

Wie kommen die Zahlen im Klimastadtplan für Göttingen zustande?

Manfred Schüssler, GöttingenZero, Dezember 2020

Der Klimastadtplan basiert auf dem von GermanZero entwickelten "Klimastadtplan-Generator", dessen Annahmen und Berechnungen an die konkreten Gegebenheiten in der Stadt Göttingen angepasst wurden. Verantwortlich für diese Änderungen und Anpassungen ist Manfred Schüssler (GöttingenZero).

Der Klimastadtplan kann und soll einen detaillierten Maßnahmenplan nicht ersetzen. Er liefert vielmehr fundierte Anhaltspunkte, was zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2030 grundsätzlich an Maßnahmen möglich und notwendig ist und welcher finanzielle und personelle Aufwand dafür überschlägig anzusetzen ist. Das vorliegende Dokument erläutert die Grundlagen für das im Klimastadtplan enthaltene Zahlenwerk.

Bei der Bilanzierung der Treibhausgas-Emissionen wird überwiegend das Territorialprinzip angewandt, d.h. es werden nur Emissionen auf dem Stadtgebiet betrachtet, nicht aber die Emissionen, die ihre Bürger:innen außerhalb der Stadt entweder direkt (z.B. Reiseverkehr) oder indirekt (in der Stadt verwendete, aber ausserhalb hergestellte Güter) verursachen. Eine Ausnahme sind die Emissionen bei der Produktion von Strom aus fossilen Quellen, der ausserhalb erzeugt aber in der Stadt verbraucht wird. Diese Emissionen werden der Bilanz der Stadt zugeschlagen. Andererseits werden die Emissionen auf der Autobahn A7 auf dem Stadtgebiet nicht berücksichtigt, da städtische Maßnahmen darauf keinen Einfluss haben.

Strom

Im Sinne eines stärker dezentral orientierten Ansatzes zur Energieversorgung sind die Ziele der vorgesehenen Maßnahmen

- 1) Ausschöpfung des lokalen Potentials für Stromerzeugung durch Photovoltaik (PV) und Windenergie zur Abdeckung des jetzt noch aus fossilen Energiequellen gedeckten Anteils des Strombedarfs plus des Mehrbedarfs durch Sektorkopplung (E-Mobilität, Wärmepumpen, Wasserstoffherstellung),
- 2) zeitlicher Ausgleich zwischen Dargebot an Strom aus erneuerbarer Energie und Verbrauch vor Ort: Smart Grid, verteilte Speicherkapazität, lokale Anlagen für Power-to-Gas und Rückverstromung per Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Dies bedeutet, dass von möglichst hoher lokaler Erzeugung ausgegangen wird, um den überregionalen Stromtransport und den damit verbundenen Netzausbau zu begrenzen. Das Umland (z.B. Landkreis) bietet dabei zusätzliche über den Eigenbedarf hinausgehende Kapazitäten, insbesondere in den Bereichen Windenergie und (Agro)photovoltaik. Dieses Potential wird aber hier nicht berücksichtigt.

Der Strombedarf im Jahr 2030 wird unter Berücksichtigung des Bedarfs aller Sektoren (Haushalte, Industrie, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen, Verkehr) geschätzt und dabei sowohl Einsparpotentiale (Suffizienzerwartungsfaktor 90%) als auch der Mehrbedarf z.B. durch E-Mobilität, Wärmepumpen und Elektrolyse berücksichtigt. Dabei werden 18% für die Wasserstoffherstellung für Industrie und KWK-Anlagen angesetzt. Letztere decken den Bedarf in den Zeiten ab, in denen nicht ausreichend Strom aus PV und Wind zur Verfügung steht (Stichwort „kalte Dunkelflaute“). Es entsteht damit ein durch lokalen Ausbau abzudeckender Bedarf von ca. 453 GWh pro Jahr, der sich auf die verschiedenen Erzeugungsarten wie folgt verteilt:

- a) 188 MWp Photovoltaik Dachfläche, davon 2020 realisiert 14,7 MWp (Potential gemäß Solarkataster Südniedersachsen beträgt 296 MWp),
- b) 167 MWp Photovoltaik Freifläche und 31 MWp Agro-Photovoltaik,
- c) 34 MWp Windstrom (onshore)

Dabei bedeutet MWp installierte Leistung („peak“). Agrophotovoltaik sind PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Es wird davon ausgegangen, dass für Photovoltaik äquivalent 950 Stunden Volllaststunden/Jahr und für Windkraft 2500 Volllaststunden/Jahr erreicht werden. Der Ausbau kann natürlich bei vorhandenem Potential auch anders über die verschiedenen Quellen verteilt werden, um den angenommenen Strombedarf zu decken. Aus dem öffentlichen Stromnetz werden 2030 noch etwa 407 GWh benötigt, d.h. 239 GWh oder 37% weniger als 2018. Es wird bei der CO₂-Bilanzierung davon ausgegangen, dass auch der Netzstrom 2030 zu 100% klimaneutral erzeugt wird – falls nicht, muss der restliche fossile Anteil in der Bilanz berücksichtigt werden. In die Strombilanz geht außerdem ein Beitrag von 31 GWh pro Jahr aus der Pyrolyse (siehe unten) von Biomaterial ein.

Insgesamt ist der Strombedarf 2030 mit 860 GWh um etwa ein Drittel höher als 2018; dies ist durch die Umstellung der Wärmebereitstellung aus erneuerbarer Energie (Wärmepumpen etc.), die Wasserstoffproduktion für KWK-Anlagen und Industriewärme sowie das Anwachsen der E-Mobilität bedingt. Ein Suffizienz-Faktor von 90% (10% Einsparung) ist dabei angenommen. Mit der energetischen Sanierung des restlichen Gebäudebestands und steigender Anzahl von Elektrofahrzeugen wird sich der Bedarf an elektrischer Energie nach 2030 weiter erhöhen.

Der finanzielle und personelle Aufwand für den Ausbau der Stromversorgung aus erneuerbarer Energie bestimmt sich auf Grundlage folgender Annahmen:

- Photovoltaik Dach: 840.000 € und 2 VzÄ pro MWp
- Photovoltaik Freifläche: 600.000 € und 2 VzÄ pro MWp
- Agrophotovoltaik: 750.000 € und 2 VzÄ pro MWp
- Windstrom: 1.423.000 € und 4,7 VzÄ pro MWp

- PV für Elektrolyse/KWK: 6.531.000 € und 3,9 VzÄ pro MWp

- dto. Windstrom: 5.010.000 € und 6,6 VzÄ pro MWp

(VzÄ = Vollzeitäquivalente, d.h. die Arbeitsleistung eines/r Beschäftigten in einem Jahr).

Sehr sinnvoll wäre es, in den Wohngebäuden lokale Speichereinheiten für Solarstrom zu installieren, die in den Abend- und Nachstunden ein Gutteil des privaten Strombedarfs decken können. Dadurch könnte ein Teil der hohen Investitionen für Elektrolyse/KWK eingespart werden. Dies ist im gegenwärtigen Plan nicht berücksichtigt.

Für die Kommune wird ein Anteil von 5% an den Investitionskosten angenommen, der vor allem für PV (Dach und Freifläche) auf städtischen Liegenschaften (kommunale Gebäude und Wohngebäude der Städtischen Wohnungsbau) anfällt. Elektrolyseure und KWK-Anlagen können von Stadtwerken oder privaten Investoren betrieben werden. Zusätzliches Personal für die Stadt betrifft Planer*innen für den städtischen Anteil an den Investitionen, für Energieleitpläne und für aufsuchende Energieberatung für Strom und Wärme (Annahme durchschnittlich 3 Arbeitstage pro Beratung mit Vor- und Nachbereitung für insgesamt ca. 20.000 Gebäude, d.h. 2.000 Gebäude pro Jahr).

Bei den laufenden Kosten handelt es sich einerseits um die Personalkosten für die Stadt (eigenes oder beauftragtes Personal), andererseits um die Kosten für die Unterhaltung (Wartung und Reparatur) der PV- und Windkraft-Anlagen sowie der Elektrolyseure und KWK-Anlagen zwischen 2% und 3% der Investition pro Jahr. Bei der Berechnung wird berücksichtigt, dass die Anlagen über 10 Jahre schrittweise aufgebaut werden.

Gebäude & Wärme: Energetische Sanierung

Hier geht es vor allem um die CO₂-freie Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Dazu kommen passive Maßnahmen (Dämmung etc.) und aktive Maßnahmen (Wärmepumpen für Umweltwärme und Geothermie, Solarthermie, Anschluß an klimaneutral erzeugte Fernwärme) zum Tragen.

Zur Abschätzung von Investitionskosten und Personalaufwand gehen wir von einer Quote von 10% bereits sanierter Gebäude aus. Da diese unterschiedlichen Charakters sind, wird ein mittlerer Investitionsaufwand von 700 € pro m² Fläche für die energetische Sanierung und 300€ pro m² für Wärme aus erneuerbaren Energien angenommen. Dabei wird ein Sanierungsniveau von 70 kWh/m²a für den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser angestrebt.

Bei einer gegenwärtigen Sanierungsrate von 1% pro Jahr ist offensichtlich, dass allein aufgrund der begrenzten Personalkapazität in den Betrieben des Bau- und Ausbaugeswerbes eine Verzehnfachung der Rate, um alle Gebäude bis 2030 zu sanieren, nicht realisierbar ist. Im Klimastadtplan wird deshalb angenommen, dass bis 2030 zwei Drittel der vor 1979 erstellten Gebäude saniert werden. Das entspricht einer Erhöhung der Sanierungsrate auf etwa 4% pro Jahr.

Diese älteren Gebäude haben im Durchschnitt einen Energiebedarf von 196 kWh/m²a und machen 64% aller Gebäude aus (BMW-Studie „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand“ von 2014). Durch die Sanierung von zwei Dritteln davon wird der mittlere Energiebedarf aller Gebäude bis 2030 auf 114 kWh/m²a gesenkt. Zusammen mit dem entsprechenden Ausbau der Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien kann so der CO₂-Ausstoß des Gebäudebestands bis 2030 um 78% gesenkt werden. Bei gleichbleibendem Sanierungstempo sind dann zu Beginn der 2040er Jahre alle Gebäude energetisch auf höchstens 70 kWh/m²a saniert und mit Wärme aus erneuerbaren Energien versorgt. Durch Kompensationsmaßnahmen wird trotzdem Klimaneutralität ab 2030 erreicht.

Die Investitionskosten ergeben sich aus den entsprechenden Anteilen an der Gesamtfläche bei 700€+300€ pro m² für energetische Sanierung und CO₂-freie Wärmeversorgung. Der entsprechende Personalbedarf teilt sich ebenso wie im Bereich Strom auf in einen Anteil der Stadt für Planung und Beratung und einen Anteil für die Umsetzung durch Handwerksbetriebe. Bei letzterem wird angenommen, dass die Personalkosten 70% der Investitionen für energetische Sanierung und 50% für Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien betragen. Bei 75.000€ Gesamtkosten pro VzÄ ergibt sich dann die jeweils benötigte Personenzahl für die praktische Umsetzung, im Fall von Göttingen 1867 Arbeitskräfte.

Gegenwärtig (2019, Quelle Landesamt für Statistik) sind ca. 40.000 Personen in Niedersachsen im Ausbaugewerbe beschäftigt. Auf den Bevölkerungsanteil von Göttingen umgerechnet wären dies 675 Beschäftigte. Diese Zahl wäre also etwa zu Verdreifachen, um die notwendige Sanierungsrate zu erreichen – ein ambitioniertes, aber nicht vollkommen unmögliches Ziel. Durch Steigerung der Produktivität (z.B. standardisierte Verfahren und Bauteile, zunehmende Erfahrung) ließe sich die Zahl der benötigten Arbeitskräfte sicher noch erheblich reduzieren. Ein Zurückbleiben der Sanierungsrate hinter den geforderten Wert würde erhöhte entsprechend Kompensationsmengen erfordern, um trotzdem Klimaneutralität zu ermöglichen.

Die laufenden Kosten setzen sich zusammen aus den Kosten für die Unterhaltung (jährlich 1,5%...2% der Investitionen), den Betriebskosten (z.B. Brennstoffe und Strom) sowie den Ausgaben der Stadt für eigenes bzw. beauftragtes Personal. Die Betriebskosten im Jahr 2020 betragen allein etwa 94 Mio. € (im Vergleich zu jährlich 66 Mio. € laufenden Kosten ab 2030).

Für die Kommune wird pauschal ein Anteil von 5% an den Investitionskosten angenommen, der für die Sanierung der städtischen Liegenschaften (kommunale Gebäude und Wohngebäude der Städtischen Wohnungsbau) anfällt.

Verkehr

Da die Stadt auf den Verkehr auf der Autobahn A7 auf ihrem Gebiet keinen Einfluss hat, werden die hier anfallenden CO₂-Emissionen (ca. 66.000 t im Jahr 2018) nicht in der Bilanz betrachtet.

Im Sektor Verkehr ergibt sich die CO₂-Reduktion durch die Reduktion des PkW-Individualverkehrs durch massiven Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, Förderung von Fußgänger- und Radverkehr und Ausweitung der E-Mobilität (Erhöhung auf 28% des motorisierten Individualverkehrs bis 2030). In diesen Bereichen ergibt sich der größte Beitrag der Kommune für die Erreichung von Klimaneutralität. Angestrebt wird eine Verdoppelung des Anteils des ÖPNV auf 27% der Gesamtmobilität (jetzt 13%) und eine Halbierung des motorisierten Individualverkehrs auf 19% (jetzt 35%). Die verbleibenden 54% werden vom Fuß- und Radverkehr getragen.

Der Großteil der Investitions- und laufenden Personalkosten fällt für den Ausbau des ÖPNV sowie seine Umstellung auf E-Busse an, ein Prozeß den die Göttinger Verkehrsbetriebe bereits eingeleitet haben. Dazu kommen Kosten für den Bau und den Betrieb von E-Ladestationen für ÖPNV und Individualverkehr.

Die Maßnahmen im ÖPNV betreffen im Einzelnen:

- Taktzeiten halbieren: Zahl der Busse bis 2030 verdoppeln
- Liniennetz ausweiten, evtl.für kleineren Zubringerverkehr: Kleinbusse
- Personal für Betrieb und Wartung (Fahrer:innen und Werkstattpersonal)
- Investition in Werkstatt- und Ladeinfrastruktur
- Planer*innen für Stadt- und Verkehrsentwicklung

Beim Ausbau des Personals für Betrieb und Wartung wird vom gegenwärtigen jeweiligen Personalstand ausgegangen und eine Aufstockung um 115% angenommen.

Bei den damit verbundenen laufenden Kosten gehen wir davon aus, dass der Ausbau in gleichmäßigen Schritten von 2021 bis 2030 vorgenommen wird. Die Summe der laufenden Kosten wird dann wieder gleichmäßig auf die Jahre verteilt, obwohl sie sich faktisch von Jahr zu Jahr bis zum Ende des Ausbaus erhöhen.

(Analog wird bei den laufenden Kosten in den anderen Sektoren vorgegangen)

Industrie (Prozesswärme/-kälte)

Über den Industriebereich liegen keine detaillierten Daten zu den einzelnen Quellen der CO₂-Emissionen vor. Beispielsweise haben Unternehmen wie Novelis (Aluminiumverarbeitung) und Refratechnik (feuerfeste Materialien) vor allem Bedarf an Prozesswärme. Gemäß den Angaben im Evaluationsbericht zum Klimaplan der Stadt Göttingen (von 2020) wurden 2018 im Industriebereich 485 GWh Wärme aus fossilen Quellen (hauptsächlich Erdgas) und 388 MWh Strom aus dem öffentlichen Netz verbraucht. In den Maßnahmen wird eine Umstellung der Wärmeerzeugung aus fossilen Quellen auf Wärmepumpen, Direktnutzung von Strom (aus erneuerbaren Energien) und in geringem Maße (5%) Nutzung von Wasserstoff aus Elektrolyse vorgesehen. Dadurch ergibt sich ein zusätzlicher Strombedarf des industriellen Sektors von ca. 242 GWh.

Die Möglichkeiten der Kommune sind hier auf Motivations- und Beratungsaktivitäten beschränkt. Denkbar ist Abwärmenutzung für die Versorgung naheliegender Wohngebiete (Nahwärme). Dies ist aber im jetzigen Plan nicht berücksichtigt.

Aktiver CO₂-Entzug

Mit den im Klimaplan enthaltenen Maßnahmen werden die CO₂-Emissionen in der Stadt Göttingen um ca. 87% reduziert, es verbleibt jedoch ein Ausstoß von 106.000t pro Jahr, der anderweitig kompensiert werden muss. Die Hälfte davon soll durch (städtisch oder privatwirtschaftlich) betriebene Pyrolyseanlagen abgedeckt werden. Bei der Pyrolyse werden (ähnlich wie in einem Holzkohlemeiler) Holzprodukte und andere pflanzliche Stoffe wie Grünschnitt unter Abschluss von Sauerstoff erhitzt, wobei sich Pflanzenkohle bildet. Diese bindet den Kohlenstoff dauerhaft und kann in vielen Bereichen als wertvoller Rohstoff verwendet werden. Die bei der Pyrolyse frei werdende Wärme kann zur Stromerzeugung sowie als Prozess- oder Heizwärme genutzt werden.

Die verbleibenden Emissionen von ca. 53.000t pro Jahr müssen z.B. durch Aufforstung, nachhaltige Waldbewirtschaftung und weitere regionale und überregionale Maßnahmen zur Kohlenstoffspeicherung kompensiert werden.