



Foto: Westen.d61

„Masterplan 100 % Klimaschutz“ – Frankfurt am Main

Generalkonzept
Kurzfassung

STADT  FRANKFURT AM MAIN

Energierreferat > Die kommunale Klimaschutzagentur

Herausgeber

Energierreferat Stadt Frankfurt am Main

Adam-Riese-Straße 25

60327 Frankfurt am Main

Telefon: 069 212-39193

E-Mail: energierreferat@stadt-frankfurt.de

www.energierreferat.stadt-frankfurt.de



„Masterplan 100 % Klimaschutz“ – Frankfurt am Main – Generalkonzept

Kurzfassung

**Durchgeführt im Auftrag der
Stadt Frankfurt am Main, Energiereferat**

von
Fraunhofer-IBP, Patrick Schumacher
Fraunhofer-ISE, Gerhard Stryi-Hipp
KEEA, Armin Raatz

Textfassung:
Regine Ebert

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Energetische Ausgangslage der Stadt Frankfurt	5
2.1 Aktualisierte CO ₂ -Bilanz der Stadt Frankfurt	6
2.2 Ausgangslage im Sektor Strom	6
2.3 Ausgangslage im Sektor Wärme	9
2.4 Ausgangslage im Sektor Verkehr	10
2.4.1 CO ₂ -Bilanz des Verkehrs in Frankfurt	11
2.5 Anpassung an den Klimawandel mitdenken	11
3. Energiesparpotenziale und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Sektor Strom	12
3.1 Haushalte	12
3.2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	13
3.3 Industrie	16
3.4 Erneuerbare Energiepotenziale aus der Region	16
4. Energiesparpotenziale und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Sektor Wärme	17
4.1. Einsatz von erneuerbaren Energien und dezentralen Anlagen in Wohn- und Nichtwohngebäuden	17
4.2 Energetischer Standard im Neubau	19
4.3 Energetische Sanierung der Wohn- und Nichtwohngebäude	20
4.4 Effiziente Anlagentechnik und Wärmeverteilung	20
4.5 Netzgebundene Lösungen	21
4.6 Wärmeeffizienzmaßnahmen im Industriesektor	23
5. Steigerung der Effizienz und einer nachhaltigen Mobilität im Sektor Verkehr	24
5.1. Verkehrsvermeidung – Nahmobilität	24
5.2. Motorisierter Individualverkehr (MIV)	25
5.3. Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)	26
5.4. Marketing, Wettbewerbe und Werbekampagne	27
5.5 Entwicklungen des Verkehrssektors in verschiedenen Szenarien	27
6. Umlenkung der bisherigen Ausgaben für Energie in Frankfurt und Region	30
6.1 Entwicklung der Energiekosten	30
6.2 Entwicklung der Energieträgerkosten	30
6.3 Energie sparen heißt regionalen Wert schöpfen	31
6.4 Förder- und Finanzierungsmodelle	31
7. Entwicklung der Szenarien für die Stadt Frankfurt bis 2050	32
7.1 Demographische Entwicklung und Flächenentwicklung	32
7.2 Szenarien	32
7.2.1 Szenarien für den Frankfurter Stromsektor	32
7.2.2 Szenarien für den Frankfurter Wärmesektor	33
7.2.3 Szenarien für den Frankfurter Verkehrssektor	34
7.3 Energieszenarien für eine 100 %-erneuerbare-Energieversorgung Frankfurts	34
8. Zusammenfassung der Ergebnisse	38

1. Einleitung

Frankfurt am Main gehört zu den am dichtesten bebauten Städten Deutschlands; die Einwohnerzahl stieg 2013 auf rund 690.000 Menschen. Im Jahr 2010 wurden in Frankfurt rund 22.600 Gigawattstunden (GWh) Endenergie verbraucht – knapp 1 % des deutschen Endenergieverbrauchs.

95 % dieser Energie wurden importiert, d.h. außerhalb Frankfurts und in der Regel auch außerhalb der Region erzeugt. Seit Anfang 2013 entwickelt Frankfurt den „Masterplan 100 % Klimaschutz“ – eine Vision, wie die Stadt bis zum Jahr 2050 die Hälfte des heutigen Endenergiebedarfs einsparen und den verbleibenden Anteil vollständig aus regenerativen Energien decken kann. Damit einhergehend sollen die CO₂-Emissionen um rund 95 % reduziert werden. Der Prozess wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gefördert. Die Studie des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) zeigt Maßnahmen und Wege auf, um die gesteckten Ziele zu erreichen. Sie beschreibt, wie sich durch den Ausbau einer größtenteils lokalen, regenerativen Energieerzeugung und durch

Effizienzmaßnahmen der Endenergieverbrauch und die damit verbundenen Emissionen reduzieren lassen.

Verschiedene Studien und Konzepte sind in den Masterplan eingeflossen, unter anderem die „Bausteine für das Regionale Energiekonzept FrankfurtRhein-Main 100 % effizient und erneuerbar“.

Eingeflossen ist außerdem eine stündliche Simulation der regenerativen Energieerzeugung im Jahr 2050 aus dem Ergebnisbericht des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE.

Weiterhin wurden die Ergebnisse aus sechs Workshops berücksichtigt, die zu den Schwerpunkten „Bauen, Wohnen, Stadtplanung“, „Energieversorgung“ und „Mobilität“ mit dem Frankfurter Klimaschutzbeirat und Vertretern der städtischen Ämter durchgeführt wurden. Und schließlich wurden auch Vorschläge Frankfurter Bürgerinnen und Bürger aufgegriffen, die sich in verschiedenen Beteiligungsveranstaltungen zu dem Thema äußern konnten.

Die Nummerierung der Abbildungen entspricht der Langfassung der Studie.

2. Energetische Ausgangslage der Stadt Frankfurt

Im Stadtgebiet von Frankfurt wurden im Jahr 2010 rund 22.650 Gigawattstunden (GWh) Endenergie verbraucht. Der Hauptanteil davon entfällt auf den Sek-

tor Wärme mit etwa 50 %, gefolgt vom Sektor Strom mit etwa 30 % und dem Sektor Verkehr (knapp 20 %).

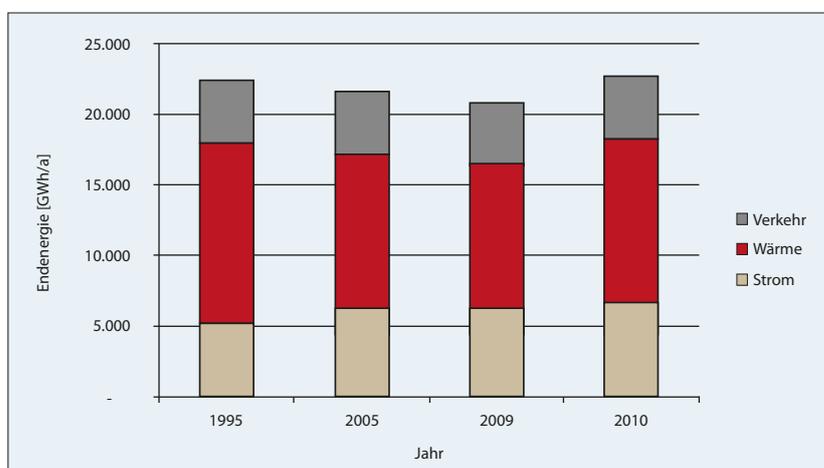


Abbildung 3: Verteilung der Endenergie nach den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr am Gesamtendenergiebedarf, eigene Darstellung (IBP) nach aktualisierten Daten (ifeu 2011).

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Aufgeteilt nach Nutzungstypen ergibt sich folgendes Bild: Größter Verbraucher ist die Industrie (30 %), dicht gefolgt von Gewerbe, Handel, Dienstleistung

(GHD) mit 29 %. Die Frankfurter Haushalte benötigen 22 % der Endenergie, auf den Verkehrssektor entfallen 19 %.

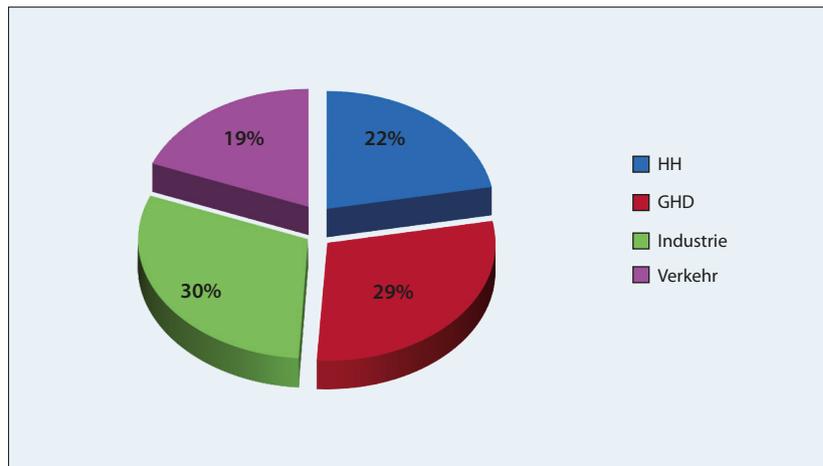


Abbildung 4: Aufteilung des Endenergieverbrauchs nach Nutzungsgruppen, IBP nach (ifeu 2013).

Bei der Analyse der Energieträger zeigt sich: Der größte Anteil der Endenergie entfällt auf den Strom (30 %), gefolgt von Erdgas (rund 25 %). Fernwärme und Ferndampf stellen 5 bzw. 15 %.

Weiterhin haben Benzin und Diesel Anteile von

10 und 9 %. 4 % der Endenergie wird durch ölbefeuerte Wärmeerzeuger bereitgestellt, Kohle kommt auf 0,1 %. Erneuerbare Energien stellen ebenfalls einen Anteil von 0,1 %.

2.1 Aktualisierte CO₂-Bilanz der Stadt Frankfurt

Insgesamt haben sich die CO₂-Emissionen von 1995 bis 2010 um rund 8 % reduziert, umgerechnet auf die Einwohnerzahl sogar um 13 % pro Kopf. Ausgehend von der Datenlage im Jahr 2010 hat der Energieträger Strom mit großem Abstand den höchsten Anteil an den CO₂-Emissionen (59 %). Dies zeigt, wo der Hebel angesetzt werden muss:

Geht es um die Verringerung der CO₂-Emissionen, so stehen Energieeffizienzmaßnahmen und der Ausbau der erneuerbaren Energien für den Stromsektor im Mittelpunkt. Soll der Endenergieverbrauch insgesamt reduziert werden, rückt klar der Wärmesektor in den Fokus.

2.2 Ausgangslage im Sektor Strom

Im Jahr 2010 lag der Stromverbrauch in Frankfurt bei 6580 GWh. Die größte Verbrauchergruppe war mit 43 % der Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), gefolgt von der Industrie mit 38 % und den Haushalten mit 15 %. In allen Verbrauchergruppen stieg der Stromverbrauch zwischen 1995 und 2010 an; in der Industrie durch den Ausbau des Industrieparks sogar um 49 %. Der Bereich GHD benötigte 12 % mehr Strom – eine Folge des

Wandels vom produzierenden zum dienstleistenden Gewerbe. In den Haushalten stieg der Verbrauch von 1995 bis 2005 um 18 %, was sich mit der wachsenden Ausstattung mit Multimediageräten erklären lässt. Interessanterweise ist der Verbrauch von 2005 bis 2010 trotz steigender Einwohnerzahlen wieder gesunken, weil unter anderem alte Geräte gegen effiziente ausgetauscht wurden.

Haushalte

Laut Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft wird die Endenergie in Haushalten vor allem für die Heizung verbraucht (71 %), 14 % fallen auf die Warmwasserbereitung, 5 % auf Prozesswärme (Kochen, Backen, Trocknen, Spülen, Waschen), weitere 4 % auf Klimakälte. Frankfurt weist gegenüber dem Bundesdurchschnitt eine Besonderheit auf: eine hohe Zahl an Singlehaushalten. Hinzu kommt die große Zahl der Pendler, die nur fünf Tage in Frankfurt verbringen. Auch das schlägt

sich im Stromverbrauch nieder: Ein Frankfurter Haushalt verbraucht knapp 20 % weniger Strom als der Bundesdurchschnitt.

In diesen Zahlen spiegeln sich aber auch „das überdurchschnittliche Engagement Frankfurts bei der Förderung energieeffizienter Geräte“ wider, heißt es in der Studie. So lässt sich erklären, warum sich der Stromverbrauch in Frankfurt zwischen 2005 und 2010 deutlich reduzierte, während er im Bundesdurchschnitt eher stagnierte.

Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Die Studie unterteilt den GHD-Bereich in vier große Verbrauchergruppen: Neben dem Handel sind dies büroähnliche Betriebe, Hotels sowie die Server- und Rechenzentren. Betriebe, die nicht diesen Branchen zuzuordnen sind (z.B. Metzgereien, Bäckereien), werden unter „Sonstige“ zusammengefasst. Der Frankfurter GHD-Sektor ist stark von Dienstleistungen geprägt. Damit die Stadt ihre Klimaziele erreichen und

einhalten kann, müssen speziell für Stromanwendungen in diesem Bereich effiziente Lösungen umgesetzt werden.

Insgesamt hat der Sektor GHD im Jahr 2010 rund 2970 GWh Strom verbraucht. Einer der Hauptabnehmer sind Rechen- und Serverzentren (21 %), die geringsten Anteile haben der Handel mit 5 % sowie Hotels, Restaurants, Cafés (Horeca) mit 2 %.

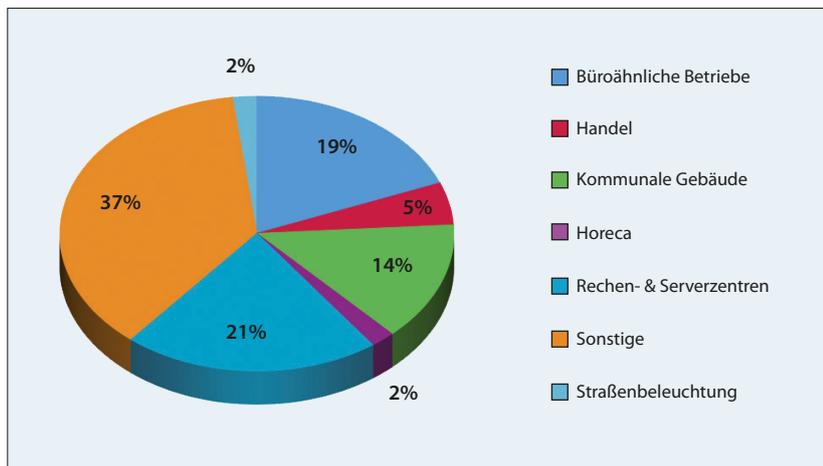


Abbildung 14: Strombedarf in GWh und deren Anteile nach Verbrauchergruppen im Sektor GHD in Frankfurt/M., eigene Berechnung nach Bluewien Gesa AG, 2011, Gesellschaft für Markt- und Absatzforschung, 2009, Mainova AG, 2013.

Wofür wird der Strom gebraucht?

Gewerbe, Handel und Dienstleistungsbetriebe setzen rund 8 % des Stroms zur Kälteerzeugung (Klima- und Prozesskälte) ein, 39 % für Beleuchtung und 31 % zur Erzeugung mechanischer Energie.

Weitere 8 % werden als Hilfsenergie für Wärmeanwendungen (Raumwärme und Prozesswärme) benötigt. Der Stromverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) liegt bei 14 %.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Untergliedert nach Branchen bedeutet dies:

In den **büroähnlichen Gebäuden** wird der Löwenanteil des Stroms für Beleuchtungszwecke eingesetzt (45 %), an zweiter Stelle stehen Informations- und Kommunikationstechnologien (38 %). Im **Handel** fließen sogar 55 % in die Beleuchtung, an zweiter Stelle liegt die Prozesskälte (14 %), insbesondere beim Lebensmittelhandel. **Hotels** brauchen Strom vor allem für mechanische Energie (35 %), gefolgt von Beleuchtung (25 %). Eine Sonderstellung nehmen die **Rechenzentren** ein. In keiner anderen europäischen Stadt gibt es so viele Rechen- und Serverzentren, 80 % des deutschen Internetverkehrs laufen über Frankfurt.

Industrie

Unter den Punkt Industrie werden alle Betriebe des produzierenden Gewerbes gefasst, die Prozesswärme in ihren Produktionsprozessen verwenden. Der Stromverbrauch der Industrie ist zwischen 2005 und 2010 mit rund 2600 GWh nahezu gleich geblieben.

Der jährliche Strombedarf liegt bei 625 GWh, der Strom wird vor allem zum Betrieb der IT-Systeme (30 %) und zur Kälteerzeugung (33 %) benötigt. Besonders in den Sommermonaten entstehen hohe Lastspitzen. Bleibt der Wachstumstrend in diesem Bereich bestehen, muss laut Studie langfristig über einen Ausbau der Netzkapazität nachgedacht werden.

Schließlich die Straßenbeleuchtung: Fast 73.000 Straßenlaternen brennen Nacht für Nacht in Frankfurt, 92 % davon elektrisch (32,6 GWh), der Rest mit Gas (41,4 GWh). Bis 2025 will die Stadt alle Laternen auf Elektrobetrieb umrüsten.

Der weitaus größte Anteil entfällt auf den Industriepark Höchst, der im Jahr allein rund 1800 GWh – das sind 70 % des Industriestroms – verbraucht.

Exkurs: Stromerzeugung in Frankfurt/Versorgungsstruktur

Die innerstädtischen Energieerzeugungsanlagen Frankfurts produzieren rund 2100 GWh Strom und konnten damit im Jahr 2010 rund 32 % des Strombedarfs der Stadt decken. Größter Energieversorger der Stadt ist die überregional agierende Mainova AG, deren Erzeugungskapazitäten den städtischen Energiebedarf zu 24 % decken können. Weitere bedeutende Energieversorger sind die Süwag AG und deren Tochterfirma Syna.

Der größte Teil des Stroms wird aus Erdgas und Steinkohle bezogen, wobei die Erhöhung des Erdgasanteils in den vergangenen Jahren die CO₂-Bilanz deutlich verbessert hat. Weitere wichtige Stromlieferanten sind 1359 dezentrale Erzeugungsanlagen

(Stand: Anfang 2014), die in einem Mix aus Blockheizkraftwerken (105 GWh), Photovoltaik (22,9 GWh) und Biogas/-masse (77 GWh) mit einer Leistung von insgesamt gut 200 GWh bereitstellen.

Der Anteil des innerstädtisch erzeugten Stroms aus erneuerbarer Energie am Gesamtstromverbrauch lag 2010 bei rund 6 % und stieg bis 2013 auf rund 8 %.

Doch auch dieser Wert liegt noch deutlich unter dem Klimaziel der Stadt (50 % bis 2050, bezogen auf den heutigen Stromverbrauch). Frankfurt kann sein Ziel nur erreichen, wenn die Stromnachfrage aller Verbraucher deutlich sinkt und die Potenziale innerstädtischer Erzeugung voll ausgeschöpft werden.

2.3 Ausgangslage im Sektor Wärme

Seit 1995 hat sich der Wärmeverbrauch in Frankfurt um 8 % reduziert. 2010 wurden insgesamt 11.700 GWh Wärme bereitgestellt, das sind 52 % der Endenergie. Größter Verbraucher war die Industrie (37 %), gefolgt von Haushalten mit 33 % und dem Sektor GHD mit 30 %. Die Wärme speiste sich zu knapp 50 % aus Erdgas.

Haushalte

Von 2005 bis 2010 hat sich der Wärmeverbrauch in Wohngebäuden aufgrund steigender Bevölkerungszahlen um rund 6 % erhöht. Gleichzeitig sank der spezifische Wärmeverbrauch von 153 kWh/m² auf 140 kWh/m². Insgesamt verbrauchten die Haushalte 3830 GWh, aufgeteilt auf Erdgas (80 %), Öl (10 %), Fernwärme (9 %) und Kohle (0,9 %). Hinzu kommt ein sehr geringer Anteil an regenerativer Energie (0,42 %). Diese wiederum wird zu 99 % durch solarthermische Anlagen auf den Hausdächern

Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Auch im Bereich GHD ist der Wärmeverbrauch von 1990 bis 2010 gesunken, und zwar um rund 10 %. Insgesamt wurden 2010 rund 3576 GWh (Heizung und Warmwasser) verbraucht. 47 % der

Industrie

Die Industrie hat 2010 rund 4306 GWh Wärme verbraucht, die sie zu 65 % aus Ferndampf bezog. Fernwärme und Ferndampf werden im Wesentlichen durch Gas- und Kohleheizkraftwerke bereitgestellt.

Durch die Auskopplung von Fernwärme und Ferndampf aus Gaskraftwerken erhöht sich der Anteil an Wärme aus Gas weiter auf rund 88 %. Etwa 7,5 % wurden durch Öl gedeckt.

Der Anteil der Kohle sinkt seit 1995 stetig und lag 2010 bei 0,5 %, der Anteil der regenerativen Energien bei 2,5 %.

gewonnen. Naturgemäß weisen Wohngebäude der Baualtersklassen I (bis 1918) bis V (von 1969-1978) den schlechtesten energetischen Standard auf und sollten im Hauptfokus einer Sanierung stehen. Sie verbrauchen 78 % der Gesamtwärme im Bereich Haushalte. Besonders hoch ist der Wärmebedarf bei denjenigen Gebäudetypen, die den höchsten Wohnflächenanteil in Frankfurt stellen: bei Mehrfamilien- und großen Mehrfamilienhäusern aus den Jahren vor 1918 und der Nachkriegszeit.

Wärme werden durch Erdgas erzeugt, es folgen Ferndampf (20 %) und Fernwärme (16 %). Öl macht 13 % aus, Wärme aus erneuerbaren Energien 0,38 %.

Den weitaus größten Teil der Wärmeenergie im Industriesektor verbraucht der Industriepark Höchst (3030 GWh), der sich allerdings über Heizkraftwerke und Abwärmenutzung fast vollständig selbst versorgt.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

2.4 Ausgangslage im Sektor Verkehr

Im nachfolgenden Kapitel wird die Ausgangssituation im Verkehrssektor dargestellt. Dafür wird der

Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Wie im gesamten Bundesgebiet, so steigt auch in Frankfurt die Zahl der privaten Pkw. 2006 lag der Motorisierungsgrad bei 512 Pkw/1000 Einwohner. Von 2007 bis 2010 stieg die Pkw-Dichte durchschnittlich um 0,68 % pro Jahr. Die in Frankfurt zurückgelegte Kilometerleistung der Pkw betrug 2010 rund 4,1 Milliarden Fahrzeugkilometer (Ifeu, 2010). Über die Hälfte davon (57 %) gingen auf das Konto

Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

In Bussen, Straßenbahnen und U-Bahnen sind die Fahrgastzahlen von 2007 bis 2011 deutlich gestiegen. Die U-Bahn ist das mit Abstand am meisten genutzte Verkehrsmittel (2011: 322.000 Fahrgäste täglich), allerdings konnte der Bus in den vergangenen Jahren am meisten Fahrgäste hinzugewinnen. Ergänzt wird

Verkehrssektor auf die am Verkehr beteiligten Gruppen MIV, ÖPNV und Straßengüterverkehr unterteilt.

der Pendler (Quell-/Zielverkehr), 24 % entfielen auf den Durchgangsverkehr, 19 % auf innerstädtische Fahrten.

72 % der Pkw sind Benziner, 27 % fahren mit Diesel, 1 % sind Hybrid-Fahrzeuge.

Die CO₂-Emissionen des gesamten MIVs einschließlich der Zweiräder liegen bei 872.543 Tonnen.

die innerstädtische Fahrzeugflotte (traffiQ) durch S-Bahnen, Regionalbahnen und -busse des Rhein-Main-Verkehrsverbands (RMV). Insgesamt betrug die Kilometerleistung der von traffiQ und RMV eingesetzten Fahrzeuge im Jahr 2010 rund 39,5 Millionen Nutzkilometer und 2088 Millionen Personenkilometer.

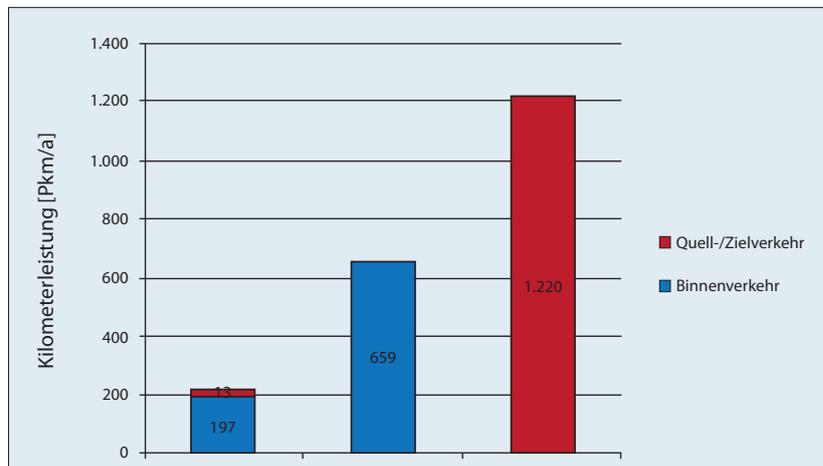


Abbildung 44: Verteilung der Personenkilometerleistung im Binnen- und Quell-/Zielverkehr nach Verkehrsmitteln des ÖPNVs, eigene Darstellung (IBP) auf Datengrundlage des Instituts für Energie und Umweltforschung, 2010.

Die CO₂-Emissionen des ÖPNVs lagen im Jahr 2010 bei rund 158.000 Tonnen, die sich jeweils zur Hälfte auf den Binnen- und den Quell-/Zielverkehr verteilen. Dabei werden fast 100 % der CO₂-Emissionen des Quell-/Zielverkehrs durch den Schienennahverkehr

(SPNV), zu dem die S-Bahnen zählen, verursacht. Im Binnenverkehr verursachen Straßen- und U-Bahnen die Emissionen. Linienbusse haben mit rund 19.500 Tonnen CO₂-Emissionen lediglich einen Anteil von 23,6 %.

Straßengüterverkehr (Lkw und LNF)

Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Lkw trugen im Jahr 2010 mit einer Fahrleistung von 534 Milli-

onen Kilometern zum Verkehrsaufkommen bei (LNF: 34 %, Lkw: 66 %). Der weitaus größte Teil

entfällt mit 47 % auf den Durchgangsverkehr. Innerstädtische Lieferungen machten 11 % der Transportleistungen aus, 42 % sind dem Quell-/Zielverkehr geschuldet.

Insgesamt verursachte der Transport- und Lieferverkehr 345.000 Tonnen CO₂-Emissionen. Die Hälfte davon geht auf das Konto des Durchgangsverkehrs, 40 % verursacht der Quell-/Zielverkehr.

2.4.1 CO₂-Bilanz des Verkehrs in Frankfurt

Der gesamte CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors lag im Jahr 2010 bei 1.374.000 Tonnen. Davon entfallen 63 % auf den MIV, 11,6 % auf den ÖPNV und gut 25 % auf Lkw/LNF. Nur 21 % der Emissionen werden durch den innerstädtischen Verkehr verursacht. Der Quell-/Zielverkehr kommt auf 51 % und der Durchgangsverkehr auf 28 %. Der hohe Anteil an Emissionen durch den Quell-/Zielverkehr legt nahe, dass Frankfurt Lösungen für den Umstieg motorisierter Pendler auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel schaffen und fördern muss. Auch für den Durchgangs- und Binnenverkehr sollten neue Ansätze entwickelt werden. Dabei dürfte sich der inner- und außerstädtische

Transport- und Lieferverkehr als große Herausforderung erweisen. Um das gesetzte Klimaziel zu erreichen, muss vor allem der Gütertransport effizienter strukturiert werden. Ziel muss es sein, die gefahrenen Wegstrecken auf ein Minimum zu begrenzen bzw. zu vermeiden.

Für ein nachhaltiges Mobilitätskonzept reicht es nicht aus, fossile Antriebe durch Elektromobilität zu ersetzen. Vielmehr kommt es in erster Linie darauf an, die Kilometerleistungen von Pkw und Lkw zu reduzieren, d.h. möglichst viele Fahrten im motorisierten Individualverkehr (MIV) zu vermeiden oder auf andere Verkehrsträger – Busse und Bahnen, Fahrrad und Fußgängerverkehr – zu verlagern.

Exkurs: Modal Split – die Wahl des Verkehrsmittels

Frankfurt kann sich zugute halten, dass seine Einwohner einen großen Teil ihrer Wege zu Fuß zurücklegen (30 %). Damit liegt die Stadt im europäischen Vergleich weit vorne. Auf den ÖPNV entfallen 23 % der zurückgelegten Strecken, das entspricht dem Bundesdurchschnitt. Städte wie Wien und Budapest zeigen allerdings, dass ein Anteil von 40 % durchaus möglich ist. Steigerungsfähig ist auch der Fahrradverkehr: Der Anteil zurückgelegter Strecken liegt in Frankfurt bei 13 %. In Kopenhagen sind es 31, in Basel 20 %. Den größten Anteil macht

der MIV mit 34 % aus. Eine Besonderheit des Frankfurter Verkehrsaufkommens ist die große Zahl der Pendler: 2010 waren es etwa 325.500 Ein- und 68.000 Auspendler täglich. Laut Statistik werden rund 82 % der Personenverkehrswege zwischen Stadt und Umland mit dem Auto zurückgelegt, nur 18 % der Verkehrsteilnehmer nutzen den ÖPNV. Insgesamt verursachte der Stadt-Umland-Verkehr 2010 rund 568.000 Tonnen CO₂-Emissionen und damit rund 41 % der Gesamtemissionen des Verkehrs in Frankfurt.

2.5 Die Anpassung an den Klimawandel mitdenken

Eine erfolgreiche Strategie zum Klimaschutz muss den globalen Klimawandel und seine Folgen für die Stadtentwicklung berücksichtigen. Ein Beispiel: Große, schattenspendende Laubbäume zeigen positive Wirkungen auf das Mikroklima, können aber Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) das Licht streitig machen. Umgekehrt können begrünte Dächer mit

ihrer kühlenden Wirkung im Sommer die Effektivität von PV-Anlagen unterstützen. All dies ist frühzeitig in die Planungen einzubeziehen. Die gegenseitige Beeinflussung von Außenklima/Stadtklima und Innenraumklima/-nutzung rückt immer stärker in den Fokus der Wissenschaft und fließt in Strategien zur Siedlungsentwicklung ein.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

3. Energiesparpotenziale und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Sektor Strom

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien, besonders der Photovoltaik (PV) und der Windkraft, kann eine nachhaltige Stromerzeugung in Deutschland geschaffen werden. Doch die Potenziale sind begrenzt und stehen nicht immer in gleicher Menge zur Verfügung. Nötig ist deshalb ein flexibler Betrieb von Regelenergiekraftwerken auf Seiten der Erzeuger sowie eine Orientierung der Verbraucher am Angebot (Lastenmanagement). Strom hat mit rund 456 Kilogramm CO₂ pro MWh die relativ höchsten Emis-

sionsfaktoren. Werden strombasierte Anwendungen effizienter gestaltet, lässt sich eine vergleichsweise große Menge an Emissionen einsparen. Im Sektor Haushalt lassen sich Ineffizienzen wesentlich leichter erkennen als in den anderen Sektoren, etwa, indem man die Verbrauchswerte der Geräte vergleicht.

Die Studie stellt Effizienzmaßnahmen für die Sektoren Haushalte, GDH und Industrie vor:

3.1 Haushalte

Frankfurter Haushalte haben im Jahr 2010 insgesamt 1024 GWh Strom verbraucht. Der durchschnittliche

Verbrauch pro Haushalt liegt bei 2825 kWh.

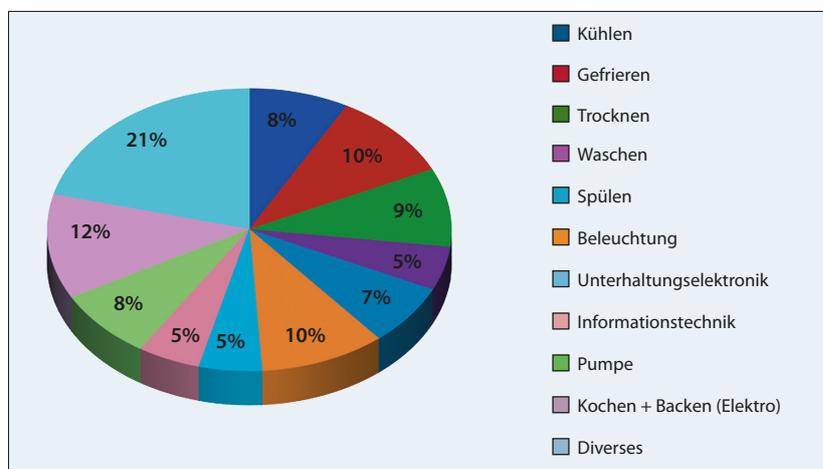


Abbildung 61: Stromverbrauch nach Anwendung im Haushalt, eigene Berechnung und Darstellung (IBP).

Im Haushalt kann der Einsatz neuer Techniken den höchsten Spareffekt bringen. Laut Studie lässt sich der Stromverbrauch um fast die Hälfte reduzieren, wenn konsequent effiziente Geräte und neueste Techniken eingesetzt werden. Beim derzeitigen Strommix könnten allein durch den Austausch veralteter gegen neue Geräte 220.000 Tonnen CO₂ eingespart werden. Ein Austausch ist ökonomisch jedoch nur sinnvoll, wenn sich die Anschaffung innerhalb der Nutzungsdauer der Geräte amortisiert.

Best Practice: Der Strombedarf einer Heizungsumwälzpumpe in einem Einfamilienhaus macht 5 bis 10 % des Gesamtstromverbrauchs aus. Wird die alte Pumpe durch eine drehzahlgeregelte Hocheffizienzpumpe ersetzt, so verbraucht diese bis zu 80 % weniger Strom. Die Anschaffung amortisiert sich nach drei bis vier Jahren.



Abbildung 62: Gesamtstromeinsparungen nach Anwendungen im Haushaltssektor, eigene Darstellung (IBP).

Um die Verbraucher darüber hinaus zum Stromsparen zu motivieren, sollten Energieversorger und -dienstleister die Abrechnungen transparenter gestalten, schlägt die Studie vor. Typische Stromverbraucher und deren Kosten können kenntlich gemacht sowie eine Top-Ten-Liste für sparsame Geräte beifügt werden. Mobile Beratungen, günstige Angebote für sozial schwache Haushalte sowie die Ausbildung von Energiespar-Detektiven an Schulen sind weitere Möglichkeiten.

Parallel dazu gilt es, den **Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen**, etwa durch PV-Anlagen. Herstellungs- und Installationskosten dieser Anlagen

sind in den vergangenen Jahren um fast 60 % gefallen, dies macht die Nutzung auch ohne Förderung wirtschaftlich interessant. Derzeit liegt die Eigenverbrauchsquote bei 20 bis 30 %. Eine deutliche Steigerung ist durch intelligentes Lastenmanagement möglich. Mit Hilfe einer Zeitschaltuhr oder eines „Home Managers“ können z. B. Waschen, Spülen und Trocknen an die Einspeisungsspitzen angeglichen werden. Neben der Lastensteuerung können thermische und elektrische Speicher (z.B. Lithium-Ionen-Batterien) die Eigenstromquote erhöhen. Wenn alle Möglichkeiten umgesetzt werden, ist ein Anstieg des Eigenverbrauchs auf 70 % und mehr möglich.

3.2 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Beleuchtung

Die Beleuchtung macht im Bereich GHD 38 % des gesamten Stromverbrauchs aus. Der derzeitige hohe Bestand an Leuchtstoffröhren (in Handel und Büros über 60 %) und Glühlampen (in Hotels, Restaurants und Gaststätten) lässt auf ein enormes Sparpotenzial schließen. Ein Lampentausch, kombiniert mit einem intelligenten Lichtmanagement, kann bis zu 75 % des Stromverbrauchs einsparen. Maßnahmen für eine bessere Nutzung des Tageslichts sind Lichtlenkjalousien, helle Wand- und Bodenfarben sowie Fensterscheiben mit hohem

Lichttransmissionsgrad. Die Wirtschaftlichkeit ist in den meisten Fällen gegeben. Unterstützend kann eine Präsenzkontrolle oder eine tageslichtabhängige Steuerung installiert werden, die sich meist schon in weniger als zwei Jahren amortisiert.

Best Practice: Im Rathaus von Menden konnte der Energieverbrauch durch elektronische Vorschaltgeräte und Lichtmanagement um 85 % reduziert werden, die Stadt spart dadurch 83 % der ursprünglichen Kosten.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Mechanische Energie

Rund 30 % des im GHD-Bereich eingesetzten Stroms werden für mechanische Energie verbraucht: für Pumpen, Lüfter, Absauganlagen oder Druckluft-erzeugung. Überwiegend das produzierende Gewerbe wie Metzgereien, Bäckereien sowie die Hotelbranche nutzen diese Energie. In diesem Bereich helfen vor allem effiziente und geregelte Motoren beim Stromsparen. Je nach Leistung und

Alter der bestehenden Pumpen oder Motoren wird bis zu 60 % weniger Strom verbraucht; die Amortisationszeit beträgt oft weniger als zwei Jahre.

Best Practice: In Pfungstadt hat die Bierbrauerei die Pumpen der Kühlkreisläufe ersetzt und spart jährlich 61 % der Betriebskosten. Die Anschaffung hat sich in fünf Monaten bezahlt gemacht.

Einsatz von Energiemanagementsystemen

Seit 2013 bekommen nur noch Unternehmen mit zertifiziertem Energiemanagementsystem die Energiesteuer und den Spitzenlastausgleich rückerstattet. Während das Energiemanagement in vielen Großbetrieben fester Bestandteil der Unternehmensstruktur ist, gibt es bei den kleinen mittelständischen Unter-

nehmen großen Nachholbedarf. Meist fehle es an Zeit, Personal und Problembewusstsein, stellt die Studie fest. Ein hohes ungenutztes Potenzial (91 %) existiert in Betrieben mit weniger als zehn Mitarbeitern. Hier sind zusätzliche Anreize, aber auch gezielte Beratungen durch unabhängige Stellen (Stadt) nötig.

Raumkälte

Für eine Großstadt wie Frankfurt hat die Aufheizung während des Sommers großen Einfluss auf den Kühlbedarf. Gebäude und versiegelte Flächen speichern die Sonnenwärme und verhindern eine Abkühlung in der Nacht. Rund 1,5 % des Stroms im Bereich GHD werden zur Klimatisierung gebraucht (26,7 GWh). Die Studie geht von einem steigenden Bedarf für Klimakälte, besonders in Bürogebäuden, aus. Als günstigsten und einfachsten Weg, diesen Strombedarf zu senken, schlägt sie eine Vermeidungsstrategie unter dem Stichwort **passive Kühlung** vor: Extensiv begrünte Dächer und Fassaden können einer Überhitzung genauso entgegenwirken wie Parks, Kaltluftschneisen und weniger Kfz-Verkehr. Im Büro- und Verwaltungsbau kann die Nachtlüftung in einigen Fällen die aktive Kühlung ersetzen. Ist dies nicht möglich, bietet sich alternativ eine Lüftungsanlage an. Auch mittels Erdwärmetauscher kann eine passive Kühlung erfolgen. Die passiven Maßnahmen erfordern ausschließlich Investitionskosten, betriebs- und verbrauchsge-

bundene Kosten entfallen meist. In Kühlhäusern, Serverräumen oder bei bestimmten Fertigungsprozessen sind **aktive Kühlsysteme** unvermeidbar. Kompressionskältemaschinen stellen mit 90 % das am häufigsten verwendete Kühlsystem dar. Oft lässt sich schon viel Energie sparen, wenn die Regelungstechnik optimiert und ineffiziente Anlagenteile wie Kompressoren, Ventilatoren und Pumpen ausgetauscht werden. Weitere Einsparungen sind möglich durch Wärmerückgewinnung aus dem Kältemittel. Unter bestimmten Bedingungen bieten Absorptionskältemaschinen die Möglichkeit, Abwärme auf einem hohen Temperaturniveau zur Kühlung einzusetzen. Aussagen zur Wirtschaftlichkeit aktiver Kühlsysteme können jedoch nur schwer getroffen werden.

Best Practice: Das Sanierungskonzept für die KfW-Hauptverwaltung in Frankfurt umfasst Haustechnik, Raumklima, Licht sowie Wärme- und Kälteerzeugung und hat den Energiebedarf um fast 50 % gesenkt.

Prozesskälte

Rund 155 GWh Strom werden in Frankfurt jährlich benötigt, um Prozesskälte bereitzustellen, das entspricht 7 % des Stromverbrauchs im GHD-Bereich. Kühlhäuser, Gaststätten und Hotels, Kantinen und Fleischereien benötigen Prozesskälte, um

Lebensmittel, Maschinen und Anlagen zu kühlen. In diesem Bereich steht die Effizienzsteigerung im Fokus. Neben technischen Lösungen lässt sich das oft durch ein verändertes Bedienungs- und Nutzungsverhalten erreichen.

Informations- und Kommunikationstechnologie

Informations- und Kommunikationsgeräte benötigen in Bürogebäuden rund 40 % des verbrauchten Stroms. Hier können vor allem technische Verbesserungen wie der Austausch alter Geräte, Standby-Schalter, aber auch Thin-Client-Lösungen und Terminalarbeitsplätze sowie der Austausch von Desktop-Rechnern gegen Laptops den Stromverbrauch mindern.

Rechenzentren

Als eine der wachstumsstärksten Branchen weltweit nehmen Rechenzentren in Frankfurt eine Sonderstellung ein. Einsparpotenziale beginnen bereits bei der Gebäudeplanung. So sollte die Sonneneinstrahlung möglichst gering sein, Dächer und Fassaden begrünt und für Rückkühler ein schattiger Platz ausgewählt werden. Stärker fällt die Optimierung der Hard- und Software ins Gewicht, durch beides kann der Stromverbrauch der Server reduziert werden.

Ein hohes Effizienzpotenzial schlummert in der Klimatisierung, hier sind durch technische Verbesserungen deutliche Einsparungen möglich. Laut Studie ist es außerdem möglich, rund 90 % der eingesetzten elektrischen Energie als Abwärmeenergie weiter zu nutzen. Dass dies nicht geschieht, liege in vielen Fällen am mangelnden Bewusstsein für ein ganzheitliches Energiemanagement.

Straßenbeleuchtung

Hier fallen besonders die 5467 Gaslaternen ins Gewicht, die noch auf Frankfurts Straßen brennen. Die jährlichen Betriebskosten einer Gaslampe liegen bei 260 Euro, die einer strombetriebenen Lampe bei 80 Euro. Werden alle Lampen auf Natriumdampf-

Förderung eines Null-Emissions-Gewerbeparks

Sollen die Ziele des Masterplans erreicht werden, müssen neue Gewerbeparks und Gebäude als Null-Emissions-Bauten konzipiert werden. Die Stadt könnte mit einem zukunftsweisenden Projekt vorangehen

Aktivierung von GHD-Vertretern

Damit Veränderungen umgesetzt werden, müssen die Akteure im GHD-Sektor gezielt angesprochen werden, etwa durch branchenübergreifende Dialoge oder gezielte Marketingaktionen. Ziel ist der Aufbau

Best Practice: Ostarkade in Frankfurt, als „Green Building Frankfurt 2009“ ausgezeichnet. Viele der beschriebenen Maßnahmen werden kombiniert; der Primärenergiekennwert liegt um 50 % niedriger als bei einem klimatisierten Standard-Büroneubau (www.greenbuilding-award.de).

Best Practice: Das NetApp-Rechenzentrum in Sunnyvale, Kalifornien, kann durch den Einsatz einer Außenluftkühlung auf die konventionelle Kühlung komplett verzichten.

Auch in öffentlichen Gebäuden sollte die IT-Infrastruktur erfasst und Schwachstellen analysiert werden. Die Kosten (mehrere zehntausend Euro) sind im Verhältnis zu möglichen Einsparungen gering. Die Studie schlägt außerdem vor, die Energieförderprogramme der Stadt um einen IT-Schwerpunkt zu erweitern. Es ist zu erwarten, dass sich die Leistung der Frankfurter Rechenzentren bis 2050 verdoppelt. Für Neuinstallationen und Umbau sollten deshalb Mindeststandards für Energieeffizienz gelten. Um sie umzusetzen und Frankfurt zu einem grünen IT-Zentrum zu machen, ist die politische Unterstützung entscheidend.

druckleuchten umgestellt, kann der Energieeinsatz um 59 %, der CO₂-Ausstoß um 37 % reduziert werden. Eine Umstellung aller Lampen auf LED-Technik würde den Energieeinsatz sogar um 93 % senken.

und einen Gewerbepark als Null-Emissions-Gewerbepark ausschreiben. Den Investitionsmehrkosten für das Projekt stehen minimale Betriebskosten gegenüber.

von Netzwerken (Arbeitskreisen) zum fachlichen Austausch. IHK-Ausschüsse können hier die Initiatoren sein. Impulse wie diese tragen auch dazu bei, das negativ-Image des Themas „Energie“ im GHD-Sektor zu

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

verbessern. Denn laut Studie verbinden die meisten Betriebe damit Pflichten und Auflagen, sehen jedoch nicht die Chancen.

Kleine mittelständische Unternehmen (KMU) seien oft durch die Fülle der Informationen schlicht überfordert.

3.3 Industrie

Der Industriesektor verbraucht 2.582 GWh Strom im Jahr, ein Großteil davon entfällt auf den Industriepark Höchst.

Exkurs: Industriepark Höchst

Zum Industriepark Höchst gehören 90 Unternehmen, die mehrheitlich zur chemischen Industrie zählen und jährlich 1800 GWh Strom verbrauchen (umgerechnet so viel wie 600.000 Haushalte). Die elektrische Versorgung läuft über ein Kohlekraftwerk, ergänzt durch zwei Gasturbinen. Daneben erzeugt eine Biogasanlage jährlich 40 GWh Strom aus Klärschlamm und Abfällen des Industrieparks. Außerdem ist eine Bioerdgasaufbereitungsanlage in Betrieb, sie speist Methan ins Gasnetz ein.

Daneben steht eine Ersatzbrennstoffanlage für Siedlungs- und Gewerbeabfälle mit einer Leistung von jährlich 70 MW elektrisch oder 250 Tonnen Dampf bereit. Ein kleines Wasserkraftwerk in der Abwasserreinigungsanlage leistete 30 kW regenerativer Energie. Rund 400 Busse können mit Wasserstoff betrieben werden, der in chemischen Prozessen als Koppelprodukt entsteht.

Hocheffizienzmotoren und Druckluft

Mechanische Energie (Motoren für Kompressoren, Ventilatoren u.ä.) hat mit 68 % den größten Anteil am Stromverbrauch im Sektor Industrie. Um den Stromverbrauch zu senken, müssen vorhandene Motoren durch Hocheffizienzmotoren ersetzt werden, wodurch rund 20 % Energie eingespart werden kann. Die chemische Industrie gehört zu den großen

Verbrauchern von Druckluft. Da in diesem Bereich der Leckageanteil bei 27 % liegt, sollten pneumatische Prozesse, wo immer möglich, durch elektrische Systeme ersetzt werden.

Insgesamt kann laut Studie das Energiesparpotenzial im Industriesektor bis zum Jahr 2050 um 20 % gesteigert werden.

Netzwerke etablieren

Wie im GDH-Sektor sollte auch unter den Industrieunternehmen ein Netzwerk geschaffen werden, das dem Informationsaustausch, der Motivation und Fortbildung dient.

Fazit: Haushalte, GHD und Industrie haben im Jahr 2010 rund 6580 GWh Strom verbraucht und rund 4,04 Millionen Tonnen CO₂ produziert. Werden alle vorgestellten Effizienzmaßnahmen umgesetzt, so können diese Zahlen um rund 38 % sinken.

3.4 Erneuerbare Energiepotenziale aus der Region

Der gesamte Stromverbrauch im Regionalverband Rhein-Main lag im Jahr 2010 bei etwa 13.437 GWh. Die Stadt Frankfurt war mit 49 % der größte Verbraucher. Das Verbandsgebiet hat das Potenzial, 11.000 GWh aus Sonnenenergie zu erzeugen, wenn für die Anlagen Dächer, Fassaden und Freiflächen genutzt werden (Wirkungsgrad 25 %). Das bedeu-

tet, dass theoretisch 80 % des Stromverbrauchs der Region durch Solarstrom gedeckt werden können. Frankfurt besitzt mit seinen Dächern und Freiflächen das größte Potenzial. Doch es reicht nicht, um den Eigenstrombedarf komplett aus erneuerbaren Energien zu decken. Dazu braucht die Stadt auch das Photovoltaikpotenzial der Landkreise. Windenergie kann

lediglich 4,3 % des Gesamtstrombedarfs der Region decken (576 GWh), was auch eine Folge rechtlicher Bestimmungen, etwa zur Flugsicherheit, ist. Potenziale bieten der Hochtaunus-, der Main-Kinzig- und vor allem der Wetteraukreis. Doch auch Letzterer kann maximal 45 % seines eigenen Strombedarfs mit Windkraft decken. Durch die Nutzung von Biomasse lassen sich 1024 GWh Strom gewinnen, etwa 7,6 % des gesamten Stromverbrauchs der Region. An vorderster Stelle steht auch hier der Wetteraukreis (251 GWh). Der Anteil der Stadt Frankfurt liegt bei 184 GWh. Dieses Biomassepotenzial wird heute schon fast vollständig genutzt.

Bleibt der Stromverbrauch auf dem heutigen Niveau, so kann Frankfurt im Jahr 2050 lediglich 35 %, der Regionalverband immerhin 92 % seines Strombedarfs aus erneuerbaren Energien decken. Werden bis 2050 jedoch alle oben vorgeschlagenen Stromsparmaßnahmen umgesetzt, reduziert sich der Stromverbrauch in Frankfurt um 38 %. Der Regionalverband könnte durch die Effizienzmaßnahmen seinen Stromverbrauch sogar halbieren und diesen Bedarf komplett durch erneuerbare Energien decken. Frankfurt kann den Deckungsanteil auf 56 % steigern, allein durch Energieeinsparung.

4. Energiesparpotenziale und der Einsatz von erneuerbaren Energien im Sektor Wärme

4.1. Einsatz von erneuerbaren Energien und dezentralen Anlagen in Wohn- und Nichtwohngebäuden

Blockheizkraftwerke

Unter den dezentralen Energieanlagen sind Blockheizkraftwerke (BHKW) besonders effizient. Sie sollten besonders dort eingesetzt werden, wo Wärmepumpen nur ineffizient betrieben werden können. Aufgrund ihrer flexiblen Betriebsweise können BHKWs Engpässe in der Energieversorgung auffangen – angesichts der zukünftig steigenden Anteile an Wind- und Sonnenenergie ein entscheidendes Argument. Dazu erforderlich ist der Ausbau von Wärmespeichern, der gleichzeitig die Interaktion zwischen Wärme- und Stromerzeugung ermöglicht.

2013 waren in Frankfurt rund 260 BHKWs mit einer thermischen Gesamtleistung von 177 GWh in Betrieb.

Außerdem gibt es in der Stadt 6 Biomasse-KWK-Anlagen mit einer Leistung von 22,2 GWh Wärme. Der Einsatz von BHKWs in Wohngebäuden orientiert sich am Wärmebedarf der jeweiligen Objekte. In Stadtquartieren können dezentrale Insellösungen wirtschaftlich realisiert werden, wenn mehrere Objekte mittels kleiner Nahwärmenetze zusammengeslossen werden.

BHKWs haben einen Nachteil: In Abhängigkeit der Energieträger emittieren sie CO₂. Zwar kann der Einsatz von Bio- und Holzgas den CO₂-Ausstoß auf ein Minimum reduzieren. Biomasse ist jedoch nur begrenzt verfügbar.

Solarthermische Anlagen

Der Anteil der mit solarthermischen Anlagen erzeugten Wärme lag 2013 bei einem halben Promille des Gesamtwärmeverbrauchs. Nach Statistiken des Energiereferats waren Ende 2013 im Stadtgebiet 1733 solarthermische Anlagen mit einer Kollektorfläche von 20.171 Quadratmetern installiert.

Insgesamt hat die Stadt ein Flächenpotenzial von 2.514.784 Quadratmetern, das entspricht 1386 GWh_{th}.

Legt man das Gebiet des gesamten Regionalverbands zugrunde, steigt das Potenzial auf rund 6283 GWh_{th}. Mit berücksichtigt wird hierbei, dass der Flächenbedarf für Solarthermie in direkter Konkurrenz zur Photovoltaik steht. Bis zum Jahr 2050 könnte der Anteil der Solarthermie auf rund 15 % des dezentralen Energieverbrauchs gesteigert werden (exklusive Industrie, da für diesen

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Einsatz des Temperaturniveaus nicht ausreicht), doch dazu bedarf es großer Anstrengungen. Langfristige Förderprogramme der Stadt können helfen, da sie Unternehmen und Privatpersonen Investitionssicherheit bieten. Solarthermische Systeme eignen sich besonders für Nutzer, die das ganze Jahr über konstant hohen Warmwasserbedarf haben, wie Hotels, Gaststätten, Altersheime, Krankenhäuser oder Sportanlagen.

In einem Einfamilienhaus lassen sich mit einer Standardanlage etwa 60 % des Trinkwarmwasserbedarfs (TWW-Bedarfs) und 15 bis 35 % des Gesamtwärmebedarfs decken. Der Einsatz von Solar-

thermie zur Unterstützung der Raumheizung ist nur in Verbindung mit einer Niedertemperaturheizung (45 °C Vorlauftemperatur) in Neubauten und im sanierten Bestand sinnvoll. Die Kosten für eine Anlage belaufen sich auf durchschnittlich 700 Euro/m², bei den üblichen 15 Quadratmetern sind das 10.500 Euro. Der Amortisationszeitraum kann bis zu 20 Jahre betragen.

Ein Hemmnis ist die Fördersituation auf Bundesebene: Hier schneidet die Niedertemperatur-Solarthermie im Vergleich zu PV, Wind und Tiefengeothermie am schlechtesten ab.

Wärmepumpen

Für Bestandsgebäude kommen Wärmepumpen aufgrund der benötigten niedrigen Vorlauftemperatur nur eingeschränkt in Frage. In Neubauten können jedoch optimale Bedingungen geschaffen werden, indem von vornherein Flächenheizungen mit niedrigen Vorlauftemperaturen eingeplant werden. Aufgrund der relativ hohen Investitionskosten eignet sich ein konventionelles Wärmepumpensystem allerdings nur für Niedrigenergiehäuser. Die Kopplung mit einer solarthermischen Anlage oder PV kann die Energiebilanz des Gebäudes weiter optimieren. Gerade im Winter, wenn die Wärmeerzeugung aus Solarthermie begrenzt ist, können Wärmepumpen einen wichtigen Beitrag zur Wärmeerzeugung leisten. Im besten Fall erzeugt die Anlage mehr, als die Bewohner verbrauchen (Plusenergiehaus).

Zum Beheizen und Kühlen von Nichtwohngebäudekomplexen, großen Mehrfamilienhäusern und Rechenzentren eignen sich Großwärmepumpen (>100 kW). Gerade im Ballungsraum Frankfurt mit einem hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern und großen Mehrfamilienhäusern (ca. 80 % der vorhandenen Wohnfläche) können sie ein Beitrag zur nachhaltigen Wärmeversorgung sein.

Als natürliche Wärmequelle bietet sich im Stadtzentrum vorrangig die Außenluft an, in den Randgebieten lässt sich darüber hinaus Erdwärme mittels Erdwärmekollektoren nutzen. Als weitere Wärmequellen kommen Fluss- und Kühlwasser aus Industrie und Rechenzentren sowie aus Abgasanlagen in Betracht.

Die Effizienz der Wärmepumpe kann deutlich gesteigert werden, wenn sie mit einer solarthermischen Anlage und einem Eisspeicher kombiniert wird. Ein 10 Kubikmeter großer Eisspeicher kann den Energiegehalt von etwa 100 Liter Heizöl speichern. Dabei bedient sich das Wärmequellen-Management je nach Effizienz der Außenluft, des Eisspeichers oder einer Kombination aus beiden. Das Wärmepumpen-Eisspeicher-Solarthermiesystem für ein Einfamilienhaus kostet derzeit rund 27.000 Euro. Die jährlichen Einsparungen liegen bei rund 1000 Euro gegenüber einer konventionellen Ölheizung. Die Amortisationszeit liegt bei rund 27 Jahren. Mit Wärmepumpen lässt sich außerdem unter dem Stichwort Laststeuerung ein fluktuierendes Leistungsangebot ausgleichen und Angebot und Nachfrage zeitlich entkoppeln. Darüber hinaus kann eine Wärmepumpe in Kombination mit einem Warmwasserspeicher den Eigenverbrauch einer PV-Anlage um rund 15 % erhöhen. Die CO₂-Emissionen der Wärmepumpe liegen deutlich unter den Emissionen von Gas-Brennwertthermen oder Heizöl-Brennwertgeräten. Mit steigendem Anteil erneuerbarer Energien im Strommix werden sich die CO₂-Emissionen weiter reduzieren, ebenso bei einem Einsatz in Lastmanagement. Nachteilig für Wärmepumpen wirken sich der steigende Strompreis sowie die noch geringe Fachkenntnis der Installateure über Flächenheizungen aus, so dass Fördermodelle und Schulungsprogramme für das regionale Handwerk unabdingbar sind.

Bioenergie

Bioenergie kann sowohl in den Sektoren Strom und Wärme als auch für Mobilität genutzt werden. Sie ist in fester Form (Scheitholz, Pellets, Holzhackschnitzel), gasförmig (Biogas oder aufbereitetes Bioerdgas) sowie flüssig (Biotreibstoffe) verfügbar. Als Gas und in flüssiger Form kann sie im Langenstreckenverkehr (Lkw, Schiff, Flugverkehr) eingesetzt, aber auch verstromt werden und dadurch Erzeugungslücken zwischen Wind- und Solarenergie füllen. Sie ist nicht von den Jahreszeiten abhängig und kann im Wärmesektor durch Lagerung als energetischer Speicher betrachtet werden. Da sie jedoch nur begrenzt zur Verfügung steht, ist ihr Einsatz gut abzuwägen. Im Sektor Industrie wird häufig Dampf in Hochtemperaturprozessanwendungen benötigt (z. B. Chemieindustrie Temperaturen > 300 °C). Die Bereitstellung von Dampf aus erneuerbaren Energien erweist sich jedoch als schwierig. Einzig die Biomasse oder erneuerbarer Direktstrom verfügen über die exergetisch hochwertige Qualität, diese Temperaturen

durch Verbrennung oder Verstromung zu gewährleisten. Aus diesem Grund muss dem Einsatz von Biomasse in industriellen Hochtemperaturprozessen höchste Priorität eingeräumt werden. Auch in manchen Fernwärmenetzen lässt sich Biomasse nicht ersetzen: So erfordern die Bürogebäudekomplexe und Hochhäuser im Innenstadtkern aufgrund ihrer hohen Wärmeabnahme und der Absorptionskühlung auch zukünftig den Anschluss an ein Dampfnetz. Bei der Umweltverträglichkeit schneidet Biomasse konkurrenzlos gut ab: Die CO₂-Emissionen von holzartiger, gasförmiger und flüssiger Biomasse werden mit null angenommen, da für die Aufbereitung nur CO₂-neutrale Techniken und Produkte eingesetzt werden. Allerdings entsteht bei der Verbrennung von Stückholz und Pellets eine höhere Feinstaubbelastung als beim Einsatz von Gas. Zudem hat die Anlieferung von Biomasse in den Städten ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zur Folge.

Thermische Speicher

Soll der regenerative Anteil an Wärme aus Strom und Biomasse erhöht werden, sind thermische Speicher unumgänglich. Sie ermöglichen eine unterbrechungsfreie Stromversorgung auch an bewölkten und windstillen Tagen.

Mit dem Ausbau großer saisonaler Wärmespeicher kann z.B. der Deckungsgrad von solarthermischen Großanlagen in Straßenzügen und Quartieren auf über 50 % angehoben werden. In Kombination mit flexibel geschalteten KWK-Anlagen und Wärmepumpen kann durch ausreichend große Speicher außerdem eine Interaktion zwischen Strom- und

Wärmesektor realisiert werden. Bei stromgeführten Anlagen sichert ein Speicher unvorhergesehene Wärmeproduktion. Dadurch lassen sich die Volllaststunden der KWK-Anlage erhöhen und die Wirtschaftlichkeit verbessern. Frankfurt steht vor der Aufgabe, geeignete Flächen für größere thermische Speicher zu finden, wobei die dichte Bebauung kreative Lösungen erfordert. Simulationsergebnisse des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) zeigen, dass bis zum Jahr 2050 der Bedarf an thermischen Speichern in Frankfurt auf 2,7 bis 4,2 GWh ansteigen muss, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

4.2 Energetischer Standard im Neubau

Seit dem Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom Herbst 2007 werden städtische Gebäude im Passivhausstandard (Heizwärmebedarf: kleiner 15 kWh/m²) erbaut. Außerdem muss ein Bauherr, der ein städtisches Grundstück kauft, bei dessen Bebauung den Passivhausstandard einhalten. Diesem Beschluss hat es Frankfurt zu verdanken, dass es zu

Europas Passivhaushauptstadt geworden ist. Insgesamt wurden bis heute rund 1000 Wohnungen, Schulen, Kindertagesstätten, Turnhallen und Bürogebäude in Passivhausbaustandard errichtet bzw. auf diesen Standard saniert. Die Nutzfläche aller in Frankfurt erbauten Passivhäuser betrug im Jahr 2014 rund 560.000 Quadratmeter.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Für die Berechnung der Szenarien wird davon ausgegangen, dass der Passivhausstandard für alle städtischen Neubauten und ab 2020 auch für alle anderen Neubauten gilt. Ab 2020 soll außerdem die Zahl der fertiggestellten Plusenergiehäuser steigen. Aufgrund dieser Maßnahmen würde sich der Energiebedarf für

Wärme und Strom nur minimal erhöhen. Die Stadt sollte sich dennoch auch weiterhin als Vorreiter bei städtischen Neubauten positionieren, empfiehlt die Studie, um privaten Immobiliengesellschaften und Bauherren zu verdeutlichen, dass Ökonomie und Ökologie nicht zwingend im Widerspruch stehen.

4.3 Energetische Sanierung der Wohn- und Nichtwohngebäude

Nach Berechnungen der Studie kann der Wärmeverbrauch bei Wohngebäuden um 62 % auf 1627 GWh reduziert werden, wenn eine energetische Sanierung in allen Baualtersklassen und Nutzungstypen (EFH, ZFH, MFH, GMH) konsequent umgesetzt würde. Dies entspricht einem jährlichen Rückgang des Wärmeverbrauchs von 2,4 %. Um diesen Wert zu erreichen, müsste sich die Zahl der energetischen Sanierungen mehr als verdreifachen oder höhere Sanierungsstandards bestehen. Doch dem stehen eine Reihe von Hemmnissen entgegen. So ist beispielsweise eine Vollsanierung oft nur möglich, wenn das Gebäude leersteht.

Ein Teil der Lösung könnten vorgefertigte Fassadenelemente sein. Sie bieten die Möglichkeit, mehrere Gewerke zusammenzufassen. Mit ihnen würde sich außerdem die Bauzeit verkürzen, Kosten könnten gesenkt werden. Und schließlich könnten auch die Bewohner während der Gebäudesanierung in ihren Wohnungen bleiben. Auch Dämmrestriktionen können ein Hindernis sein, wie sie vor allem bei älteren Gebäuden auftreten (niedrige Raumhöhen, Überbauung, Denkmalschutz). Teil- und vollbeheizte Kellerräume bieten dagegen ein hohes Dämmpotenzial,

ebenso offen liegende Leitungen und Armaturen, deren Einsparpotenzial auf Frankfurt bezogen rund 300 GWh (8 % des Gesamtwärmebedarfs der Haushalte) ergeben.

Als weitere Hemmnisse sieht die Studie u.a. lange Amortisationszeiten, fehlende Mittel und fehlendes Wissen der Vermieter über Energieverbrauch und Sanierungspotenzial, außerdem fehlende Mehrheiten bei Eigentümergemeinschaften sowie das Investor-Nutzer-Dilemma.

Die Sanierungsbereitschaft kann jedoch durch verschiedene Anreize erhöht werden, wie eine verminderte Grundsteuer, ein Sanierungsfonds oder ein ökologischer Mietspiegel, nach dem Vermieter eine höhere Vergleichsmiete für sanierte Gebäude fordern können. Weitere Maßnahmen: Handwerksbetriebe werden für energetische Sanierungen qualifiziert und zertifiziert, Demonstrationsobjekte stehen für Besichtigungen zur Verfügung.

Ganz wichtig ist es, die Akzeptanz in der Bevölkerung zu steigern, z.B. durch einen Ausbau der Beratungsstellen, gezielte Ansprache und Appelle an Eigentümer.

4.4 Effiziente Anlagentechnik und Wärmeverteilung

Auch nach Ausschöpfung aller Dämmpotenziale bleibt ein Restbedarf an Wärme bestehen. Ziel ist es, diesen Restbedarf durch moderne Erzeugungsanlagen und Verteilsysteme effizient und nachhaltig

bereitzustellen und so den Einsatz von Primärenergie und den damit verbundenen CO₂-Ausstoß weiter zu reduzieren.

Austausch ineffizienter Heizungsanlagen

Der Bestand der dezentralen Heizkessel in Frankfurt unterteilt sich in Öl- und Gaskessel. Gasversorgte Kessel dominieren mit rund 91 %. Der Großteil (43 %) stammt aus der Zeit von 1998 bis 2009.

Weiterhin haben Heizungskessel aus dem Jahr 1991-1997 einen hohen Anteil (36 %). Anlagen, die älter als 24 Jahre sind, machen rund 19 % des Bestands aus. Nur 2 % der installierten Heizkessel

sind nicht älter als 4 Jahre. Insbesondere Anlagen aus den 70er und 80er Jahren weisen einen extrem niedrigen Wirkungsgrad auf. Unterstellt man den Heizungsanlagen eine Nutzungsdauer von rund 20 Jahren, könnten in den nächsten Jahren knapp 50 % der Anlagen ausgewechselt werden. Ein Kesselaustausch allein reicht jedoch nicht, will die

Dezentrale Umwälzpumpen

Zentrale Heizungsanlagen werden meist durch zentrale Umwälzpumpen versorgt. Sie müssen durchgängig Druck vorhalten, um auch den strömungstechnisch am ungünstigsten gelegenen Heizkörper zu versorgen. Miniaturpumpen können den Energieaufwand deutlich senken. Diese dezentralen Umwälzpumpen fördern lediglich die erforderliche

Niedertemperaturheizungen

Werden veraltete Heizungsanlagen ausgetauscht, empfiehlt es sich, auf ein Niedertemperatursystem umzurüsten, das mit Temperaturen von ca. 35 °C arbeitet. Mithilfe von Fußbodenheizungen wird dennoch eine ausreichende Raumtemperatur erreicht. Durch die verringerte Temperatur können Wärmepumpen und solarthermische Kollektoren in die Wärmeversorgung eingebunden werden. Allerdings ist es meist aufwändig, Niedertemperaturheiz-

Stadt ihr Klimaziel erreichen. Es muss auch über die Nutzung von Synergien nachgedacht werden. Das könnte der oben beschriebene Ausbau der Fernwärme, der Einsatz von Wärmepumpen, Solarthermie- und BHKW-Nutzung sein. Der Einbau von Pelletheizungen in der Innenstadt ist wegen der Feinstaubbelastung kritisch zu sehen.

Wassermenge für den jeweiligen Heizkörper. In einem Versuch des Fraunhofer IBP wurde in einem Testgebäude eine Einsparung von 19 % beim verwendeten Energieträger Gas sowie eine Einsparung von rund 53 % bei Strom gegenüber einer konventionellen zentralen Umwälzpumpe ermittelt.

systeme nachträglich in Altbauten zu integrieren. Aufgrund des hohen Wärmebedarfs muss bei der Heizungsumstellung zusätzlich die Gebäudehülle gedämmt werden.

Durch die Umstellung lassen sich 30 bis 80 % Energie gegenüber konventionellen Heizsystemen einsparen, die Amortisationszeit lässt sich aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen jedoch nur schwer abschätzen.

4.5 Netzgebundene Lösungen

Fast die Hälfte des Wärmebedarfs in Frankfurt wird über Fernwärme und Ferndampf gedeckt (47%). Größter Abnehmer ist der Sektor GHD (54%), zweitgrößter sind die Haushalte (31%). Die Industrie bezieht lediglich einen Anteil von 15%. Allerdings liegt sie beim Ferndampf mit 80% weit vorn. Der Grund sind die hohen Temperaturen, die bei technischen Prozessen gebraucht werden. Fernwärme bietet erhebliche Vorteile, zu denen eine gleichbleibende und zuverlässige Wärmeversorgung, geringer Platzbedarf und geringe Investitionskosten gehören. Fernwärme ist aber auch praktizierter Umweltschutz, weil sich der regenerative Anteil im Wärmesektor relativ schnell erhöhen lässt. So können bestehende Netze, die heute noch mit Erdgas oder Kohle befeuert werden, einfach auf Biomasse umgestellt werden. Laut Studie liegt hierin der

größte Vorteil der Fernwärme. An die Betreiber stellt Fernwärme jedoch große Herausforderungen, zu denen hohe Anfangsinvestitionen und die Ungewissheit über die Höhe des Anschlussgrades gehören. Größter Anbieter von Fernwärme in Frankfurt ist die Mainova AG. Sie unterhält Fernwärmenetze in einer Länge von 250 Kilometern und versorgt über 4300 Gebäude in 32 Stadtteilen – vom Einfamilienhaus bis zum Industriepark. Das Gesamtfernwärmenetz unterteilt sich nochmals in Nah- und Fernwärmenetze, den weitaus größten Anteil machen die Fernwärmenetze aus. Die Studie nennt drei Kernpunkte, um die Effizienz der Fernwärmeversorgungssysteme zu steigern: Netze ausbauen und verdichten, Netztemperaturen senken sowie erneuerbare Energien integrieren.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Netzausbau

Durch Netzausbau und -verdichtung sinken die Verluste – der Betrieb wird wirtschaftlicher und umweltfreundlicher. Die Mainova AG plant bereits, einzelne Anlagen zu einem Gesamtverbund zusammenzuschließen. Ziel ist es, jährlich rund 100.000 Tonnen CO₂-Ausstoß einzusparen. Weitere Anlagen an neuen Standorten sind geplant, um große Neubaugebiete anschließen zu können.

Netztemperaturen senken

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Fernwärmeversorgung von Hochtemperaturnetzen hin zu Niedertemperaturnetzen entwickelt. Das reduziert Investitions- und Betriebskosten sowie den Platzbedarf. Vor allem aber können verstärkt erneuerbare Energien (Solarenergie, Geothermie) sowie Sekundärenergie (Abwärme aus Industrieprozessen und Abwasser) eingesetzt werden. Zwar kann das Temperaturniveau nicht unbegrenzt gesenkt werden, in Deutschland auf maximal 65° bis 70°. Dennoch ist es möglich, mit Niedertemperaturquellen Wohnhäuser und andere Gebäude zu heizen und gleichzeitig die Energieverluste im Netz zu minimieren. Einschränkend gilt, dass zur Versorgung der Hochhäuser in der Frankfurter Innenstadt Ferndampf erforderlich ist und deshalb die Netztemperaturen dort nicht gesenkt werden können.

Bei der **Kaskadierung** wird das Temperaturniveau innerhalb eines Fernwärmenetzes flexibel angepasst. Besonders Standorte mit einer hohen Mischung aus Hoch- und Niedertemperatur-Abnehmern eignen sich dafür. „**Kalte Fernwärmenetze**“ können in Neubaugebieten mit sehr geringem Energiebedarf eine Alternative zu konventionellen Nah- und Fernwärme-

netzen sein, da sie mit Temperaturen arbeiten, die nur geringfügig höher sind als die umgebende Erdreich.

In Siedlungen mit einer geringen Wärmedichte (z.B. großflächige Siedlungen mit Niedrigenergie-Einfamilienhäusern) geht der Trend zu kleinen, dezentralen Nahwärmelösungen mit geringem Temperaturniveau. Solche Nahwärmenetze gibt es bereits in Neubaugebieten wie Frankfurter Bogen, Edwards Garden und Lindenviertel.

netzen sein, da sie mit Temperaturen arbeiten, die nur geringfügig höher sind als die umgebende Erdreich.

***Best Practice:** In Aurich werden vorgereinigte Abwässer aus einer Molkerei gekühlt, die so gewonnene Wärme gelangt als „kalte Fernwärme“ über eine 1,5-Kilometerleitung zu einer Veranstaltungshalle. Das ankommende Wasser hat 14 Grad und steht für die Wärmepumpe zur Verfügung.*

Damit die Netztemperaturen reduziert werden können, sind energetische Sanierungen unverzichtbar, ein Großteil der Verantwortung liegt daher beim Abnehmer. So müssen in Wohngebäuden u.a. Niedertemperaturheizungen (Fußboden-, Decken-, Wandheizungen) im Bestand installiert werden, die jedoch kostenintensiv sind. Die Hemmnisse, die einem Ausbau der Fernwärme entgegenstehen, sind also weniger technisch-struktureller Art, sondern vielmehr soziologisch-ökonomisch begründet. Dazu gehören nicht zuletzt das fehlende Wissen der Verbraucher über die Vorteile der Fernwärme sowie eine Vermarktung.

Integration von erneuerbaren Energien (EE) in Wärmenetze

Biomassekraftwerke (BMKW) erzeugen Strom und/oder Wärme, indem Biomasse (inkl. Holz) verbrannt wird. Da Biomasse vielseitig einsetzbar ist, gibt es eine Nutzungskonkurrenz zwischen Wärme- und Verkehrssektor. Die Studie geht jedoch davon aus, dass die Biomasse größtenteils im Ferndampfnetz für Industrie und GHD-Sektor verwendet wird. In Frankfurt gibt es ein Potenzial für rund 168,5 GWh aus Biomasse, von dem derzeit 88 % ausgeschöpft werden. In der Region ist rund 1225 GWh thermisches Biomassepotenzial vorhanden. Die für Frankfurt nutzbare Men-

ge ist jedoch begrenzt, da die Verbandskommunen selbst Biomasse benötigen.

Solarenergie kann nur mit Einschränkungen ins Fernwärmenetz eingebunden werden. Sowohl Flach- als auch Vakuumröhren-Kollektoren erzielen den höchsten Jahresertrag in einem Niedertemperaturnetz. Im Innenstadtbereich kann nur ein Teil der Dächer genutzt werden (Denkmalschutz, z.T. durch PV-Module schon belegt), alternativ eignen sich Freiflächen in den Stadtrandgebieten, Dachflächen von Mehrfamilienhäusern und Parkhäusern. Im Bankenviertel

könnten Kollektoren in die Fassaden integriert werden. Die Studie geht davon aus, dass bis 2050 rund 5 % der Fernwärme aus Solarenergie gewonnen werden kann, das sind rund 90 GWh.

Untersuchungen haben gezeigt, dass im Frankfurter Stadtkern in einer Tiefe von 100 bis 140 Metern überdurchschnittlich hohe Temperaturen von 18 bis 22 Grad C vorliegen. Gute Voraussetzungen für die sogenannte **oberflächennahe Geothermie**, die Erdwärme bis zu einer Tiefe von 400 Metern nutzt. Niedrigenergiehaussiedlungen könnten durch diese Energie beheizt und im Sommer über ihre Flächenheizsysteme indirekt gekühlt werden. Öffentliche Parkplätze bieten sich hierfür an, auch Parks wie der Ostpark kommen in Frage. Die Flächen können nach der Bohrung uneingeschränkt weitergenutzt werden. Auch wenn die oberflächennahe Geothermie in Frankfurt noch ganz am Anfang steht, ist ein Ausbau auf 15 % des Fernwärmebedarfs bis zum Jahr 2050 möglich.

Während die oberflächennahe Geothermie nur bei niedrigen Vorlauftemperaturen eingesetzt werden kann, eignet sich die **hydrothermale Geothermie** für Vorlauftemperaturen über 80°C. Die Bohrungen erreichen eine Tiefe zwischen 400 und 6000 Metern, die Bohrplätze müssen jeweils etwa 10.000 Quadratmeter groß sein. Dies dürfte – neben den höheren Kosten – eins der großen Hindernisse der hydrothermalen Geothermie sein.

Abwärme aus industriellen Prozessen kann Temperaturen zwischen 30° und 140 °C bereitstellen und ist damit ein großes Energiepotenzial für Fernwärme. Sie fällt unabhängig von Wetter oder Jahreszeiten an und eignet sich daher vorrangig als Grundlastwärme. Abwärmequellen können Produktionsmaschinen oder -anlagen sein, die Verlustwärme abstrahlen. Auch Öfen und Motoren kommen in Frage. Für Frankfurt sind außer Industriebetrieben besonders die Rechenzentren als Abwärmequelle interessant. Aber auch hier gibt es Hemmnisse wie z.B. Unsicherheit

über die Nutzungsdauer, für den Sektor GHD kann zudem die Amortisationszeit abschreckend wirken.

***Best Practice:** In Göppingen wird Abwärme aus der Deutschen Gelatinefabrik Stoess genutzt, um Schule, Schwimmbad und Mehrfamilienhäuser mit Wärme zu versorgen. Dazu wird mittels einer Gaswärmepumpe das 30 °C warme Kühlturmwasser für Heizzwecke nutzbar gemacht.*

Auch Abwärme aus Abwasser fällt das ganze Jahr über in fast gleicher Menge und Temperatur (zwischen 10 und 20 °C) an. Ein Wärmetauscher, in die Kanalsohle installiert, entzieht ihm die Wärme. In Kombination mit einer Großwärmepumpe lässt sich diese Abwärme vor allem in kleinen Nahwärmenetzen mit niedrigen Netztemperaturen für Heizzwecke nutzen. Temperaturen bis zu 80 °C sind technisch möglich. Insgesamt wird das Potenzial an Wärme aus Frankfurter Abwässern auf rund 119 GWh im Jahr geschätzt. Der Nachteil: Da das Abwasser reich an Nährstoffen ist, kann sich ein Biofilm am Verdampfer bilden, der regelmäßig entfernt werden muss.

Die Studie geht davon aus, dass in Frankfurt im Jahr 2050 aus der Abwärme von Industriebetrieben, Rechenzentren sowie Abwässern rund 460 GWh jährlich gewonnen werden können, um Fernwärme und Ferndampf für Haushalte und Betriebe des GHD-Sektors bereitzustellen. Die CO₂-Einsparungen gegenüber einer Ölheizung liegen damit bei rund 40 %.

Power-to-Gas-Systeme sind eine weitere Möglichkeit, den Anteil erneuerbarer Energie zu erhöhen. Im Mai 2014 wurde im Frankfurter Ostend die erste **Power-to-Gas-Anlage** in Betrieb genommen, die 60 Kubikmeter Wasserstoff pro Stunde produziert. Ein wirtschaftlicher Betrieb dieser Anlagen wird in größerem Umfang aber erst mit steigenden Überschüssen aus Wind- und Solarenergie möglich sein.

4.6 Wärmeeffizienzmaßnahmen im Industriesektor

In der chemischen Industrie – hier ist besonders der Industriepark Höchst zu nennen – liegt das größte Sparpotenzial in einem **modernen, effizienten Reaktor**. An zweiter Stelle stehen Anlagen zur stofflichen Trennung von Gemischen, die meist sehr energieintensiv arbeiten, jedoch auf schonendere Verfahren

mit niedrigeren Temperaturen umgestellt werden können. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Nachrüstung bestehender Anlagen mit moderner Prozessleittechnik.

Auch Verbesserungen im Prozesswärmebereich mit seinem hohen Energieverbrauch sollten im gesamt-

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

ten industriellen Sektor an vorderer Stelle stehen. So sind deutliche Einsparungen durch **Wärmerückgewinnung**, bessere Wärmedämmung z.B. von Behältern oder Rohrleitungen zu erwarten.

Auch solare Prozesswärme stellt ein großes Potenzial dar. Generell lassen sich **Solaranlagen** im industriellen Bereich deutlich wirtschaftlicher betreiben als in Wohngebäuden.

Nach dem **Power-to-Heat-Konzept** werden Stromüberschüsse aus regenerativen Energien für Prozesswärme genutzt. Allein im Jahr 2010 betragen die ungenutzten regenerativen Stromüberschüsse

rund 127 GWh. Überschüsse aus Wind- und Photovoltaikstrom können auch dazu dienen, mittels Wasserelektrolyse Wasserstoff herzustellen. In einer Brennstoffzelle kann daraus, kombiniert mit Sauerstoff, elektrische Energie gewonnen werden. Als Abgas entsteht reiner Wasserdampf. Im Industriepark Frankfurt-Höchst fallen ohnehin jährlich 30 Millionen Kubikmeter Wasserstoff als Nebenprodukt der Chlorproduktion an. Bereits heute können damit 400 Busse oder rund 10.000 Autos betrieben werden. Insgesamt können in der Industrie bis 2050 rund 15 % der Brennstoffe eingespart werden.

5. Steigerung der Effizienz und einer nachhaltigen Mobilität im Sektor Verkehr

Eine Mobilität, die sich nachhaltig entwickelt, muss sozial, ökologisch und ökonomisch verträglich sein. Die Studie stellt verschiedene Maßnahmen dazu vor.

Sie weist aber auch darauf hin, dass die Frankfurter Bürger in Sachen Mobilitätsverhalten umdenken müssen.

5.1. Verkehrsvermeidung – Nahmobilität

Fußgänger

Betrachtet man die Zahl der per pedes zurückgelegten Verkehrswege, so nimmt Frankfurt im Städtevergleich einen Platz im oberen Viertel ein. Der überdurchschnittlich hohe Anteil ist Folge einer konsequenten städtischen Planung nach dem Konzept der „kurzen Wege“. Die Zahl der Fußwege lässt sich weiter erhöhen, wenn der Verkehr noch stärker

nach den Bedürfnissen der Fußgänger ausgerichtet wird, z.B. durch die Einrichtung von Tempo-30-Limits auf Hauptverkehrsstraßen. In fast allen Wohngebieten hat die Stadt bereits Tempo-30-Zonen eingerichtet. Die Einrichtung von Tempo-30-Limits auf Hauptverkehrsstraßen wäre ein nächster wichtiger Schritt.

Fahrrad

Radverkehrsförderung ist einer der Schwerpunkte der Stadt Frankfurt am Main. Rund 13 % der Wege werden in der Stadt mit dem Rad zurückgelegt. In einigen anderen Städten ist der Anteil an Fahrradfahrten höher (Kopenhagen: 31 %, Amsterdam: 22 %, Stand 2010). Fahrradschnellwege rund um Frankfurt könnten dazu beitragen, diesen Anteil zu erhöhen. In einer Studie haben sich, gemessen am Pendleraufkommen und der Bevölkerungsdichte, sechs Hauptkorridore herauskristallisiert. Durch ihren Ausbau kann die Fahrtzeit auf jeder dieser Strecken um ein Drittel reduziert

werden. Besonders Pendler im Einzugsgebiet von 5 bis 15 km könnten zu den Hauptverkehrszeiten auf diese Weise schneller am Ziel sein als mit dem Pkw. Nach Angaben des Regionalverbands Frankfurt RheinMain stammen rund 130.000 bis 140.000 Pendler aus dem potenziellen Einzugsgebiet. Dies entspricht etwa 33 % der gesamten Ein- und Auspendler Frankfurts. Kombiniert mit Zubringern an Haltestellen des ÖPNV oder P+R-Plätzen könnte durch diesen Schritt der Autoverkehr in Frankfurt deutlich reduziert werden. Innerhalb der Stadt können außerdem

eine am Radverkehr ausgerichtete Ampelschaltung, gesicherte Abstellanlagen (Bike-Tower), mehr Fahrradstationen an ÖPNV-Haltestellen sowie eine bessere Kooperation zwischen Fahrradverleihsystemen und ÖPNV den Anteil der per Rad zurückgelegten Wege erhöhen.

Die Verkaufszahlen von Pedelecs steigen seit Jahren stark an. Prognosen gehen davon aus, dass bis 2020 elektrische Fahrräder 10 % des Fahrradbestands ausmachen. In Frankfurt wird schon heute für eine stärkere Nutzung der Pedelecs geworben, z.B. mit der Initiative „bike+business“ des Regionalverbands – eine Option, die in Verbindung mit dem Ausbau der Fahrradschnellwege auch für Pendler interessant ist. Soll das Modell erfolgreich sein, müssen Unternehmen Fahrradstellplätze, Umkleidekabinen und Duschen zur Verfügung stellen. Weitere Anreize, um aufs Rad zu steigen, können Diensträder, Zuschüsse zu E-Mountainbikes oder Rennrädern sein. Die durchschnittlichen Anschaffungskosten eines E-Bikes oder Pedelecs liegen derzeit bei rund 1700 Euro. Bei einer täglichen Fahrleistung von sechs Kilometern hat sich die Investition gegenüber den reinen

Betriebskosten eines Autos schon nach gut zwei Jahren amortisiert. Auch die Umwelt profitiert davon: Beim derzeitigen Strommix liegt der CO₂-Austoß des Pedelecs bei vier bis fünf Gramm pro gefahrenem Kilometer. Wird der Akku mit Strom aus erneuerbaren Energien geladen, fährt es CO₂-neutral.

Parallel dazu ist der engmaschige flächendeckende Ausbau der bestehenden **Fahrradverleihsysteme** unverzichtbar. Insbesondere Geschäftsleute und Touristen profitieren von der schnellen und kostengünstigen Alternative zum Pkw. In Frankfurt gibt es derzeit zwei Fahrradverleihsysteme. Das von der Deutschen Bahn angebotene „Call a Bike“ hält an 60 Stationen 1000 Räder bereit. „Nextbike“ verfügt über 32 Stationen mit 200 Fahrrädern. Verschiedene etablierte Fahrradverleihbetriebe zeigen heute schon, dass ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Ein städteübergreifendes Verleihsystem steigert bei Pendlern die Bereitschaft zum Umsteigen. Sinnvoll wäre es, über Kooperationen nachzudenken und in Kommunen wie Raunheim und Kelsterbach Fahrradstationen auszubauen. Eine Kooperation mit Offenbach existiert bereits.

5.2. Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Im Vergleich zu anderen europäischen Städten belegt der MIV-Anteil in Frankfurt mit 34 % einen Platz im Mittelfeld. Nimmt man den Pendlerverkehr hinzu – 1 Millionen Fahrten am Tag – so erhöht sich der Anteil des MIV auf rund 50 %. Die Zahl verdeutlicht, dass insbesondere Lösungen für den Pendlerverkehr gefunden werden müssen.

Elektroautos können eine zentrale Säule des Lösungskonzepts sein. Bereits heute nimmt Frankfurt neben München und Hamburg eine Vorreiterrolle ein. Um die Akzeptanz zu steigern, muss die Stadt den Umstieg in der Anlaufphase fördern. Dadurch wird auch ein Anreiz für Firmen geschaffen, ihre Flotte auf Elektrofahrzeuge umzustellen. Günstigere Strombezugspreise für Elektroautos erleichtern Pendlern zusätzlich den Umstieg, genauso wie vergünstigte Parkplätze für Carsharing- und Elektrofahrzeuge.

Nötig sind aber auch innerstädtische Ladestationen und Abstellplätze für Anwohner etwa in Parkhäusern und Quartiersgaragen.

Neben Privatkunden nutzen Unternehmen das Carsharing (CS), um Nachfragespitzen in ihren Fahrzeugpools auszugleichen. CS wird meist für unregelmäßige Fahrten und Transporte genutzt. Für Pendler, die den gesamten Arbeitsweg mit dem Pkw zurücklegen, sind Mitfahrgelegenheiten oder Fahrgemeinschaften sinnvoller.

In Frankfurt haben sich mehrere stationäre CS-Anbieter etabliert. Insgesamt können an über 300 Stationen CS-Fahrzeuge genutzt werden. Die Anbieter arbeiten mit der Deutschen Bahn, dem Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV) oder anderen Nahverkehrsgesellschaften zusammen und bieten Sonderkonditionen für Nutzer beider Systeme an.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

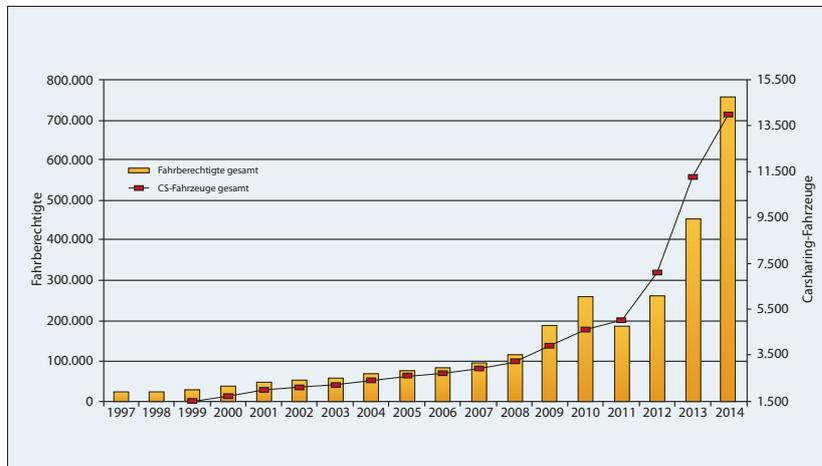


Abbildung 127: Wachstumsraten (Bundesverband Carsharing, 2014).

Das Stellplatzangebot für CS-Fahrzeuge sollte weiter erhöht werden, schlägt die Studie vor. Denn Steigerungen sind möglich: In Frankfurt werden derzeit 0,63 Carsharing-Fahrzeuge je 1000 Einwohner angeboten, in Karlsruhe (bundesweit die höchste Quote) sind es 1,63 Fahrzeuge. CS kann das innerstädtische Verkehrsaufkommen deutlich reduzieren. Schon heute werden – hochgerechnet – in Frankfurt rund 3456 Privat-Pkw durch 432 Carsharing-Fahrzeuge ersetzt. Nach Ansicht des Fraunhofer IBP steht und fällt der Ausbau des CS in Frankfurt mit ordnungsrechtlichen Eingriffen und Vorrechten für CS-Fahrzeuge. Beides ließe sich mit minimalem Kostenaufwand umsetzen. Weiterhin könnte eine erweiterte RMV-Mobilitätskarte ihren Besitzern eine kombinierte

Nutzung von CS, ÖPNV und Leihfahrrad ermöglichen.

Best Practice: In Freiburg werden bei größeren Wohnbauvorhaben Stellplätze für CS ausgewiesen und Stellplätze auf öffentlichen Parkplätzen für CS-Nutzer umfunktioniert.

Um die Popularität des E-Fahrzeugs zu erhöhen, sollten außerdem CS-Abstellplätze für E-Fahrzeuge in Wohnvierteln bereitgestellt werden. Wirtschaftlich ist das bislang allerdings noch nicht rentabel. Weitere Vorschläge sind ein städtisches Marketingkonzept sowie die Vorgabe für Investoren von Ein- und Mehrfamilienhäusern, Ladestationen und Stellplätze für E-Fahrzeuge einzuplanen.

5.3. Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

In Wien beträgt der Anteil des ÖPNV am Modal Split 35 %. Frankfurt, München und Berlin kommen auf ÖPNV-Anteile von 26 bis 29 %.

Die Studie schlägt vor, den ÖPNV-Anteil in Frankfurt bis 2050 auf ebenfalls rund 35 % anzuheben.

Elektro- / Hybridbusse, Schnellbusse

Im Jahr 2010 wurden zu Spitzenzeiten im innerstädtischen Verkehr 292 Busse und im Quell-/Zielverkehr 17 Busse eingesetzt. Insgesamt legten sie rund 17,6 Millionen Nutzkilometer bzw. 210 Millionen Personenkilometer zurück. Der Treibstoffverbrauch lag bei rund 6,95 Millionen Liter Diesel. Dies verursachte CO₂-Emissionen in Höhe von rund 21.000 Tonnen. Ähnlich wie bei den Pkw, soll auch die städtische Busflotte auf elektrische Antriebe umgestellt werden.

Seit 2010 werden zwei Hybrid-Busse zu Demonstrationzwecken im Frankfurter Norden eingesetzt. Elektrobusse können über Wechselakkusysteme verfügen oder direkt über Induktionsspulen an den Haltestellen aufgeladen werden. Bei einer durchschnittlichen Weglänge von rund 250 Kilometern pro Tag ist eine Batteriekapazität mit 250 bis 300 Kilometern Reichweite ausreichend. Schnellbusse, die nur an wenigen strategischen Punkten halten, können den

Stadtverkehr zu Hauptverkehrszeiten zusätzlich entlasten. Ein guter Service (Taktung, Haltestellennetz, Sauberkeit) sowie eine gut ausgebaute Infrastruktur sind zentrale Punkte, um weitere MIV-Nutzer zum Umstieg zu bewegen. Ein Elektrobus kostet derzeit 300.000 bis 400.000 Euro, rund 100.000 bis 150.000 Euro mehr als ein konventioneller Diesellbus. Die Investition amortisiert sich bei einer Laufleistung von 65.000 Kilometern pro Jahr in fünf bis sechs Jahren.

U-, S-, Regional- und Straßenbahnen

Im Jahr 2010 wurden in Frankfurt zu Spitzenzeiten 199 U-Bahnen, 191 S-Bahnen, 34 Regionalbahnen und 81 Straßenbahnen eingesetzt. Der erforderliche

Lastkraftwagen / Citylogistik

2012 waren in Frankfurt rund 24.000 Lastkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) unterwegs, die rund 1174 GWh Endenergie verbrauchten. 16,6 % des Energieverbrauchs gingen zu Lasten der LNF, 83,4 % entfielen auf die Lkw. Der Großteil der Energie wurde im Quell-/Zielverkehr sowie im Durchgangsverkehr eingesetzt. Der Binnenverkehr machte nur 10 % aus. Für diesen Bereich sieht die Studie vor, ein Citylogistikkonzept für E-Fahrzeuge und Pedelecs/

Allein durch den Austausch der Diesel- gegen Elektrobusse können rund 58 % der CO₂-Emissionen eingespart werden.

Best Practice: In Genf wird seit Mai 2013 der erste rein elektrisch betriebene Gelenkbus, der ohne Oberleitung auskommt, getestet. Er lädt sich an den Haltestellen in 15 Sekunden auf, indem ein beweglicher Arm mit einem in der Bushaltestelle integrierten Kontakt verbunden wird.

Strombedarf für alle Bahntypen lag bei insgesamt 219 GWh, es ergaben sich Gesamtemissionen in Höhe von 137.000 Tonnen.

Lastenfahrräder zu erstellen und die Paketdienstleister dafür zu gewinnen, ihre Flotte umzustellen. Bei ausreichender Kilometerleistung lassen sich die meisten Elektrofahrzeuge im Transport- und Lieferverkehr wirtschaftlich fahren. Das jährliche Einsparpotenzial liegt zwischen 1000 und 8000 Euro.

Ein weiteres Modellprojekt könnte sein, die regionalen Logistikfirmen zu einer Kooperation zu bewegen. Auf diese Weise könnte vermieden werden, dass leere oder halbbeladene Lkw und LNF durch Frankfurt fahren.

5.4. Marketing, Wettbewerbe und Werbekampagnen

Marketing und Wettbewerbe können die verschiedenen Projekte in der Öffentlichkeit bekannt machen: Denkbar ist ein Wettbewerb zu städtischen Fahrradwegen, ein Tag der Nahmobilität, an dem möglichst

viele Menschen dazu bewegt werden, zu Fuß zu gehen oder das Fahrrad zu nutzen. Ein weiterer Vorschlag ist der „Green Mobility Award“, der jährlich an ein Unternehmen verliehen wird.

5.5 Entwicklungen des Verkehrssektors in verschiedenen Szenarien

Wie sieht die Verkehrssituation in Frankfurt im Jahr 2050 aus, wenn die beschriebenen Maßnahmen nicht oder nur in geringem Umfang umgesetzt werden? Und was passiert, wenn die Stadt bis 2050 alle

oben genannten Vorschläge vollständig umsetzt? Diese Fragen beantwortet die Studie in einem Referenz- und einem Maßnahmenzenario.

Entwicklungen des Verkehrssektors im Referenzszenario

Der MIV hält im Jahr 2050 weiterhin den größten Anteil am Verkehrsaufkommen mit über 30 %. Der Anteil an Hybrid- und Elektro-Pkw steigt auf je 30 %, da diese Techniken nur halbherzig gefördert werden. Beim Carsharing steigt die Zahl der Fahr-

zeuge alle 10 Jahre um 5 %. Die Energieträger Diesel und Benzin dominieren den Endenergieverbrauch des MIVs mit 87 %. Der Anteil an Biokraftstoffen ist auf den geforderten Mindestanteil der EU (10 %) beschränkt.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Im ÖPNV sind die täglichen Fahrten um ca. 10 % gestiegen. Die Busflotte des Binnen- sowie des Quell-/Zielverkehrs besteht zu 50 % aus Elektro-, zu 40 % aus Diesel- und zu 10 % aus Hybridbussen. Die Zahl der Schienenfahrzeuge bleibt bis 2050 konstant. Die Auslastung der Bahnen steigt jedoch, weil mehr Pendler aufgrund der steigenden Treibstoffpreise umsteigen. Der Endenergieverbrauch der öffentlichen Verkehrsmittel sinkt bis 2050 um 20 %. Statt 289 GWh (2010) werden nun rund 232 GWh verbraucht.

Im **Straßengüterverkehr** steigt die Kilometerleistung im Binnen-, Quell-/Ziel- sowie im Durchgangs-

verkehr an. Der von der EU vorgegebene Anteil von 10 % Biotreibstoff (Biodiesel) bleibt bis 2050 konstant. Für eine Steigerung fehlt es an Biomasse und der Akzeptanz in der Bevölkerung. Bei den Lastkraftwagen behalten dieselgetriebene Lkw ihren Marktanteil von 90 %. Bis 2050 sind nur 25 % der LNF mit einem elektrischen Antrieb ausgestattet, 65 % fahren mit Diesel, 10 % mit Biodiesel. Die im Straßengüterverkehr verbrauchte Endenergie ist gegenüber 2010 um 13 % (132 GWh) angestiegen. Der Anteil des Stroms am Endenergiebedarf beträgt rund 1 %, 10 % werden über Biodiesel abgedeckt, die restlichen 89 % entfallen auf Diesel.

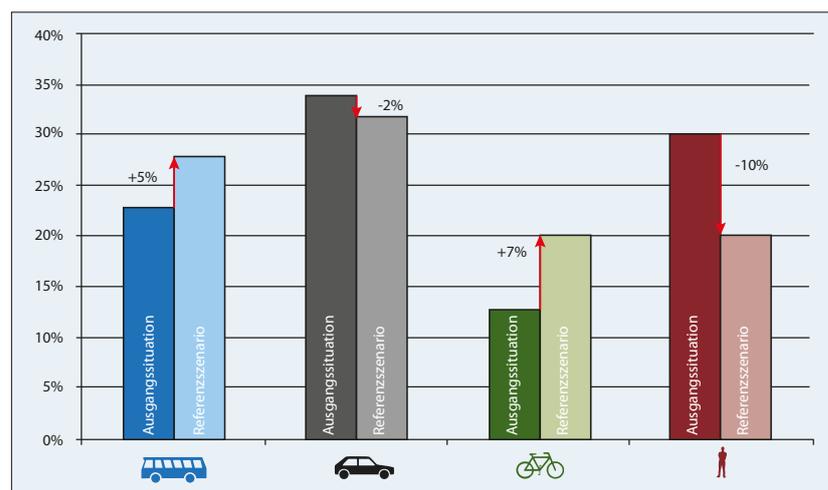


Abbildung 141: Veränderung des Modal Splits im Referenzszenario 2050 gegenüber 2010, eigene Darstellung (IBP).

Entwicklungen des Verkehrssektors im Maßnahmenzenario

MIV: Die täglichen Fahrten gehen um 24 %punkte zurück, der MIV macht nur noch 9 % des Gesamtverkehrs aus. Dies ist u.a. auf den Ausbau der Fahrradinfrastruktur und ein verbessertes ÖPNV-Angebot zurückzuführen. Das Carsharing-Angebot wird weiter ausgebaut, so dass es 2050 rund 17 Fahrzeuge pro 1000 EW gibt.

Der Anteil an Hybrid- und besonders Elektrofahrzeugen steigt ab 2020 rasant, da die Elektromobilität den Break-even-Point erreicht hat. Fördermaßnahmen der Stadt (z.B. freie Parkplätze für E-Fahrzeuge) tun ein Übriges. Bis 2050 werden Benzin- und Diesel-Pkw vollständig durch Hybrid- und Elektrofahrzeuge verdrängt. Der Endenergiebedarf im MIV reduziert sich von 2888 GWh auf 413 GWh, der Anteil an Strom

liegt bei 68 %. Die restliche Energie verteilt sich auf Bioethanol (18 %) und Biodiesel (15 %).

Der **ÖPNV** ist aufgrund der Förderung attraktiver geworden. Insgesamt steigt die Nutzung gegenüber 2010 um 12 %punkte an. Weil mehr Pendler umsteigen, nimmt auch die Auslastung im Quell- und Zielverkehr zu. Die Busflotte besteht zu 98 % aus Elektro- und zu 2 % aus Hybridfahrzeugen. Trotz steigender Fahrleistung und Flottenerweiterung kann der Endenergieeinsatz durch Elektroantriebe und effizientere Motoren entscheidend gesenkt werden.

Auch die Bahnen verzeichnen steigende Auslastung: 2050 sind 13 U-, 11 Regional-, 12 S- und 11 Straßenbahnen mehr im Einsatz als 2010.

Zwar steigt damit auch der Strombedarf, doch das wird durch effizientere Antriebsmotoren ausgeglichen. Insgesamt ist der Endenergieeinsatz des ÖPNVs im Jahr 2050 um 31 % niedriger als 2010, er sinkt von 289 auf 199 GWh.

Im **Straßengüterverkehr** steigt die Kilometerleistung bis 2050 um 10 % – aufgrund der verbesserten Citylogistik fällt der Anstieg deutlich geringer aus als im Referenzszenario.

Knapp 70 % der LNF-Fahrzeuge fahren mit Elektromotor, bei den Lkw sind es 50 %. Durch die schrittweise Umstellung von Diesel auf Strom bzw. Wasserstoff kann der Endenergieverbrauch um 60 % gesenkt werden. Die Einsparung beläuft sich auf 700 GWh. Der Stromanteil am Gesamtendenergiebedarf des Transportsektors beträgt nun 77 %. Der Rest wird durch Biodiesel (ca. 23 %) gedeckt.

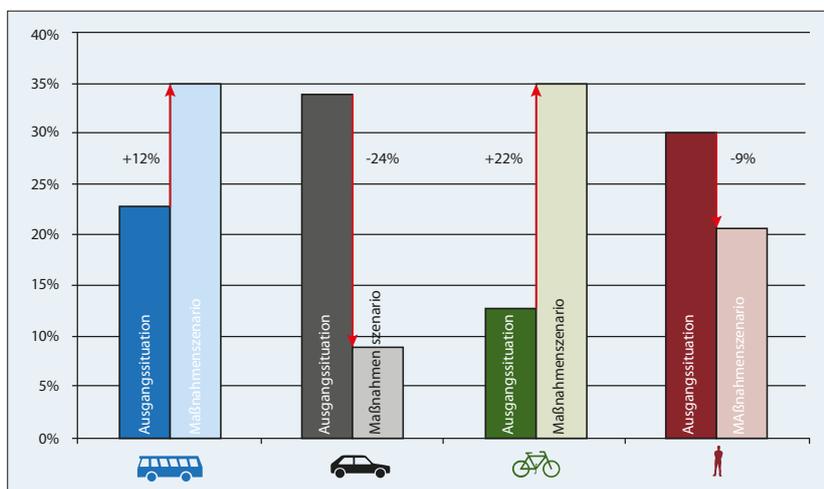


Abbildung 152: Veränderung des Modal Splits im Maßnahmenszenario 2050 gegenüber 2010, eigene Darstellung (IBP).

Weil die Infrastruktur für Radfahrer ausgebaut wurde und nun ein flächendeckendes Bikesharing-Angebot existiert, kommt es zu einem starken Anstieg der Fahrradfahrten. 2050 werden rund 35 % der Wege mit dem Rad zurückgelegt. Der Anteil der zu Fuß zurückgelegten Strecken sinkt auf 21 %. Die Einbußen sind auf den Anstieg der Radfahrten sowie die höhere ÖPNV-Nutzung zurückzuführen. Durch den Ausbau der Fahrradschnellwege und die Ausstattung der Bikesharing-Stationen mit Pedelecs nutzen Pendler das Rad für rund 15 % der täglichen Fahrten. Jobticket und steigende Treibstoffpreise machen auch den ÖPNV attraktiver.

Im Jahr 2050 sind Fahrgemeinschaften aufgrund der stark gestiegenen Treibstoffpreise nicht mehr die Ausnahme, sondern die Regel.

Während im Referenzszenario die Pkw mit über 30 % der täglichen Fahrten noch das bestimmende Verkehrsmittel sind, verliert der MIV im Maßnahmenszenario erheblich an Bedeutung. Durch die Sensibilisierung der Bevölkerung und die verbesserten Angebote für ÖPNV und Bike- bzw. Carsharing gelingt es, den Pkw durch Rad und ÖPNV zu ersetzen.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

6. Umlenkung der bisherigen Ausgaben für Energie in Frankfurt und Region

Auch in Zeiten knapper Finanzmittel gibt es überzeugende wirtschaftliche Argumente, die für eine Umsetzung der Maßnahmen sprechen. Dies sind vor allem regionale Wertschöpfung und positive Effekte für die Beschäftigungslage. Die Energiewende mit ihrem dezentralen Charakter kann eine Chance sein, um mittelständische Betriebe in der Region zu halten, Arbeitsplätze zu schaffen, die Kaufkraft zu stärken und Steuereinnahmen zu erhöhen. Hinzu kommt,

dass die Energiekosten jährlich sinken und weitere Finanzmittel frei werden. Die Machbarkeitsstudie sieht vor, dass der Import von Energierohstoffen und Endenergie durch regionale Energiequellen, Techniken und Dienstleistungen ersetzt wird. Dazu müssen vor allem die Potenziale für erneuerbare Energien ausgeschöpft und optimiert werden. Auch das steigert die regionale Wertschöpfung und verhindert, dass Finanzmittel nach außen abfließen.

6.1 Entwicklung der Energiekosten

Bei gleichbleibendem Energieverbrauch und einkalkulierter Preissteigerung klettern die Gesamtausgaben für den Energieeinkauf zwischen 2010 und 2013 von 2203 Millionen auf 2605 Millionen Euro. Im einzelnen: Der Sektor GHD verbraucht 884 Millionen Euro mehr, der Sektor Verkehr 637 Millionen Euro, und bei den Haushalten steigen die Ausgaben um 571 Millionen Euro. In allen Sektoren verursacht der Strom die höchsten Ausgaben mit insgesamt 1,3 Milliarden Euro (2013).

Dem wird in der Studie das im Masterplan entwickelte Szenario A gegenübergestellt. Darin werden im Jahr 2050 rund 59 % des benötigten Stroms innerstädtisch erzeugt. Private Haushalte und GHD-Betriebe werden eine tragende Rolle dabei einnehmen, denn ein hoher Teil der Konsumenten wird zu sogenannten „Prosumern“ (Prosumer erzeugen Energie selbst; nicht verbrauchten Strom speichern sie oder geben ihn an Nachbarn oder ins Energienetz ab). Die Stadt kann dies unterstützen, indem sie

Flächen für dezentrale Erzeugungsanlagen zur Verfügung stellt. Schon heute gehören viele Schulen und kommunale Gebäude zu den Prosumern. Ihr Anteil wird weiter steigen, wenn die Speicherkosten fallen und der eigenerzeugte Strom mehr und mehr für E-Fahrzeuge verwendet werden kann.

Das bedeutet, dass die Energieträgerkosten für Erdgas und Kohle nicht mehr aus Frankfurt abfließen und zwischen 115 Millionen und 144 Millionen Euro in der Stadt verbleiben. Werden auch Erdgas und Heizöl ganz durch erneuerbare Energien (EE) ersetzt, entfallen Ausgaben von 314 Millionen Euro (Erdgas) bzw. 63,5 Millionen Euro (Öl). Damit bleiben jährlich weitere 203 Millionen Euro in der Stadt, die vorher abgeflossen sind. In der Summe sind das bis 2050 rund 12 Milliarden Euro (Preissteigerung von 2,5 % pro Jahr einkalkuliert).

Fazit: Mit der Umstellung auf erneuerbare Energien kann dem Abfluss der Finanzmittel aus der Stadt entscheidend entgegengewirkt werden.

6.2 Entwicklung der Energieträgerkosten

Die Strom- und Wärmegestehungskosten von erneuerbaren Energien sind in vergangenen Jahren deutlich gesunken. Eine umgekehrte Entwicklung zeigt sich bei konventionellen Kraftwerken. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend weiter fortsetzt. Schon ab 2020 können für PV-Anlagen und elektrische Speicher für den Keller Amortisationszeiten unter 8 Jahren erreicht werden. Bis

2020 dürfte sich der Preis für elektrische Speicher für Keller und E-Fahrzeuge halbieren. Kombinierte Systeme (PV-Anlage und Kellerspeicher) sind für ein Viertel der Ein- bis Zweifamilienhäuser interessant, können aber auch für Wohnungsgesellschaften eine Lösung darstellen. Zunehmend werden Kombilösungen auch für Unternehmen im GHD-Sektor wirtschaftlich interessant.

6.3 Energie sparen heißt regionalen Wert schöpfen

An einigen Beispielen zeigt die Studie, wie sich Energieeinsparung und -effizienz konkret auf lokale und regionale Wertschöpfung auswirken:

- Wird in den Haushalten konsequent energetisch saniert, reduzieren sich die Ausgaben aller Frankfurter Haushalte um jährlich 230 Millionen Euro (bis 2050 um 8,5 Milliarden Euro) – Finanzmittel, die frei werden und umgelenkt werden können.
- Im GHD-Sektor senken Energiemanagementlösungen den Energieverbrauch um rund 15 % – vorausgesetzt, dass bis 2050 die Hälfte der Betriebe damit arbeiten. Schon heute könnten die Betriebe dadurch Ausgaben in Höhe von 40 Millionen Euro im Jahr sparen.
- Gute ÖPNV-Anbindungen und Fahrradwege lassen den Wert von Immobilien steigen, machen Arbeitgeber attraktiver und kurbeln den Umsatz im Handel an.
- Im GHD-Sektor reduziert der flächendeckende Einsatz von LEDs den Stromverbrauch um 30-40 % und bringt weitere Einsparungen von jährlich 75 Millionen Euro.

6.4 Förder- und Finanzierungsmodelle

Förder- und Finanzierungsmodelle können helfen, die gesteckten Ziele zu erreichen. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist der wichtigste Baustein für den Ausbau der regenerativen Energien. Darüber hinaus ist das Marktanreizprogramm (MAP) für regenerative Energien im Wärmesektor ein zentrales Förderinstrument der Bundesregierung. Der Nachteil bei beiden: Änderungen der Konditionen und des Programmvolumens verunsichern immer wieder besonders mittelständische Unternehmen, wodurch die Investitionsbereitschaft sinkt. Für Frankfurt empfiehlt sich deshalb ein Förderprogramm, das nicht von Schwankungen der Haushaltslage oder Politik abhängig ist. Darüber hinaus können neue Finanzierungsformen sinnvoll sein: Über eine neu gestaltete Energiesteuer können bestehende Förderprogramme aufgestockt werden. Denkbar ist auch eine neue, auf die energetische Gebäudequalität bezogene Steuer (z.B. Klimasteuer). Ein anderes Modell ist eine fondsgebundene Abgabe auf die energetische Gebäudequalität (Energiesparfonds). Verpflichtete Akteure, die keine Energie einsparen, müssen eine Abgabe in

einen Fonds zahlen, aus dem dann Förderprogramme finanziert werden. Eine Empfehlung für Frankfurt: Unternehmen zahlen in einen neu gegründeten Fonds ein, die Stadt verdoppelt jeden eingezahlten Euro. Auch eine erhöhte Abgabe für Neubauten ist denkbar. Hintergrund ist, dass jeder Neubau, egal wie effizient er ist, Ressourcen und Flächen beansprucht. Die Abgabe könnte den Anreiz für energetische Sanierungen erhöhen und so Ressourcen und Flächen sparen. Beim Crowdfunding finanziert eine Vielzahl Personen ein bestimmtes Projekt über Internetplattformen. In Frankfurt kann diese Form z. B. bei quartiersnahen Projekten zum Einsatz kommen. Das sogenannte Contracting ist eine vertragliche Dienstleistung zwischen einem externen, privaten Dienstleister (Contractor) und dem Energieverbraucher. Dabei plant, finanziert und realisiert der Contractor Energiesparmaßnahmen für einen Auftraggeber und wird dafür an der Kosteneinsparung beteiligt. Auch eine in Frankfurt ansässige Stiftung ist denkbar, die Energieeffizienzprojekte z.B. in Kindergärten und Schulen unterstützt.

Zusammenfassung

Die Beispielrechnungen zeigen, dass trotz notwendiger Investitionskosten in jedem Bereich Ausgaben reduziert werden können. Der steigende Anteil dezentral erzeugter erneuerbarer Energien hilft dabei, einen hohen Teil der Wertschöpfung in der Stadt zu halten.

Darüber hinaus kann durch bereits bestehende und neue Finanzierungsmöglichkeiten für die Energieerzeugung, insbesondere ausgerichtet auf das Interesse lokaler Investoren, die regionale Wertschöpfung gesteigert werden.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

7. Entwicklung der Szenarien für die Stadt Frankfurt bis 2050

7.1 Demographische Entwicklung und Flächenentwicklung

Laut der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung werden sich im Jahr 2050 die rund 720.000¹ Einwohner Frankfurts auf 405.000 Wohneinheiten verteilen. Die durchschnittliche Haushaltsgröße liegt bei 1,78 Personen. Wie sich der Flächenverbrauch im GHD-Sektor entwickelt, lässt sich nur schwer abschätzen, da zu wenig Daten vorliegen. Für die Berechnung der Szenarien werden deshalb Informationen aus

1) Prognose der Hessen Agentur aus dem Jahr 2010.

den Workshops herangezogen, an denen Akteure aus verschiedenen Branchen teilgenommen haben. Demnach nehmen die Flächen des Einzelhandels und der büroähnlichen Betriebe deutlich zu, die Fläche der Server- und Rechenzentren verdoppelt sich fast. Der Flächenbedarf im Bereich GHD wächst damit von 22,8 Millionen Quadratmeter (2010) um 33 % auf 30,3 Millionen Quadratmeter im Jahr 2050.

7.2 Szenarien

Um die Entwicklungsmöglichkeiten bis 2050 zu verdeutlichen, wurde jeweils ein Referenz- und ein Maßnahmenzenario entwickelt. Das Referenzzenario geht davon aus, dass die Vorschläge langsamer und

nicht in voller Konsequenz umgesetzt wurden. Im Maßnahmenzenario werden die in der Studie vorgestellten Maßnahmen konsequent umgesetzt.

7.2.1 Szenarien für den Frankfurter Stromsektor

Referenzzenario - Strombedarf

Im GHD-Bereich wird nur die Hälfte der Stromsparsparvorschläge umgesetzt; die Mitarbeiter am Arbeitsplatz sind nicht für das Thema sensibilisiert. Die Einsparungen liegen deshalb lediglich bei rund 10 %. In den Haushalten werden zwar alle Geräte ausgetauscht, jedoch nicht durch A+++ - Geräte. Da die Nutzer ihr Verhalten beibehalten, gibt es

keine weiteren Einsparungen, der Verbrauch der Haushalte sinkt um insgesamt 18 %. Die Industrie kann das Verbrauchsniveau von 2010 halten, jedoch nicht senken. Insgesamt sinkt der Strombedarf um 7,3 %. Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch von 2010 können rund 2,6 % an Endenergie eingespart werden.

Maßnahmenzenario - Strombedarf

Der Bereich GHD schöpft alle Stromsparerpotenziale aus, darüber hinaus gibt es Einsparungen durch verändertes Nutzerverhalten am Arbeitsplatz. Die Einsparungen liegen bis 2050 bei insgesamt 46 %. Der Strombedarf kann von 2970 GWh (2010) auf 1603 GWh (2050) reduziert werden.

In den Haushalten werden alle Haushaltsgeräte gegen neuwertige A+++ - Geräte ausgetauscht. Die Bevölkerung ist hinsichtlich des rationellen Umgangs mit Strom sensibilisiert. Deshalb werden rund 58 % des Strombedarfs eingespart: Der Verbrauch sinkt von 1028 GWh auf 432 GWh. Weil auch die Industrie die Vorschläge aus der Studie umsetzt, reduziert sich die Stromnachfrage um etwa 20 % von 2582 GWh auf 2066 GWh. Der Gesamtstromver-

brauch aller drei Bereiche sinkt im Maßnahmenzenario um 38 % auf 4080 GWh.

Zwar erhöht sich durch die wachsende Bedeutung von Strom für Wärme und Verkehr die Nachfrage. Im Wärmesektor ist es die große Zahl der Wärmepumpen und Power-to-Heat-Anwendungen, im Verkehrssektor dominieren 2050 Elektrofahrzeuge und Wasserstoff-Lkw/-LNF den Straßenverkehr. Auch der Ausbau der U-, S-, Regional- und Straßenbahnflotte braucht mehr Strom. Der damit verbundene Anstieg beträgt insgesamt 773 GWh.

Doch insgesamt überwiegen die Einsparungen bei Weitem: Der Strombedarf im Jahr 2050 beträgt 5140 GWh und liegt damit um rund 22 % niedriger als im Ausgangsjahr 2010.

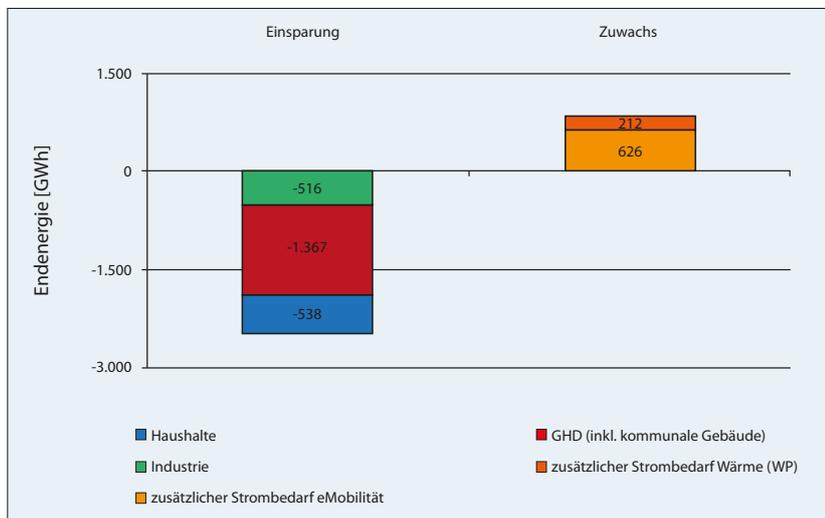


Abbildung 160: Stromanstieg und Stromeinsparungen nach Sektoren, nach Berechnungen des IBP.

7.2.2 Szenarien für den Frankfurter Wärmesektor

Referenzszenario - Wärmebedarf

Wohn- und Nichtwohngebäude in Frankfurt werden nur unvollständig saniert, die Quote liegt, wie auch im GHD-Bereich, bei 50 %. Der Austausch von zentralen Umwälzpumpen gegen dezentrale, drehzahlgeregelte unterbleibt. In der Industrie werden nur kleinere Effizienzmaßnahmen umgesetzt, sie kann ihren Wärmebedarf dennoch konstant halten.

Bei den Haushalten reduziert sich der Heizwärmebedarf um 35 %, im GHD-Sektor um 45 %. Der Gesamtwärmeverbrauch sinkt um 25 % von 11.713 auf 8801 GWh. Bezogen auf den Gesamtendenergieverbrauch von 2010 sinkt die Endenergie im Wärmesektor um rund 16 %.

Maßnahmenszenario - Wärmebedarf

Alle Wohn- und Nichtwohngebäude in Frankfurt werden bis 2050 vollständig energetisch modernisiert, Umwälzpumpen ausgetauscht. In der Industrie lässt sich durch effizientere Strukturierung der Produktion und die Nutzung von Abwärmepotenzialen der Wärmeeinsatz verringern. Große Einsparungen erzielt der Bereich GHD. Dort verringert sich durch vollständige energetische Modernisierung, Austausch der Umwälzpumpen etc. der Wärmeverbrauch von 3576 GWh um rund 73 % auf 955 GWh.

Die Haushalte sparen ebenfalls 73 % des Wärmebedarfs, der von 3830 GWh auf 1034 GWh sinkt. In der Industrie sinkt der Wärmeverbrauch um 1077 GWh auf 3230 GWh (25 %). Während sich im Ausgangsjahr 2010 der Wärmeverbrauch fast gleichmäßig zu je einem Drittel auf die drei Bereiche verteilt, dominiert 2050 die Industrie mit 62 %.

Insgesamt sinkt der Wärmeverbrauch um 55 % auf 5219 GWh. Damit können von 2010 bis 2050 rund 6483 GWh Wärme eingespart werden.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

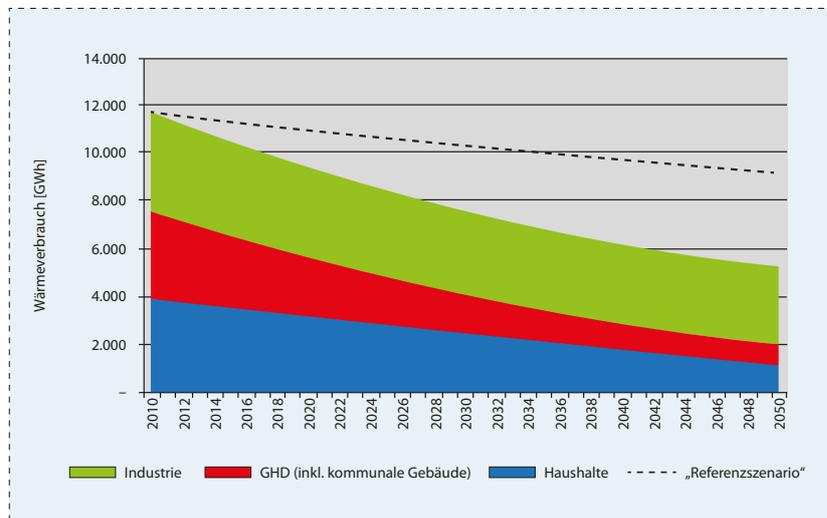


Abbildung 162: Entwicklung des Wärmeverbrauchs im Maßnahmenszenario, Quelle: Fraunhofer IBP.

7.2.3 Szenarien für den Frankfurter Verkehrssektor

Referenzszenario – Endenergie Verkehr

Der Endenergiebedarf sinkt bis 2050 um etwa 29 % (1252 GWh). Das größte Einsparpotenzial (ca. 47 %) liegt beim MIV, da einige Nutzer wegen steigender Benzinpreise auf alternative Antriebe umsteigen. Im ÖPNV können durch Elektrifizierung der Busflotte und effizientere Motoren 20 % der Endenergie eingespart werden. LNF und Lkw verbrauchen aufgrund

der steigenden Kilometerleistung 13 % mehr Energie. Damit entfällt 2050 die Hälfte des Endenergiebedarfs auf den MIV, 43 % gehen zu Lasten des Straßentransportsektors und nur 7 % entfallen auf den ÖPNV. Der Einsatz von Benzin geht zurück, dafür steigt der Strombedarf auf 13 % an.

Maßnahmenszenario – Endenergie Verkehr

Strom hat nun einen Anteil am Endenergieverbrauch von 78 % (2010: 5 %). Der Benzinverbrauch sinkt um 97 %, der Dieselverbrauch um 75 %. Die Hybrid-Fahrzeuge des MIV, die Busse des ÖPNV sowie Lkw und LNF fahren mit Biotreibstoffen. Der Löwenanteil der Einsparungen liegt im MIV (minus 2.475 GWh), da viele Verkehrsteilnehmer Elektroautos fahren oder öffentliche Verkehrsmittel nutzen. Der MIV hat am Endenergieverbrauch nur noch einen Anteil von 38 % (vorher 66 %).

Im ÖPNV werden 90 GWh durch effizientere Antriebstechnik und Fahrerassistenten eingespart. Sein Anteil am Endenergieverbrauch steigt von knapp 7 auf 18 %. Größter Energienachfrager ist nun das Transportwesen mit 44 % (2010: 27 %). Hier können immerhin 711 GWh eingespart werden. **Insgesamt reduziert sich der Endenergieeinsatz im Verkehrssektor bis 2050 um 75 %. Statt 4362 GWh werden nur noch 1086 GWh verbraucht.**

7.3 Energieszenarien für eine Energieversorgung Frankfurts zu 100 % aus erneuerbaren Energien

Welche Energiequellen müssen ausgeschöpft, wie müssen sie kombiniert werden, damit Frankfurt seinen Energiebedarf bis zum Jahr 2050 komplett

aus erneuerbaren Energien decken kann? Wie stark müssen die Region und weitere Potenziale eingebunden werden? Und wie teuer wird die Energie sein?

Der Ergebnisbericht des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (2014) hat dazu verschiedene Szenarien durchgespielt. Ausgangsbasis sind die Daten des Jahres 2013, die auf das Jahr 2050 hochgerechnet wurden. Dabei wurde der Verbrauch von Strom und Wärme inklusive des Stromverbrauchs für den Verkehrssektor berücksichtigt. Ebenfalls berücksichtigt sind Strom- und Wärmebedarf des Flughafens. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse aus 6 verschiedenen Szenarien mit jeweils 3 Varianten vorgestellt.

Variante 1: »Stadt«: Genutzt werden ausschließlich die Potenziale für erneuerbare Energien innerhalb des Frankfurter Stadtgebiets. Solarthermie ist nur auf Dachflächen zugelassen, die von 50° Ost über Süd nach 50° West orientiert sind. Für Photovoltaik werden Dachflächen von 100° Ost über Süd nach 100° West genutzt, außerdem Fassaden und Freiflächen.

Variante 2: »Stadt: mit Region«: Zusätzlich zu den oben genannten Potenzialen werden 50 % des Biomasse- und 50 % des Windpotenzials des Regionalverbands FrankfurtRheinMain genutzt. Erneuerbarer Strom, Biomasse und Haushaltsabfälle werden nach Frankfurt importiert. Der Transport von Wärme aus der Region in die Stadt ist nicht zugelassen, da er in den meisten Fällen unwirtschaftlich ist. Die Berechnung geht außerdem davon aus, dass die gesamten Haushaltsabfälle der Region in Frankfurt verbrannt werden, da dort das einzige Müllheizkraftwerk des Regionalverbands steht.

Variante 3: »Stadt: mit Bundesland«: In dieser Variante nutzt Frankfurt Biomasse und Windenergie des Landes Hessen proportional zum Bevölkerungsanteil. Da die Frankfurter Bevölkerung 11,6 % des Landes ausmacht, wird diese Zahl als nutzbares Potenzial angesetzt.

Potenzialvariante	Photovoltaik	Wind	Biomasse	Wasserkraft, Solarthermie	Abfall
Stadt	Stadt*	Stadt	Stadt	Stadt	Stadt
Stadt und Region	Stadt* +50% RV	Stadt +50% RV	Stadt +50% RV	Stadt	Stadt +RV
Stadt und Bundesland	Stadt* +50% RV	11,6% BL	11,6% BL	Stadt	Stadt +RV

RV = Regionalverband, BL = »Stadt mit Bundesland« (Hessen), * Dächer + Fassaden + Freiflächen

Tab. 9: Berücksichtigte Einzugsgebiete der verschiedenen erneuerbaren Energiequellen in den 3 Potenzialvarianten.

Jede der drei oben genannten Varianten wurde mit unterschiedlichen Randbedingungen (Szenarien) berechnet.

Szenario „Ohne Restriktionen“: Die Potenziale aller Energiequellen dürfen ausgeschöpft werden. Strom darf bis zu einer Leistung von 20.000 MW im- und exportiert werden. Import und Export von Wärme ist in allen Szenarien ausgeschlossen. Darüber hinaus gibt es keine Vorgaben.

Szenario „Autarkie“: Import von Strom ist nicht zu-

gelassen. Export ist jedoch möglich und entspricht einer Abregelung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Die maximale Nutzung des Solarthermiepotenzials ist vorgegeben.

Szenario „10% Stromimport“ und „Begrenzung Eigenstromanteil 70%, 80%, 90%“: Vorgegeben ist jeweils ein definierter Anteil des Stromimports. Der Stromexport ist nicht limitiert. Das Solarthermiepotenzial wird auch hier komplett ausgeschöpft.

Die Ergebnisse der Szenarien

Im Folgenden wird jeweils die kostengünstigste Lösung dargestellt, um den Wärme- und Strombedarf Frankfurts zu decken, inklusive des Strombedarfs für

lokale Mobilität. Exportierter Strom wird grundsätzlich nicht vergütet, um zu verhindern, dass Strom verkauft wird, obwohl er intern genutzt werden könnte.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

Empfohlenes Szenario: „Stadt mit Bundesland, 10% Stromimport“

Eine Vollversorgung der Stadt Frankfurt mit erneuerbaren Energien ist in dieser Variante zu jeder Stunde im Jahr möglich. Der Selbstversorgungsgrad beträgt 95 %, 5 % werden importiert. Um diesen Deckungsgrad zu erreichen, sind große Speicher nötig (2036 MWh elektrische und 2594 MWh thermische). Als Ergebnis der Optimierungsrechnungen wird diese Variante empfohlen, da sie einen hohen Grad der Selbstversorgung mit erneuerbaren Energien bei akzeptablen Energiekosten bietet (Stromgestehungskosten 12 €/ct/kWh).

Die Potenziale der verschiedenen Energieträger werden bis auf das PV-Potenzial vollständig ausgenutzt, dieses wird nur zu 31,9 % in Anspruch genommen. Der Strom wird zu 34 % durch Windenergie und zu 21 % durch PV erzeugt. Biomasse deckt 15 % und Abfall 9 % des Bedarfs. Wärmepumpen decken 21 % des Wärmebedarfs, die Solarthermie 21 %, Kessel 11 %. Biomassekraftwerke machen im Wärmebereich 13 % aus, der Abfall spielt mit 31 % eine vergleichsweise große Rolle.

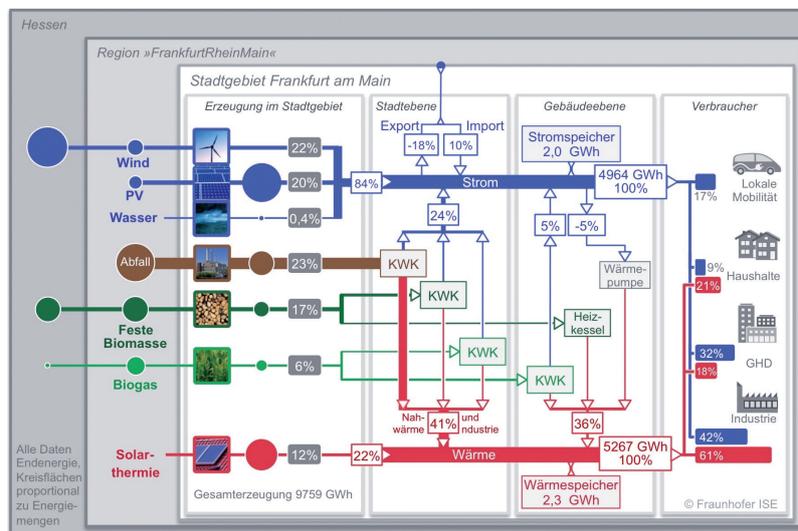


Abbildung 178: Energiesystemstruktur der Variante »Stadt mit Bundesland, 10% Stromimport« mit Darstellung der Energieerzeuger, -verbraucher und der Energieströme, die Kreisflächen der Ressourcen entsprechen den Beiträgen der Energieerzeuger.

Zum Vergleich wurden für die Variante „Stadt mit Bundesland“ außerdem die Szenarien „Ohne Restriktionen“ und „Autarkie“ berechnet.

„Ohne Restriktionen“: In diesem Szenario werden keine elektrischen Speicher installiert, wodurch die Stromgestehungskosten auf 8,7 €/ct/kWh sinken. Der Strom kann nur noch zu 75 % aus erneuerbaren Energien erzeugt werden.

„Autarkie“: Dies ist das einzige Szenario, in dem Strom- und Wärmebedarf mit den vorhandenen Potenzialen vollständig gedeckt werden können. Jedoch sind hohe Speicherkapazitäten nötig (9160 MWh), was zu vergleichsweise hohen Stromgestehungskosten von 22,1 €/ct/kWh führt. Dieses Szenario

wird nicht empfohlen, da die Kosten bereits deutlich sinken, wenn nur eine geringe Menge Importstrom zugelassen wird.

Szenarien der Variante „Stadt und Region“

Für diese Variante wird angenommen, dass die Stadt Frankfurt die Hälfte der Potenziale des Regionalverbands an Wind, Biomasse und PV nutzen kann.

„Ohne Restriktionen“: Die Wärmevervollversorgung ist hier, wie in allen Szenarien, vorgegeben (es darf keine Wärme im- oder exportiert werden). Das Potenzial für Windenergie ist im Regionalverband jedoch so gering, dass bei vollständiger Ausnutzung nur 5 % des Strombedarfs durch Windstrom gedeckt werden können. PV deckt 25 % des Strombedarfs ab.

Insgesamt wird beim Strom ein Deckungsgrad von 53 % erreicht (8,9 €/ct/kWh).

„Begrenzung des Stromimports“: Berechnet wurden drei Szenarien, in denen der Anteil des selbst erzeugten Stroms bei 70, 80 oder 90 % lag. Um den Anteil des importierten Stroms zu senken, muss der Anteil an PV-Strom erhöht werden. Werden 90 % des Stroms selbst erzeugt, müssen 68 % davon durch PV-Strom

gedeckt werden. Dies erfordert jedoch eine Speicherkapazität von 8037 MWh und erhöht die Stromgestehungskosten auf 20 €/ct/kWh (bei 80 % selbst erzeugtem Strom: 17,3, €/ct/kWh, bei 70 %: 14,1 €/ct/kWh). Weiterer Nachteil: Der hohe Anteil PV-Strom birgt Risiken in der Versorgungssicherheit, z.B. während einer Schlechtwetterperiode.

Szenarien der Variante „Stadt“

In dicht bebauten Städten sind die Potenziale für erneuerbare Energien naturgemäß begrenzt. Städte wie Frankfurt müssen mit der Region kooperieren, um eine nachhaltige und klimaneutrale Energieversorgung zu erreichen. Dennoch ist es wichtig zu wissen, wie weit sich Frankfurt aus eigener Kraft versorgen kann. Das Szenario zeigt, dass der Strom-

bedarf zu 30 % und der Wärmebedarf zu 31 % gedeckt werden können, wenn alle erneuerbaren Energiepotenziale genutzt werden. Solarenergie stellt das größte Potenzial dar: PV-Strom deckt 23 % des Strombedarfs, die Solarthermie 17 % des Wärmebedarfs. Abfall trägt mit 6 % zur Energiegewinnung bei.

Zusammenfassung der Simulationsrechnung KomMod

Für die Berechnungen der Szenarien wurde das kommunale Energiesystemmodell „KomMod“ benutzt. KomMod berechnet Energiesysteme, die den Bedarf an Strom und Wärme für jede Stunde im Jahr abdecken können und ermittelt die günstigste Variante. Durch die Stundenauflösung kann auch die jeweils notwendige Speicherkapazität ermittelt werden.

Voraussetzung für alle berechneten Lösungen ist jedoch ein deutlich geringerer Energiebedarf. Wie die Einsparungen erreicht werden können, ist im Generalkonzept ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse zeigen, dass sich Frankfurt vollständig und zuverlässig mit erneuerbaren Energien versorgen kann, wenn diese zur Hälfte aus der Stadt und zur Hälfte aus der Region kommen sowie ein Teil Windkraft und Biomasse aus Hessen genutzt werden

kann (Szenario „Stadt mit Bundesland – Autarkie“). Aufgrund der relativ hohen Kosten wird dieses Szenario jedoch nicht empfohlen.

Zur Umsetzung empfohlen wird das Szenario **„Stadt mit Bundesland, 10 % Stromimport“**, das eine 95 %ige Selbstversorgung des Gesamtenergiebedarfs garantiert. Hierbei werden ebenfalls anteilig Potenziale des Bundeslandes sowie 50 % der regionalen Potenziale genutzt. Vor allem bei der Windenergie sind die Kapazitäten aus dem Bundesland hilfreich. Sie erhöhen die Leistung gegenüber der Variante Stadt/Region von 151 MW 1624 MW. Das Szenario stellt einen guten Kompromiss zwischen weitgehender Selbstversorgung und akzeptablen Energiekosten dar.

„MASTERPLAN 100 % KLIMASCHUTZ“ – FRANKFURT AM MAIN – GENERALKONZEPT

8. Zusammenfassung der Ergebnisse

Bis 2050 kann Frankfurt sein Ziel erreichen und rund 50 % der heute verbrauchten Endenergie einsparen. Die Stadt hat ihr größtes Potenzial in der Energieverbrauchssenkung, und sie kann einen großen Beitrag an erneuerbaren Energien aufbringen. Die Potenziale reichen aber nicht aus, um sich selbst vollständig mit erneuerbaren Energien zu

versorgen. Die Bilanz kann maximiert werden, wenn 50 % der regionalen Potenziale einbezogen werden. Ohne elektrische Speicher könnten auf diesem Weg rund 53 % des benötigten Stroms selbst erzeugt werden, mit dem Einsatz von Speichern sind es rund 90 %. Mit der Speicherkapazität steigen jedoch die Stromgestehungskosten deutlich an.

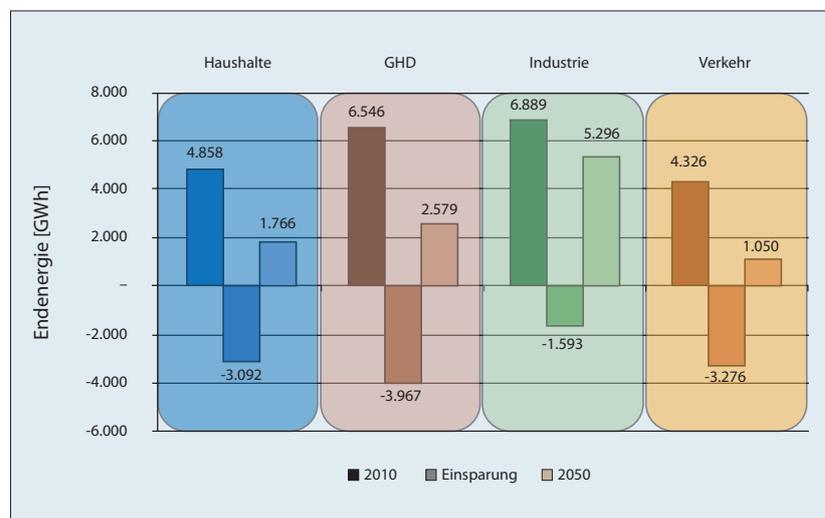


Abbildung 203: Einsparpotenziale nach Sektoren, eigene Berechnung nach Maßnahmenszenario IBP.

Fließen die anteiligen Kapazitäten an Windstrom und Biomasse aus dem Bundesland mit ein, so kann sich Frankfurt zu 100 % mit erneuerbaren Energien versorgen. Aus ökonomischen Gesichtspunkten sollte der Anteil des selbst erzeugten Stroms jedoch auf rund 90 % festgelegt und die restlichen 10 % importiert werden. Der Wärmebedarf wird komplett aus erneuerbaren Energien gedeckt. Dieses Modell bietet eine kostenoptimale Lösung, verbunden mit der höchstmöglichen Eigenversorgung.

Um das Szenario umzusetzen, kommt es auf den Mut der handelnden Akteure an, die vor der Aufgabe stehen, historisch bedeutsame Entscheidungen zu treffen. Wichtig ist auch die Akzeptanz des Projekts bei Bürgern und Unternehmen, die am Gestaltungsprozess partizipieren sollten. Zahlreiche weitere Faktoren spielen für das Gelingen eine Rolle. Doch die Machbarkeitsstudie zeigt, dass Frankfurt am Main seine ambitionierten Ziele erreichen und eine visionäre und vorbildhafte Stadtentwicklung umsetzen kann.



Langfassung der Studie unter:
www.energiereferat.stadt-frankfurt.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages.



Energierferat Stadt Frankfurt am Main

Adam-Riese-Straße 25, 60327 Frankfurt am Main

Telefon: 069 212-39193

E-Mail: energierferat@stadt-frankfurt.de

www.energierferat.stadt-frankfurt.de

