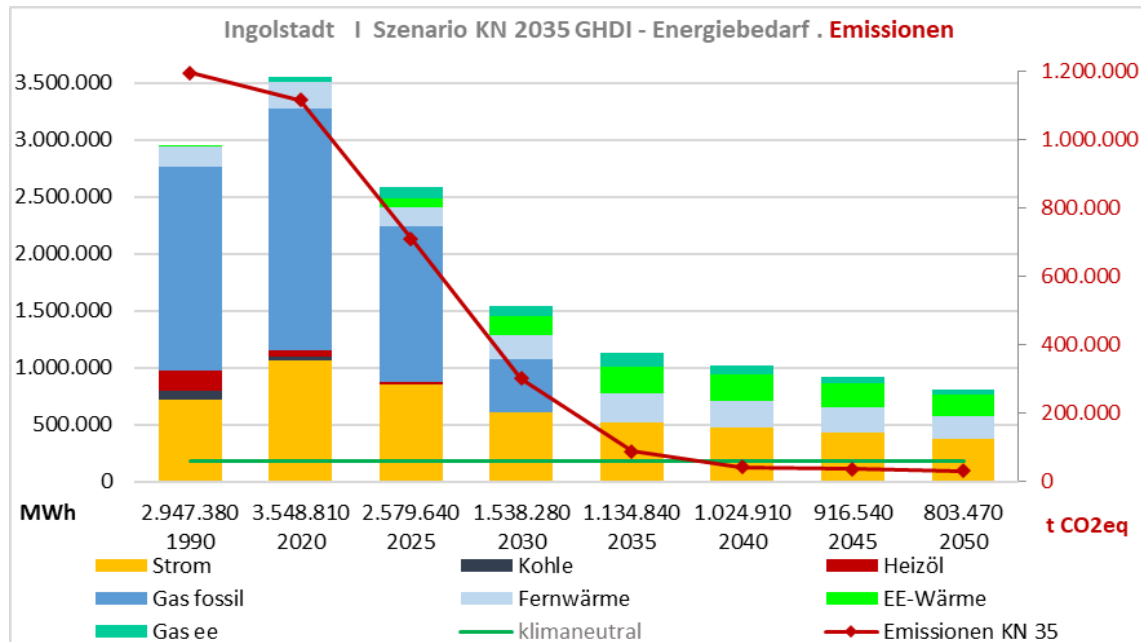
Es ist kaum vorstellbar, wie die in diesem Szenario beschriebene Reduktion der Emissionen bis 2035 umgesetzt werden soll. Zudem ist selbst dieser Rückgang nicht ausreichend, um eine Klimaneutralität der Stadt Ingolstadt bis 2035 zu erreichen.

2.3.2 Szenario KN 2035 Sektor GHDI

Die THG-Emissionen im Sektor GHDI betragen 2035 noch 7 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 93 % zu 1990 und 92 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 61 % bezogen auf 1990 und um 68 % bezogen auf 2020.

Abbildung 8 Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor GHDI Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2035 GHDI zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors GHDI erfolgt 2035 durch erneuerbare Wärme (Umweltwärme, Biomasse, Solarthermie), Fernwärme und Strom und in geringen Teilen durch erneuerbares Gas bzw. grünen Wasserstoff. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom nahezu vollständig.

Der zukünftige Energiebedarf und die daraus resultierenden Emissionen werden mittels des spezifischen Energiebedarfs pro Erwerbstätigen entsprechend dem jeweiligen Wirtschaftszweig simuliert. Die Zahl der Erwerbstätigen geht bis 2035 um 2,5 % zurück. Der Anteil von Erwerbstätigen in energieintensiven Wirtschaftszweigen wird 2035 10 % niedriger angesetzt als 2020, der Anteil in weniger energieintensiven Bereichen (GHD) dementsprechend höher. Um die Zielvorgaben zu erreichen, wird von einem Rückgang des Energiebedarfs/pro Erwerbstätigen von 64 % bis 2035 ausgegangen. Dies entspricht einer jährliche Steigerung der Energieeffizienz von über 4 %.

Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor GHDI bis 2035 erscheint kaum vorstellbar. Die notwendigen Investitionen auf eine 100 % erneuerbare Energieversorgung entsprechen in etwa denen des Szenarios KN 2040, sind jedoch in einer deutlichen kürzeren Zeit umzusetzen. Die Maßgabe einer Effizienzsteigerung pro Jahr von über 4 % jährlich liegt nochmal deutlich über den Vorgaben des Szenarios KN 2040.

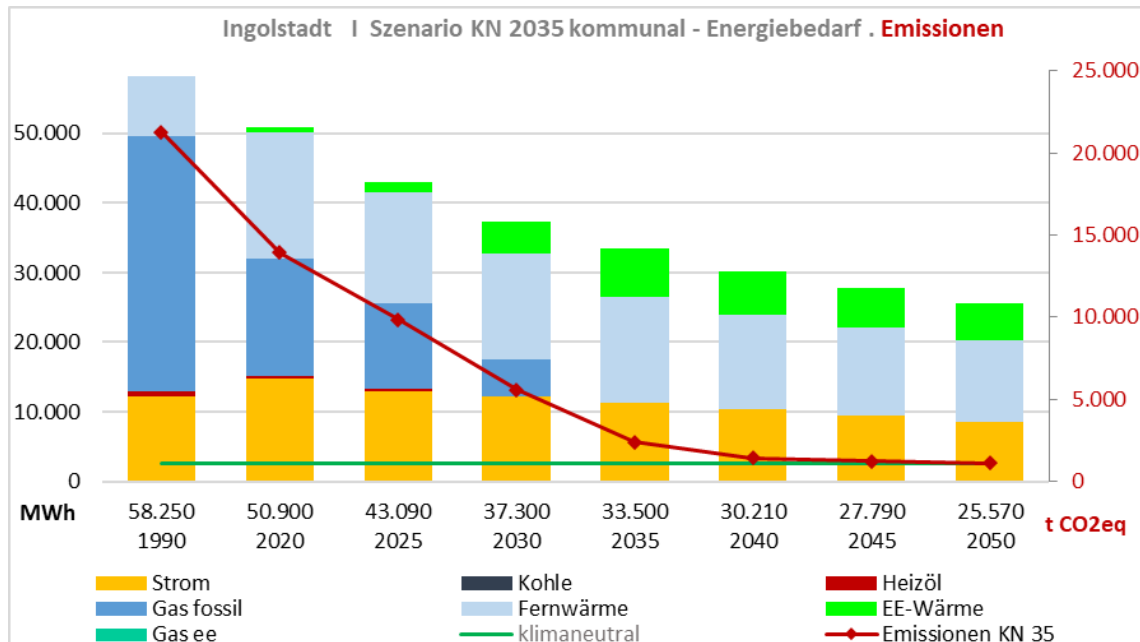
Selbst diese Vorgaben im Szenario KN 2035 Sektor GHDI sind nicht ausreichend, um eine Klimaneutralität der Stadt Ingolstadt bis 2035 zu erreichen.

2.3.3 Szenario KN 2035 Sektor kommunale Verbraucher

Die THG-Emissionen im Sektor kommunale Verbraucher betragen 2040 noch 11 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 89 % zu 1990 und 83 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 42 % bezogen auf 1990 und um 34 % bezogen auf 2020.

Abbildung 9 Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor komm. Verbraucher Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2035 kommunale Verbraucher zugrunde:

Die komplette Energieversorgung des Sektors kommunale Verbraucher erfolgt 2035 durch erneuerbare Wärme, überwiegend durch Umweltwärme, in geringeren Anteilen auch durch Solarthermie und Biomasse sowie Fernwärme und Strom. Fernwärme ist komplett erneuerbar und Strom nahezu vollständig.

Das Szenario KN 2035 kommunale Verbraucher wird simuliert über den spezifischen Wärme und Strombedarf der Gebäudeflächen sowie den Strombedarf für die Straßenbeleuchtung.

Bei den kommunalen Liegenschaften wird, entgegen der Entwicklung der letzten Jahre, von keinem zusätzlichen Flächenbedarf bis 2035 ausgegangen. Der durchschnittliche Wärmebedarf über alle betrachteten Gebäude sinkt bis 2035 um 35 %, der Stromverbrauch um 33 %. Der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung geht um 32 % zurück.

Die Erreichung des Klimaneutralität im Sektor kommunale Liegenschaften bis 2035 stellte eine deutlich höhere Herausforderung dar als Klimaneutralität bis 2040. Der Gebäudebestand, muss in einem kürzerem Zeitfenster optimiert werden und die Reduktionen im Stromverbrauch sind nochmals höher. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen stellt sich nochmals schwieriger dar, da eventuell auch Heizanlagen die nur 15-20 Jahre alt sind, ausgetauscht werden müssen.

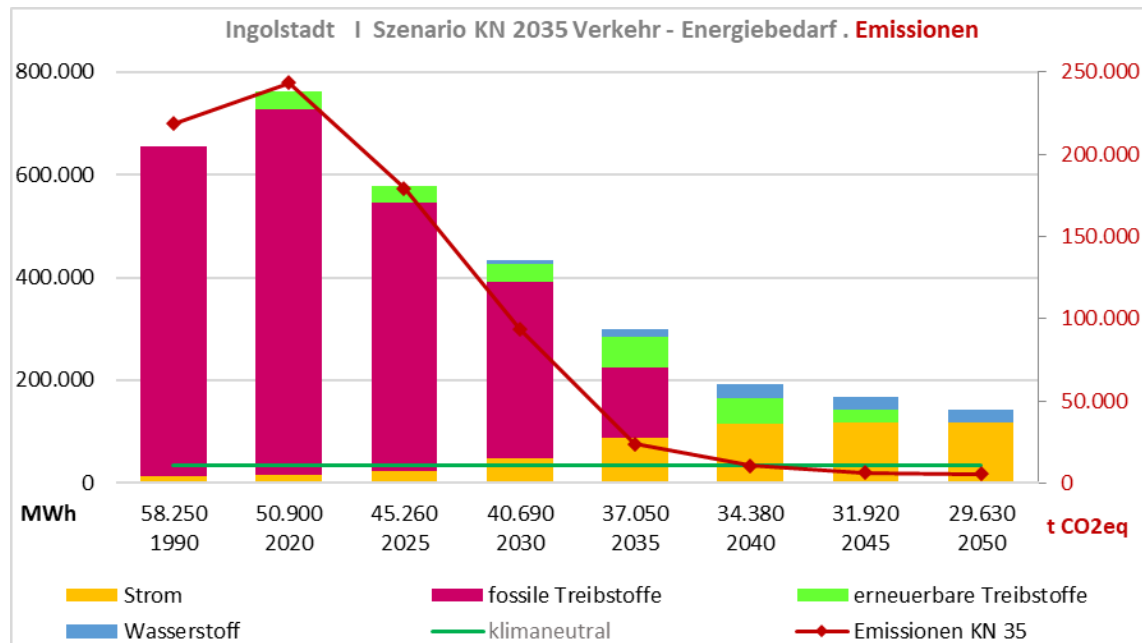
Selbst diese Vorgaben im Szenario KN 2035 Sektor kommunale Liegenschaften sind nicht ausreichend, um eine Klimaneutralität der Stadt Ingolstadt bis 2035 zu erreichen.

2.3.4 Szenario KN 2035 Sektor Verkehr

Die THG-Emissionen im Sektor Verkehr betragen 2040 noch 11 % der Emissionen von 1990. Dies entspricht einem Rückgang von 89 % zu 1990 und 90 % zu 2020.

Der Energiebedarf verringert sich um 54 % bezogen auf 1990 und um 51 % bezogen auf 2020.

Abbildung 10 Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor Verkehr Energiebedarf . Emissionen



Nachfolgende Rahmenbedingungen liegen dem Szenario KN 2035 Verkehr zugrunde:

Der gesamte Energiebedarf des Sektors Verkehr wird 2035 durch erneuerbare Energien gedeckt. Überwiegend durch Strom (über 90 % erneuerbar), als Übergangslösung auch durch erneuerbare Treibstoffe und in Teilbereichen durch grünen Wasserstoff.

Die Verkehrsleistung im Personenverkehr, die durch motorisierten Verkehr abgewickelt wird, sinkt bis 2035 um 31 %. Dies erfolgt entweder durch wirklichen Rückgang oder durch Verlagerung zum Fuß- und Radverkehr (auch E-Bikes). Der verbleibende Mix verändert sich zugunsten des Bus- und Bahrverkehrs. Der Anteil des motorisierte Individualverkehr (mIV) verringert sich von aktuell 79 % auf 56 %, der Anteil des Busverkehr steigt von 12 % auf 26 % und der Anteil des Schienenverkehrs von 9 % auf 18 %. Durch den absoluten Rückgang des motorisierten Verkehrs fallen die jeweiligen Verschiebungen geringer aus. Der mIV ist 2035 größtenteils elektrifiziert, alternative Treibstoffe spielen nur übergangsweise für den noch vorhandenen Bestand an Verbrennern eine Rolle. Die Energieeffizienz der elektrische Antriebe steigert sich um 13 %.

Die Transportleistung im Güterverkehr reduziert sich um 2,5 % bis 2040. Der Anteil des LKW-Verkehrs verringert sich von aktuell 86,5 % auf 80 %, der Anteil des Schienengüterverkehrs steigt von 13,5 % auf 20 %. Es werden weder beim LKW-Verkehr noch beim Schienenverkehr fossile Treibstoffe eingesetzt. Für die nicht elektrifizierten Bahnstrecken und Fahrzeuge kommen biogene Treibstoffe bzw. grüner Wasserstoff zur Anwendung.

Die Erreichung der Klimaneutralität im Sektor Verkehr bis 2035 ist schwer vorstellbar. Der motorisierte Individualverkehr erbringt einen Großteil der Verkehrsleistung. Selbst bei einem zügigen Umstieg auf Elektromobilität in den nächsten Jahren, wären ein Großteil der heute zugelassenen Fahrzeuge 2035 mit Verbrennungsmotoren noch im Betrieb. Mit alternativen Treibstoffen ist jedoch Klimaneutralität nicht zu erreichen. Allgemein wird mit einem Anstieg der Verkehrs- und Transportleistung vor allem beim Güterverkehrs gerechnet. Der notwendige Rückgang der Verkehrsleistung und Transportleistung wird in der Zeitspanne bis 2035 schwer umzusetzen sein.

Selbst die ambitionierten Vorgaben in diesem Szenario erreichen nur einen Rückgang der Emissionen auf 11 % der Emissionen von 1990.

3 CO₂-Budget der Stadt Ingolstadt

Im Pariser Klimaabkommen hat sich die Bundesrepublik Deutschland verbindlich zu den dort formulierten Klimaschutzziele, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau, möglichst auf maximal 1,5°, zu begrenzen, bekannt. Nur so können die gefährlichsten Auswirkungen für die Umwelt und letztlich für die Erdbevölkerung größtenteils verhindert werden. Spätestens ab Mitte des Jahrhunderts ist Klimaneutralität notwendig. Das CO₂-Budget bildet einen Rahmen für die bis dahin noch zulässigen Emissionen. Die Festlegung der einzelnen nationalen CO₂-Budgets wurde nicht verbindlich definiert. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat für Deutschland ein nationales CO₂-Budget beschrieben, das den Anforderungen des Klimaabkommens von Paris entspricht. Demnach stehen Deutschland ab 2020 noch 6,7 Gigatonnen CO₂-Emissionen zur Verfügung, um die Erderwärmung zu einer Wahrscheinlichkeit von 67 % auf 1,75°C zu begrenzen.

Dieses Budget wird in der Regel zur Berechnung von kommunalen CO₂ Budgets hergenommen. Es beinhaltet neben den energetischen Emissionen jedoch auch nicht energetische Emissionen. In der Endenergie- und THG-Bilanz der Stadt Ingolstadt und den Szenarien KN 2040 und KN 2035 wurden jedoch nur die energetischen Emissionen betrachtet. Das Budget für energetische Emissionen für Deutschland beträgt 6,0 Gigatonnen.

Budget nach Einwohner

Die Berechnung des kommunalen CO₂-Budget nach Einwohner ist eine verbreitete Methode kommunale Budgets zu ermitteln.

Die Stadt Ingolstadt hat im Durchschnitt der letzten 5 Jahre einen Anteil an der Bevölkerung Deutschlands von 0,164 %. Der Anteil am CO₂-Budget beträgt somit 0,164 %. Dies entspricht 9.800.000 Tonnen. Bei den aktuellen jährlichen Emissionen von 1.676.700 Tonnen ist das Budget in 5,8 Jahren aufgebraucht.

Abbildung 11 Ingolstadt; Einwohnerbezogenes CO₂-Budget

	CO ₂ -Budget D	Bezugsgröße	Anteil Ingolstadt	CO ₂ -Budget Ingolstadt
1,75°-Ziel	6,0 Gt	Einwohner	0,164%	9,8 Mt

Budget nach Sektoren

Bei Kommunen, deren sektorale Aufteilung der CO₂-Emissionen nicht dem Bundesdurchschnitt entspricht, kommt es bei einer Budgetberechnung entsprechend der Einwohnerzahl jedoch zu einer verzerrten Zuordnung des Budgets. Bei Kommunen ohne oder mit sehr wenig Gewerbeanteil am Energieverbrauch und den THG-Emissionen könnte das kommunale Budget dann überwiegend den Sektoren Haushalte und Verkehr zugeordnet werden, bei Kommunen mit einem hohen Gewerbeanteil müssten im gleichen pro-Kopf-Anteil auch die gewerblichen Emissionen abgedeckt werden. Die aktuellen THG-Emissionen der Stadt Ingolstadt sind jedoch zu 67 % im gewerblichen Sektor angesiedelt. Dies wird bei einer Berechnung rein nach Einwohneranteil nicht berücksichtigt.

Deshalb wird in einer alternativen Berechnung das nationale CO₂-Budget auf die einzelnen Sektoren Haushalte, Gewerbe, Handel Dienstleistung (GHD), Industrie und Verkehr aufgeteilt. Die Zuordnung des nationalen Budget für Haushalte erfolgt dann entsprechend dem Anteil der Einwohner Ingolstadts, das

Budget für den Sektor Industrie entsprechend dem Anteil an Erwerbstätigen im produzierenden Gewerbe, das Budget für den Sektor GHD entsprechend dem Anteil der Erwerbstätigen ohne produzierendes Gewerbe und das Budget für den Sektor Verkehr zur Hälfte entsprechend dem Einwohneranteil (Personenverkehr) und zur Hälfte entsprechend dem Anteil an Erwerbstätigen (Güterverkehr).

Das so berechnete CO₂-Budget Ingolstadts beträgt 13.800.000 Tonnen und liegt um 41,5 % über dem nur nach Einwohnern berechneten Budget. Bei den aktuellen jährlichen Emissionen von 1.676.700 Tonnen ist jedoch auch dieses Budget in 8,2 Jahren aufgebraucht.

Abbildung 12 Ingolstadt; sektorales CO₂ Budget

Sektor	CO ₂ -Budget D	Bezugsgröße	Anteil Ingolstadt	CO ₂ -Budget Ingolstadt
pHH	1,6 Gt	Einwohner	0,164%	2,6 Mt
GHD	0,9 Gt	Erwerbstätige ohne produz. Gewerbe	0,222%	2,0 Mt
Ind	1,7 Gt	Erwerbstätige produz. Gewerbe	0,302%	5,0 Mt
VE	1,8 Gt	Einwohner 50 % Erwerbstätige 50 %	0,233%	4,2 Mt
	6,0 Gt			13,8 Mt

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ingolstadt; Szenario KN 2040 Energiebedarf . Emissionen	8
Abbildung 2	Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor Haushalte Energiebedarf . Emissionen.....	9
Abbildung 3	Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor GHDI Energiebedarf . Emissionen	10
Abbildung 4	Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor komm. Verbraucher Energiebedarf . Emissionen ...	11
Abbildung 5	Ingolstadt; Szenario KN 2040, Sektor Verkehr Energiebedarf . Emissionen	12
Abbildung 6	Ingolstadt; Szenario KN 2035 Energiebedarf . Emissionen	14
Abbildung 7	Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor Haushalte Energiebedarf . Emissionen.....	15
Abbildung 8	Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor GHDI Energiebedarf . Emissionen	17
Abbildung 9	Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor komm. Verbraucher Energiebedarf . Emissionen ...	18
Abbildung 10	Ingolstadt; Szenario KN 2035, Sektor Verkehr Energiebedarf . Emissionen	19
Abbildung 11	Ingolstadt; Einwohnerbezogenes CO ₂ -Budget	21
Abbildung 12	Ingolstadt; sektorales CO ₂ Budget	22