

Basisgutachten **zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg**

**Möglichkeiten zur Verringerung der CO₂-Emissionen
im Rahmen einer Verursacherbilanz**

*im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umweltschutz
der Freien und Hansestadt Hamburg*



Überarbeitete und aktualisierte Fassung
November 2010

Helmuth-M. Groscurth, Sven Bode und Isabel Kühn

arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik

Parkstraße 1a, 22605 Hamburg

info@arrhenius.de, www.arrhenius.de

Unter Mitarbeit von:

Joachim Nitsch, früher DLR - Institut für Technische Thermodynamik
Heinrich Strößenreuther, VerkehrsInnovationsPartner

Hinweise für den Leser

Das Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg besteht aus zwei Teilen:

Der hier vorliegende Teil 1 behandelt in der Gesamtschau die Möglichkeiten Hamburgs auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen Einfluss zu nehmen. Er umfasst die Bereiche Stromerzeugung, Mobilität und Prozesswärme sowie die Deckung des Wärmebedarfs von Gebäuden und zeigt auf, welche Beiträge die einzelnen Sektoren bei unterschiedlichen Maßnahmen leisten können. Ferner wird eine Maßnahmenkombination vorgeschlagen, mit der Hamburgs CO₂-Reduktionsziele bis 2020 erreicht werden können. Teil 1 des Gutachtens wurde vom arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik bearbeitet.

In seiner ursprünglichen Fassung wurde der Masterplan im Jahr 2009 erarbeitet. Teil 1 ist jedoch im Sommer 2010 überarbeitet worden, da die zugrunde liegenden Energie- und CO₂-Bilanzen zwischenzeitlich durch das Statistikamt Nord korrigiert und die Daten zum Wärmebedarf der Gebäude von Ecofys aktualisiert wurden (vgl. Teil 2). Zugleich wurden dabei aktuelle politische Entwicklungen berücksichtigt. In der jetzt vorliegenden Fassung wurden zudem die Energie- und Emissionsdaten von 2008 ergänzt.

Teil 2 behandelt als Ergänzungsgutachten das Thema „Wärmebedarf der Gebäude“ (Gebäudehülle und Warmwasser). Teil 2 des Gutachtens wurde von Ecofys bearbeitet.

Die CO₂-Emissionen für Beheizung und Warmwasser ergeben sich im wesentlichen aus der Kombination der in Teil 1 betrachteten Energieversorgungssysteme für Gebäude und der in Teil 2 betrachteten Qualität der Gebäudehüllen. Daher werden in Teil 1 die zur Bestimmung der CO₂-Emissionen für Heizung und Warmwasser die wesentlichen Ergebnisse aus Teil 2 nochmals kurz dargestellt. Dies betrifft vor allem die Kapitel 4.2.3 und 5.2.3.1.

Wichtige Aussagen, Zusammenfassungen und Schlussfolgerungen sind orange markiert.

Hintergrundinformationen und Beispiele, die vom schnellen Leser ausgelassen werden können, sind grau markiert.

Alle Schlussfolgerungen und Empfehlungen in diesem Gutachten geben die Ansicht der Autoren wieder und stellen nicht notwendiger Weise die Meinung der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt dar.



INHALT

ZUSAMMENFASSUNG.....	3
1 Einleitung: Warum braucht Hamburg einen Masterplan zum Klimaschutz?.....	5
1.1 Klimaschutz	5
1.2 Energie.....	7
2 Die derzeitige Situation in Hamburg	10
2.1 Vorbemerkung zur Methodik der Bilanzierung	10
2.2 Die angepaßte Energiebilanz für Hamburg	13
2.3 Die angepaßte CO ₂ -Bilanz für Hamburg	17
2.4 Hamburgs Klimaschutzziele.....	21
2.5 Ansatzpunkte für den Klimaschutz in Hamburg.....	21
3 Techniken zur nachhaltigen Energienutzung	26
3.1 Elektrische Energie	26
3.1.1 Effiziente Nutzung elektrischer Energie	26
3.1.2 Nachhaltige Erzeugung elektrischer Energie	27
3.2 Raumwärme und Warmwasser.....	32
3.2.1 Energieeffiziente Gebäude.....	32
3.2.1.1 Wärmeschutz für Neubauten	32
3.2.1.2 Wärmeschutz für Altbauten	33
3.2.2 Nachhaltige Bereitstellung des Restwärmebedarfs in Gebäuden.....	34
3.3 Prozessenergie.....	39
3.4 Mobilität	41
4 Das Referenz-Szenario für Hamburg 2020.....	45
4.1 Bestehende Regelungen zum Klimaschutz.....	45
4.1.1 Global	45
4.1.2 Maßnahmen der EU zum Klimaschutz	45
4.1.3 Klimaschutzmaßnahmen auf nationaler Ebene in Deutschland	48
4.1.4 Klimaschutzmaßnahmen in Hamburg	50
4.1.4.1 Die EnEV 2009 und die Hamburgische Klimaschutzverordnung 2008	51
4.2 Annahmen zum Referenzszenario für Hamburg	52
4.2.1 Rahmendaten.....	52
4.2.2 Referenzentwicklung: elektrische Energie.....	53



4.2.3	Referenzentwicklung: Raumwärme und Warmwasser	53
4.2.4	Referenzentwicklung: Prozesswärme	56
4.2.5	Referenzentwicklung: Mobilität	56
4.2.6	Abweichungen von der BMU-Leitstudie	56
4.3	Verbleibende Herausforderung für den Klimaschutz in Hamburg	57
5	Das Klimaschutzszenario 2020 für Hamburg	59
5.1	Handlungsoptionen eines Bundeslandes / einer Kommune	59
5.2	Maßnahmen und Instrumente für Hamburg	61
5.2.1	Bewußtseinsbildung und Motivation	61
5.2.1.1	Erkenntnisse der Umweltpsychologie.....	61
5.2.1.2	Beispiel Wissen	62
5.2.1.3	Beispiel Motivation	63
5.2.1.4	Beispiel Barrieren.....	63
5.2.1.5	Bürgerbeteiligung	64
5.2.2	Elektrische Energie für Hamburg	64
5.2.3	Raumwärme und Warmwasser in Hamburg.....	66
5.2.3.1	Weitergehende Maßnahmen an den Gebäudehüllen [Ecofys 2009].....	66
5.2.3.2	Versorgung.....	69
5.2.3.3	Die Zukunft der Fernwärme in Hamburg.....	71
5.2.3.4	Planung der künftigen Wärmeversorgungsstruktur in Hamburg.....	74
5.2.4	Prozesswärme in Hamburg.....	75
5.2.5	Mobilität in Hamburg	77
5.2.5.1	Personenverkehr.....	79
5.2.5.2	Güterverkehr	83
5.2.6	Bedeutung von Monitoring und Qualitätssicherung	84
5.2.7	Handeln der Verwaltung	84
5.3	Beispiel einer möglichen Maßnahmenkombination für 2020.....	85
5.4	Wirtschaftliche Aspekte	90
6	Fortschreibung des Klimaschutzszenarios bis 2050.....	91
ANHÄNGE.....		93
	Abkürzungen	93
	Referenzen	96
	Verzeichnis der Tabellen.....	100
	Verzeichnis der Abbildungen	101

ZUSAMMENFASSUNG

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist heute eine der größten Bedrohungen für die Existenzgrundlagen der Menschheit. Hamburg ist davon in mehrerer Hinsicht betroffen. Seine Lage am Wasser macht es verletzlich gegenüber einer Zunahme extremer Wetterereignisse und einem steigenden Meeresspiegel. Sein wichtigster Wirtschaftsfaktor, der Hafen, könnte von Verwerfungen in der Weltwirtschaft in Mitleidenschaft gezogen werden. Seine Rolle als Metropole macht es zum Anlaufpunkt für Migrationsbewegungen. Gleichzeitig ist Hamburg, wie alle großen Städte, selbst ein großer Emittent von Treibhausgasen.

Die Staatengemeinschaft hat im Dezember 2009 in Kopenhagen beschlossen, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf zwei Grad zu begrenzen. Konkrete Verpflichtungen zur Minderung der Treibhausgasemissionen müssen in den nächsten Monaten noch ausgehandelt werden.

Vor diesem Hintergrund hat sich Hamburg das Ziel gesetzt, seine energiebedingten Kohlendioxid-Emissionen bis 2020 um 40% gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern. Dazu muss es den jährlichen CO₂-Ausstoß gegenüber dem Stand von 2006 um 5,5 Mio. Tonnen verringern.

Das *Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg* zeigt auf, dass bei konsequenter Umsetzung der bestehenden Regelungen zum Klimaschutz auf Ebene der EU, des Bundes und Hamburgs im Jahr 2020 3,9 Mio. t CO₂ weniger ausgestoßen werden als 2006. Darin enthalten ist die Minderung von 1,1 Mio. t, die bis 2008 bereits erzielt wurde. Die größten Beiträge in diesem Referenzfall leisten die steigende Nutzung erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung in ganz Deutschland (2,0 Mio. t), die energetische Sanierung von Gebäuden in Hamburg (1,1 Mio. t) sowie effizientere PKW und LKW (0,7 Mio. t).

Es verbleibt für das Jahr 2020 eine Lücke von weiteren 1,6 Mio. t CO₂, die durch zusätzliche Maßnahmen und Instrumente geschlossen werden muss. Den größten Beitrag von bis zu 0,43 Mio. t kann dabei die Fernwärmeversorgung leisten, wenn sie künftig CO₂-arm, d.h. ohne den Einsatz von Steinkohle, erfolgt. Im vorgeschlagenen Maßnahmenbündel trägt die energetische Sanierung der Gebäude in Hamburg weitere 0,24 Mio. t zur Minderung bei, die CO₂-arme Bereitstellung des Restwärmebedarfs 0,06 Mio. t. Einen Schwerpunkt bei der Sanierung müssen die großen Wohn- und Nicht-Wohngebäuden bilden, die vor 1979 errichtet wurden. Sie sollten mindestens auf das heute gültige Niveau für Neubauten gedämmt und mit einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. Für die Deckung des Restwärmebedarfs sollte auf erneuerbare Energien einschließlich der Nutzung von Umgebungswärme mit Hilfe von Wärmepumpen zurückgegriffen werden.

Die Verringerung des PKW- und LKW-Verkehrs in der Stadt kann 0,38 Mio. t CO₂ im Jahr vermeiden. Wichtigster Ansatzpunkt sind dabei PKW-Fahrten von mehr als 5 Kilometern Länge. Da Änderungen im Verkehrssektor sehr komplex sind, sollte Hamburg und die Metropolregion ein langfristiges Leitbild für die Mobilität und Mobilitätsentwicklungspläne erarbeiten.

Weitere Beiträge leisten die nochmalige Steigerung der Effizienz beim Stromverbrauch und bei der Prozesswärme gegenüber dem Referenzfall (je 0,1 Mio. t). Darüber hinaus kann



der freiwillige Bezug von grünem Strom in Hamburg helfen, den Ausstoß von 0,25 Mio. t CO₂ im Jahr zu vermeiden.

Die Handlungsmöglichkeiten von Bundesländern und Kommunen werden durch eine Vielzahl von internationalen und nationalen Regelungen eingeschränkt. Die zentralen Instrumente auf Landesebene sind die wirksame Beeinflussung der Bürger Hamburgs hin zu einem energieeffizienten Verhalten, eine anspruchsvolle und zukunftsorientierte Planung der künftigen Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur sowie ordnungsrechtliche Vorgaben zu deren energetischer Qualität. Hinzu kommt die Vorbildfunktion der Stadt bei der Umsetzung von Maßnahmen in allen Bereichen, in denen Hamburg Planungs- und Umsetzungsfreiheit hat, wie z.B. der Sanierung landeseigener Gebäude oder der Beschaffung von Geräten und Fahrzeugen für die Verwaltung.

Um bis 2050 80% seiner CO₂-Emissionen zu vermeiden, muss Hamburg gegenüber einer Fortschreibung der heute geltenden Regelungen nach 2020 noch einmal 1,6 Mio. t CO₂ im Jahr einsparen. Die größten Beiträge müssen dabei wiederum der Wärmesektor und der PKW-Verkehr leisten.

1 EINLEITUNG: WARUM BRAUCHT HAMBURG EINEN MASTERPLAN ZUM KLIMASCHUTZ?

1.1 Klimaschutz

Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist heute eine der größten Bedrohungen für die Existenzgrundlagen der Menschheit.

Wissenschaftler sind sich einig: Der Ausstoß von sogenannten Treibhausgasen verändert das globale Klima [IPCC 2007]. Diese Erkenntnis stützt sich sowohl auf Beobachtungen als auch auf ausgefeilte Computermodelle.

Die globale Durchschnittstemperatur ist gegenüber dem vorindustriellen Niveau bereits um rund 0,8 Grad Celsius angestiegen. Die Auswirkungen in Form von extremen Wetterereignissen und steigenden Temperaturen werden immer spürbarer. 2008 zählt zu den zehn wärmsten Jahren in Deutschland seit 1901, der April 2009 war der Wärmste seit 120 Jahren.

Die wichtigsten Treibhausgase, die durch den Menschen zusätzlich in die Atmosphäre gelangen, sind Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

Die Auswirkungen des Klimawandels sind vielfältig. Es drohen unter anderem:

- mehr extreme Wetterereignisse (z.B. Starkregenereignisse, Hitzewellen, Dürreperioden),
- Wassermangel in Bergregionen durch Abschmelzen der Gletscher,
- ein Anstieg des Meeresspiegels durch Abschmelzen von großen Eismassen sowie
- die Verlagerung von Vegetationszonen und als Folge die Abnahme der Nahrungsmittelproduktion in bevölkerungsreichen Regionen.

All dies kann zu erheblichen Verteilungskonflikten und Migrationsbewegungen führen.

Hamburg ist in mehrerer Hinsicht von diesen Entwicklungen bedroht:

- Die exponierte Lage am Wasser macht Hamburg verletzlich gegenüber extremen Niederschlags- und Windereignissen sowie einem steigenden Meeresspiegel.
- Probleme in anderen Regionen der Erde, die Auswirkungen auf die Weltwirtschaft haben, können auch Hamburgs wichtigsten Wirtschaftsfaktor, den Hafen, beeinflussen.
- Metropolen sind häufig die Anlaufpunkte für Migrationsbewegungen.

Details zu möglichen Änderungen des Klimas in Hamburg finden sich in dem kürzlich erschienenen Klimabericht für die Metropolregion Hamburg [KlimaCampus 2009].

Um die Konsequenzen des Klimawandels auf ein Maß zu beschränken, mit dem die Menschheit mit einiger Wahrscheinlichkeit noch zurechtkommen kann, geht man heute davon aus, dass der Anstieg der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf zwei Grad Celsius begrenzt werden muss. Um das mit einiger Sicherheit zu gewährleisten, darf die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre ein Äquivalent von 450 CO₂-Molekülen unter einer Million Molekülen nicht überschreiten (450 ppm). Daraus folgt wiederum, dass die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen bis zum Jahr 2050 um 50-80% verringert werden müssen. Neuere Analysen fordern sogar eine noch stärkere Begrenzung des Ausstoßes von Treibhausgasen [Hare et al. 2009, Meinshausen et al 2009, Smith et al 2009].



Hintergrund: Die Physik des Klimawandels

Die grundlegende Physik des Klimawandels ist recht einfach, auch wenn genauere Vorhersagen aufwendige Computersimulationen erfordern (Abbildung 1): Die Erde befindet sich in einem Strahlungsgleichgewicht. Das eingestrahlte Sonnenlicht wird auf der Erdoberfläche in Wärmestrahlung umgewandelt und als solche in das Weltall zurück gestrahlt. Wenn das nicht so wäre, müsste sich die Erde ständig erwärmen. Ohne Gase in der Atmosphäre, die Wärmestrahlung absorbieren können, würde die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche bei ca. -18°C liegen. Wenn jedoch ein Teil der Wärmestrahlung von sogenannten Treibhausgasen in der Atmosphäre absorbiert wird, steigt die Oberflächentemperatur solange, bis durch die höhere Temperatur das Strahlungsgleichgewicht wiederhergestellt wird. Der vorindustrielle Gehalt der Atmosphäre an Kohlendioxid (280 ppm) hat auf diese Weise dafür gesorgt, dass die Mitteltemperatur bei $+15^{\circ}\text{C}$ lag. Mittlerweile ist die CO_2 -Konzentration durch vom Menschen verursachte Emissionen bereits auf 380 ppm angestiegen. Dadurch wird mehr Wärmestrahlung zurückgehalten und die globale Mitteltemperatur ist um bislang $0,8^{\circ}\text{C}$ angestiegen [IPCC 2007].

Das tatsächliche Klimageschehen ist weitaus komplizierter, weil es zu Rückkopplungen z.B. mit den Ozeanen, die Kohlendioxid aufnehmen und abgeben können, und mit dem Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre (Wolken) kommt. Dies wird in sehr komplexen Klimamodellen simuliert, die aber im Wesentlichen die einfachen Überlegungen bestätigen.

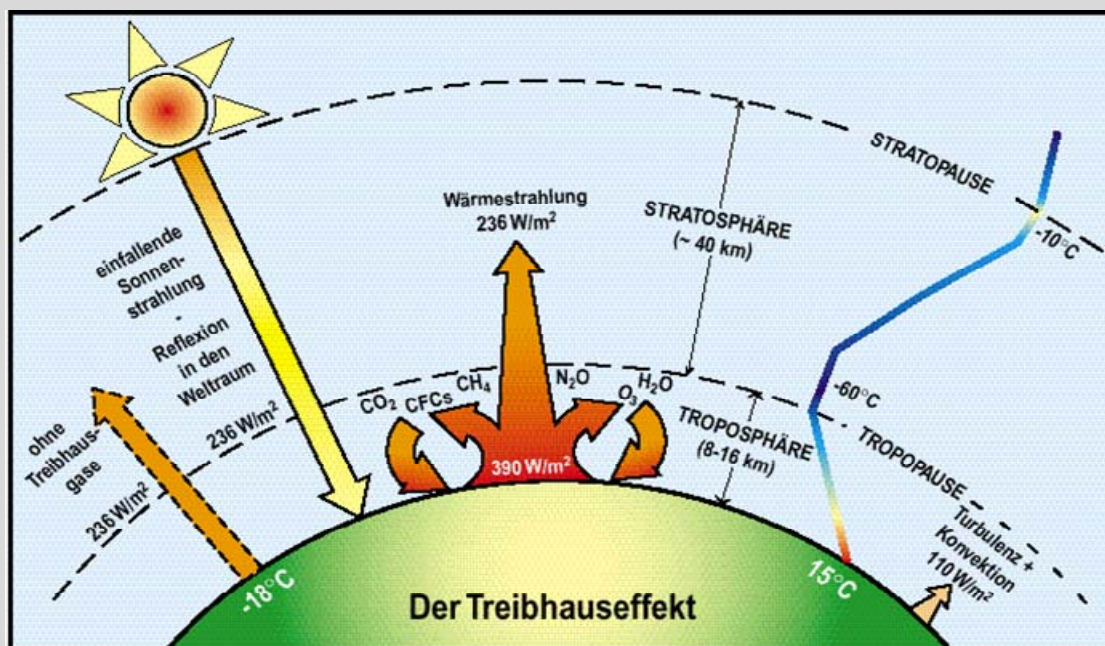


Abbildung 1: Physik des Treibhauseffektes [MPI, Hamburg].

Es hat zahlreiche Untersuchungen zu den wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels gegeben. Eine der einflussreichsten Studien war diejenige des ehemaligen Chef-Ökonomen der Weltbank, Nicholas Stern, im Auftrag der britischen Regierung [Stern 2006]. Sie kommt zu dem eindeutigen Ergebnis, dass eine Strategie, die versucht, den Klimawandel durch sofortige Maßnahmen zu begrenzen, deutlich kostengünstiger wäre als der Umgang mit den Folgen eines ungebremsten Klimawandels.

Vor diesem Hintergrund haben sich sowohl die nationale wie auch die internationale Politik in den letzten Jahren auf immer konkretere Klimaschutzziele verständigt. Mit dem Kyoto Protokoll, das 2005 in Kraft getreten ist, wurden erstmals für die Periode von 2008 bis 2012 verbindliche Ziele zur Senkung der Treibhausgasemissionen der beteiligten Länder festgesetzt. Die Emissionsziele werden in der Regel im Bezug zu den Emissionen einer Vertragspartei im Jahr 1990 definiert. Die Berechnung der Emissionen bzw. Emissionsziele erfolgt nach dem Territorialprinzip, d.h. es werden die Emissionen berücksichtigt, die auf dem Territorium eines Landes emittiert werden. Zurzeit wird über die Ziele für die so genannte Post-Kyoto-Phase nach 2012 verhandelt. Bei der Klimakonferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 wurde zunächst nur mehr oder weniger unverbindlich vereinbart, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf zwei Grad zu begrenzen. Konkrete Verpflichtungen zur Emissionsminderungen müssen noch verhandelt werden. Die größten Schwierigkeiten macht dabei die Aufteilung der Lasten zwischen den Staaten und Regionen der Erde. Eine gerechte Verteilung verlangt, dass die Industrieländer ihre Emissionen bis 2050 um mindestens 80% gegenüber dem Niveau des Jahres 1990 senken müssen.

Deutschland und Europa haben sich schon früher wiederholt zur sogenannten „2 Grad-Schwelle“ bekannt [vgl. z.B. BMU 2007, EUC 1996, COM 2007].

Die Metropolen dieser Welt sind für 75% der Treibhausgase verantwortlich. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, sich in einer Stadt wie Hamburg dem Thema Klimaschutz zu stellen.

1.2 Energie

Den mit Abstand größten Beitrag zum Ausstoß von Treibhausgasen liefert die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl oder Erdgas, bei der notwendigerweise Kohlendioxid (CO₂) entsteht.

Wenn der Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf 2°C begrenzt werden soll, so darf in Industrieländern wie Deutschland im Jahr 2050 nur noch in Ausnahmefällen CO₂ aus der Verbrennung fossiler Energieträger emittiert werden.

Dies ist eine große Herausforderung, da heute noch mehr als 80% der in Deutschland verwendeten Energie aus fossilen Quellen stammt (vgl. Abbildung 2).



Hintergrund: Definitionen Primär- und Endenergie

Als *Primärenergie* wird die Energie bezeichnet, die von der Natur zur Verfügung gestellt wird, sei es in Form von Kohle und Erdgas oder als Wind- und Sonnenenergie.

Endenergie ist dagegen derjenige Teil der Primärenergie, der nach Abzug der Transport- und Umwandlungsverluste beim Endverbraucher ankommt. Endenergieformen sind Heizöl, Erdgas, Kraftstoffe, Strom und Fernwärme.

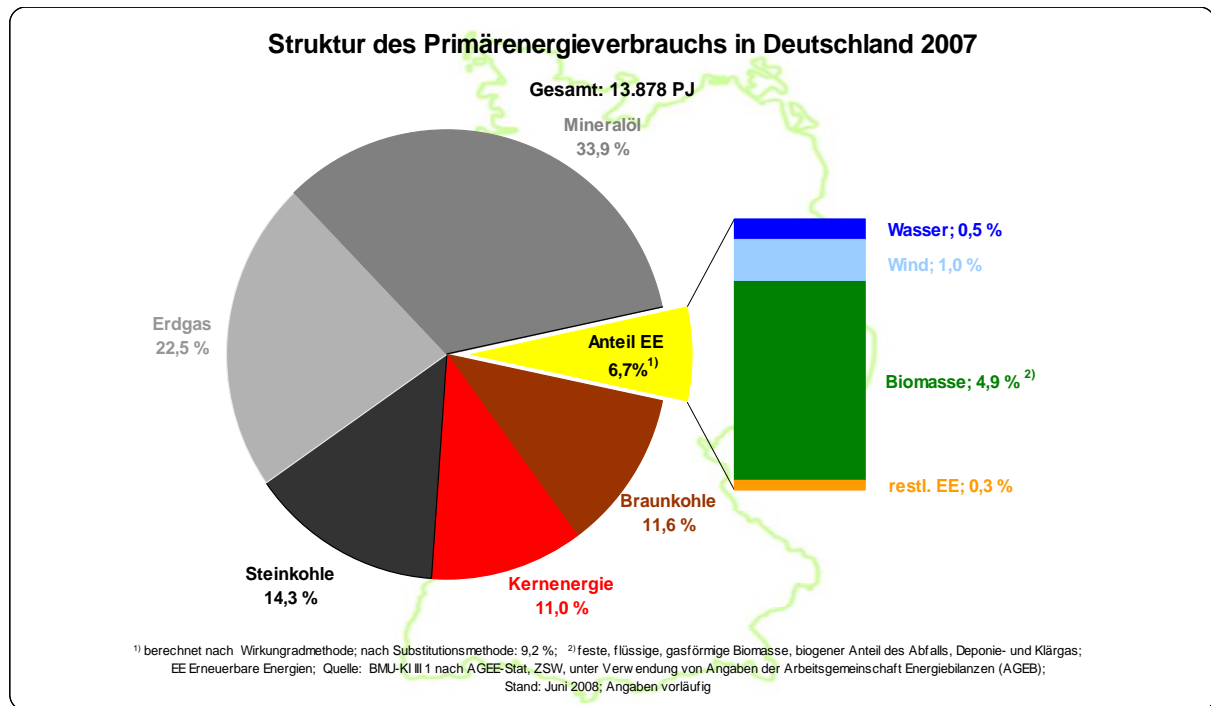


Abbildung 2: Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 2007 [BMU 2008].

Eine Abkehr von den fossilen Energieträgern ist aber auch aus geopolitischen Gründen geboten. Der Energiebedarf der Schwellenländer steigt rasant an. Gleichzeitig ist absehbar, dass die Gewinnung von Öl und Gas ihr Maximum nahezu erreicht hat und – wenn nicht aufgrund der absoluten Knappheit, dann wegen einer durch fehlende Investitionen ausgelösten Knappheit der Förderkapazitäten – in den nächsten Jahren sinken wird [Schindler und Zittel 2008]. Einen Vorgeschmack auf die Folgen dieser Entwicklung hat die Explosion der Brennstoffpreise im Jahr 2008 geliefert, die letztlich nur durch die weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise gestoppt wurde.

Gleichzeitig gibt es eine Reihe von Studien, die aufzeigen, dass eine dauerhaft umweltgerechte Energienutzung möglich ist, die fast vollständig auf dem effizienten Umgang mit Energie und dem Einsatz erneuerbarer Energien beruht [vgl. z.B. BMU 2010b, UBA 2010, FVEE 2010]. Dieser Ansatz wird in Kap. 3 näher erläutert. Er hat im Übrigen neben dem Klimaschutz eine ganze Reihe von anderen Vorteilen von der Schaffung lokaler Arbeitsplätze über die Versorgungssicherheit bis hin zur Absicherung gegen steigende Energiepreise.

Erforderlich ist jedenfalls umgehendes und entschlossenes Handeln auf allen Ebenen, international, national und regional. Metropolregionen sind dabei besonders gefragt, da sie einen Großteil des Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO₂-Emissionen auf sich konzentrieren.

Vor allem von Volkswirten wird vielfach kritisiert, dass lokale Klimaschutzanstrengungen ökonomisch nicht effizient seien. Überdurchschnittliche Anstrengungen Hamburgs führten nicht zu einem Beitrag zum globalen Klimaschutz, da auf nationaler Ebene bzw. in internationalen Systemen wie dem EU-Emissionshandel Emissionsbudgets festgelegt worden seien. Diese wirkten sich so aus, dass vermehrte freiwillige Anstrengungen einzelner Akteure zunächst geringere Anforderungen an andere Akteure nach sich zögen. Dieser Einwand ist im Grundsatz richtig. Konsequenz zu Ende gedacht würde die Kritik aber dazu führen, dass kein Akteur Maßnahmen ergreifen würde, die nicht aufgrund wirtschaftlicher Anreize wie dem Emissionshandel oder staatlichen Fördermaßnahmen wirtschaftlich sind bzw. die ordnungsrechtlich vorgeschrieben wurden.

Dabei wird jedoch übersehen, dass sich anspruchsvolle Ziele zum Klimaschutz nur dann durchsetzen lassen, wenn die betroffenen Akteure ihre Umsetzung für machbar halten. Dies lässt sich aber nur dann nachweisen, wenn einige voran gehen und innovative Lösungen in der Praxis erproben. In diesem Sinne kann das Handeln öffentlicher und privater Akteure in Hamburg helfen, dessen Anteil an den globalen Klimaveränderungen zu verringern und einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der nationalen Klimaschutzziele leisten. Kurzfristige Verlagerungen von Emissionen in Regionen mit geringeren Anforderungen zahlen sich nicht aus, weil diese im Rahmen des gesamten Prozesses früher oder später nachziehen müssen. Außerdem kann eine Vorreiterrolle in einer dynamischen Betrachtung mittelfristig wirtschaftliche Vorteile bieten.

Hamburg hat sich entschieden, eine solche Vorreiterrolle einzunehmen und bereits 2007 ein Klimaschutzkonzept vorgelegt, das den Zeitraum bis 2012 abdeckt. Es wird unter anderem die Umwelthauptstadt Europas 2011 sein, beteiligt sich am Prozess der Agenda 21 und war 2009 Gastgeber eines Treffens großer Städte zum Thema Klimaschutz.

Das hier vorgelegte *Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg* soll aufzeigen, durch welche Kombination von Maßnahmen und Instrumenten Hamburg seine selbstgesteckten Ziele bis 2020 und darüber hinaus erreichen kann.



2 DIE DERZEITIGE SITUATION IN HAMBURG

Bevor die künftige Entwicklung diskutiert werden kann, ist es erforderlich festzustellen, wo Hamburg heute steht.

2.1 Vorbemerkung zur Methodik der Bilanzierung

Um Ziele für die Minderung der Treibhausgas-Emissionen festlegen und deren Umsetzung überwachen zu können, ist ein konsistentes statistisches Gerüst erforderlich. In den letzten 20 Jahren sind hierzu in Deutschland umfangreiche statistische Erfassungssysteme aufgebaut worden. Auf Ebene der Länder ist dabei der *Länderarbeitskreis Energiebilanzen* die maßgebliche Institution, die jährlich Energie- und CO₂-Bilanzen für alle Bundesländer nach einheitlichen Kriterien veröffentlicht [www.lak-energiebilanzen.de]. Der Arbeitskreis weist zwei unterschiedliche Bilanzen aus,

- eine *Quellenbilanz* und
- eine *Verursacherbilanz*.

Hintergrund: Energiebilanzen

Bei der *Quellenbilanz* handelt es sich um eine auf den Primärenergieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen. Unberücksichtigt bleiben dabei die mit dem Importstrom zusammenhängenden Emissionen, dagegen werden die Emissionen, die auf die Erzeugung von exportiertem Strom zurück zu führen sind, in vollem Umfang ausgewiesen. Die Quellenbilanz ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge des im Land emittierten Kohlendioxids; wegen des Stromaußenhandels sind jedoch keine direkten Rückschlüsse auf das Verbrauchsverhalten der Endenergieverbraucher und den dadurch verursachten Beitrag zu den CO₂-Emissionen eines Landes möglich. Eine Quellenbilanz liegt auch dem Emissionsziel des Kyoto-Protokolls und allen daraus abgeleiteten Zielen bis 2020 und danach zugrunde. Diese Form der Bilanzierung wird auch als *Territorialprinzip* bezeichnet.

Bei der *Verursacherbilanz* handelt es sich um eine auf den Endenergieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen. Im Unterschied zur Quellenbilanz werden hierbei die Emissionen des Umwandlungsbereichs nicht als solche ausgewiesen, sondern nach dem Verursacherprinzip den sie verursachenden Endverbrauchersektoren private Haushalte, Gewerbe/ Handel / Dienstleistung, Industrie und Verkehr zugeordnet.

Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen [www.lak-energiebilanzen.de]

Auf nationaler und internationaler Ebene wird in der Regel das Territorialprinzip angewandt. Ziele internationaler Abkommen basieren daher zunächst auf einer Quellenbilanz. Gleichzeitig wird jedoch angestrebt, Klimaschutz dort zu betreiben, wo mit den eingesetzten Finanzmitteln die meisten Emissionen vermieden werden können. Auf internationaler Ebene wird dem durch die Einführung von Emissionshandelssystemen entsprochen, sei es zwischen den Staaten gemäß dem Kyoto-Protokoll oder zwischen den einzelnen Emittenten wie im EU-Emissionshandelssystem.

Aufgrund der starken wirtschaftlichen Verflechtungen zwischen den Bundesländern, die statistisch nicht erfasst werden, würde die Verwendung einer Quellenbilanz für die Klimaschutzanstrengungen eines Bundeslandes in die Irre führen. Die Quellenbilanz weist viele Emissionen aus, die dem Emissionshandel unterliegen oder anderweitig durch Bundesrecht abgedeckt werden und daher dem Einfluss lokaler Behörden entzogen sind. Teilweise sind Emissionen auf Dienstleistungen zurückzuführen, die ein Bundesland für einen größeren Einzugsbereich erbringt, wie etwa bei einem Flughafen oder einem Handelshafen.

Um Handlungsmöglichkeiten Hamburgs im Klimaschutz zu identifizieren, ist es daher sinnvoll, die *Verursacherbilanz* heranzuziehen. Entscheidend sind dabei die Endenergiemengen, die auf Hamburger Stadtgebiet genutzt werden. Dieser Ansatz wird in Hamburg bereits seit 2003 angewendet.

Während Wärme und Mobilitätsdienstleistungen in der Regel lokal bzw. regional bereit gestellt und genutzt werden, wird elektrische Energie über das Stromnetz unabhängig vom Ort der Erzeugung in ganz Deutschland verteilt. Entsprechend wurde im Länderarbeitskreis Energiebilanzen für die Berücksichtigung des Stromverbrauchs und der bei seiner Erzeugung entstehenden Emissionen folgender Weg eingeschlagen: „Beim Energieträger Strom erfolgt die Anrechnung der dem Endverbrauch zuzurechnenden Emissionsmenge auf Grundlage des Brennstoffverbrauchs aller Stromerzeugungsanlagen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Der hierzu benötigte Faktor (Generalfaktor) ergibt sich als Quotient der Summe der Emissionen aller deutschen Stromerzeugungsanlagen, soweit sie für den inländischen Verbrauch produzieren, und der Summe des inländischen Stromendverbrauchs (...).“ Mit anderen Worten:

Der Stromverbrauch in Hamburg (und allen anderen Bundesländern) wird bei der Bilanzierung mit den durchschnittlichen Emissionen der Stromproduktion in Deutschland bewertet. Im Jahr 2006 betrug dieser sogenannte Generalfaktor 600 Gramm CO₂ je Kilowattstunde.

Analog zur Stromerzeugung bleiben auch die übrigen Aktivitäten des Umwandlungssektors in der Verursacherbilanz unberücksichtigt. Dies betrifft für Hamburg in erster Linie die Raffinerien, die aber ohnehin dem Emissionshandel unterliegen und daher der lokalen Klimaschutzpolitik entzogen sind.

Die Bereitstellung von Wärme wird auf der Basis der verkauften Endenergiemengen bilanziert. Das sind im Wesentlichen fossile Brennstoffe (Heizöl, Erdgas) und Fernwärme.

Im Verkehrssektor werden die auf Hamburger Gebiet verkauften Treibstoffmengen (Otto-kraftstoff, Dieselkraftstoff) herangezogen. Dies steht im Rahmen der hier benötigten Genauigkeit in Einklang mit einer Abschätzung der zurückgelegten Wegstrecken.

Grundsätzlich kann CO₂ auch aus nicht-energetischen Prozessen, wie sie z.B. in Zement- oder Elektrostahlwerken vorkommen, resultieren. Diese Emissionen sind in der Verursacherbilanz für Hamburg nicht enthalten. Da derartige Prozesse regelmäßig in größeren, stationären Anlagen ablaufen, werden die entsprechenden Emissionen vom EU-weiten Emissionshandel erfasst und geregelt. Eine Berücksichtigung im Rahmen des Masterplans findet daher nicht statt. Der Logik der Verursacherbilanz folgend wären hier auch nicht die tatsächlichen Emissionen aus den Anlagen, sondern vielmehr die den Produkten zurechenbaren Emissionen zu berücksichtigen. Dies gilt natürlich nicht nur für in Hamburg hergestellte Produkte,



sondern auch für importierte Waren und Güter wie z.B. Lebensmittel, Haushaltsgeräte (weiße und braune Ware) etc. Von einer entsprechenden Berücksichtigung dieser in Produkten enthaltenen Emissionen („Lebenszyklusemissionen“) wird aus zweierlei Gründen abgesehen. Zum einen wäre eine umfassende Analyse der Warenströme auf Ebene einzelner Produkte zu aufwendig. Zum anderen werden die verschiedenen Methoden zur Emissionsberechnung derzeit noch intensiv diskutiert, eine Standardisierung steht noch aus [vgl. dazu www.pcf-projekt.de].

Die in vielen Produkten enthaltenen Lebenszyklusemissionen sind nicht Bestandteil der Hamburger Energiebilanz bzw. des Hamburger Klimaschutzziels. Trotzdem können Hamburger Bürger durch entsprechendes (Kauf)-Verhalten einen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Neben den Emissionen aus nicht-energetischen Prozessen und denen im Produktlebenszyklus wird auch der aus dem Schiffs- und Flugverkehr resultierende CO₂-Ausstoß nicht berücksichtigt. Maßgeblich sind hierfür folgende Gründe:

- Die Emissionsberechnung erfolgt wie erwähnt für den Verkehrsbereich auf Basis von verkauften Treibstoffmengen. Im Schiffs- und Flugverkehr werden dabei regelmäßig Treibstoffmengen für die gesamte Reisedecke gebunkert. In der Systematik der Bilanzierung dürften jedoch nur die Strecken auf Hamburger Stadtgebiet oder die durch Hamburger initiierten Strecken berücksichtigt werden. Für eine Berücksichtigung dieser Teilstrecken reichen die verfügbaren Daten nicht aus. Sie würde ohnehin nur zu einem geringen Emissionsanteil führen, der wenig Einsparpotential bietet.
- Die Maßnahmen zur Emissionsminderung, die die Hamburger Politik für die beiden Gruppen von Emittenten implementieren kann, sind vor dem Hintergrund des Standortwettbewerbs gering [vgl. dazu Bode et al. 2002]. Vielfach ist auch eine Zuständigkeit Hamburgs gar nicht gegeben, weil die erforderlichen Emissionsminderungen durch internationale Vereinbarungen wie den EU-Emissionshandel abgedeckt werden oder ein Handeln des Bundes erfordern.

In Analogie zu der in der Volkswirtschaftslehre gemachten Unterscheidung zwischen Bruttoinlandsprodukt und Bruttosozialprodukt kann auch bei der Emissionsermittlung in einer Verursacherbilanz zwischen Emissionen in Hamburg und Emissionen von Hamburgern unterschieden werden. Im ersten Fall werden die von allen in Hamburg handelnden Akteuren verursachten Emissionen berücksichtigt (Inländerprinzip). Im zweiten Fall werden nur die Emissionen von Hamburgern, d.h. in Hamburg gemeldeten bzw. registrierten Akteuren, berücksichtigt, allerdings auch jene Emissionen, die von ihnen außerhalb Hamburgs verursacht werden.

Grundsätzlich stehen beide Ansätze gleichberechtigt nebeneinander und können auch kombiniert werden. Allerdings sprechen folgende Aspekte dafür, im Rahmen des Masterplans das Inländerprinzip anzuwenden: Zum einen hat die Hamburger Politik nur in begrenztem Umfang Einfluss auf Minderungsmaßnahmen außerhalb der Stadtgrenzen. Zum anderen erscheint die Datenlage für die Aktivitäten von Hamburgern außerhalb vom Stadtgebiet eher schlecht bzw. eine mögliche Erfassung sehr aufwendig.

Zusätzlich zu den bisher genannten Kriterien wird für die Studie die Betrachtung auf diejenigen Energieträger beschränkt, die gemäß der Verursacherbilanz mehr als 1% zur Deckung der Endenergienachfrage in Hamburg beitragen: Ottokraftstoff, Dieselmotorkraftstoff, Biomasse, (leichtes) Heizöl, Erdgas, Strom und Fernwärme.

Abschließend sei betont, dass jede Form der Bilanzierung von Emissionen Vor- und Nachteile hat. Die in diesem Gutachten verwendete Bilanzierung nach dem Verursacherprinzip wurde ausgewählt, weil sie die Handlungsmöglichkeiten Hamburgs am besten abbildet. Die Verwendung einer Quellenbilanz hätte insbesondere zu Problemen bei der Behandlung von Anlagen geführt, die vom EU-Emissionshandel abgedeckt sind.

2.2 Die angepasste Energiebilanz für Hamburg

Die letzte offiziell verfügbare Energiebilanz für Hamburg, die zum Zeitpunkt der ursprünglichen Arbeiten an dieser Studie verfügbar war, bezieht sich auf das Jahr 2006. Für 2006 liegen auch alle übrigen notwendigen Rahmendaten, z.B. zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung usw. vor. Deshalb wird dieses Jahr als Referenz für die weitere Darstellung benutzt, auch wenn dabei einige Sondereffekte zu berücksichtigen sind. Mittlerweile wurden auch die Energie- und CO₂-Bilanzen für 2007 und 2008 veröffentlicht. Die Bilanz für 2007 weist einen um rund 4% geringeren Energiebedarf und entsprechend geringere CO₂-Emissionen aus. Der Rückgang ist maßgeblich darauf zurückzuführen, dass die Temperaturen in der Heizperiode 2007 deutlich höher lagen als in 2006. Entsprechend wurde weniger Erdgas, Heizöl und Fernwärme benötigt.

Die Bilanz für 2008 weist in Summe keinen Rückgang des Energieeinsatzes und einen Anstieg der CO₂-Emissionen gegenüber 2007 aus. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die Werte für 2006 und 2007 keinen bzw. einen reduzierten Betrieb der Hamburger Aluminiumwerke enthalten, während diese in 2008 wieder voll produziert haben. Zudem war der Heizwärmebedarf im Jahr 2008 temperaturbedingt rund 3% höher als in 2007 und damit etwa genauso hoch wie in 2006. Wie in Kap. 4.3 gezeigt wird, sind die um diese Effekte bereinigten CO₂-Emissionen zurück gegangen. Ein weiterer Faktor bei der Bewertung der Zahlen für 2008 ist die Finanz- und Wirtschaftskrise, die einen erheblich geringeren Energiebedarf in Handel, Gewerbe und Industrie zur Folge hatte. Die Bilanzen für 2007 und 2008 werden im Folgenden nachrichtlich mit ausgewiesen.

Das Statistikamt Nord hat im Juli 2010 korrigierte Bilanzen für die Jahre 1990, 2006 und 2007 herausgegeben, die als Grundlage für die hier vorgelegte Überarbeitung des Masterplans Klimaschutz dienen [Statistikamt Nord 2010]. Die Änderungen betreffen vor allem den Stromverbrauch privater Haushalte und den Emissionsfaktor für die Fernwärme. In der Folge haben sich im gesamten Zahlengerüst zahlreiche Änderungen ergeben. Die hier genannten Zahlen weichen daher von früheren Veröffentlichungen der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt und den einschlägigen Senats- und Bürgerschaftsdrucksachen ab.

Auf Basis der in Kap. 2.1 abgeleiteten Prinzipien der Bilanzierung ergibt sich die in Tabelle 1 dargestellte modifizierte Endenergiebilanz für Hamburg in den Jahren 2006 bis 2008. Abbildung 3 bis Abbildung 5 zeigen die Verteilung des Endenergiebedarfs nach Energiearten, Sektoren und Nutzungszwecken.



Tabelle 1: Endenergiebilanz für Hamburg 2006 – 2008 in Terawattstunden (TWh)
[Quelle: LAK Energiebilanzen, eigene Anpassungen].

Endenergiebilanz Hamburg 2006		Otto-kraft-stoff	Diesel-kraft-stoff	Heizöl	Erdgas	Bio-masse	Strom	Fern-wärme	Summe	Veränd. ggü. 1990
Haushalte	TWh			2,4	6,3		4,0	2,2	14,8	-10%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	TWh			1,2	2,9		3,8	2,2	10,2	24%
Straßenverkehr	TWh	4,8	6,9			0,9			12,5	-22%
Schienenverkehr	TWh		0,1				0,6		0,7	-20%
Industrie	TWh				5,4		3,1	0,6	9,2	7%
Summe	TWh	4,8	7,0	3,6	14,7	0,9	11,6	5,0	47,5	
Veränderung gegenüber <u>1990</u>		-4,5	0,0	-2,7	2,6	0,9	0,4	0,5	-2,9	-5,7%

Endenergiebilanz Hamburg 2007		Otto-kraft-stoff	Diesel-kraft-stoff	Heizöl	Erdgas	Bio-masse	Strom	Fern-wärme	Summe	
Haushalte	TWh			1,7	5,8		3,9	2,0	13,4	
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	TWh			0,8	2,9		3,7	2,1	9,6	
Straßenverkehr	TWh	4,5	6,9			1,0			12,4	
Schienenverkehr	TWh		0,1				0,4		0,5	
Industrie	TWh				5,3		4,2	0,3	9,7	
Summe	TWh	4,5	7,0	2,5	14,0	1,0	12,1	4,4	45,5	
Veränderung gegenüber <u>2006</u>		-0,26	0,00	-1,05	-0,67	0,08	0,56	-0,66	-1,98	-4,2%

Endenergiebilanz Hamburg 2008		Otto-kraft-stoff	Diesel-kraft-stoff	Heizöl	Erdgas	Bio-masse	Strom	Fern-wärme	Summe	
Haushalte	TWh			2,5	6,5		3,7	2,0	14,6	
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	TWh			1,2	2,1		3,6	1,9	8,8	
Straßenverkehr	TWh	4,3	7,1			0,8			12,1	
Schienenverkehr	TWh		0,1				0,4		0,5	
Industrie	TWh				4,2		5,0	0,3	9,4	
Summe	TWh	4,3	7,2	3,7	12,7	0,8	12,7	4,1	45,5	
Veränderung gegenüber <u>2006</u>		-0,51	0,19	0,13	-1,93	-0,11	1,12	-0,95	-2,06	-4,3%

Die Hamburger Aluminiumwerke waren 2006 gar nicht und 2007 nur teilweise in Betrieb. Die Aufteilung zwischen Haushalten und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen entspricht dem bundesweiten Mittelwert, da spezifische Zahlen für Hamburg nicht zur Verfügung standen. Abweichungen der Summenwerte beruhen auf Rundungsfehlern.

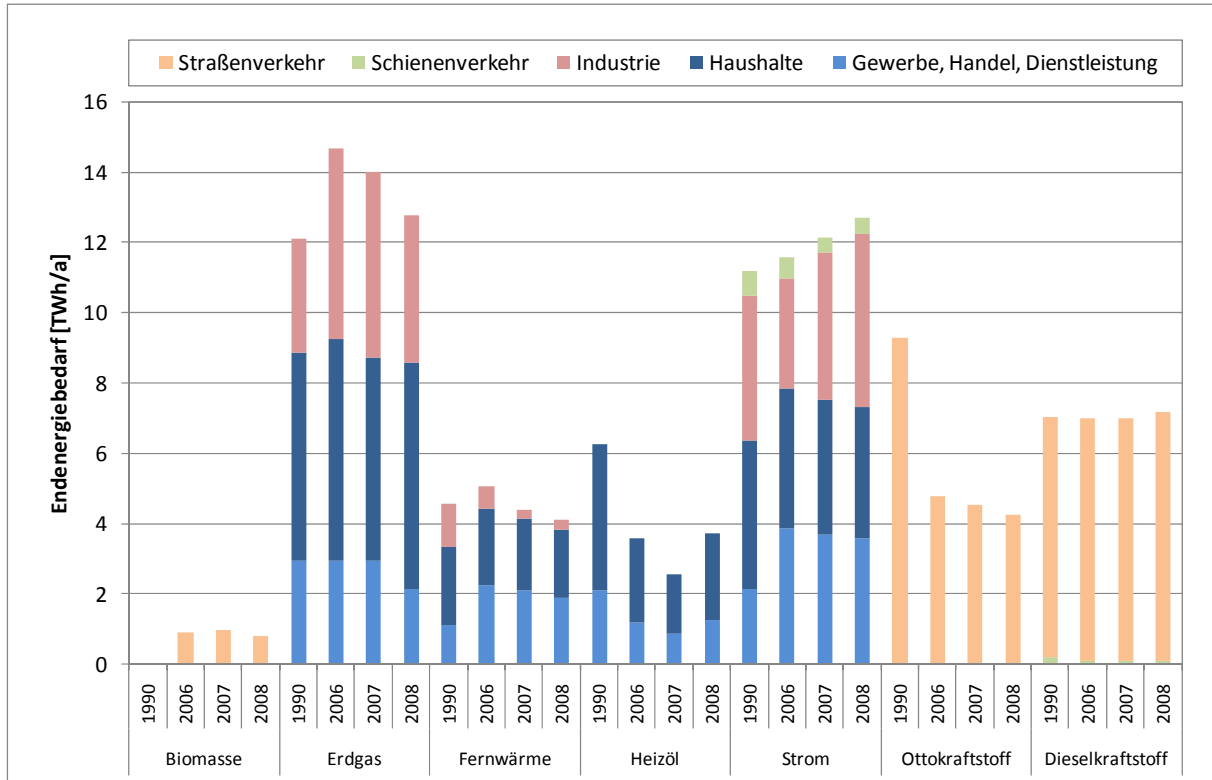


Abbildung 3: Endenergiebilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2008 nach Endenergieträgern und Sektoren.

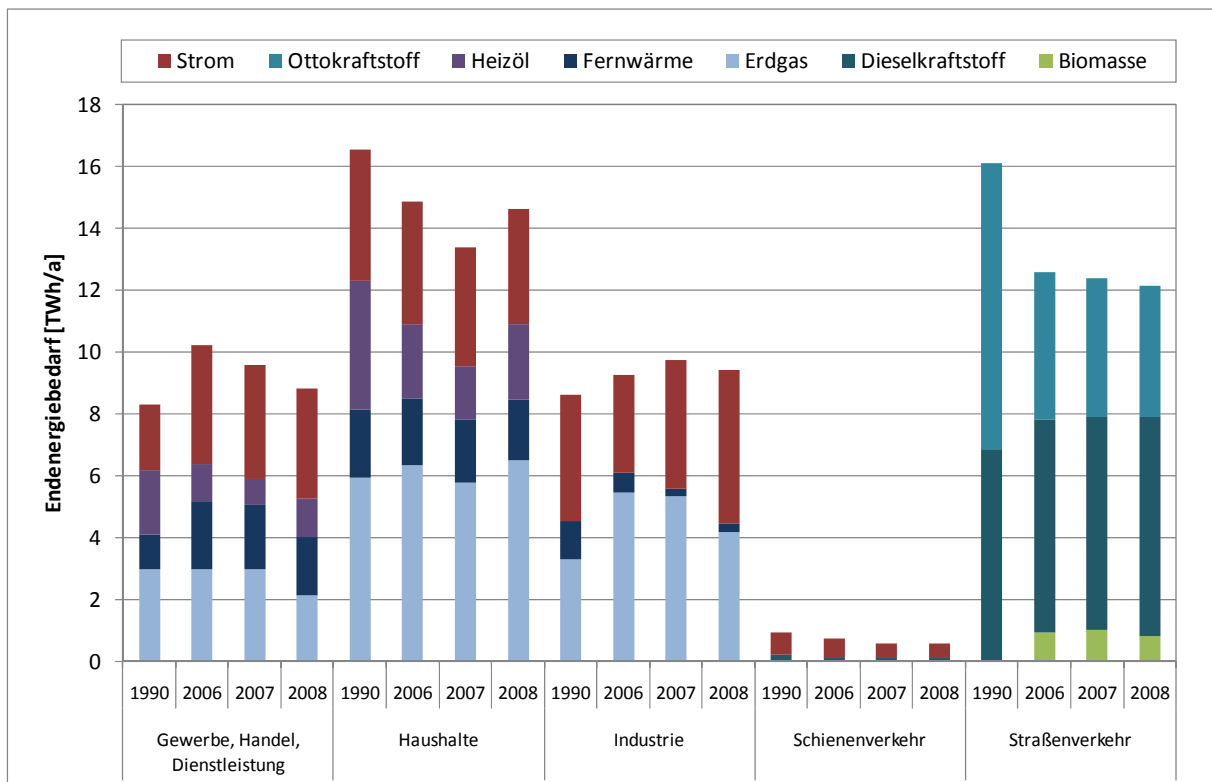


Abbildung 4: Endenergiebilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2008 nach Sektoren und Endenergieträgern.

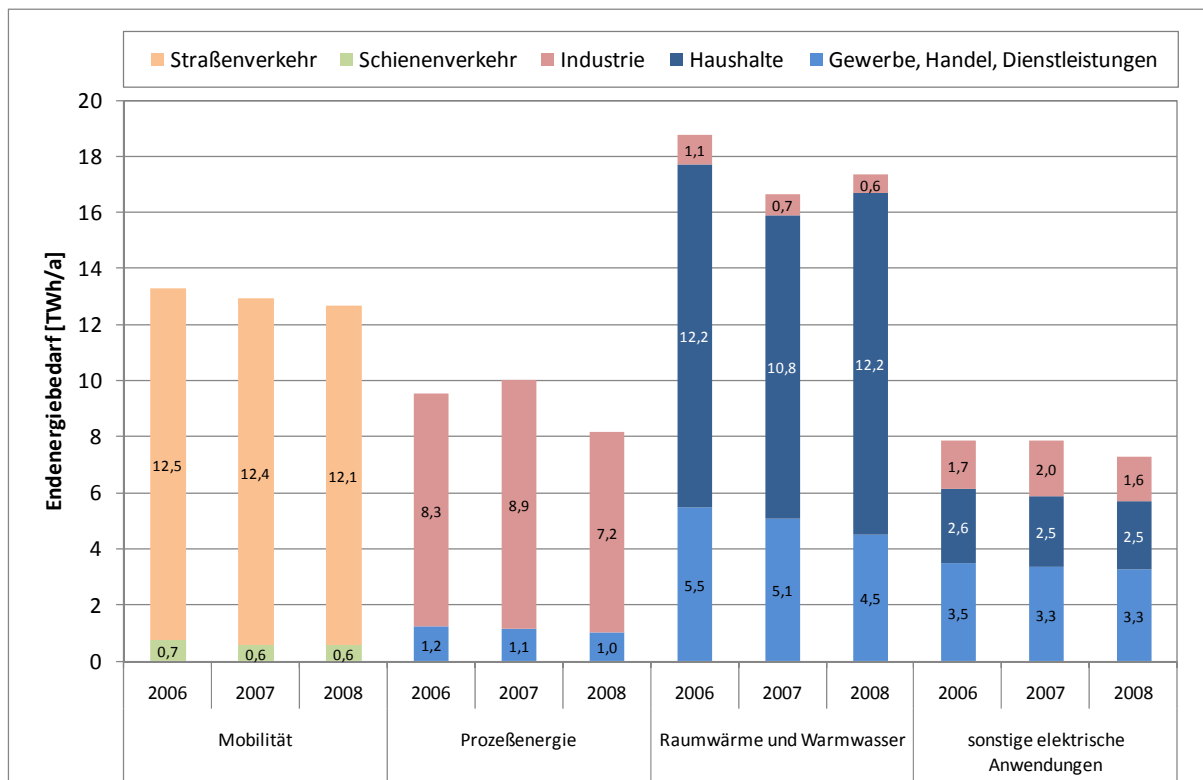


Abbildung 5: Endenergiebilanz für Hamburg 2006 – 2008 nach Anwendungsgebieten und Sektoren.

* Sonstige elektrische Anwendungen: Elektrische Anlagen ohne Wärme, Mobilität und Prozessenergie

Hamburg hat 2006 knapp 48 TWh Endenergie benötigt. Dies waren knapp 3 TWh oder 6% weniger als im Jahr 1990.

25% des Endenergiebedarfs in Hamburg entfielen auf Kraftstoffe, 39% auf Brennstoffe, 24% auf Strom und rund 10% auf Fernwärme (Abbildung 3). Erneuerbare Energien haben 4,5% zur Deckung des Endenergiebedarfs beigetragen. Statistisch relevant waren dabei lediglich der biogene Anteil des Mülls (2,5%) und Biodiesel (2%). Alle anderen erneuerbaren Energiequellen liegen bis heute in Hamburg deutlich unter 1%. Der Anteil der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung ist Teil des verwendeten Generalfaktors und wird in der Hamburger Verursacherbilanz nicht gesondert ausgewiesen.

Die Sektoren Haushalte und Verkehr waren für jeweils gut ein Drittel des Endenergieverbrauchs verantwortlich. Gewerbe, Handel, Dienstleistung sowie Industrie benötigten jeweils rund 20% der Endenergie (Abbildung 4).

Die mit Abstand wichtigste Anwendung von Energie war die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, für die 38% der Endenergie eingesetzt wurden (Abbildung 5). Für den Straßen- und Schienenverkehr wurden 27% der Energie aufgewandt, 19% für Prozessenergie und die verbleibenden 16% für sonstige elektrische Anwendungen wie Informations- und Kommunikationstechniken, Beleuchtung sowie elektrische Geräte und Antriebe in Haushalten, Handel, Gewerbe und Industrie.

2.3 Die angepasste CO₂-Bilanz für Hamburg

Mit Hilfe der spezifischen Emissionswerte aus Tabelle 2 lässt sich aus der Energiebilanz die CO₂-Bilanz ableiten, die in Tabelle 3 dargestellt ist. Abbildung 6 bis Abbildung 8 zeigen wiederum die Aufteilung nach Energieträgern, Sektoren und Nutzungszwecken.

Tabelle 2: Spezifische CO₂-Emissionen verschiedener Energieträger.

Spezifische CO ₂ -Emissionen	Einheit	Wert
Ottokraftstoff	t/MWh_f	0,26
Diesekraftstoff	t/MWh_f	0,27
Heizöl	t/MWh_f	0,27
Erdgas	t/MWh_f	0,20
Erneuerbare Energien	t/MWh_f	0
Strom Deutschland 2006	t/MWh_el	0,60
Fernwärme Hamburg 2006	t/MWh_th	0,26
Steinkohle	t/MWh_f	0,33

Die Einheit t/MWh_f entspricht g/kWh_f. Die Endungen kennzeichnen den Bezug auf den Brennstoff (MWh_f), auf Wärme (MWh_th) bzw. auf Strom (MWh_el).

Methodische Anmerkung: Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme

Die Stromerzeugung wird mit Hilfe eines Generalfaktors bewertet, der auf den mittleren CO₂-Emissionen der gesamten Stromerzeugung in Deutschland beruht. Um die Konsistenz mit der später erfolgenden Extrapolation in die Zukunft sicherzustellen, wird als Ausgangswert der Generalfaktor nach BMU-Leitstudie 2008 verwendet [BMU 2008b].

Fernwärmenetze werden in den Energiebilanzen des Länderarbeitskreises Energiebilanzen (LAK) ähnlich wie das Stromnetz über einen allgemeinen CO₂-Emissionsfaktor beschrieben. Dieser betrug für Hamburg im Jahr 2006 256 g/kWh. Er wurde nach der sogenannten finnischen Methode ermittelt, die die Kraft-Wärme-Kopplung mit der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme vergleicht. Der Wärme wird dabei ein vergleichsweise geringer Teil der gesamten Emissionen zugerechnet.

Es gibt eine ganze Reihe von Methoden für diese Zurechnung, die zum Teil zu sehr unterschiedlichen Aufteilungen der Emissionen gelangen. Welche Methode eingesetzt wird, hängt meist von der Einschätzung des jeweiligen Anwenders ab. Da die Bilanzierung in diesem Gutachten der Vorgehensweise des LAK folgt, wird auch für die Bewertung der Fernwärme dessen Verfahren übernommen.



Tabelle 3: CO₂-Verursacherbilanz für Hamburg 2006 – 2008 in Millionen Tonnen (Mt)
[Quelle: LAK Energiebilanzen, eigene Anpassungen].

CO ₂ -Bilanz Hamburg <u>2006</u>		Otto- kraft- stoff	Diesel- kraft- stoff	Heizöl	Erdgas	Bio- masse	Strom	Fern- wärme	Summe	Veränd. ggü. 1990
Haushalte	Mt			0,6	1,3		2,4	0,6	4,8	-20%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Mt			0,3	0,6		2,3	0,6	3,8	25%
Straßenverkehr	Mt	1,2	1,8			0,0			3,1	-27%
Schienenverkehr	Mt		0,0				0,4		0,4	-28%
Industrie	Mt				1,1		1,9	0,2	3,1	-22%
Summe	Mt	1,2	1,9	1,0	3,0	0,0	6,9	1,3	15,2	-15%
Veränderung ggü. <u>1990</u>		-1,2	0,0	-0,7	0,5	0,0	-1,0	-0,3	-2,6	

CO ₂ -Bilanz Hamburg <u>2007</u>		Otto- kraft- stoff	Diesel- kraft- stoff	Heizöl	Erdgas	Bio- masse	Strom	Fern- wärme	Summe	
Haushalte	Mt			0,4	1,2		2,3	0,5	4,4	
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Mt			0,2	0,6		2,2	0,5	3,5	
Straßenverkehr	Mt	1,2	1,8			0,0			3,0	
Schienenverkehr	Mt		0,0				0,3		0,3	
Industrie	Mt				1,1		2,5	0,1	3,6	
Summe	Mt	1,2	1,9	0,7	2,8	0,0	7,3	1,0	14,8	
Veränderung ggü. <u>2006</u>		-0,07	0,00	-0,28	-0,14	0,00	0,34	-0,25	-0,39	
										-2,6%

CO ₂ -Bilanz Hamburg <u>2008</u>		Otto- kraft- stoff	Diesel- kraft- stoff	Heizöl	Erdgas	Bio- masse	Strom	Fern- wärme	Summe	
Haushalte	Mt			0,7	1,3		2,2	0,5	4,7	
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Mt			0,3	0,4		2,1	0,5	3,4	
Straßenverkehr	Mt	1,1	1,9			0,0			3,0	
Schienenverkehr	Mt		0,0				0,3		0,3	
Industrie	Mt				0,8		3,0	0,1	3,9	
Summe	Mt	1,1	1,9	1,0	2,6	0,0	7,6	1,1	15,2	
Veränderung ggü. <u>2006</u>		-0,13	0,05	0,03	-0,39	0,00	0,67	-0,23	0,01	
										+0,1%

Die Hamburger Aluminiumwerke waren 2006 gar nicht und 2007 nur teilweise in Betrieb.
Abweichungen der Summenwerte beruhen auf Rundungsfehlern.

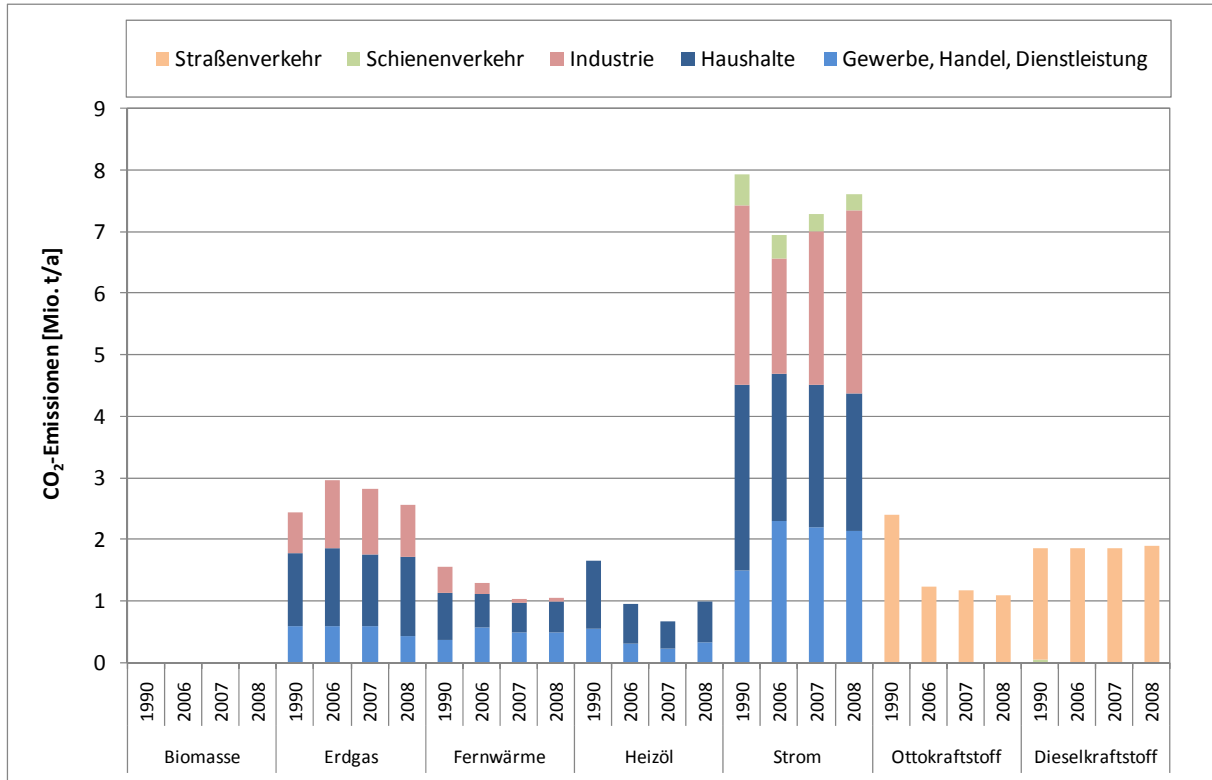


Abbildung 6: CO₂-Verursacherbilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2008 nach Endenergieträgern und Sektoren.

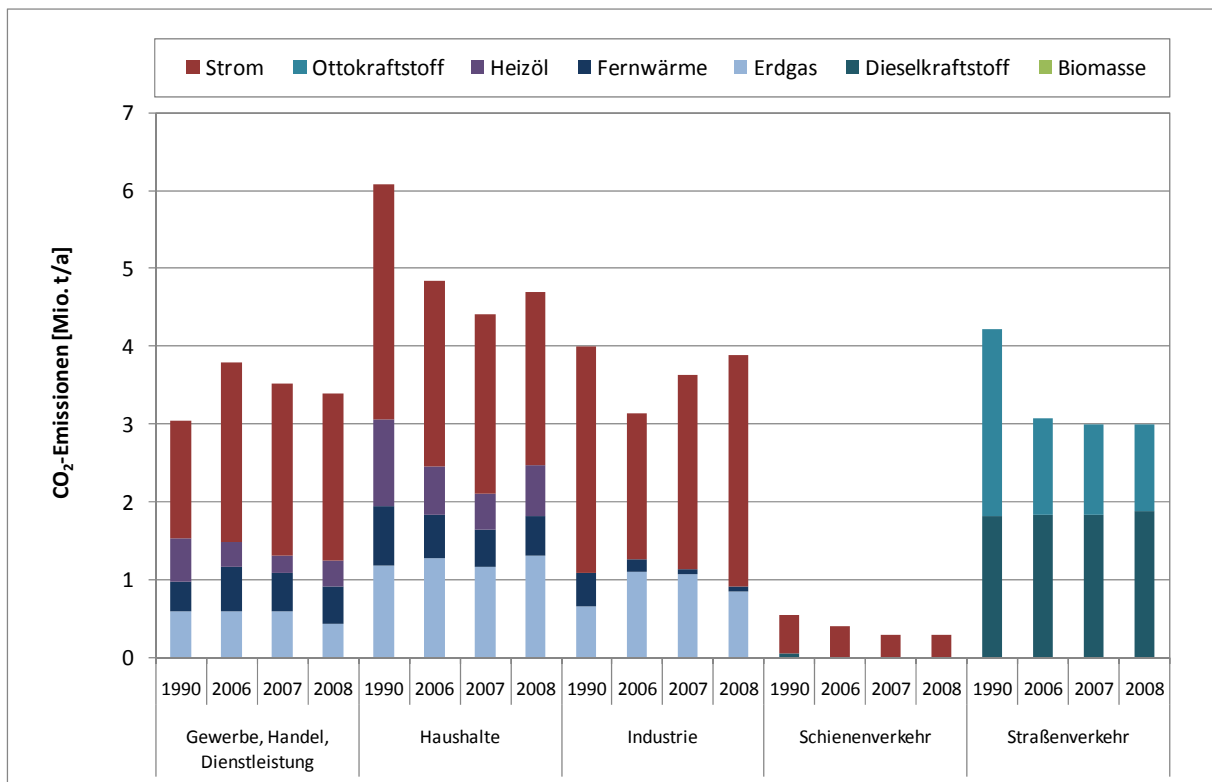


Abbildung 7: CO₂-Verursacherbilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2008 nach Sektoren und Endenergieträgern.

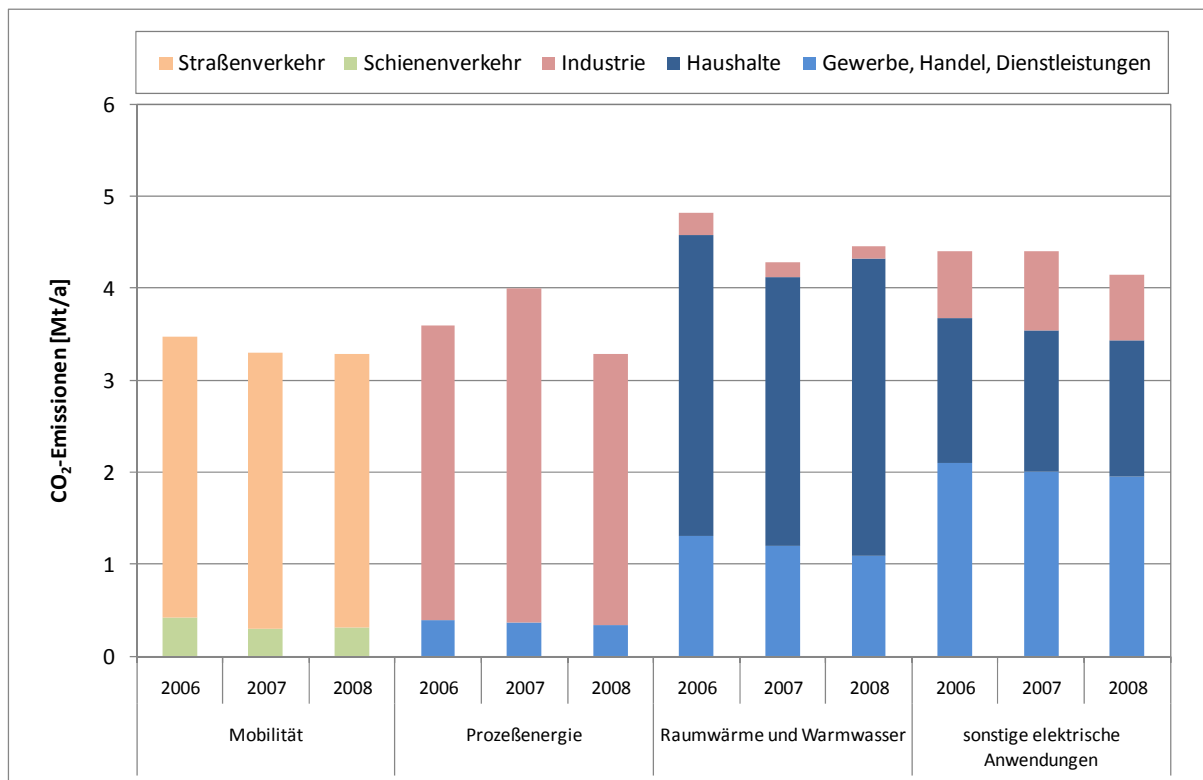


Abbildung 8: CO₂-Verursacherbilanz für Hamburg 2006 – 2008 nach Anwendungsgebieten und Sektoren.

* Sonstige elektrische Anwendungen: Elektrische Anlagen ohne Wärme, Mobilität und Prozessenergie

Die CO₂-Emissionen in Hamburg betragen 2006 nach dem hier verwendeten Bilanzierungsverfahren gut 15 Mio. Tonnen. Dies waren 2,6 Mio. Tonnen oder 15% weniger als 1990.

Die hier genannten Zahlen unterscheiden sich von den in den einschlägigen Drucksachen der Bürgerschaft zum Klimaschutz [FHH 2007, FHH 2008] dargestellten Werten zum einen aufgrund der in Kap. 2.1 dargestellten Abweichungen im Bilanzierungsverfahren und zum anderen durch die zwischenzeitlich erfolgte Korrektur der Energie- und CO₂-Bilanzen Hamburgs. Die hier ausgewiesenen CO₂-Emissionen sind um die Beiträge des Schiffs- und Flugverkehrs sowie der wegen ihrer geringen Bedeutung nicht weiter betrachteten Energieträger geringer als in den genannten Drucksachen. Für den Handlungsrahmen, um die für Hamburg angestrebten Ziele zu erreichen, ergeben sich dadurch keine wesentlichen Abweichungen.

Während sich die Aufteilung der CO₂-Emissionen auf die Sektoren nur geringfügig von derjenigen der Endenergie unterscheidet, verschieben sich die Gewichte bei den Energieformen erheblich. Allein die Nutzung von Strom ist für rund 46% der Hamburger CO₂-Emissionen verantwortlich (Abbildung 6). 25% entfallen auf Brennstoffe, 20% auf Treibstoffe und 8% resultieren aus der Fernwärme. Dabei ist aber zu beachten, dass die Emissionen der Heizkraftwerke, die den größten Teil der Fernwärme beisteuern, in der vom LAK verwendeten Systematik zum überwiegenden Teil dem Strom angelastet wurden.

Beim Energieeinsatz dominiert die Bereitstellung von Wärme deutlich. Die CO₂-Emissionen verteilen sich dagegen nahezu gleichmäßig auf die Anwendungsbereiche Raumwärme, Mobilität, Prozessenergie und sonstige elektrische Anwendungen (Abbildung 8).

2.4 Hamburgs Klimaschutzziele

Der Ausstoß von Treibhausgasen in Hamburg erfolgt zum überwiegenden Teil in Form von CO₂-Emissionen, die bei der Nutzung von Energie anfallen.

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat das Ziel, ihre energiebedingten CO₂-Emissionen gemäß der Verursacherbilanz bis 2020 um 40% gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern [FHH 2007, FHH 2008]. Dies soll so geschehen, dass eine Minderung um 80% bis 2050 möglich bleibt bzw. wird.

Nach dem in Kap. 2.3 beschriebenen Bilanzierungsverfahren haben die CO₂-Emissionen in Hamburg im Jahr 1990 17,9 Mio. t betragen. Somit ergibt sich ein Zielwert von 10,7 Mio. t CO₂ für 2020. Gegenüber dem Zustand von 2006 bedeutet dies eine Verringerung um weitere 5,5 Mio. t, wenn man davon ausgeht, dass die CO₂-Emissionen bei rund 16,2 Mio. t (statt 15,2 Mio. t) gelegen hätten, wenn die Aluminiumwerke in Betrieb gewesen wären.

Das hier vorgelegte Klimaschutzkonzept 2020 beschreibt die dazu – über die bereits bestehenden Regelungen hinaus – erforderlichen technischen, kaufmännischen und organisatorischen Maßnahmen sowie die politischen Instrumente, die erforderlich sind, damit diese Maßnahmen umgesetzt werden. Mögliche Instrumente sind dabei in erster Linie

- das Ordnungsrecht,
- marktbasierende Instrumente wie Förderung oder Steuern und Abgaben,
- die aktive und passive Bereitstellung von Information sowie
- die Zusammenarbeit mit Energienutzern, die sich in Selbstverpflichtungen der Akteure niederschlagen kann.

2.5 Ansatzpunkte für den Klimaschutz in Hamburg

Vor dem Hintergrund der bisherigen Ausführungen lassen sich nunmehr Handlungsoptionen für die Hamburger Politik identifizieren, mit denen sie das Erreichen ihrer Klimaschutzziele befördern kann.

Methodische Anmerkung: Berechnung von CO₂-Emissionen

Um Handlungsmöglichkeiten zu identifizieren, sollten absolute CO₂-Emissionen berechnet werden als Produkt aus

- einem Aktivitätsniveau,
- dem spezifischen Energiebedarf einer Technik sowie
- deren spezifischen CO₂-Emissionen.

Beispiel

Die Emissionen aus dem PKW-Verkehr ergeben sich durch die Multiplikation

- der gefahrenen PKW-Kilometer mit
- dem spezifischen Verbrauch des PKW gemessen in Litern pro 100 Kilometer und
- dem Emissionsfaktor des Treibstoffs gemessen in Kilogramm CO₂ je Liter.



Da diese Informationen nicht in allen Fällen zur Verfügung stehen, werden bei der Erstellung der Energiebilanz zum Teil andere Größen verwendet, um die Emissionen abzuschätzen. Um die Emissionen des Verkehrssektors zu ermitteln, werden beispielsweise die in Hamburg verkauften Treibstoffmengen herangezogen. Kontrollrechnungen haben gezeigt, dass dies eine gute Näherung darstellt.

Grundsätzlich kann zur Verringerung der absoluten Emissionen an allen drei oben genannten Punkten angesetzt werden. Die zugrundeliegende Aktivität kann verringert werden, die Effizienz der Technik kann verbessert werden oder es kann ein Energieträger verwendet werden, bei dessen Erzeugung und / oder Einsatz weniger CO₂ anfällt. Dabei ist zu bedenken, dass diese Maßnahmen im Hinblick auf die absolute CO₂-Minderung unter Umständen in Konkurrenz zueinander stehen.

Beispiele

- Um dieselbe Menge CO₂ zu sparen, müssen mehr PKW-Kilometer vermieden werden, wenn die Autos bereits deutlich sparsamer geworden sind.
- Die Vermeidung von Verkehr mindert die CO₂-Emissionen nicht weiter, wenn alle Autos mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden.
- Der Kauf von grünem Strom führt nicht mehr zu Emissionsminderungen, wenn der gesamte Strom bereits aus erneuerbaren Energien stammt.

Generell gilt: Hamburg hat wenig Einfluss auf die Verfügbarkeit bestimmter Techniken. Deren Entwicklung und Erprobung wird durch sehr viel größere Märkte getrieben und allenfalls durch nationale, wenn nicht internationale Rahmensetzungen gelenkt. Hamburg hat aber sehr wohl Einfluss darauf, wie hoch der Bedarf an Energiedienstleistungen in Hamburg ist und welche Techniken zu seiner Bedienung eingesetzt werden.

Die Nachfrage nach elektrischer Energie kann in Hamburg durch die Vermeidung bestimmter Einsatzarten wie der Klimatisierung von Gebäuden oder die effizientere Nutzung etwa durch energiesparende Hausgeräte reduziert werden.

Auf die Erzeugung elektrischer Energie hat Hamburg dagegen nur geringen direkten Einfluss. Die damit verbundenen CO₂-Emissionen werden vom LAK Energiebilanzen mit Hilfe eines Generalfaktors für die durchschnittlichen Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland ermittelt. Die Verwendung eines solchen Faktors spiegelt die Tatsache wieder, dass es für ganz Deutschland einen einheitlichen Strommarkt gibt, bei dem es keine Rolle spielt, wo die einzelnen Kraftwerke stehen. Zudem sind alle fossil gefeuerten Kraftwerke dem EU-weiten Emissionshandel unterworfen. Entscheidungen der Hamburger Politik für oder gegen bestimmte Anlagen zur Stromerzeugung sowie die Förderung oder der Bau von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in Hamburg haben somit unmittelbar nur geringe Auswirkungen auf die Verursacherbilanz der CO₂-Emissionen Hamburgs. Mittelbar kann Hamburg durchaus Einfluss ausüben, indem es bei anstehenden Investitionsentscheidungen mit gutem Beispiel voran geht und so Entscheidungsträger an anderer Stelle zur Nachahmung anregt.

Um den Stromnutzern in Hamburg im Sinne der oben beschriebenen Bedeutung der Rolle von Vorreitern neben der Nutzungsseite auch eine Handlungsmöglichkeit auf der Erzeugungsseite zu eröffnen, wird der freiwillige Bezug von Grünstrom bei der Emissionsberechnung gesondert berücksichtigt.

Methodische Anmerkung: Behandlung von Grünstrom bei der Bilanzierung

Für Grünstrom fallen per Definition keine CO₂-Emissionen an. Bezieht nun ein Verbraucher in Hamburg Grünstrom, so verursacht er (wie bei Bezug von Wärme aus solarthermischen Anlagen) keine CO₂-Emissionen [vgl. dazu Bode 2009]. Ob die Anlagen zur Stromerzeugung in Hamburg stehen und aus welchen Quellen der Grünstrom stammt, ist dabei unerheblich.

In Ergänzung zum Vorgehen des LAK Energiebilanzen wird in dieser Studie der Bezug von Grünstrom durch Akteure in Hamburg bei der Emissionsberechnung berücksichtigt. Dieser Aspekt wird außerhalb des LAK zurzeit intensiv diskutiert. Wichtig ist, dass es nicht zu Doppelzählungen kommt. Dies bedeutet zum einen, dass Strom der über die sogenannte EEG-Umlage von allen Letztverbrauchern bezahlt wird, nicht gesondert berücksichtigt werden darf. Zum anderen erfordert der Bezug von Grünstrom durch ausgewählte Verbraucher eine Anpassung der Emissionsfaktoren für den Standardstrom, den die verbleibenden Verbraucher beziehen. Der Emissionsfaktor für den Reststrom muss entsprechend steigen, da hier weniger CO₂-freie Erzeugungsanlagen verbleiben. Da diese systematische Anpassung der Emissionen des Standardstroms in Deutschland und Europa nicht erfolgt, muss dies im Rahmen der Hamburger Bilanzierung erfolgen.

Bei Raumwärme und Warmwasser sind die Handlungsmöglichkeiten Hamburgs sehr viel größer. Ein Bundesland bzw. eine Kommune kann hier sowohl auf die Nachfrage nach der entsprechenden Dienstleistung (Wohnfläche) als auch auf den spezifischen Heizwärmebedarf (Standard der Gebäude) sowie die verwendete Technik (Art und Effizienz der Heizungsanlage) Einfluss nehmen.

Bei der Mobilität kann Hamburg Einfluss nehmen auf die insgesamt nachgefragte Mobilitätsdienstleistung und die Wahl der Verkehrsträger. Es bestehen dagegen nur geringe Handlungsmöglichkeiten hinsichtlich der Verfügbarkeit bestimmter Techniken. So kann Hamburg auf die Entwicklung von Elektrofahrzeugen keinen wesentlichen Einfluss nehmen. Es kann aber sehr wohl dafür sorgen, dass die für ihre Nutzung erforderliche Infrastruktur (Ladestationen) vorhanden ist.

Tabelle 4 fasst die Wirkung der beschriebenen Optionen auf die Verursacherbilanz zusammen.



Tabelle 4: Wirkung von Hamburger Maßnahmen im Rahmen einer Verursacherbilanz.

Energiedienstleistung / Produkt		Wirkung von Hamburger Maßnahmen auf die Verursacherbilanz	Beispiel
Strom	Nachfrage	direkt über eine Verringerung der Nachfrage	Einsatz effizienter Kühlschränke
	Nachfrage	indirekt über Veränderungen in der Einsatzreihenfolge der Kraftwerke	Lastmanagement in Hamburg
	Erzeugung	indirekt und nur marginal über den Generalfaktor	Bau einer Windkraftanlage in Hamburg
Wärme	Nachfrage	direkt über geringere Aktivitätsniveaus	Begrenzung der Wohnflächenzunahme; energetische Optimierung von Gebäuden
	Erzeugung	direkt über geringere Emissionsfaktoren	Einsatz erneuerbarer Energien
Mobilität	Nachfrage	direkt durch geringere Aktivitätsniveaus	Verkehrsvermeidung durch Parkraummanagement
		direkt durch geringere Emissionsfaktoren	Verlagerung von Verkehr auf CO ₂ -arme Verkehrsträger
	Bereitstellung	direkt durch geringere Emissionsfaktoren	Infrastruktur für Elektrofahrzeuge

Neben den bisher genannten Ansatzpunkten ist die Nutzung lokaler Ressourcen eine wichtige Option für die Energieversorgung. Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes ist dabei vorrangig an erneuerbare Energiequellen zu denken. Da Hamburg ohnehin nicht über nennenswerte fossile Energie verfügt, ergibt sich letzteres von allein.

Abbildung 9 zeigt die Potentiale erneuerbarer Energien in Hamburg sowie den Bedarf an Strom und Raumwärme in 2006 und – im Vorgriff auf die folgenden Kapitel – für 2020. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die in Hamburg selbst verfügbaren erneuerbaren Energien nicht ausreichen, um den Bedarf zu decken. Vielmehr muss Hamburg als Metropolregion auch künftig Energie in der einen oder anderen Form importieren. Weiter ist erkennbar, dass lediglich die Solarthermie und Photovoltaik über Potentiale von mehr als 1 Terawattstunde (TWh = 1 Milliarde Kilowattstunden) pro Jahr verfügen. Insgesamt wird die in Hamburg verfügbare Dachfläche auf 14 - 20 Quadratkilometer geschätzt [Groscurth 2005]. Die genannten Potentiale für PV und Solarthermie sind jeweils mit der kompletten Fläche ermittelt worden. Da die Technologien um diese Flächen konkurrieren, können die Potentiale nicht addiert werden.

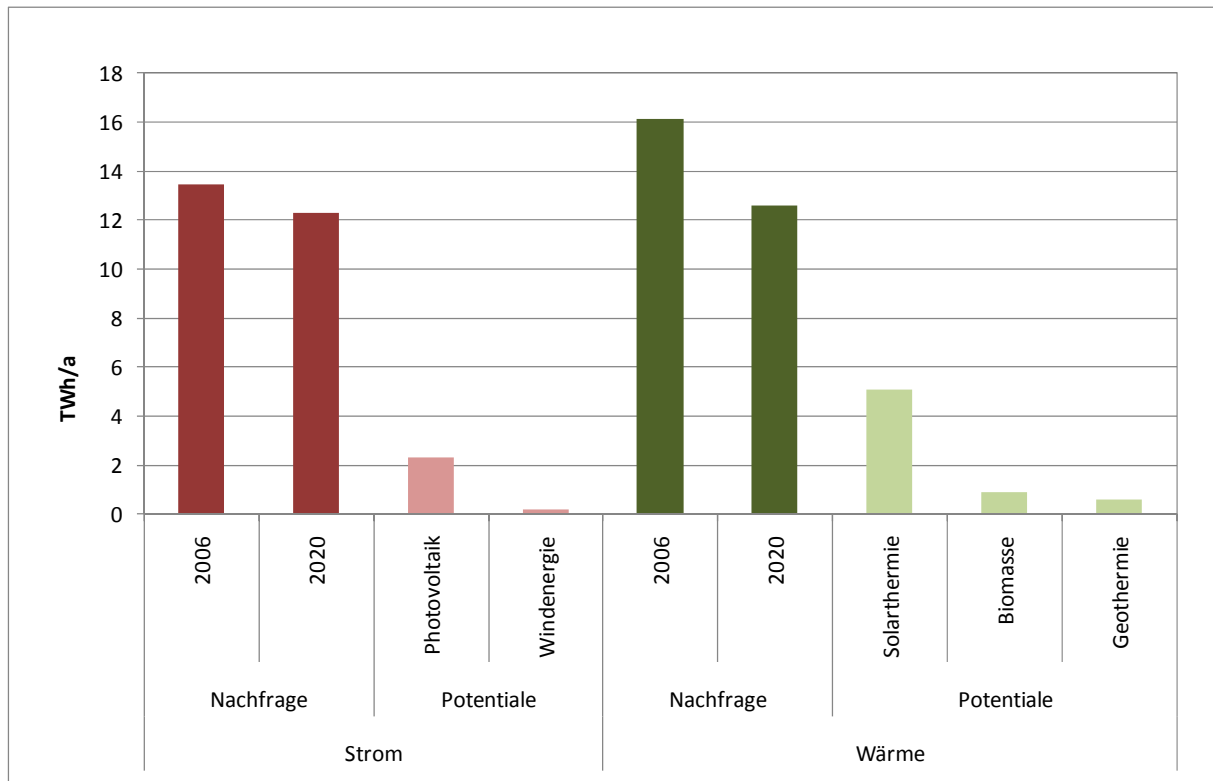


Abbildung 9: Potentiale erneuerbarer Energien in Hamburg im Vergleich zum Bedarf an Strom und Raumwärme in 2006 und 2020
 [Groscurth 2005, Marr und Wehner 2005, projects energy 2009].



3 TECHNIKEN ZUR NACHHALTIGEN ENERGIENUTZUNG

In diesem Kapitel werden zunächst die technischen Optionen für eine nachhaltige Energienutzung und die Minderung der CO₂-Emissionen zusammengefasst. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Techniken, die bereits heute kommerziell verfügbar sind. Die Darstellung erfolgt nach den vier großen Anwendungsgebieten von Energie:

- elektrische Energie,
- Raumwärme und Warmwasser,
- Prozesswärme und
- Mobilität.

3.1 Elektrische Energie

Elektrische Energie ist die wichtigste Endenergieform, da sie vielfältig einsetzbar, leicht zu transportieren und in der Anwendung schadstofffrei ist. Sie kann zudem vollständig in andere Energieformen wie mechanische Energie (Bewegung) oder Wärme umgewandelt werden. Sie wird deshalb in der Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Umso wichtiger sind der effiziente Umgang mit elektrischer Energie sowie ihre dauerhaft umweltgerechte Erzeugung.

3.1.1 Effiziente Nutzung elektrischer Energie

Einschlägige Studien weisen Einsparpotentiale bei der Nutzung von elektrischer Energie in der Größenordnung von 30% für private Haushalte, 25% bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie 20% in der Industrie aus [vgl. z.B. WI 2006].

In den meisten Fällen handelt es sich dabei um die Optimierung bestehender Geräte und Anlagen. So kommen die besten verfügbaren Kühlschränke mit einem Drittel der Energie üblicher Bestandsgeräte aus, neue Waschmaschinen benötigen nur die Hälfte des Stroms heute genutzter Geräte. Im produzierenden Gewerbe können drehzahlgeregelte Motoren für Förderanlagen, Lüfter oder Mixer Energie in ähnlicher Größenordnung sparen.

In einigen Bereichen sind seit einiger Zeit völlig neue Technologien am Markt. So lassen sich durch den Einsatz von LEDs im Vergleich zu Glühlampen fast 90% Strom einsparen. Zudem erlauben diese durch ihre geringe Größe völlig neue Bau- und Einsatzformen.

Es sind jedoch nicht immer allein technische Lösungen, die zum effizienten Umgang mit elektrischer Energie beitragen. Das vollständige Ausschalten von nicht benötigten Geräten oder das Abdecken von Kühl- und Gefriertruhen im Handel sind Beiträge, die die Nutzer selbst leisten können (vgl. dazu Kap. 5.2.1.1).

Die Bemühungen um mehr Energieeffizienz werden zum Teil durch gegenläufige Tendenzen konterkariert. So werden zwar effizientere Geräte gekauft, diese sind dafür aber größer (Kühlschränke, Fernseher etc.) oder werden häufiger genutzt (Waschmaschinen, Zweitkühlschränke) als die alten Geräte. Ebenso ist das starke Wachstum der Informations- und Kommunikationstechniken (IKT) mit immer neuen Produkten zu nennen.

In den meisten Fällen ist die Verbesserung der Energieeffizienz aus sich heraus wirtschaftlich, wenn man die Gesamtkosten für Anschaffung und Nutzung eines Geräts oder einer Anlage über einen angemessenen Zeitraum betrachtet. Dass dennoch oft nicht die effizienteste

Technik zum Einsatz kommt, hat vielfältige Gründe, auf die weiter unten noch näher eingegangen wird (vgl. Kap. 5.2.1)

Die Bundesregierung strebt im Entwurf ihres im Herbst 2010 vorgelegten Energiekonzepts an, den Stromverbrauch bis 2020 um 10% und bis 2050 um 25% zu senken [BMWi/BMU 2010].

Beispiel

Um 100.000 t CO₂ einzusparen, müssten eine Million Kühlschränke gegen die besten verfügbaren Geräte ausgetauscht werden.

Hintergrund: Wärme aus Strom

Einige Anwendungsformen elektrischer Energie sind – zumindest in ihrer heutigen Form – nicht unbedingt sinnvoll. So ist die Erzeugung von Raumwärme mit ihrem vergleichsweise geringen Temperaturniveau aus der wertvollen Energieform „Strom“ in schlecht gedämmten Gebäuden nicht zweckmäßig.

In Hamburg sind sogenannte Nachtspeicherheizungen noch weit verbreitet. Sie speichern Wärme, die aus Strom erzeugt wurde, und geben diese später an ihre Umgebung ab. Sie wurden ursprünglich eingeführt, um die Kernkraftwerke während des Nachfragetals in der Nacht auszulasten. Heute genießen sie unter anderem wegen ihrer ungenügenden Steuerbarkeit bei der Wärmeabgabe einen schlechten Ruf.

Wie weiter unten gezeigt wird, kann die Beurteilung der Wärmeerzeugung aus Strom in einem energieeffizienten Gebäude anders ausfallen (vgl. Kap. 3.2). Wenn nur wenig Heizwärme benötigt wird, kann es wirtschaftlich sinnvoll sein, diese elektrisch bereitzustellen. Wenn der benötigte Strom hauptsächlich aus erneuerbaren Energien stammt, ist dies auch klimapolitisch unbedenklich. Allerdings ist darauf zu achten, dass ein Wärmespeicher zum Einsatz kommt, damit die Abnahme elektrischer Energie dem Angebot aus erneuerbaren Energien angepasst werden kann. Die Bereitstellung von warmem Wasser mittels Durchlauf-erhitzern ist zwar energetisch effizient, verschärft aber die Problematik die fluktuierende Erzeugung aus erneuerbaren Energien und die schwankende Nachfrage zur Deckung zu bringen.

3.1.2 Nachhaltige Erzeugung elektrischer Energie

Wenn bis 2050 die Treibhausgas-Emissionen in Industriestaaten um 80% oder mehr reduziert werden sollen, dann muss die Erzeugung elektrischer Energie ohne den Ausstoß von CO₂ auskommen.

Im Prinzip sind dafür folgende Optionen vorhanden:

- erneuerbare Energien,
- CO₂-freie Nutzung fossiler Energien durch Rückhaltung und Lagerung des CO₂ (englisch: Carbon capture and storage – CCS) und
- Kernenergie.



In den letzten 20 Jahren ist es bereits gelungen, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland von 3,4% auf 16% zu steigern. Die wesentlichen Treiber dafür waren zunächst das Stromeinspeisegesetz (StrEG) von 1991 und seit 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Trotz einiger Rückschläge durch die Finanz- und Wirtschaftskrise setzt sich das Wachstum fort.

In der regelmäßig aktualisierten „Leitstudie Erneuerbare Energien“ haben Joachim Nitsch und Mitarbeiter für das Bundesumweltministerium (BMU) exemplarisch aufgezeigt, wie sich diese Entwicklung in der Zukunft fortsetzen kann [BMU 2008b, BMU 2010b]. Seit 2010 wird dabei nicht mehr von einem Leitszenario, sondern vom Basisszenario besprochen. Abbildung 10 zeigt den im Basisszenario 2010 angenommenen Ausbau erneuerbarer Energien von 16% in 2009 über 40% im Jahr 2020 bis zu mehr als 85% in 2050. Die wichtigsten Techniken sind dabei

- ein konstanter Sockel aus Wasserkraft (4%),
- ein massiver Ausbau der Windenergie (41%), vor allem offshore,
- eine begrenzte Nutzung von Biomasse (4%) und Biogas (4%) zur Stromerzeugung,
- Photovoltaik (10%),
- Geothermie (4%) sowie
- der Import von Strom aus solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa und Nordafrika (13%) [Trieb und Müller-Steinhagen 2007, Trieb 2008].

Für letzteres ist der Aufbau eines europaweiten Leitungssystems für die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung erforderlich.

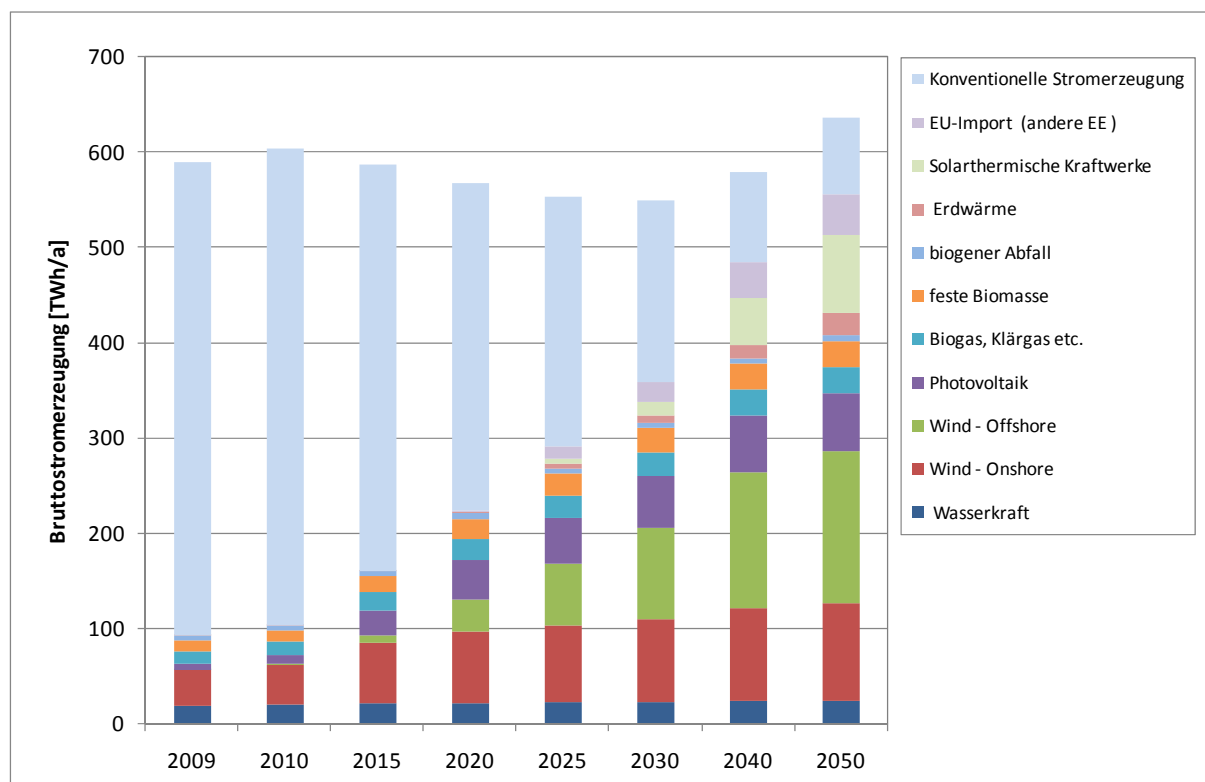


Abbildung 10: Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland gemäß BMU-Basisszenario 2010 [BMU 2010b].

Der Wiederanstieg der Stromnachfrage im Basisszenario ab 2030 resultiert aus der für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse benötigten elektrischen Energie.

Neben dem Basisszenario des BMU existieren eine Reihe von ähnlichen Konzepten, wie eine CO₂-freie Stromerzeugung ermöglicht werden kann. So haben der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) und das Umweltbundesamt (UBA) im Jahr 2010 ausführliche Studien zu einer Stromversorgung für Deutschland vorgelegt, die nahezu vollständig auf erneuerbare Energien zurückgreift [FVEE 2010, UBA 2010]. Das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) setzt im Unterschied dazu in einer mehr internationalen Perspektive auf eine Kombination von erneuerbaren Energien und CCS, während wieder andere Forschungseinrichtungen auch eine Rolle für neue Kernkraftwerke sehen. Ob und wenn ja, wann und zu welchen Kosten die CCS-Technik zur Verfügung stehen wird, ist aus heutiger Sicht offen [IPCC 2005, SRU 2009].

Die Bundesregierung hat im Jahr 2010 untersuchen lassen, wie sich verschiedene Pfade zur Verlängerung der Laufzeiten von Kernkraftwerken auf die Stromerzeugung auswirken [EWI 2010]. Chancen und Risiken der Kernenergie zu diskutieren würde den Rahmen dieses Gutachtens sprengen. Letztlich handelt es sich bei dem Gutachten im Kern um eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, bei der in allen untersuchten Szenarien die Ziele zur CO₂-Minderung erreicht werden. In ihrem Energiekonzept geht die Bundesregierung von einem Anteil von 80% der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in Deutschland im Jahr 2050 aus [BMWi/BMU 2010].

Mit welchem dieser Ansätze am Ende eine CO₂-freie Stromerzeugung in Deutschland erreicht wird, ist bei dem in diesem Gutachten gewählten Bilanzierungsansatz von geringer Bedeutung. Entscheidend ist vielmehr der Generalfaktor für die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung. Falls die Laufzeit der Kernkraftwerke verlängert werden sollte, wirkt sich das durch einen etwas geringeren Generalfaktor im Jahr 2020 aus. Für 2050 sind dagegen kaum Veränderungen zu erwarten, da die Kernkraftwerke dann in jedem Fall vom Netz gegangen sein werden. Die Beibehaltung der Annahme des Kernenergieausstiegs in dieser Studie stellt eine konservative Annahme hinsichtlich der in Hamburg erforderlichen zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen dar, da sie den Aufwand eher zu hoch als zu niedrig ansetzt.

Hintergrund: Smart Grids und virtuelle Kraftwerke

Viel diskutiert wird derzeit die Einführung sogenannter „Smart Grids“ und „virtueller Kraftwerke“. Letzteres bezeichnet die Zusammenfassung einer Vielzahl kleinerer Anlagen zu einer größeren Einheit, deren Stromerzeugung gemeinsam gesteuert und vermarktet wird. Unter „Smart Grid“ wird der Aufbau einer bidirektionalen Datenkommunikation im Stromnetz verstanden, die eine intelligente Steuerung von Nachfrage und Erzeugung ermöglicht.

Ziel ist dabei, die fluktuierende Produktion von Strom aus erneuerbaren Energien ausgleichen zu können. Vorstellbar ist beispielsweise, dass ein plötzliches Abfallen der Stromproduktion aus Windkraftanlagen, das durch deren Abschaltung aufgrund eines heranziehenden Sturms ausgelöst wird, durch die zeitweise Abschaltung von Lasten oder das Einschalten von Backupanlagen kompensiert werden kann.



Abbildung 11 zeigt die in der BMU-Leitstudie 2008 aus vorliegenden Erfahrungen abgeleitete Entwicklung der Stromgestehungskosten für die oben diskutierten Techniken im Vergleich mit der Bandbreite des Großhandelspreises in 2008 und 2009. Dabei fällt auf, dass alle Techniken mit Ausnahme der PV ab 2030 innerhalb der Bandbreite liegen, die in den letzten beiden Jahren für die konventionelle Stromerzeugung galt. Steigende Brennstoffpreise können hier aber in der Zukunft leicht wesentlich höheren Niveaus führen. Dies würde die erneuerbaren Energien mit der möglichen Ausnahme der Biomasse nicht treffen. Insofern ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien eine Absicherung gegen steigende Preise für konventionelle Energieträger.

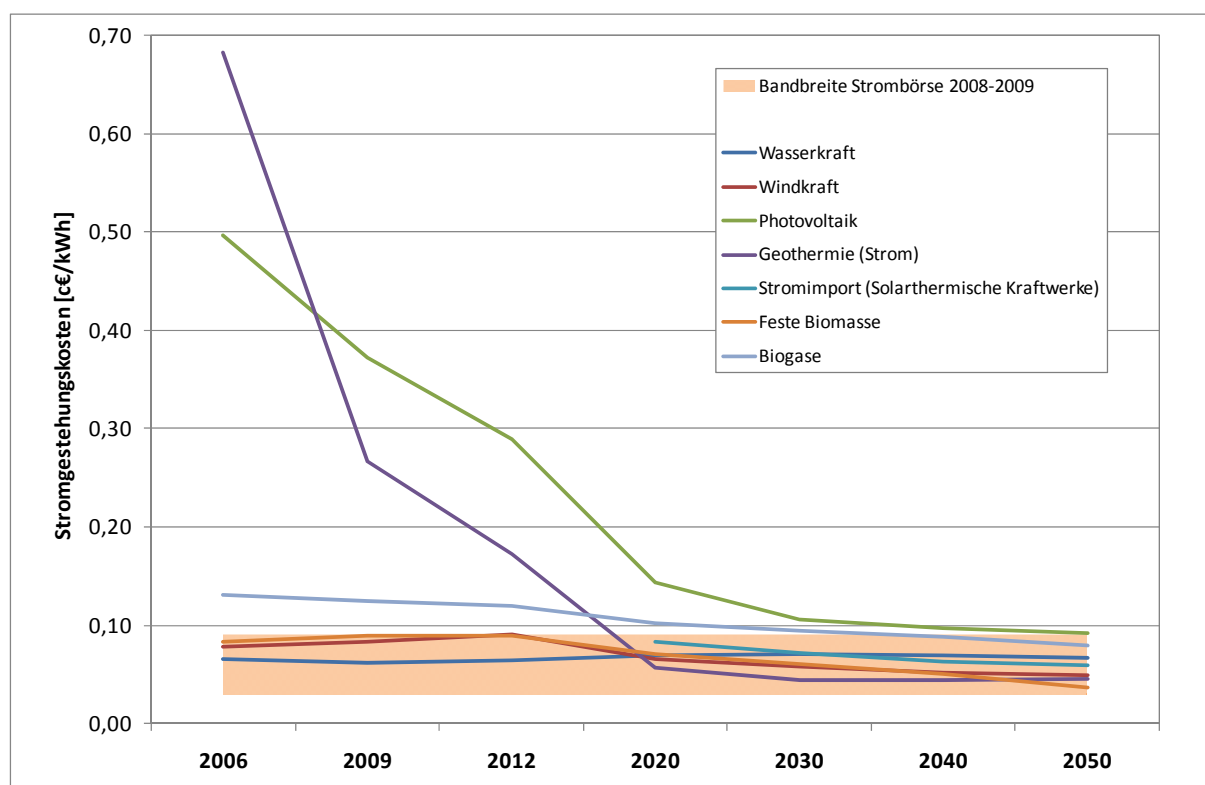


Abbildung 11: Entwicklung der Stromgestehungskosten verschiedener Techniken bis 2050 [BMU 2008b].

Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der mittleren spezifischen CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung in Deutschland gemäß der BMU-Leitstudie 2008 und des BMU Basisszenarios 2010 [BMU 2008b, 2010b]. Diese gehen von 600 g/kWh im Jahr 2005 auf 500 g/kWh (Leitstudie 2008) bzw. 450 g/kWh (Basisszenario 2010) in 2020 zurück. Bis 2050 wird der Wert unter 100 g/kWh fallen. Die Unterbrechung des stetigen Rückgangs zwischen 2015 und 2020 ist dem in Leitstudie und Basisszenario unterstellten Ausstieg aus der Kernenergie geschuldet. Im Folgenden wird die Entwicklung gemäß BMU-Basisszenario 2010 zugrunde gelegt.

Beispiel

Um über die gezeigte Entwicklung hinaus 100.000 t CO₂ einzusparen, müssten heute 70.000 Haushalte freiwillig Grünen Strom beziehen. Aufgrund der stetigen Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien bei der allgemeinen Stromversorgung steigt diese Zahl bis 2020 auf 80.000 Haushalte und bis 2030 auf 120.000 Haushalte.

Wenn im Jahr 2050 die Stromerzeugung nahezu CO₂-frei erfolgt, verliert das freiwillig bezogene Produkt „Grüner Strom“ seinen Sinn.

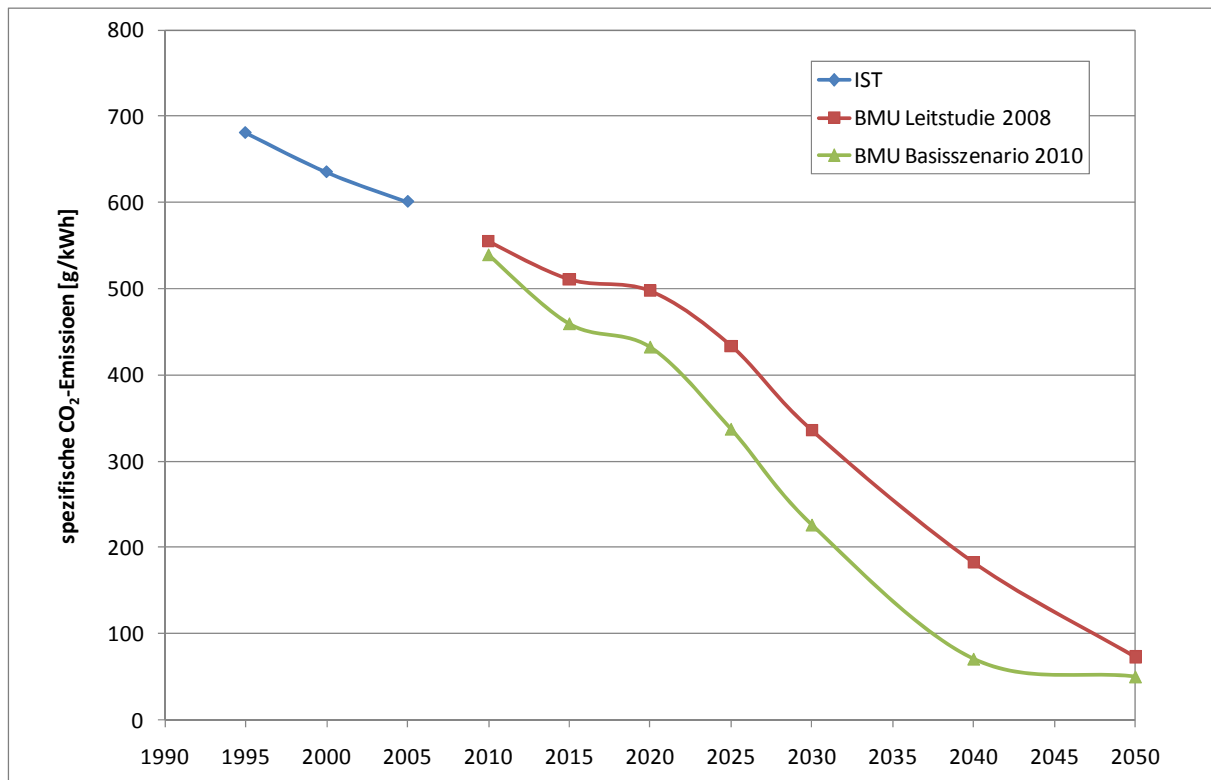


Abbildung 12: Entwicklung der mittleren spezifischen CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung in Deutschland (Generalfaktor) gemäß BMU-Leitstudie 2008 und BMU-Basisszenario 2010 [BMU 2008b, BMU 2010b].

Schlussfolgerungen für Hamburg

Ansatzpunkte für ein Handeln der Politik in Hamburg mit Bezug zu elektrischer Energie ergeben sich vorrangig beim Einsatz effizienter Techniken und dem Aufbau einer Infrastruktur, die eine intelligente Beeinflussung der Stromnachfrage ermöglicht. Daneben können und sollen die lokalen Potentiale an erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung durch interessierte Investoren genutzt werden.



3.2 Raumwärme und Warmwasser

3.2.1 Energieeffiziente Gebäude

3.2.1.1 Wärmeschutz für Neubauten

Der technisch mögliche Wärmeschutz („Best available technology“) für Neubauten wird heute durch das sogenannte *Passivhaus* (Abbildung 13) beschrieben. Sein Jahresheizwärmebedarf liegt unter 15 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$], das entspricht rund 1,5 Litern Heizöl pro Quadratmeter und Jahr und liegt um den Faktor 10 unter dem Wert, der noch in den 1980er Jahren für Neubauten zulässig war.

Das erste Passivhaus wurde 1990 von Wolfgang Feist in Darmstadt gebaut. Heute gibt es in Deutschland einige tausend Passivhäuser, mittlerweile auch als Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude, so dass umfangreiche praktische Erfahrungen mit dieser Technik vorliegen.

Passivhäuser benötigen keine konventionelle Heizungsanlage mehr. Dies führt zu erheblichen Kosteneinsparungen, da die entsprechenden Rohre und Heizkörper sowie (je nach Warmwasser-Bereitung) auch der Schornstein entfallen können. Für länger andauernde, sehr kalte Perioden kann eine Nachheizung über die ohnehin notwendige Lüftungsanlage erfolgen.

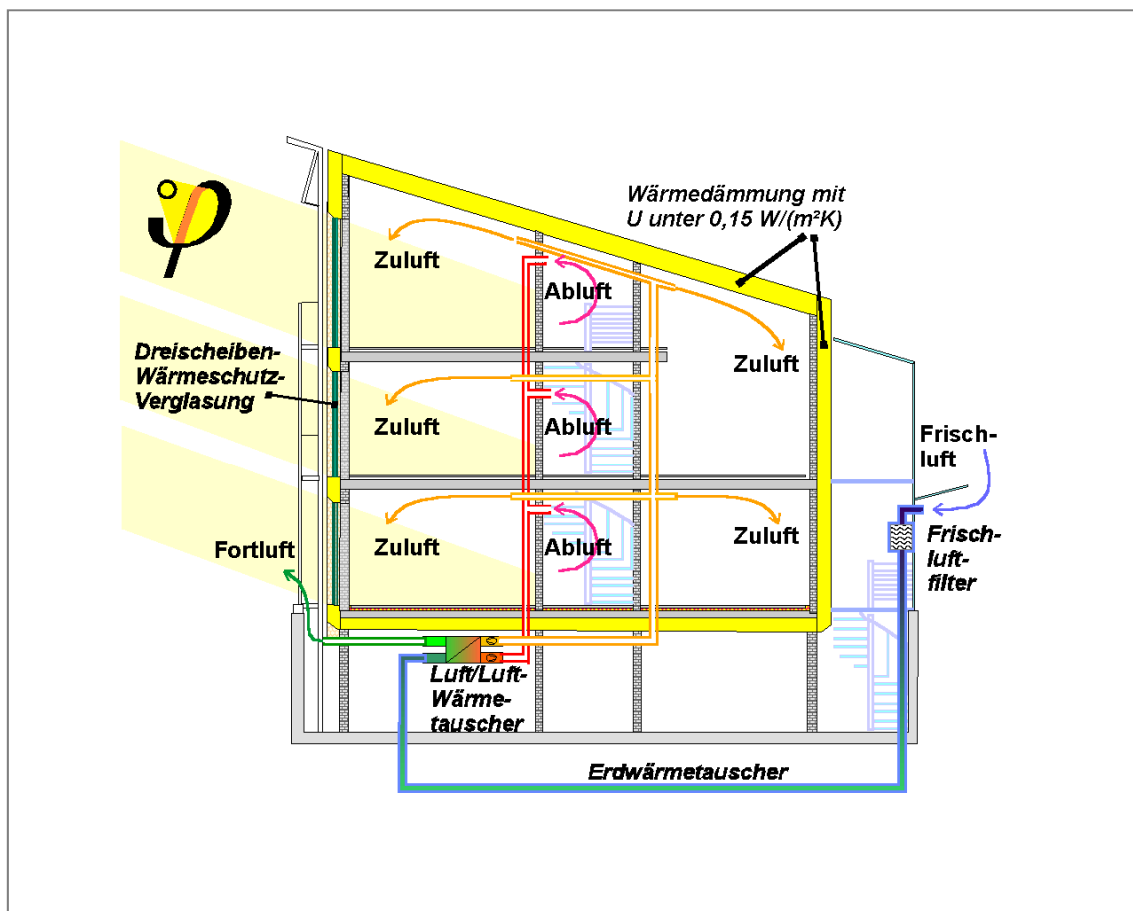


Abbildung 13: Prinzipien des Passivhauses [Passivhaus Institut Darmstadt, www.passiv.de].

Die Kosten eines Passivhauses liegen um maximal 10-20% über denen eines vergleichbaren Hauses nach geltenden Bauvorschriften. Unter günstigen Umständen ist es sogar möglich, ohne Mehrkosten auszukommen. Wo dies heute noch nicht erreicht wird, sollten sich die Kosten senken lassen, wenn mehr lokale Erfahrungen mit dem Bau von Passivhäusern vorliegen. Ein Passivhaus kann als Absicherung gegen künftig steigende Energiepreise gesehen werden.

Passivhäuser gehen an den Rand des technisch machbaren. Obwohl es technisch möglich ist, auch den ohnehin geringen Restwärmebedarf eines Passivhauses noch zu vermeiden, stellt sich die Frage, ob der dafür zu treibende Aufwand noch im Verhältnis zum Nutzen steht. Da für die Warmwasser-Bereitung sowieso ein Wärmeerzeuger im Haus vorhanden sein muss, kann es kostengünstiger und auch aus Umweltsicht vertretbar sein, den restlichen Heizwärmebedarf darüber abzudecken. Dies gilt insbesondere dann, wenn dabei auch noch erneuerbare Energien zum Einsatz kommen.

Die EU steht kurz davor, eine Richtlinie zu verabschieden, die ab 2020 EU-weit das Passivhaus als Standard für Neubauten vorschreiben wird.

Schlussfolgerungen für Hamburg

Zur Reduzierung des Wärmebedarfs sollten Neubauten so bald wie möglich nur noch im Passivhaus-Standard erfolgen. Die Mehrkosten gegenüber der derzeitigen Norm in Höhe von 10-20% der Investition stellen auch eine Versicherung gegen steigende Energiepreise dar.

3.2.1.2 Wärmeschutz für Altbauten

Auch Altbauten können im Prinzip bis in die Größenordnung des Passivhaus-Standards energetisch saniert werden. Dabei sind dieselben Grundsätze zu beachten, die auch für Neubauten gelten. Allerdings können in der Praxis eine Reihe von Restriktionen von Denkmalschutzanforderungen über die Ausrichtung des Gebäudes bis hin zu Platzfragen auftreten, die die Einsparmöglichkeiten begrenzen.

Die bei einer optimalen Sanierung entstehenden Kosten liegen häufig in der Größenordnung eines vergleichbaren Neubaus. Da neben dem Energiebedarf auch andere Kriterien für die Modernisierung von Gebäuden wichtig sind wie etwa altersgerechtes Wohnen oder der Einsatz moderner Kommunikationstechniken, sollte mehr als bisher darüber diskutiert werden, welche Gebäude langfristig erhalten und welche besser abgerissen und neu gebaut werden sollten. Wenn Gebäude zwar nicht unmittelbar, aber doch mittelfristig zum Abriss anstehen, dann können bei ihrer energetischen Optimierung Kompromisse eingegangen werden, um Kosten zu sparen.

Der Gebäudebestand unterliegt einem ständigen Instandhaltungs- und Modernisierungsprozess. Wenn Wärmeschutzmaßnahmen an ohnehin durchgeführte Modernisierungsmaßnahmen gekoppelt werden, ergeben sich deutlich geringere ökonomische und ökologische Kosten als wenn sie isoliert ergriffen werden. Wird dieses *Kopplungsprinzip* befolgt, dann können viele Kostenpunkte wie Baustelleneinrichtung und Gerüstbau nicht der Energieeinsparung, sondern der allgemeinen Instandsetzung zugerechnet werden.



Wenn man die Kosten für die eingesparte Energie bei tatsächlich durchgeführten Sanierungen mit dem Heizölpreis des Sommers 2008 von bis zu 10 Cent/kWh vergleicht, sieht man, dass viele der Maßnahmen unter diesen Bedingungen wirtschaftlich sind [vgl. dazu z.B. Loga et al. 2007].

Gearbeitet wird noch an Verbesserungen von Details, wie z.B. Vakuum-Isoliermaterialien für die Innendämmung, und an Kosteneinsparungen, vor allem bei der Nachrüstung von Altbauten. Außerdem gilt es noch, das Optimum zwischen immer besserer Dämmung und der Bereitstellung der restlichen Energie zu finden.

Die hier beschriebenen Prinzipien sind auch auf Gewerbebauten, vor allem Bürogebäude, anwendbar, so dass diese hier nicht gesondert behandelt werden müssen.

Beispiel

Um 100.000 t CO₂ einzusparen, müssen rund 4 Mio. Quadratmeter Wohnfläche – das sind fast 60.000 Wohneinheiten – in typischen Hamburger Mehrfamilienhäusern, die vor 1979 gebaut wurden, auf Neubaustandard saniert werden.

Schlussfolgerungen für Hamburg

Wenn Altbauten saniert werden, können und sollten sie energetisch mindestens auf den Stand von Neubauten gemäß der heute geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) gebracht werden, was einem Energiebedarf von 3-4 Litern Heizöl pro Quadratmeter und Jahr entspricht. Für viele Gebäude ist auch eine weitergehende Sanierung mit Passivhausniveau-komponenten möglich. Ausnahmen, z.B. aus Gründen des Denkmalschutzes, sind nur für einen kleinen Teil der Gebäude notwendig.

3.2.2 Nachhaltige Bereitstellung des Restwärmebedarfs in Gebäuden

Auch energetisch optimal gestaltete Gebäude haben noch einen Restbedarf an Wärme, zum einen für die Bereitstellung von Warmwasser sowie zum Kochen und zum anderen, weil die Reduzierung des Heizwärmebedarfs auf Null in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Um den restlichen Energiebedarf bereit zu stellen, gibt es eine Reihe von Möglichkeiten (Tabelle 5).

Generelles Ziel sollte es sein, die Nutzung fossiler Brennstoffe für die Energieversorgung von Gebäuden auf wenige Ausnahmen wie besondere Baudenkmäler zu beschränken.

Weiter ist anzustreben, Heizungen mit möglichst niedrigen Vorlauftemperaturen zu betreiben, weil so die Nutzung von erneuerbaren Energien und von Wärmepumpen erleichtert wird.

Tabelle 5: Grundsätzliche Möglichkeiten für die dauerhaft umweltgerechte Wärmeversorgung von Gebäuden.

Dezentral (einzelnes Gebäude)	Zentral (Nah- und Fernwärmesysteme)
<p>elektrische Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Direktheizung in sehr gut gedämmten Gebäuden (vorrangig aus zeitweisen Überschüssen bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien) • mittels Wärmepumpen <ul style="list-style-type: none"> • Luft, Wasser, Erdwärme <p>Solarkollektoren</p> <p>Bioenergie</p> <ul style="list-style-type: none"> • feste Biomasse (Pellets) • Pflanzenöl (ggf. als Mikro-KWK) 	<p>elektrische Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> • mittels Großwärmepumpe ggf. in Kombination mit Abwärmenutzung <p>Solarkollektoren</p> <ul style="list-style-type: none"> • ggf. mit saisonalen Speichern <p>Bioenergie</p> <ul style="list-style-type: none"> • feste Biomasse (Holzhackschnitzel aus Restholz oder Energiepflanzen) • Biogas <p>Abwärmenutzung</p> <p>Tiefengeothermie</p>

Die Versorgung eines jeden Gebäudes mit Strom ist eine Selbstverständlichkeit. Wie in Kap. 3.1.2 gezeigt, wird es bis 2050 möglich sein, Strom dauerhaft umweltgerecht zu erzeugen. Vor diesem Hintergrund und aufgrund der geringen Menge ist es durchaus eine Option, die Restwärme für optimierte Gebäude mit Hilfe von Strom zu erzeugen. Dies gilt besonders dann, wenn dabei noch auf Wärmepumpen zurückgegriffen werden kann, die es ermöglichen, Umgebungswärme zu nutzen. Hinzu kommt, dass es mittelfristig Zeiten im Jahr geben wird, in denen mehr Strom aus erneuerbaren Energien produziert werden könnte als zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächlich gebraucht wird. Dieser Strom stünde letztlich kostenfrei zur Verfügung, da die Anlagen andernfalls abgeregelt werden müssten. Da sich Strom nur mit hohem Aufwand speichern lässt, könnte man ihn in Wärme umwandeln und diese für einige Stunden oder wenige Tage speichern. Modellrechnungen zeigen jedoch, dass überschüssiger Strom und Bedarf an Heizstrom zeitlich schlecht korreliert sind, so dass zumindest bis 2030 häufig konventionelle Kraftwerke den Heizstrom erzeugen. Dies verringert den CO₂-Vorteil der Wärmepumpe.

Der Einsatz von Strom zur Wärmeerzeugung wird zudem begrenzt durch die verfügbare Kapazität zur Stromerzeugung. Wenn für Heizzwecke neue konventionelle Kraftwerke gebaut werden müssten, so würden an dieser Stelle zusätzliche Kosten und CO₂-Emissionen anfallen, die die lokalen Vorteile aufheben.



Hintergrund: Wärmepumpen

Wärmepumpen ermöglichen die Nutzung von Umgebungswärme für die Bereitstellung von Nutzwärme. Sie funktionieren im Prinzip wie Kühlschränke, nur dass sie die Wärme in den zu heizenden Raum hinein und nicht aus ihm heraus transportieren.

Wärmepumpen können verschiedene Medien nutzen, um ihnen Wärme zu entziehen, die Umgebungsluft, (Grund-) Wasser oder das oberflächennahe Erdreich. Je nach Medium und Temperaturniveau kann die Wärmepumpe das ganze Jahr betrieben werden und den gesamten Wärmebedarf decken (monovalenter Betrieb). Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen wurde jedoch bislang häufig ein zweites Heizungssystem eingesetzt (bivalenter Betrieb), was die Kosten stark erhöht.

Wenn die Wärmeerzeugung nicht mit Hilfe von Strom erfolgen soll, dann ist eine Grundsatzentscheidung zu treffen, ob die Wärme dezentral, d.h. für das einzelne Gebäude oder zentral also mit Hilfe von Nah- und Fernwärmesystemen bereitgestellt werden soll. Als Wärmequellen kommen dabei Erdwärme, Sonnenenergie und Biomasse in Frage (Tabelle 5). Generell haben größere Anlagen einen höheren Wirkungsgrad und niedrigere spezifische Kosten. Dem stehen aber der Aufwand für die Verteilung der Wärme sowie die dabei entstehenden Verluste entgegen.

Beispiel

Um den Ausstoß von 100.000 t CO₂ in Hamburg zu vermeiden, können

- 1,3 Mio. Quadratmeter Solarkollektoren installiert,
- der Nutzungsgrad der Heizung in 350.000 Wohneinheiten um 10% verbessert, oder
- der Anteil der Steinkohle in der Fernwärme um 10% verringert werden.

Abbildung 14 zeigt die Entwicklung der Wärmebereitstellungskosten für verschiedene oben beschriebene Techniken im Vergleich mit der Bandbreite, die in den Jahren 2008-2009 vorherrschte. Die Kosten liegen teilweise höher als die in Abbildung 12 dargestellten Stromgestehungskosten, was zunächst verwundert. Grund ist die Tatsache, dass für Strom nur die reinen Erzeugungskosten ohne Verteilung und Vertrieb aufgeführt sind, während für die Wärme die Kosten „frei Haus“ wiedergegeben sind.

Es ist zu erkennen, dass die Bereitstellungskosten für alle Techniken mit Ausnahme der dezentralen Nutzung von Geothermie bereits 2020 innerhalb der Bandbreite für die konventionelle Heizung für 2008 und 2009 liegen. Während sich die Preise für konventionelle Energien mittelfristig ohne weiteres über das 2008 erreichte Niveau erhöhen können, sind die erneuerbaren Energien, wiederum mit Ausnahme der Biomasse, davon nicht betroffen.

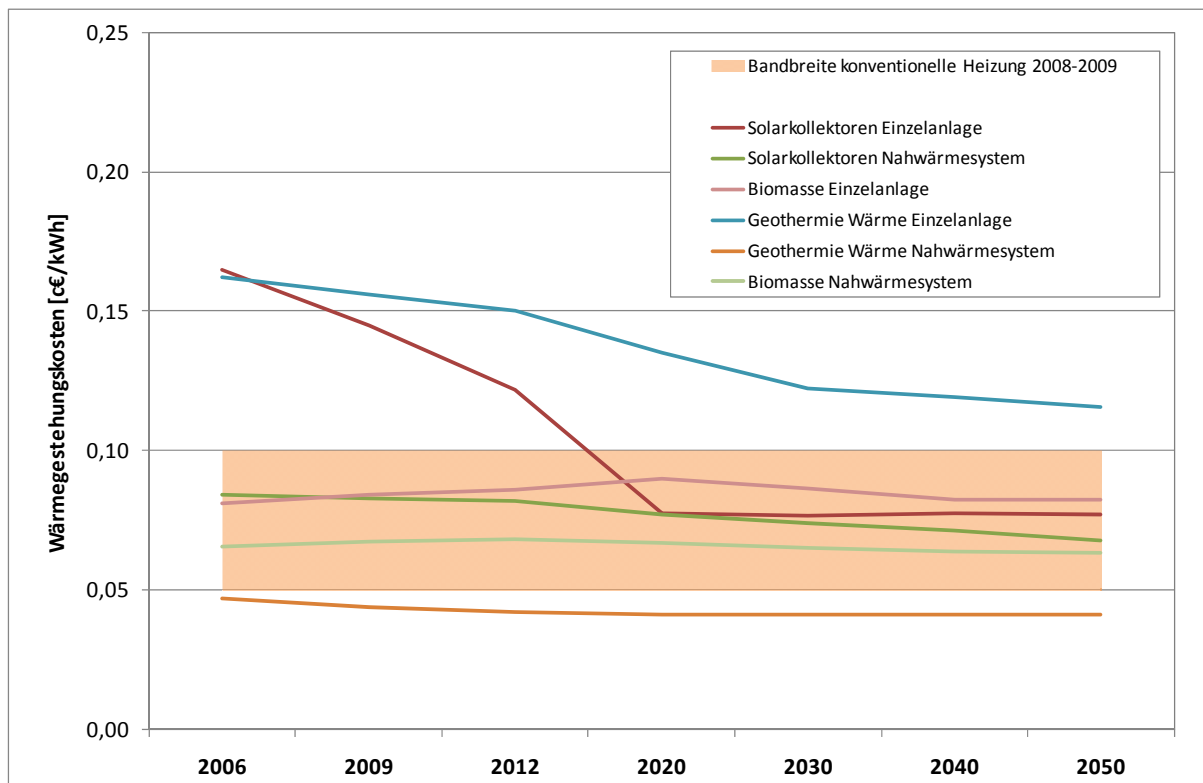


Abbildung 14: Entwicklung der Wärmebereitstellungskosten verschiedener Techniken [BMU 2008b].

Schlussfolgerungen für Hamburg

Auf der Basis der heute vorliegenden Erkenntnisse und Erfahrungen kann noch keine Grundsatzentscheidung zwischen dezentraler und zentraler Wärmeversorgung getroffen werden. Mit einiger Wahrscheinlichkeit wird man feststellen, dass die Wahl des optimalen Systems von den lokalen Gegebenheiten abhängt. Die verschiedenen Optionen sollten daher in den nächsten Jahren näher erforscht und in Systemen hinreichender Größe (Stadtquartiere oder Stadtteile) praktisch erprobt werden. Erst wenn diese erfolgt ist, kann eine Festlegung in der Breite erfolgen.

Kraft-Wärme-Kopplung

Die gekoppelt Erzeugung von Strom (Kraft) und Wärme – auch Kraft-Wärme-Kopplung oder kurz KWK genannt – gilt als eine wichtige Möglichkeit, um die Energieeffizienz zu verbessern. So verfolgt die Bundesregierung das Ziel, den Anteil der KWK an der Stromerzeugung bis 2020 auf 25% zu verdoppeln. Allerdings haben wir schon in Kap. 3.1.2 gesehen, dass fossile Energien langfristig in der Stromerzeugung keine wesentliche Rolle mehr spielen dürfen, auch dann nicht, wenn dies in Form von Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt.



Hintergrund: Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung

Die Stromerzeugung mit Hilfe von Dampf- oder Gasturbinen folgt den Gesetzen thermodynamischer Kreisprozesse. Dabei durchlaufen energietragende Medien (Dampf bzw. heiße Verbrennungsgase) verschiedene Zustände hinsichtlich Druck, Temperatur und Volumen und wandeln dabei thermische Energie in mechanische Energie um. Der Wirkungsgrad einer solchen Umwandlung ist begrenzt durch den sogenannten Carnot-Faktor $(1-T_0/T)$. Beide Temperaturen T und T_0 sind in Kelvin, nicht in Grad Celsius anzugeben. Dabei gilt: $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$. Für Temperaturunterschiede gilt $1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$.

T ist das obere Temperaturniveau des Prozesses, in einem Kraftwerk typischerweise die Temperatur des Dampfes oder der Verbrennungsgase beim Eintritt in die Turbine. T_0 ist das untere Temperaturniveau, gegen das gearbeitet wird. Im Idealfall wird der Dampf wieder zu Wasser bei Umgebungstemperatur kondensiert. Aus diesem Grund werden Anlagen, die ausschließlich Strom erzeugen auch als *Kondensationskraftwerke* bezeichnet. Im Gegensatz dazu werden Anlagen, die Strom und Wärme produzieren, *Heizkraftwerke* genannt.

Wärme auf dem Niveau der Umgebungstemperatur T_0 ist jedoch wertlos und für die Gewinnung von Raumwärme, die ja gerade oberhalb der Umgebungstemperatur liegen soll, ungeeignet. In einer KWK-Anlage muss daher Dampf mit höherer Temperatur ausgekoppelt werden. Dieser hat dann gemäß dem Carnot-Faktor auch noch einen Rest von Arbeitsfähigkeit (= Fähigkeit zur Erzeugung mechanischer Energie), der zur Stromerzeugung nicht mehr zur Verfügung steht. Deshalb ist der elektrische Wirkungsgrad eines Heizkraftwerks geringer als derjenige eines Kondensationskraftwerks. Er ist umso kleiner, je mehr Wärme ausgekoppelt wird. Gleichzeitig nimmt der Volumenstrom des Dampfes ab, der die Turbine antreibt. Somit sinkt auch die elektrische Leistung des Heizkraftwerks. Beide Effekte sind zu berücksichtigen, wenn es gilt den Nutzen der Kraft-Wärme-Kopplung zu beurteilen.

Ob Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll eingesetzt werden kann, hängt von den lokalen Gegebenheiten ab. KWK-Anlagen erzeugen Strom und Wärme in einem bestimmten Verhältnis. Je besser die Nachfrage nach Strom und Wärme diesem Verhältnis entspricht, desto größer sind die Vorteile der KWK. Leider sind die optimalen Voraussetzungen in der Praxis nicht immer anzutreffen. Wenn sie gegeben sind, lassen sich bis zu 30%, manchmal sogar 40% der notwendigen Brennstoffe gegenüber der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme einsparen. Deshalb lohnt sich eine genaue Prüfung, ob die Installation einer dezentralen KWK-Anlage (BHKW) in Einzelgebäuden oder Siedlungsquartieren sinnvoll ist. Dann fallen auch die bei einer Versorgung über größere Netze (Fernwärme) oft prohibitiv hohen Transport- und Verteilungsverluste weg. Andererseits zeigt die Größenordnung der eingesparten Energie, dass die KWK auf der Basis fossiler Brennstoffe den langfristigen CO_2 -Minderungsanforderungen nicht genügt und allenfalls eine Übergangstechnologie sein kann.

Computermodelle zeigen zudem, dass in vielen praktischen Beispielen die für die KWK reklamierten Einsparungen in erster Linie aus dem Wechsel des Brennstoffs von Kohle zu Erdgas sowie aus dem Ersatz einer alten durch eine neue Anlage resultieren. Gerade bei der Bereitstellung von Raumwärme beträgt der energetische Vorteil der KWK oft nur 10% oder weniger gegenüber einer getrennten Bereitstellung, was die Kosten für Transport und Verteilung nicht rechtfertigt [Groscurth 2010].

Für industrielle Anwendungen mit einer hohen Zahl von Nutzungsstunden für die erzeugte Wärme sind die Einsparungen allerdings vielfach deutlich größer. Die Anlagen werden dann meist in der Nähe der Wärmesenke installiert, so dass ein Transport über weite Strecken und eine aufwendige Verteilung entfallen.

Wird Biomasse als Brennstoff für die KWK verwendet, so ist diese unter klimapolitischen Gesichtspunkten eine Option, falls sie wirtschaftlich betrieben werden kann.

Fazit zur Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf der Basis fossiler Energieträger ist eine Übergangstechnologie, die nur dann Sinn macht, wenn die jeweilige Anlage eine hohe Zahl von Nutzungsstunden erreicht. Dies ist für neue Nah- und Fernwärmesysteme im Einzelfall sorgfältig zu prüfen.

Bestehende Fernwärmesysteme sollten unabhängig davon soweit wie möglich auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, solange fossile Energieträger eingesetzt werden. Dabei ist der Einsatz von Erdgas der Nutzung von Kohle unter klimapolitischen Gesichtspunkten eindeutig vorzuziehen. Die Systeme sollten so angepasst werden, dass eine Integration von erneuerbaren Energien und Abwärme möglich wird.

Schlussfolgerungen für die Wärmeversorgung in Hamburg

Neue und energetisch sanierte Gebäude sollten soweit wie möglich auf der Basis erneuerbarer Energiequellen mit Wärme versorgt werden.

Unter welchen Bedingungen dies besser zentral oder dezentral zu erfolgen hat, sollte in Feldversuchen auf der Basis von Quartieren oder Stadtteilen erprobt werden.

Das bestehende Hamburger Fernwärmesystem sollte so umgestaltet werden, dass die Wärmeversorgung am besten aus erneuerbaren Energien oder – für eine Übergangszeit – aus Erdgas-basierter KWK erfolgt.

3.3 Prozessenergie

Es gibt industrielle Prozesse, bei denen notwendigerweise CO₂ entsteht, so z.B. in der Zement- oder der Stahlherstellung. Diesen Prozessen wird ein guter Teil der 2050 noch zulässigen CO₂-Emissionen vorbehalten bleiben müssen.

Vielfach bietet der Einsatz von Strom erhebliche Effizienzvorteile, z.B. bei der induktiven Erwärmung von Metallen, oder ist sogar unerlässlich wie bei der Elektrolyse. Wenn Strom künftig nahezu CO₂-frei erzeugt wird, stellen diese Prozesse aus Sicht des Klimaschutzes kein Problem dar.

Es verbleiben also diejenigen industriellen Prozesse, für die heute noch Wärme auf verschiedenen Temperaturniveaus mit Hilfe fossiler Brennstoffe bereitgestellt wird.

Für diese gilt es zunächst den erforderlichen Energieeinsatz durch die Verwendung effizienter Produktionsverfahren und eine Optimierung der Produktionsplanung zu minimieren. Die Optionen für die Bereitstellung des verbleibenden Energiebedarfs sind in Tabelle 6 in Abhängigkeit von den jeweiligen Temperaturniveaus dargestellt. Wenn die Bereitstellung über einen Verbrennungsprozess erfolgt, sollte die Möglichkeit zur Kraft-Wärme-Kopplung geprüft werden.



Tabelle 6: Optionen für die Bereitstellung von Prozesswärme.

niedrige Temperaturen (bis 100 °C)	mittlere Temperaturen (100-200 °C)	hohe Temperaturen (> 200 °C)
Solarkollektoren	Solarkollektoren mit Konzentratoren	
	Biomasse (fest, gasförmig)	Biomasse (fest, gasförmig)
Wärmepumpen		
Geothermie	Geothermie	
Abwärme	(Abwärme)	
elektrische Energie	elektrische Energie	elektrische Energie fossile Energieträger

Schlussfolgerungen für Prozesswärme in Hamburg

Hamburg hat nur eingeschränkte Möglichkeiten, auf die Energienutzung der örtlichen Industrie- und Gewerbebetriebe einzuwirken. Die großen Betriebe unterliegen ohnehin dem europäischen Emissionshandel.

Möglich ist ein weiterer Ausbau der Beratung zur Verbesserung der Energieeffizienz. Die Erfahrung zeigt, dass es dabei nicht ausreicht, entsprechende Informationen in Broschüren oder im Internet bereitzustellen. Vielmehr müssen die Betriebe aktiv angesprochen werden.

In einzelnen Bereichen kann es hilfreich sein, durch Bürgschaften Anbieter von Energiedienstleistungen zu unterstützen.

Ferner kann Hamburg eine Plattform für einen Verbund zur Nutzung von Abwärme schaffen.

Zusammenfassung Wärme

Das BMU-Basisszenario unterstellt, dass sich der gesamte Bedarf für Raum- und Prozesswärme bis 2050 durch effizientere Techniken halbiert (Abbildung 15). Der Restbedarf wird dann jeweils zur Hälfte aus erneuerbaren Energien und fossilen Energien gedeckt, wobei der Stromanteil ebenfalls fast vollständig aus erneuerbaren Quellen stammt. Für Hamburg ist das verfügbare Potential an Biomasse jedoch deutlich geringer als im Bundesdurchschnitt.

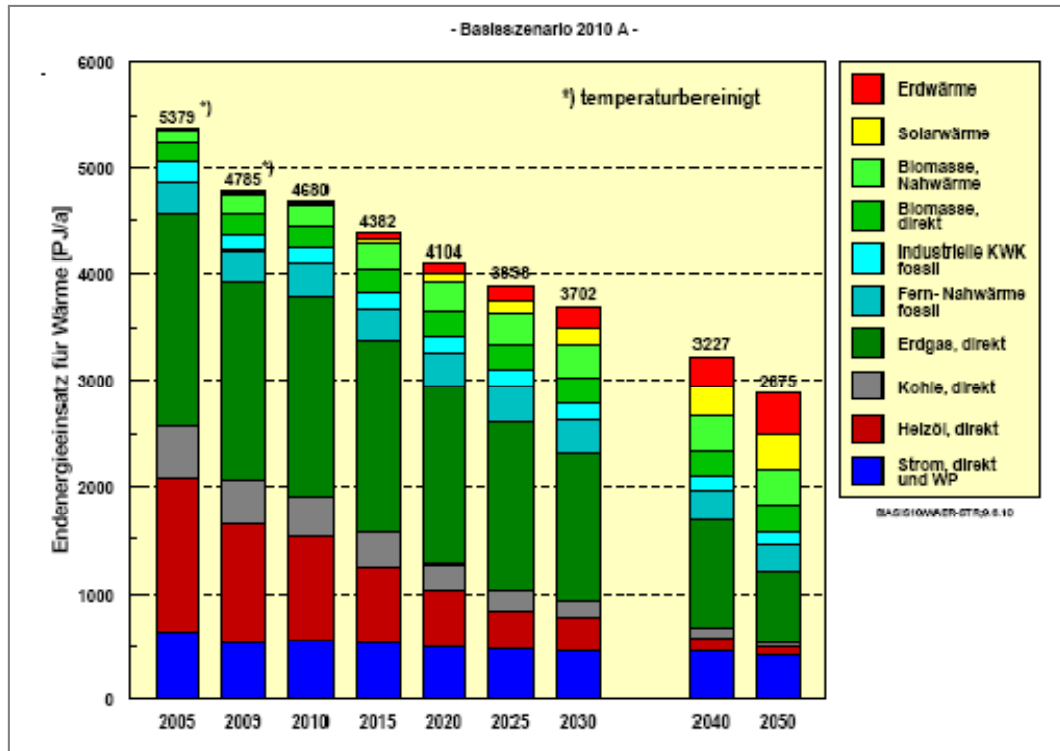


Abbildung 15: Entwicklung des Energieeinsatzes zur Wärmebereitstellung im BMU-Basis-szenario 2010 nach Energieträgern [BMU2010b].

3.4 Mobilität

Die Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen und die Bereitstellung von Transportdienstleistungen folgen gänzlich anderen Gesetzmäßigkeiten als die bisher diskutierten Energieanwendungen. Für diesen Bereich ist heute noch nicht absehbar, auf welchem Weg die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen in ähnlichem Maße reduziert werden kann, wie das für die Stromerzeugung oder die Bereitstellung von Wärme der Fall ist.

Es gibt zwar durchaus eine Reihe von Vorschlägen und Techniken, die auf dem Niveau von Prototypen verfügbar sind. Welche sich davon letztlich wann und in welchem Umfang durchsetzen werden, ist noch nicht absehbar und wird zurzeit eher spekulativ diskutiert.

Hinzu kommt, dass einige dieser Lösungen viel stärkere Veränderungen im alltäglichen Verhalten erfordern als dies bei den bisher diskutierten Bereichen Strom und Wärme der Fall ist. So will der Umgang mit einem Passivhaus zwar gelernt sein, das ist jedoch nicht komplizierter als sich an ein neues Auto zu gewöhnen. Nachhaltiges Mobilitätsverhalten kann jedoch heißen, andere Verkehrsträger zu nutzen, die unter Umständen weniger individuell und flexibel sind als das eigene Auto. Es kann auch bedeuten, die Notwendigkeit bestimmter Wege zu hinterfragen.

Der durchschnittliche Hamburger legt am Tag drei bis vier Wege zurück. Diese Zahl ist seit vielen Jahren im Wesentlichen konstant. Auch die für Mobilität aufgewendete Zeit hat sich trotz der stark veränderten Wahl der Verkehrsmittel nicht geändert. Das heißt, in dem Maße, in dem beispielsweise der PKW-Verkehr beschleunigt oder besser ausgebaut wird, steigen die zurückgelegten Distanzen und damit der CO₂-Ausstoß.



CO₂-Emissionen sind nur eines der Probleme des heutigen Mobilitätsverhaltens. Der Flächenverbrauch, die Inanspruchnahme anderer Ressourcen sowie Lärm und Abgase stellen ebenfalls erhebliche Herausforderungen dar. Die Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur ist aber nur ein Element bei der Entwicklung von Metropolregionen. Der Wunsch nach dem „Wohnen im Grünen“, die damit verbundenen Kosten der Mobilität sowie die relativen Kostenunterschiede beim Wohnen in der Stadt oder im Grünen sind ebenfalls von Bedeutung bei der Verkehrs- und Siedlungsplanung.

Generell gilt: Elektromobilität ist eine der am wenigsten klimaschädlichen Formen der energiegetriebenen Fortbewegung, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien stammt.

Der Schienenverkehr in Deutschland wird automatisch von der in Kap. 3.1.2 beschriebenen Entwicklung hin zu einer nahezu CO₂-freien Stromerzeugung profitieren.

Elektro-PKW werden im Moment in der öffentlichen Diskussion als mittel- und langfristige Alternative zum herkömmlichen PKW favorisiert. Ob sie sich aber durchsetzen werden, hängt davon ab, ob eine befriedigende technische Lösung für die erforderlichen Batterien gefunden wird. Bei heutiger Technik sind die möglichen eintausend Ladezyklen einer Batterie nach drei Jahren abgearbeitet. Dann muss sie komplett ersetzt werden, wobei heute noch Kosten von bis zu 10.000 Euro anfallen. Damit steigen die Life-Cycle-Kosten von Elektro-PKW bei einer üblichen 10-jährigen Nutzung um den dreifachen Batterie-Kostensatz. Langfristig ist hier mit Verbesserungen zu rechnen, die zum einen aus Forschung und Entwicklung, zum anderen aus Lerneffekten im Betrieb resultieren. Insofern kann es durchaus sinnvoll sein, diese Technik heute zu fördern. Ob Elektro-PKW jedoch bis zum Jahr 2020 bereits einen signifikanten Marktanteil haben, ist derzeit noch unsicher. Mit Blick auf das Betanken der Fahrzeuge sind zwei grundsätzlich verschiedenen Optionen denkbar: Tanken an einer Steckdose oder durch den Austausch der Batterie. Für eine zügige und tiefe Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen wäre es sinnvoll, einen Standard für das Betanken zu setzen. Ob den beteiligten Unternehmen dies gelingt, ist jedoch fraglich, da es erhebliche Interessenunterschiede gibt.

Als Übergangslösung werden heute verschiedene Varianten von Hybridfahrzeugen diskutiert, die über einen herkömmlichen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor verfügen. Derartigen Fahrzeuge sind bereits im Einsatz, ihr Marktanteil ist jedoch noch gering.

Ob sich solche Fahrzeugkonzepte überhaupt am Markt durchsetzen werden, ist ebenfalls offen, zumal bei den herkömmlichen Fahrzeugen noch erhebliches Optimierungspotential vorhanden ist. So kann man davon ausgehen, dass Standard-PKW bis 2020 um rund 25% effizienter werden [BMU 2008b].

Während all dies für PKW immerhin in der Entwicklung ist, zeichnet sich insbesondere für den Güterfernverkehr noch keine Lösung ab. Zwar werden auch Lastkraftwagen (LKW) bis 2020 um 20% sparsamer sein. Die Effizienzgewinne bei Antrieb und Motortechnik werden aber zum großen Teil durch ein wachsendes Transportvolumen aufgezehrt [BMU 2008b]. Neue Antriebskonzepte sind hier noch in weiter Ferne. Anders könnte dies im städtischen Lieferverkehr aussehen. Neben neuartigen City-Logistikkonzepten wäre auf Grund der häufigen Brems- und Beschleunigungsvorgänge der Einsatz von Elektrohybridfahrzeugen denkbar.

Grundsätzlich gilt: Wenn die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Treibstoffe im Güterfernverkehr um 80% reduziert werden sollen, dann muss dieser mit Hilfe elektrischer Energie betrieben werden, die CO₂-frei erzeugt wird. Dies ist nach heutigem Wissen nur schienengebunden möglich.

Als weitere Möglichkeit zur Reduktion des Einsatzes fossiler Treibstoffe verbleiben noch alternative Treibstoffe. Dabei kommen Biotreibstoffe, Wasserstoff oder synthetische Treibstoffe in Frage. Ob eine Wasserstoff-Wirtschaft langfristig möglich sein wird, kann heute noch nicht abschließend beurteilt werden. Dies hängt entscheidend davon ab, dass zunächst die Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien erfolgt. Ob sich diese Option dann trotz der hohen Verluste entlang der Umwandlungskette durchsetzen kann, ist offen.

Die Entwicklung neuer Biotreibstoffe macht große Fortschritte. Dennoch bleibt die Konkurrenz mit anderen Nutzungszwecken, sei es in der Nahrungsmittelproduktion oder der Gewinnung von Brennstoffen für die Stromerzeugung, bestehen. Dies begrenzt ihr Potential, so dass nicht der gesamte Treibstoffbedarf auf heutigem Niveau aus Bioenergie gedeckt werden kann. Das BMU-Basiszenario sieht lediglich einen Anteil von 10% für 2050 vor.

Das schon mehrfach erwähnte BMU-Basiszenario geht davon aus, dass ein Großteil des 2050 noch zulässigen Einsatzes fossiler Energieträger im Verkehrsbereich erfolgt (vgl. Abbildung 16).

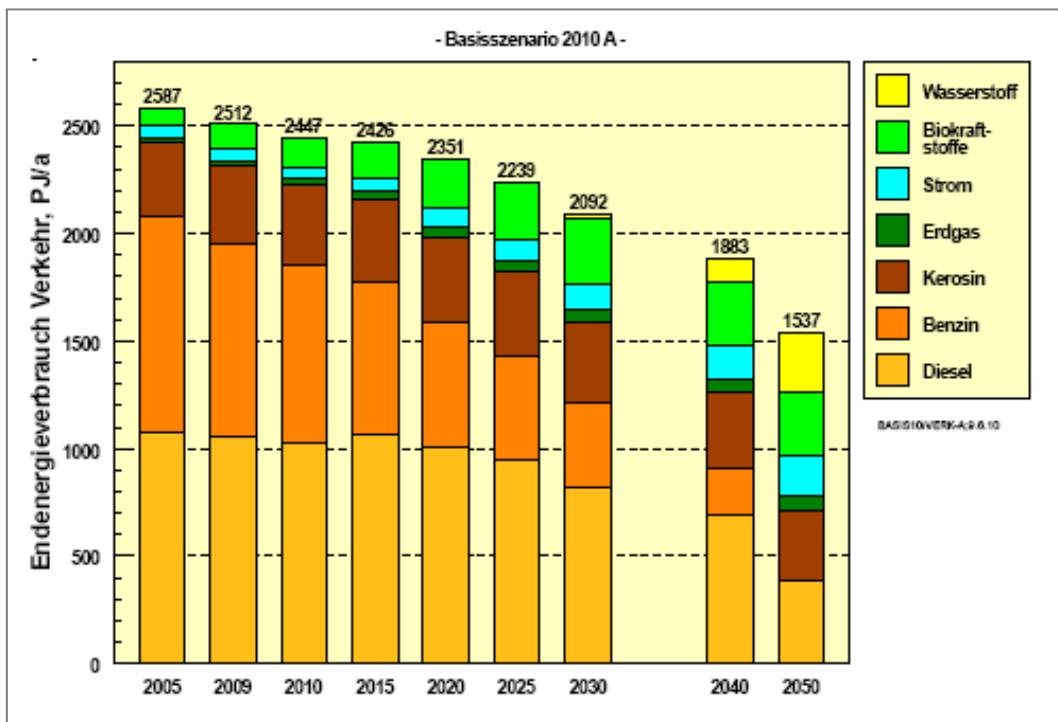


Abbildung 16: Energieeinsatz im Verkehr im BMU-Basiszenario 2010 nach Kraftstoffarten [BMU2010b].



Für den Verkehrsbereich sind im Betrachtungszeitraum bis 2020 technische Lösungen nicht unwichtig, stellen aber nicht den Schlüssel zur Erreichung der CO₂-Minderungsziele dar. Es stellt sich daher mehr als in anderen Bereichen die Frage, inwieweit die Gesellschaft ihre Mobilitätsgewohnheiten anpassen muss.

Beispiele

Tabelle 7 zeigt Beispiele für Maßnahmen, mit denen im Verkehrsbereich der Ausstoß von jeweils 100.000 t CO₂ vermieden werden kann. Dabei ist zu beachten, dass die Verbesserung der Effizienz herkömmlicher Fahrzeuge und die Veränderung des Strommixes in Wechselwirkung stehen. Zum Vergleich: Das gesamte Volumen des Personenverkehrs in Hamburg beträgt 9 Mrd. Personenkilometer.

Tabelle 7: Beispiele, um den Ausstoß von 100.000 t CO₂ im Verkehrsbereich zu vermeiden.

Energie-Nachfrage	Energie-Bereitstellung
<ul style="list-style-type: none"> Fahrleistung von 50.000 PKW durch Fahrradfahrten ersetzen 	<ul style="list-style-type: none"> 160.000 PKW, die im Mittel mit 6 statt 8 l je 100 km auskommen
<ul style="list-style-type: none"> Verlagerung von 550 Mio. Personenkilometern vom PKW auf Fahrrad oder Fußwege 	<ul style="list-style-type: none"> 130.000 PKW mit 7 statt 9,5 l je 100 km im Stadtverkehr auskommen
<ul style="list-style-type: none"> Verlagerung von 900 Mio. Personenkilometern vom PKW auf den ÖPNV 	<ul style="list-style-type: none"> 80.000 PKW mit Strom (2020)
<ul style="list-style-type: none"> Verlagerung von 1,4 Mrd. Personenkilometern vom ÖPNV auf Fahrrad oder Fußwege 	<ul style="list-style-type: none"> 90.000 PKW mit Strom (2050er Mix)

Schlussfolgerungen für die Mobilität in Hamburg

Städtische Mobilität ist – neben den Gebäuden – der zweite große Bereich, in dem eine Metropole wie Hamburg für den Klimaschutz tätig werden muss. Auf die verfügbare Antriebstechnik kann dabei direkt kaum Einfluss genommen werden. Ansetzen lässt sich aber bei der Infrastruktur für den Einsatz der Techniken sowie beim Einsatz einzelner Techniken dort wo die Stadt selbst als Nachfrager auftritt. Ferner müssen die Vermeidung einzelner Autofahrten (z.B. durch höhere Auslastung von Fahrzeugen) und die Verlagerung von Verkehr auf CO₂-ärmere Verkehrsträger wie den öffentlichen Nahverkehr sowie den Fuß- und Radverkehr im Mittelpunkt stehen. Mittel- und langfristig muss die Infrastruktur der Metropole so umgestaltet werden, dass von vornherein weniger CO₂-intensiver Verkehr entsteht.

Der überregionale Güterverkehr ist dagegen eher ein Thema, das auf nationaler oder europäischer Ebene angegangen werden muss, auch wenn Hamburg einzelne Komponenten wie ein Schienennetz im Hafen selbst bereitstellt.

4 DAS REFERENZ-SZENARIO FÜR HAMBURG 2020

Bevor die Frage beantwortet werden kann, welche zusätzlichen Maßnahmen Hamburg für den Klimaschutz ergreifen kann, soll ein Überblick gegeben werden über die Instrumente und Maßnahmen, die auf den verschiedenen politischen Ebenen – global, für Europa, für Deutschland und in Hamburg – bereits in die Wege geleitet wurden. Deren Wirkung wird zu einem *Referenzszenario* zusammengefasst, aus dem dann der weitere Handlungsbedarf abgeleitet werden kann.

4.1 Bestehende Regelungen zum Klimaschutz

4.1.1 Global

Der Klimawandel ist ein globales Phänomen, das nur im Rahmen einer weltweiten Kooperation gelöst werden kann. Der erste verbindliche Schritt auf diesem Weg war 1997 die Verabschiedung des *Kyoto-Protokolls*. Die Vertragsstaaten, d.h. im Wesentlichen die Industriestaaten, haben sich darin verpflichtet, die Emissionen der sechs wichtigsten Treibhausgase bis zur Periode 2008-2012 um rund 5% gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern. Die EU hat in Summe eine Minderung um 8% versprochen, Deutschland hat sich zu Minderungen um 21% verpflichtet.

Das Protokoll war ein wichtiger Schritt, auch wenn die angestrebte Emissionsreduzierung gering ist und sehr große Emittenten wie die USA, China oder Indien bislang keine bindenden Verpflichtungen eingegangen sind.

Während der Klimakonferenz auf Bali Ende 2007 wurde eine sogenannte „Roadmap“ für die internationalen Verhandlungen verabschiedet. Als Eckpunkte werden darin anvisiert:

- Reduktionsziele für Industrieländer von 25-40% gegenüber 1990 bis 2020;
- Höhepunkt der globalen Treibhausgasemissionen in den nächsten 10 bis 15 Jahren;
- weltweite Minderung der Emissionen um 50% bis 2050.

Entgegen der ursprünglichen Planung haben die Vertragsstaaten auf der Klimakonferenz in Kopenhagen im Dezember 2009 keine neues Abkommen mit konkreten Verpflichtungen zur Minderung der Treibhausgasemissionen geschlossen, sondern nur ein (mehr oder weniger verbindliches) globales Ziel vereinbart. Es soll nun auf den nächsten Klimakonferenzen weiter versucht werden, doch noch ein solches Abkommen zu erreichen.

4.1.2 Maßnahmen der EU zum Klimaschutz

Der Europäische Rat hat sich bereits Anfang 2007 einseitig zu einer Verringerung der EU-weiten klimarelevanten Emissionen um 20% bis 2020 gegenüber 1990 verpflichtet. Dieses Ziel geht einher mit den Zielen, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energien auf 20% des gesamten Endenergieverbrauchs zu steigern, den Anteil der Biokraftstoffe im Verkehrssektor in jedem Mitgliedstaat auf mindestens 10% zu erhöhen und den Primärenergieverbrauch gegenüber einem Business-as-Usual-Szenario um 20% (Basisjahr 2005) zu senken [CEC 2008]. Zur Konkretisierung und Umsetzung der formulierten Ziele wurde dann zwischen den Mitgliedstaaten ein EU Klima- und Energiepaket mit einer Reihe von Richtlinien verhandelt und



beschlossen, das nach der Veröffentlichung im Amtsblatt der EU am 25. Juni 2009 in Kraft treten konnte [vgl. z.B. www.bmu.de/klimaschutz/internationale_klimapolitik/doc/44444.php].

Das Hauptinstrument der EU im Klimaschutz ist der EU-weite *Emissionshandel* (Richtlinie 2009/29/EG). Er umfasst die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung und der energieintensiven Industrie. Einbezogen werden in erster Linie stationäre Anlagen mit einer Feuerungsleistung von mehr als 20 MW. Diese Anlagen müssen für ihre CO₂-Emissionen Emissionsrechte entwerfen. Bislang wurde ein Großteil dieser Emissionsrechte kostenlos zugeteilt. Mindestens für die Stromerzeugung werden die Rechte jedoch in der dritten Handelsperiode ab 2013 vollständig ersteigert werden müssen. Die Treibhausgasemissionen der Kraftwerke und Industrieanlagen sollen so im Vergleich zu 2005 bis 2020 um 21% gesenkt werden.

In den übrigen Sektoren wie Verkehr, Haushalt und Gewerbe, die nicht in den Emissionshandel einbezogen sind und etwa die Hälfte der Treibhausgasemissionen in der EU ausmachen, werden in der sogenannten *Effort-Sharing-Entscheidung* (Nr. 406/2009/EG) für 2020 ebenfalls nationale Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen eingeführt. Deutschland ist verpflichtet, die Emissionen gegenüber 2005 um mindestens 14% einzudämmen und ab 2013 bis 2020 kontinuierlich zu senken. Insgesamt wird so EU-weit eine Verringerung der Emissionen von mindestens 20% bis 2020 erreicht.

Das Ausbauziel von 20% bei den erneuerbaren Energien wurde mit der *Erneuerbare Energien Richtlinie* (2009/28/EG) unter den Mitgliedstaaten erstmals verbindlich aufgeteilt. Es gilt für den Bruttoendenergieverbrauch, also nicht nur für den Bereich der Stromerzeugung, sondern auch für die Wärmebereitstellung bei Gebäuden. Deutschland übernimmt einen Zielwert von 18% für 2020 (2005: 5,8%). Im Verkehrssektor gilt für alle Mitgliedstaaten ein einheitliches Ziel von 10% für den Anteil der erneuerbaren Energien bis 2020. In der Richtlinie werden ferner Regeln für statistische Transfers zwischen Mitgliedstaaten, für gemeinsame Projekte zwischen Mitgliedstaaten und mit Drittländern, für Herkunftsnachweise und für den Zugang zum Elektrizitätsnetz für erneuerbare Energien aufgestellt. Schließlich werden Kriterien für die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen und flüssigen Biobrennstoffen vorgeschrieben.

Mit der *CCS-Richtlinie* (Richtlinie 2009/31/EG) schafft das EU Klima- und Energiepaket ferner einen ersten Rahmen für den Bau von 12 Pilotanlagen zur CO₂-Rückhaltung und -lagerung sowie einen Rechtsrahmen für die dauerhafte Speicherung von CO₂.

Im Klima- und Energiepaket ist auch festgelegt, dass die EU bereit ist, ihre Ziele zu verschärfen und ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 um 30% statt nur um 20% gegenüber 1990 zu reduzieren, wenn andere Staaten vergleichbare Verpflichtungen in einem neuen internationalen Klima-Abkommen eingehen. Die Mitgliedstaaten sind gefordert, die Entscheidungen und Richtlinien des EU Klima- und Energiepakets mit eigenen Rechtsvorschriften umzusetzen.

Im Bereich der Energieeffizienz hat die Europäische Union ihren Mitgliedstaaten bereits in den Jahren zuvor Aufgaben mit auf den Weg gegeben. Im Juli 2005 wurde die sogenannte *EbP- oder Ökodesign-Richtlinie* (2005/32/EG) erlassen, die den Rechtsrahmen für die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (außer für Verkehrsmittel) regelt [EU 2005]. Deklariertes Ziel ist es, damit den freien Verkehr der Produkte im Binnenmarkt zu gewährleisten, gleichzeitig die Energieeffizienz zu erhöhen sowie die Umweltauswirkungen

der Produkte im Sinne einer integrierten Produktpolitik über den gesamten Lebenszyklus zu verringern.

19 Produktgruppen sowie horizontale, übergreifende Maßnahme zu Leerlaufverlusten wurden ins Visier genommen. Eine Durchführungsmaßnahme, die Verordnung zur Reduzierung von Standby- und Leerlaufverlusten bestimmter Elektrogeräte (Büro- und Haushaltsgeräte) ist Anfang 2009 in Kraft getreten. Alle neu auf den Markt gebrachten Geräte dürfen demnach im Leerlauf nur noch 1-2 Watt und ab Ende 2012 nur noch 0,5-1 Watt verbrauchen. Hierdurch wird EU-weit eine Minderung des Standby-Stromverbrauchs um 35 TWh auf 14 TWh im Jahre 2020 erwartet.

Während sich die Ökodesign-Richtlinie auf einzelne Produkte bzw. Produktgruppen bezieht, wurde 2006 in der „*Endenergieeffizienz- und Energiedienstleistungsrichtlinie*“ ein für die Mitgliedstaaten übergreifendes Richtziel definiert, ihren Endenergieverbrauch beginnend ab 2008 bis zum Jahr 2016 um insgesamt 9% zu senken [EU 2006]. Als Bezugsbasis für das Ziel ist der durchschnittliche Endenergieverbrauch der letzten Fünf-Jahres-Periode zu wählen, für die offizielle Daten verfügbar sind, beispielsweise also der Zeitraum 2000 bis 2004. Dieser Verbrauch ist dann um den genannten Prozentsatz zu mindern. Da es sich um ein absolutes Ziel handelt, können die tatsächlich notwendigen Einsparungen deutlich größer sein, wenn der regelmäßig mit Wirtschaftswachstum einhergehende steigende Endenergieverbrauch zusätzlich durch entsprechend hohe Einsparungen kompensiert werden muss.

Für die Zielerreichung sind die Mitgliedstaaten verantwortlich. Sie sind frei bei der Ausgestaltung der Maßnahmen, sollten aber „kostenwirksame, praktikable und angemessene Maßnahmen...“ [EU 2006, Art. 4 (1)] erlassen, wobei bereits implementierte Maßnahmen, deren Wirkung über das Jahr 2008 hinausgeht, berücksichtigt werden können. Die Richtlinie gibt außerdem vor, dass der öffentliche Sektor eine Vorbildfunktion übernehmen soll.

Im für den Klimaschutz so wesentlichen Gebäudesektor wird die EU ihrer Vorreiterrolle hingegen nicht gerecht. Die Institutionen der EU haben sich im November 2009 zwar auf eine Neufassung der *Europäischen Gebäuderichtlinie* einigen können, lassen darin aber die enormen Potentiale im Gebäudebestand weitgehend ungenutzt. Lediglich bei Neubauten gilt ab 2021 ein Niedrigenergiestandard, für neue öffentliche Gebäude schon ab 2019. Deutschland und Hamburg haben hier legislative Möglichkeiten viel höhere Standards zu setzen.

Schlussfolgerungen für Hamburg

Mit dem EU-Emissionshandel hat die EU für alle großen Emittenten von CO₂ ein europaweit einheitliches Instrument zum Klimaschutz geschaffen. Für den gesamten Bereich, der vom Emissionshandel erfasst wird, gilt ein einheitliches Emissionsbudget.

Dadurch werden die Einwirkungsmöglichkeiten für Bund und Länder auf die entsprechenden Anlagen im Hinblick auf weitere CO₂-bezogene Auflagen stark einschränkt.

Die EU hat außerdem hinsichtlich der Energieeffizienz sehr ehrgeizige Ziele formuliert. Diese sind aber nur zum Teil mit konkreten Instrumenten zu ihrer Umsetzung hinterlegt. Die Dokumente enthalten die klare Aufforderung an die nationalen Gesetzgeber, hier begleitend tätig zu werden und an die öffentlichen Verwaltungen, eine Vorreiterrolle bei der Nutzung effizienter Techniken einzunehmen. Dies kann zur Begründung von Gesetzen und Verordnungen auf Landesebene hilfreich sein.



4.1.3 Klimaschutzmaßnahmen auf nationaler Ebene in Deutschland

Die energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland sind seit 1990 von rund 950 Mio. t auf 780 Mio. t in 2006 zurückgegangen [BMWi 2009]. Das entspricht einem Rückgang um 17%. 2008 betragen die Emissionen nur noch 750 Mio. t, was einem Rückgang von 21% entspricht. Die Bundesregierung geht daher davon aus, dass Deutschland sein Kyoto-Ziel, die Treibhausgasemissionen der Periode 2008-2012 im Mittel um 21% gegenüber 1990 zu senken, sicher erfüllen wird. Für 2020 strebt die Bundesregierung eine Absenkung der klimarelevanten Emissionen um 30% an. Sie ist bereit dieses Ziel auf 40% zu erhöhen, falls die gesamte EU das in Kap. 4.1.2 erwähnte 30%-Ziel umsetzt.

Wesentlicher Baustein, um diese deutschen Klimaschutzziele zu erreichen, ist das *Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP)*, das mit seinen 29 Eckpunkten im August 2007 während einer Klausurtagung des Kabinetts in Meseberg beschlossen wurde [BMU 2007]. Das Paket besteht aus 14 Gesetzen und Verordnungen und sieben weiteren Maßnahmen, die im Juni 2008 formal beschlossen wurden. Erste Berechnungen im Auftrag des Umweltbundesamtes haben ergeben, dass bei konsequenter Umsetzung des Maßnahmenpakets Emissionsminderungen von gut 36% erzielt werden können. Als Schwerpunkte des Programms gelten:

- der Ausbau des Anteils der erneuerbaren Energien im Strombereich auf 30% bis 2020 durch die Weiterentwicklung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) zum 01.01.2009,
- die Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen auf 12-15%,
- die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch auf 14% im Jahr 2020 durch die Einführung eines Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) zum 01.01.2009,
- die Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplung-Gesetzes (KWKG) mit dem Ziel der Verdoppelung des Anteils an der Stromerzeugung bis 2020 auf 25% sowie
- die Verbesserung der Energieeffizienzstandards von neuen und sanierten Gebäuden um 30% ab 2009 und ab 2012 nochmals um die gleiche Größenordnung, finanziell unterstützt durch das CO₂-Gebäudesanierungsprogramm, gesetzgeberisch flankiert durch die zweimalige Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV).

Für den Verkehrssektor ist ein eigenes Paket mit 8 Eckpunkten geschnürt worden. Zentral sind dabei die Einführung eines CO₂-Grenzwerts für neu zugelassene Pkw sowie der bereits erwähnte Ausbau von Biokraftstoffen.

Für den Gebäudebereich hat das IEKP als Ziel formuliert, dass die Wärmeversorgung von Neubauten ab dem Jahr 2020 möglichst unabhängig von fossilen Energieträgern sein soll und begonnen wurde, die in rund 1,4 Millionen Wohnungen noch vorhandenen Nachtstromspeicherheizungen schrittweise zu ersetzen. Der zweite Punkt floss in die *EnEV 2009* ein (vgl. dazu Kap. 4.1.4.1). Der erste Punkt wurde mit dem *EEWärmeG* angegangen. Es führt ab dem 1. Januar 2009 für Neubauten die Verpflichtung ein, für die Wärmeversorgung anteilig erneuerbare Energien zu verwenden. In erster Linie wird diese Pflicht durch Nutzung von solarer Strahlungsenergie (mind. 15% Wärmeenergiebedarf), aber auch durch Biomasse (mind. 30%), Geothermie (mind. 50 %) und Umweltwärme (mind. 50 %) erfüllt. Ersatzweise kann der Bauherr auf Abwärme, KWK-Anlage-Versorgung, Fernwärmeversorgung oder verstärkte Wärmedämmung (jeweils mit definierten Mindestanteilen oder -qualitäten) auswei-

chen. § 3 Abs. 2 EEWärmeG eröffnet den Bundesländern ausdrücklich die Möglichkeit, die Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energien auch für den Gebäudebestand einzuführen. In drei weiteren Eckpunkten des IEKP geht es um die Betriebskosten bei Mietwohnungen bzw. die Novellierung der Heizkostenverordnung, die energetische Modernisierung von Gebäuden der sozialen Infrastruktur (Schulen, Kitas, Jugendeinrichtungen) und Programme zur energetischen Sanierung von Bundesgebäuden. Ziel ist immer die beschleunigte energetische Sanierung und die Ausschöpfung von Energieeinsparpotentialen im Gebäudebestand.

Zur Realisierung von Effizienzverbesserungspotentialen in der Industrie setzt das IEKP auf freiwillige und informatorische Instrumente. Spätestens bis 2013 soll mit der deutschen Wirtschaft eine Vereinbarung über die Kopplung von Steuerermäßigungen an die Einführung eines Energiemanagementsystems getroffen werden. Derzeit genießen Industriebetriebe umfangreiche Erleichterungen im Rahmen der Energie- und Strombesteuerung. Der Spitzenausgleich soll Ende 2012 auslaufen. Energiemanagementsysteme sollen Einsparpotentiale aufdecken, die in vielen Fällen hoch rentabel umgesetzt werden können.

Abbildung 17 zeigt Verlauf und Ziele der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland.

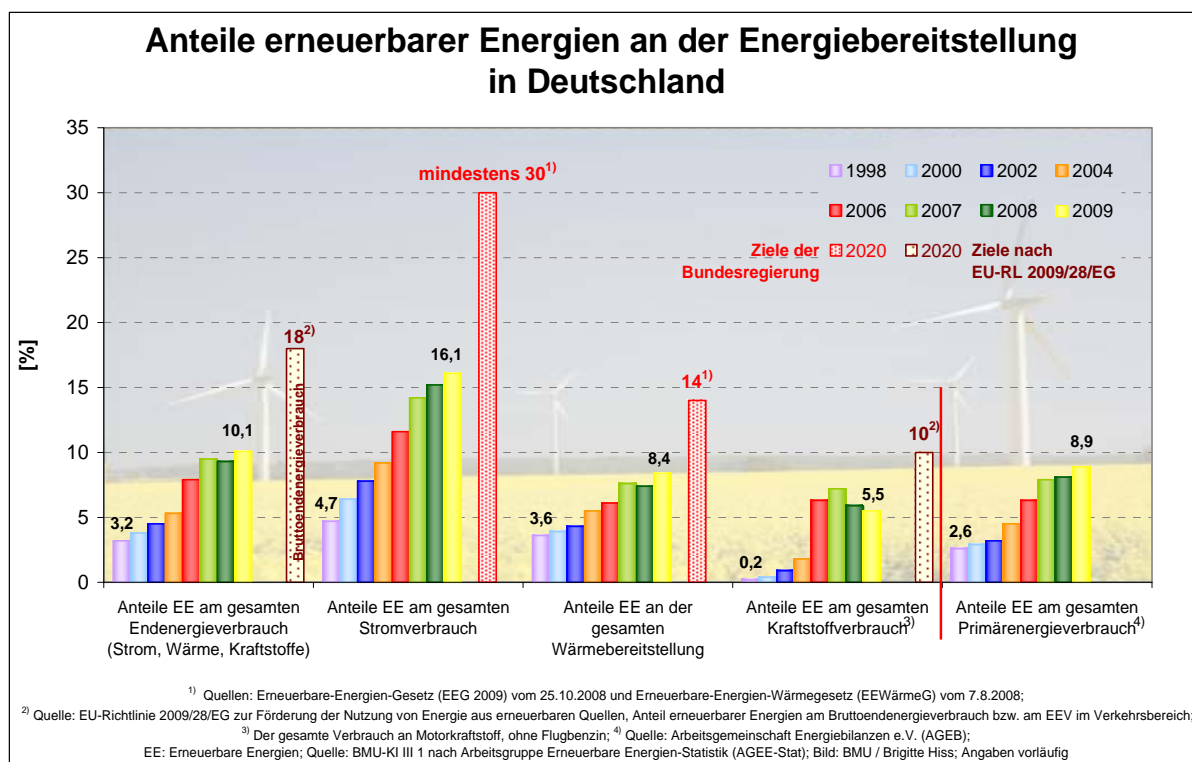


Abbildung 17: Anteil erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland [BMU 2010].

Im Herbst 2010 hat die Bundesregierung den Entwurf eines Energiekonzeptes bis 2050 vorgelegt [BMWi/BMU 2010]. Darin werden die Aussagen des Integrierten Energie- und Klimapaketes bekräftigt. Darüber hinaus wird erstmals die Ziele definiert, bis 2050 80% des in Deutschland benötigten Stroms aus erneuerbaren Energien zu gewinnen und den Raumwärmebedarf um 80% zu verringern.

Mit der EnEV 2012 soll ein „Nullemissionsstandard“ eingeführt werden, der von 2020 bis 2050 schrittweise für alle Gebäude verbindlich gemacht werden soll. Für die vorzeitige Erfül-



lung des Standards wird staatliche Förderung in Aussicht gestellt, für eine Verfehlung der Zielwerte werden finanzielle Sanktionen ins Auge gefasst. Es wird betont, dass die Sanierungsrate von rund 1% auf 2% pro Jahr verdoppelt werden soll.

Schlussfolgerungen für Hamburg

Der Bund hat bereits eine weitreichende Gesetzgebung zum Klimaschutz erlassen, die in vielen Fällen abschließenden Charakter im Sinne der konkurrierenden Gesetzgebung von Bund und Ländern hat.

Dies betrifft insbesondere die Förderung erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung durch das EEG.

Handlungsspielräume bestehen im Bereich der Gebäude, für den die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) zum Teil explizit weitergehende Regelungen durch die Länder zulassen. Zudem ist ein großer Teil des Gebäudebestandes de facto ausgeklammert worden. Auch hier können die Länder tätig werden. Das Energiekonzept 2010 zeigt aber, dass der Bund auch in diesen Bereichen seine Anstrengungen in den nächsten Jahren verstärken will.

Weitere Handlungsoptionen bietet die Gestaltung der Mobilitätsinfrastruktur.

4.1.4 Klimaschutzmaßnahmen in Hamburg

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat sich zum Ziel gesetzt, ihre CO₂-Emissionen bis 2020 um 40% zu reduzieren. Dazu wurde 2007 ein Klimaschutzkonzept für 2012 verabschiedet [FHH 2007], das 2008 und 2009 aktualisiert wurde [FHH 2008, 2009]. Darin werden mittlerweile mehr als 350 Einzelmaßnahmen aufgelistet, die zunächst bis 2012 knapp 2 Mio. t CO₂ im Jahr einsparen sollen. Federführend ist die eigens geschaffene Leitstelle für Klimaschutz in der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt.

Die Systematik des Klimaschutzkonzepts 2012 mit vielen, eher kleinen Demonstrationsprojekten ist gänzlich anders als der in dieser Studie verfolgte Weg. Daher ist ein Vergleich nur bedingt möglich. Die im Konzept von 2007 angesetzte Einsparung von 0,45 Mio. t CO₂ im Jahr durch „Maßnahmen der Bundesregierung“ und 0,1 Mio. t/a durch „verbesserte Technologie“ sind im Referenzfall dieser Studie enthalten. Ebenso wie im Klimaschutzkonzept 2012 werden in dieser Studie eine Reihe von Maßnahmen in den Bereichen Motivation, Bildung und Information definiert, die letztlich nicht quantifiziert werden können. Das Konzept von 2007 veranschlagt dafür CO₂-Minderungen in Höhe von 0,2 Mio. t/a.

Den größten Anteil der CO₂-Minderung in Höhe von 0,55 Mio. t/a steuerte eine Liste quantifizierbarer Maßnahmen bei, die von der Gebäudesanierung bis zum Ausbau der Radwege und von der Nutzung erneuerbarer Energien bis zu Maßnahmen im öffentlichen Nahverkehr reichen. Die meisten dieser Einzelmaßnahmen bringen Minderungen von weniger als 0,1 Mio. t/a. Sie sind weiter Bestandteil der in dieser Studie auf höherem Aggregationsniveau betrachteten Maßnahmen für die jeweiligen Bereiche.

Es verbleiben 0,5 Mio. t/a, die durch die Hamburger Wirtschaft im Rahmen einer freiwilligen Selbstverpflichtung zugesagt wurden. Es war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, diese Beiträge konkreter zu ermitteln. Ein Blick auf die Liste der beteiligten Unternehmen

lässt jedoch vermuten, dass ein Großteil der betroffenen Anlagen unter den Emissionshandel und nicht in den hier gewählten Bilanzierungsrahmen einer Verursacherbilanz fällt. Generell sind freiwillige Selbstverpflichtungen als Mittel zur Umsetzung gesellschaftlicher Ziele umstritten [ZEW 1996].

Die Projekte des Klimaschutzkonzepts und die bisher erzielten CO₂-Einsparungen werden derzeit evaluiert. Dies war nicht Aufgabe des vorliegenden Gutachtens.

Es gibt in Hamburg bereits umfangreiches und sehr gutes Material zu den Möglichkeiten der Energieeinsparung und nachhaltigen Energienutzung. Ebenso gibt es eine ganze Reihe von Beratungsstellen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien als Beispiele genannt:

- Arbeit und Klimaschutz (www.hamburg.de/arbeitundklimaschutz)
- Energiebauzentrum (www.energiebauzentrum.de)
- Hamburgische Wohnungsbaukreditanstalt (www.wk-hamburg.de/index.php?id=umweltschutz)
- Handelskammer Hamburg
(www.hk24.de/produktmarken/innovation/energiefragen/energiemanagement/index.jsp)
- KfW-Förderprogramme (www.kfw.de)
- SolarZentrum Hamburg (www.solarzentrum-hamburg.de)
- Unternehmen für Ressourcenschutz (www.hamburg.de/ressourcenschutz/)
- Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt ZEBAU (www.zebau.de)
- Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik ZEWU (www.zewu.de)

Schließlich sind in den Bereichen Forschung sowie nationale und internationale Kooperationen in den vergangenen Jahren zahlreiche Initiativen gestartet worden, deren Weiterverfolgung und Ausbau Hamburg helfen werden, sich bei zukunftsweisenden Themen und Techniken im Umwelt-Wettbewerb mit anderen Städten zu etablieren. Die Verursacherbilanz ist davon zunächst nicht betroffen.

4.1.4.1 Die EnEV 2009 und die Hamburgische Klimaschutzverordnung 2008

Die Hamburgische Klimaschutzverordnung (HmbKliSchVO) vom 11.12.2007 ist am 1. Juli 2008 in Kraft getreten. Ihr Zweck war es, die Vorgaben der bundesweit geltenden Energieeinsparverordnung von 2007 (EnEV 2007) an den baulichen Wärmeschutz und den Energiebedarf von Wohn- und Nichtwohngebäuden bei Neubau sowie bei Sanierung in einigen Punkten zu verschärfen und somit das auch in wirtschaftlicher Hinsicht bereits vorhandene Energiesparpotential besser auszuschöpfen. Gegenüber der EnEV 2002 hatte es in der EnEV 2007 keine substantiellen Veränderungen bei den Anforderungen an das energetische Mindestniveau von Gebäuden gegeben, ihr Schwerpunkt lag auf der Regelung der Einführung von Energieausweisen für Bestandsgebäude.

Mit der EnEV 2009, die am 1. Oktober 2009 in Kraft trat, wurde die Anhebung der Mindeststandards für Neubau und Gebäudebestand um durchschnittlich etwa 30% in einem ersten Schritt nun auch bundesweit nachgeholt. Ein weiterer Schritt um voraussichtlich weitere 30% soll mit der EnEV 2012 erfolgen. Da diese Zielrichtung bei der Verabschiedung der Hamburgischen Klimaschutzverordnung bereits bekannt war, sind die Standards der EnEV 2009 in der Hamburgischen Klimaschutzverordnung zum Teil bereits vorweg genommen worden. Die Schwerpunkte der EnEV-Novelle 2009 sind



- die Verschärfung der primärenergetischen Anforderungen an Neu- und Bestandsbauten um durchschnittlich 30% der EnEV 2007,
- die Erhöhung der energetischen Anforderungen an die Wärmedämmung der Gebäudehülle bei Neubauten um durchschnittlich 15%,
- die Anhebung der Einzelanforderungen an Bauteile bei Bestandssanierung um ca. 30%,
- Nachrüstverpflichtungen, so z. B. die Außerbetriebnahme von 30 Jahre alten Nachtspeicherheizungen in größeren Gebäuden stufenweise ab 2020, sowie
- die Stärkung des Vollzugs durch private Nachweispflichten und behördliche Überprüfungen.

Im Vergleich zur Hamburgische Klimaschutzverordnung schärfer sind die Vorschriften der EnEV 2009 mit Bezug auf den Austausch von Nachtspeicherheizungen und die Dämmung der obersten Geschoßdecke. Gemäß EnEV 2009 müssen viele oberste begehbare Geschoßdecken sowie Dachböden bis Ende 2011 eine Wärmedämmung erhalten.

Beim Neubau von Wohngebäuden sieht die Hamburgische Klimaschutzverordnung im Gegensatz zur EnEV 2007 außerdem im Fall einer Raumkühlung keine Erhöhung des Höchstwertes für den Jahres-Primärenergiebedarf vor. Der erhöhte Energiebedarf einer Kälteanlage ist durch Energieeinsparungen an der Gebäudehülle oder bei der Gebäudetechnik zu kompensieren. Für Wohngebäude und Nichtwohngebäude gilt, dass bei der Bereitstellung von Wärmeenergie energieeffiziente Umwandlungstechniken zu nutzen sind. Dabei ist der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien ein Ziel der Verordnung.

4.2 Annahmen zum Referenzszenario für Hamburg

Die durch die bestehenden Klimaschutzinstrumente, die in Kap. 4.1.2 bis 4.1.4 aufgelistet sind, induzierten Maßnahmen werden im Referenzszenario zusammengefasst, um zu ermitteln, welche Minderung der CO₂-Emissionen dadurch in Summe für Hamburg zu erwarten ist. Durch einen Vergleich mit den von Hamburg angestrebten Zielen lässt sich dann der verbleibende Handlungsbedarf ableiten. Dabei fließen nicht nur technische Verbesserungen, sondern auch Änderungen der Nutzungsniveaus, z.B. durch Bevölkerungswachstum oder wirtschaftliches Wachstum ein.

4.2.1 Rahmendaten

Alle nachfolgenden Daten beziehen sich – sofern nichts anderes gesagt wird – auf 2006 als Basisjahr. Es wird unterstellt, dass die Einwohnerzahl Hamburgs bis 2020 um 50.000 zunimmt und dann konstant bleibt [Statistikamt Nord 2004]. Gleichzeitig wächst die Wohnfläche pro Kopf moderat von 37 auf 38 Quadratmeter. Die Bruttowertschöpfung des produzierenden Gewerbes steigt nach einer Studie der Prognos AG bis 2020 um 26% an, diejenige des Dienstleistungsbereichs um 27% [Prognos 2007]. Die Zahl der Beschäftigten nimmt derselben Studie zufolge im produzierenden Gewerbe bis 2020 um 6% ab. Im Dienstleistungsbereich steigt sie im gleichen Zeitraum um 10% an.

4.2.2 Referenzentwicklung: elektrische Energie

Im Bereich der elektrischen Energie sind drei Entwicklungen zu berücksichtigen:

- Die Nachfrage nach strombasierten Energieanwendungen steigt weiter an. Wesentliche Treiber sind dabei die Informations- und Kommunikationstechnologien und künftig gegebenenfalls auch der Bereich der Mobilität. Es wird angenommen, dass die Nachfrage ohne Effizienzsteigerungen linear bis 2020 um 8% und bis 2050 um 25% ansteigt.
- Der spezifische Energiebedarf der „anderen Stromdienstleistungen“, d.h. ohne Raumwärme, Warmwasser und Prozessenergie, sinkt bis 2050 um 40%. Daraus ergibt sich bis 2020 eine Verringerung um 13%. Dies entspricht den Vorgaben der EU-Effizienzrichtlinie.
- Die Versorgungsstruktur verändert sich wie in Kap. 3.1.2 und Abbildung 10 dargestellt hin zu einem immer stärkeren Einsatz erneuerbarer Energien. Das zugrundeliegende BMU-Basiszenario 2010 (früher BMU-Leitstudie) geht davon aus, dass der Kernenergieausstieg wie beschlossen erfolgt. Der Generalfaktor sinkt bis 2020 auf 450 g/kWh und bis 2050 auf 50 g/kWh.

Es wird angenommen, dass die elektrische Prozessenergie, die in Hamburg im Wesentlichen in der Metallherzeugung benötigt wird, konstant bleibt. Die Aluminiumwerke bleiben in Betrieb.

Für den Referenzfall wird angenommen, dass bei den privaten Haushalten 5% des Bedarfs als grüner Strom nachgefragt werden. Für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen soll der Anteil bei 2,5% liegen.

Insgesamt sinkt die Stromnachfrage in Hamburg im Referenzfall bis 2020 von 13,1 TWh in 2006 (inkl. Aluminiumwerke) auf 12,6 TWh pro Jahr. Im Jahr 2050 beträgt der Strombedarf 10,9 TWh.

Ohne den im nächsten Abschnitt berücksichtigten Strombedarf für Raumwärme und Warmwasser ergibt sich im Referenzfall eine Verringerung der CO₂-Emissionen aus der Stromnutzung von 1,9 Mio. t im Jahr 2020 gegenüber 2006.

4.2.3 Referenzentwicklung: Raumwärme und Warmwasser

Für den Wärmebedarf der Gebäude in Hamburg wurde von Ecofys ein Ergänzungsgutachten als Teil 2 des Masterplans angefertigt [Ecofys 2009]. Im Rahmen dieses Gutachtens wurde zunächst eine umfassende Datenbasis für den Gebäudebestand in Hamburg erhoben. Anschließend wurde dessen Entwicklung mit verschiedenen Sanierungsraten und Sanierungstiefen modelliert. Die hier zusammenfassend dargestellten Daten, Annahmen und Modellierungsergebnisse zu den Gebäudehüllen stammen – soweit nichts anderes gesagt wird – aus diesem Gutachten von Ecofys. Für weitere Details sei auf das Gutachten selbst verwiesen. Dabei ist zu beachten, dass sich das Ecofys-Gutachten ausschließlich mit dem Bedarf an Heizwärme beschäftigt, also der Wärmemenge, die das Gebäude durch seine Außenhülle verliert und die ersetzt werden muss, um die Innentemperatur konstant zu halten. Die Art wie die Wärme durch die Heizungsanlage zugeführt wird, bleibt dabei außeracht. Das vorliegende Gutachten betrachtet im Unterschied dazu die Heizenergie. Darunter wird die End-



energiemenge verstanden, die in der Heizungsanlage eingesetzt werden muss, damit diese den Heizwärmebedarf decken kann. Dabei kommt es zu Verlusten, die auch einen Ansatzpunkt für die Energieoptimierung in Gebäuden bilden.

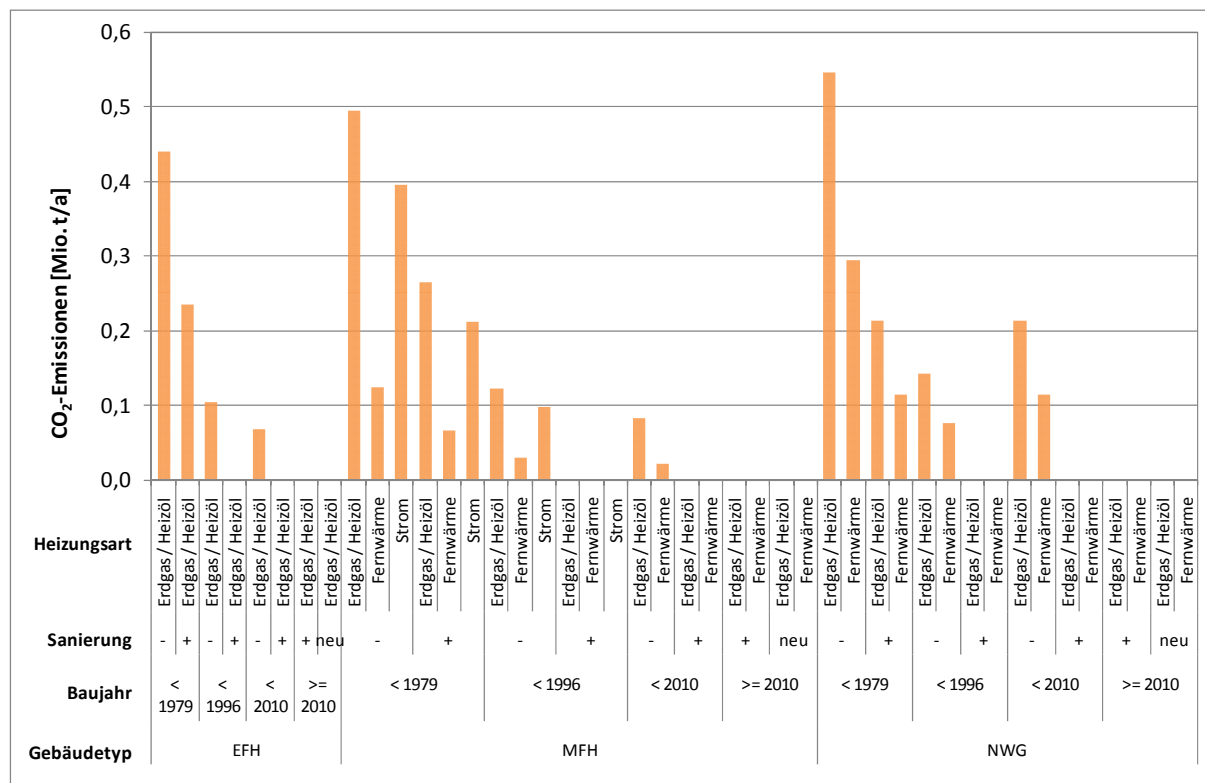


Abbildung 18: CO₂-Emissionen aus der Versorgung Hamburger Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2009 nach Gebäudetypen, Baujahr, Sanierungsstand und Heizungsart [Ecofys 2009 und eigene Abschätzungen].

Abbildung 18 zeigt, dass drei Viertel der CO₂-Emissionen aus der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in Hamburg auf Gebäude entfallen, die vor 1979 erbaut wurden. Darunter tragen Mehrfamilienhäuser und Nicht-Wohngebäude wiederum mehr als drei Viertel bei. Ecofys hat zudem ermittelt, in welchem Umfang in Hamburg bereits heute Gebäude neu errichtet oder saniert werden (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Abriss-, Sanierungs- und Neubauraten in Hamburg [Ecofys 2009].

	Wohngebäude	Nicht-Wohngebäude
Abrissrate	- bis 2015	0,33 %/a
	- ab 2015	0,7 %/a
Sanierungsrate	1,8 %/a	0,6 %/a
Neubaurate	0,77 %/a	0,85 %/a

Tabelle 8 zeigt, dass die Sanierungsrate für Wohngebäude in Hamburg deutlich höher liegt als im bundesweiten Durchschnitt und bereits fast den von der Bundesregierung in ihrem Energiekonzept 2010 genannten Zielwert von 2% pro Jahr erreicht [BMWi/BMU 2010].

Ecofys nimmt in seinem Basisszenario folgendes an (für weitere Details vgl. Ecofys 2009):

- Alle Neubauten werden gemäß der derzeit gültigen Hamburger Klimaschutzverordnung (s. Kap. 4.1.4) erstellt. 25% der Wohneinheiten werden dabei mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Ab dem Jahr 2015 werden die Anforderungen an die Dämmung um 20% verschärft und alle Wohneinheiten erhalten Lüftungsanlagen.
- Altbauten werden gemäß den Anforderungen der Hamburger Klimaschutzverordnung saniert. In 50% der Fälle wird dabei eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Auch hier werden die Anforderungen 2015 um 20% verschärft.

Ecofys unterstellt, dass die unterstellten Zielwerte für die Sanierung auch erreicht werden. Dies entspricht dem allgemeinen Vorgehen für den Referenzfall in dieser Studie. Es bestehen aber begründete Zweifel, dass dies in der Praxis tatsächlich der Fall ist.

Abbildung 19 zeigt die resultierende Entwicklung des Wärmebedarfs, die sich aus diesen Annahmen für den Referenzfall ergibt. Bis 2020 wird demnach gegenüber 2009 knapp ein Fünftel und bis 2050 die Hälfte des Wärmebedarfs eingespart. Dabei ist bereits eingerechnet, dass die Flächen für Wohn- und Nicht-Wohnzwecke bis 2020 noch wachsen werden.

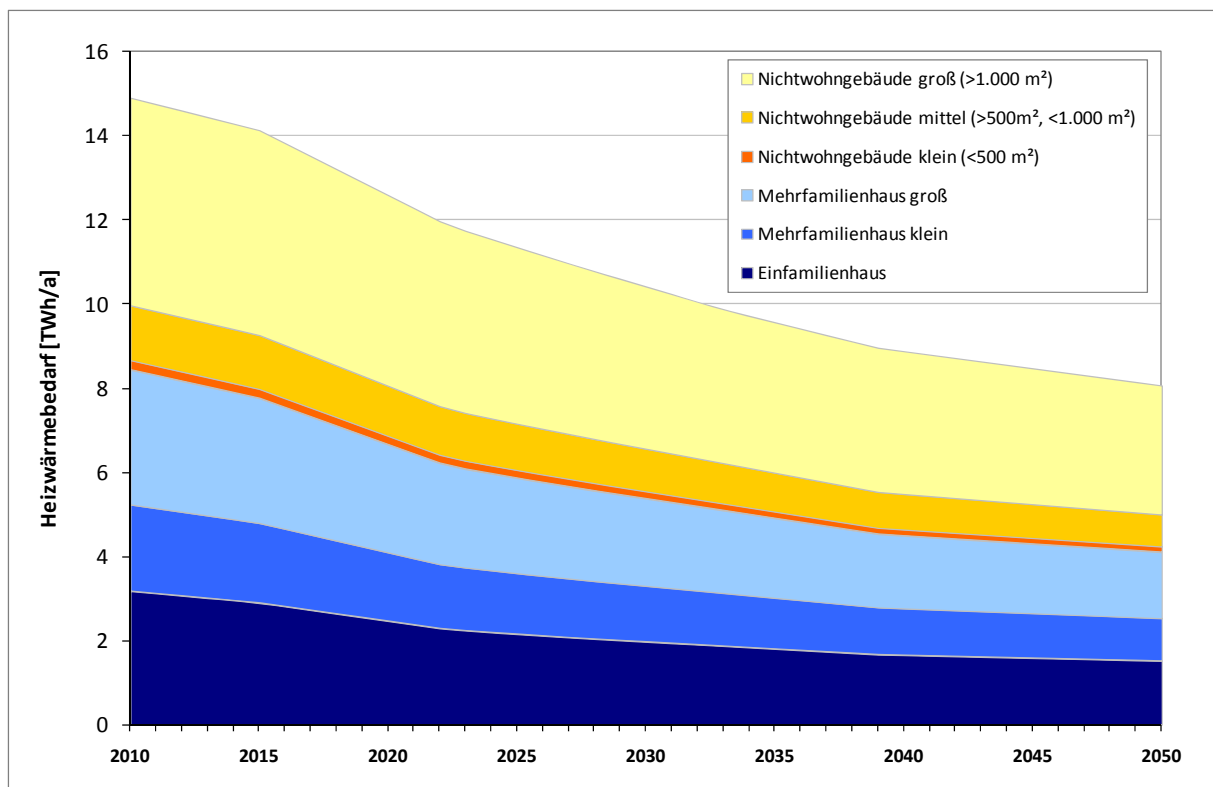


Abbildung 19: Entwicklung des Wärmebedarfs (Raumwärme und Warmwasser) in Gebäuden im Referenzfall [Ecofys 2009].



Die Struktur der Wärmeversorgung bleibt im Referenzfall unverändert. Der Nutzungsgrad der Heizungssysteme steigt von 81% auf 85%. Die spezifischen CO₂-Emissionen der Fernwärme sind von 1990 bis 2006 von 344 g/kWh auf 256 g/kWh zurückgegangen. Ursache hierfür waren Investitionen in den Anlagenpark. Für den Referenzfall wird unterstellt, dass das Kraftwerk Moorburg wie geplant an das Fernwärmenetz angeschlossen wird. Der vorgesehene Ausbau der Fernwärme wird dagegen nicht unterstellt. Vielmehr sinkt der Fernwärmeabsatz im Referenzfall proportional mit dem Heizwärmebedarf.

Insgesamt ergibt sich im Referenzfall ein Beitrag des Gebäude-Sektors zur Minderung der CO₂-Emissionen im Jahr 2020 von 1,2 Mio. t gegenüber 2006.

4.2.4 Referenzentwicklung: Prozesswärme

Es wird angenommen, dass ein Wachstum der Bruttowertschöpfung um 1% eine Erhöhung des Prozesswärmebedarfs um 0,5% zur Folge hat. Das in Kap. 4.2.1 unterstellte Wachstum der Hamburger Wirtschaft führt daher bis 2020 zu einem Anwachsen des Prozesswärmebedarfs um 13-14%. Gleichzeitig wird aber angenommen, dass auch in diesem Bereich die Ziele der Effizienzrichtlinie erreicht und der spezifische Energiebedarf bis 2020 um 13% reduziert werden kann.

In Summe führt dies dazu, dass Struktur und Höhe des Endenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen der Prozesswärme im Referenzfall annähernd konstant bleiben.

4.2.5 Referenzentwicklung: Mobilität

Für den Referenzfall wird angenommen, dass der Personenverkehr in Hamburg nach Fahrleistung und Verteilung auf die Verkehrsträger konstant bleibt. Der Güterverkehr nimmt bis 2020 um 10% und bis 2050 um 20% zu. Gleichzeitig verbessert sich die Effizienz der PKW bis 2020 um 25% und bis 2050 um 50% [BMU 2008b].

In dieser Entwicklung werden alle Effekte von einer Minderung des Verbrauchs herkömmlicher Motoren über die Beimischung von Bio-Treibstoffen bis hin zur schrittweisen Einführung von Elektrofahrzeugen subsummiert. Sie entspricht dem EU Ziel, die CO₂-Emissionen von neu zugelassenen PKW bis 2012 auf 120 g/km zu begrenzen. Für LKW wird eine Effizienzverbesserung von 20% bis 2020 und 30% bis 2050 unterstellt.

In Summe führt dies dazu, dass die CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor im Referenzfall um 0,7 Mio. t zurückgehen.

4.2.6 Abweichungen von der BMU-Leitstudie / dem BMU-Basisszenario

Die für den Referenzfall getroffenen Annahmen gehen hinsichtlich der technischen Entwicklung weitgehend auf die BMU-Leitstudie 2008 bzw. deren Nachfolger, das BMU-Basisszenario 2010 zurück [BMU 2008b, 2010b]. An einigen Stellen musste jedoch davon abgewichen werden, weil die Hamburger Verhältnisse sich von der mittleren Situation oder der Entwicklung in Deutschland unterscheiden:

- Die Bevölkerung Hamburgs wächst im Gegensatz zur Bevölkerung in ganz Deutschland. Dies führt zunächst zu einer höheren Nachfrage nach Raumwärme, Warmwasser und Strom in den privaten Haushalten.
- Das Potential für die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmegewinnung ist in einer Metropolregion wie Hamburg geringer als im bundesdeutschen Durchschnitt.
- Hamburg verfügt bereits über ein ausgedehntes Fernwärmenetz. Für den Referenzfall wird daher keine Zunahme der Kraft-Wärme-Kopplung in der Raumwärmeversorgung unterstellt. Der Betreiber der Fernwärme, Vattenfall, plant, ein neues Steinkohle-gefeuertes Kraftwerk an das Fernwärmenetz anzuschließen. Dies führt nicht zu einer wesentlichen Verbesserung der spezifischen CO₂-Emissionen der Fernwärme. Mit sinkender Wärmefachfrage steigt jedoch der Anteil der Müllverbrennung an der Fernwärmebereitstellung, was zu sinkenden spezifischen Emissionen führt (siehe dazu auch Kap. 5.2.3.3).

4.3 Verbleibende Herausforderung für den Klimaschutz in Hamburg

Abbildung 20 und Tabelle 9 zeigen die Entwicklung der CO₂-Emissionen in Hamburg auf der Basis der oben beschriebenen Annahmen für den Referenzfall. Bei dieser Darstellung wurde im Sinne einer realistischen Abschätzung des Handlungsbedarfs unterstellt, dass die Hamburger Aluminiumwerke auch 2006 und 2007 voll produziert haben. Bis zum Jahr 2008 konnten bei dieser Betrachtungsweise die CO₂-Emissionen gegenüber 2006 um 1,1 Mio. t reduziert werden. Von den 2020 gegenüber 2008 noch zu vermeidenden Emissionen in Höhe von 4,4 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr werden durch die bereits bestehenden Maßnahmen – unter der optimistischen Annahme ihrer vollständigen Wirksamkeit und Umsetzung – 2,8 Mio. Tonnen erreicht.

Es besteht eine Lücke von 1,6 Mio. Tonnen CO₂ in 2020, die durch zusätzliche Maßnahmen geschlossen werden muss. Das entspricht einer Reduzierung der Emissionen gegenüber 2008 um gut 10%.

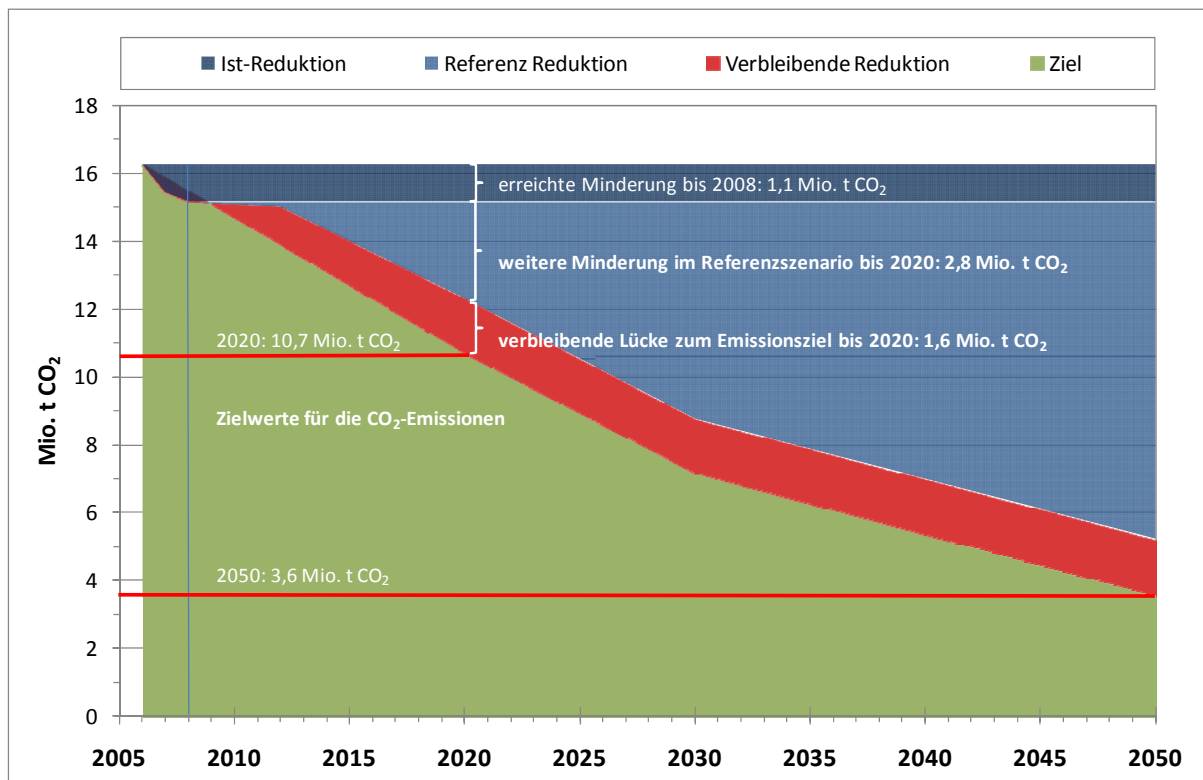


Abbildung 20: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Hamburg im Referenzfall.

Hintergrund: Aufteilung der CO₂-Minderungen

Tabelle 9: CO₂-Minderungen in 2020 im Referenzfall gegenüber 2006.

Anwendung	Aktivität	Effizienz	Energiebereitstellung	CO ₂ -Minderung
Strom	<ul style="list-style-type: none"> Aktivitätsniveau +8% 	<ul style="list-style-type: none"> spez. Strombedarf -13% 	=> Strombedarf - 6% 40% erneuerbare Energien => Generalfaktor 450 g/kWh	1,9 Mio. t
Raumwärme	Flächen <ul style="list-style-type: none"> Haushalte +4% GHD +10% produzierendes Gewerbe -6% 	<ul style="list-style-type: none"> spez. Heizwärmebedarf -22% 	=> Heizenergiebedarf -21% <ul style="list-style-type: none"> Nutzungsgrad Heizung Fernwärme: CO₂-Faktor sinkt mit abnehmender Nachfrage 	1,2 Mio. t
Mobilität	Fahrleistung <ul style="list-style-type: none"> PKW konstant LKW +10% 	Verbrauch <ul style="list-style-type: none"> PKW -25% LKW -20% 	=> Treibstoff <ul style="list-style-type: none"> PKW - 25% LKW - 12% Biomasse konstant 	0,7 Mio. t
Prozesswärme	Nachfrage steigt mit 50% des BIP-Wachstums => +13%	<ul style="list-style-type: none"> spez. Verbrauch -6% 	=> Energiebedarf +/- 0	0,1 Mio. t
CO₂-Minderung	3,9 Mio. t (inkl. 1,1 Mio. t/a CO ₂ -Minderung bis 2008)			

5 DAS KLIMASCHUTZSZENARIO 2020 FÜR HAMBURG

Bevor konkrete Maßnahmen und Instrumente für Hamburg vorgeschlagen werden, ist zu fragen, welche grundsätzlichen Handlungsoptionen für ein Bundesland bzw. eine Kommune im gegebenen Rechtsrahmen bestehen.

5.1 Handlungsoptionen eines Bundeslandes / einer Kommune

In Kap. 2.5 wurde bereits diskutiert, wo Ansatzpunkte für das Handeln eines Bundeslandes oder einer Kommune sind. Dabei wurden die Gebäude und die Nachfrageseite des Verkehrssektors als zentrale Elemente einer lokalen Klimaschutzstrategie identifiziert.

Vorweg sei betont, dass es jedem Bundesland und jeder Kommune möglich ist, dort, wo sie selbst Eigentümer von Gebäuden, Anlagen und Fahrzeugen sowie Planer oder Betreiber von Infrastruktur sind, nach den hier aufgezeigten Prämissen zu handeln (vgl. dazu Kap. 5.2.7).

Von den in Kap. 2.4 genannten Instrumenten stehen die Bereitstellung von Information sowie die Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren natürlich staatlichen Stellen auf allen Ebenen offen. Die langjährige Erfahrung im Umweltschutz zeigt jedoch, dass noch so gute Information und hohe Einsicht bei den Betroffenen nicht ausreichen, um die erforderlichen Maßnahmen umzusetzen. Dies liegt häufig an den Kosten und der Frage „Warum soll ich es tun, wenn es mein Nachbar nicht tut“. Im gewerblichen Umfeld stellen freiwillig akzeptierte zusätzliche Kosten einen Wettbewerbsnachteil dar, der im Extremfall zum Ausscheiden aus dem Markt führen kann. Information und Beratung ermöglichen es daher Vorreitern, neue Lösungen in der Praxis zu erproben und so den Boden für ihre verbindliche Einführung zu bereiten.

Finanzielle Anreize können grundsätzlich in zwei Richtungen gegeben werden, als Belastung dessen, was man nicht möchte, oder als Förderung des erwünschten Handelns. Die Kompetenz, Steuern und Abgaben festzulegen, liegt jedoch weitestgehend beim Bund. Und selbst da, wo ein Land die Höhe der Steuer festlegen kann wie bei der Grundsteuer, hat der Bund die Bemessungsgrundlage fest definiert. Eine Kopplung der Grundsteuer an die energetische Qualität eines Gebäudes ist daher auf Landesebene nicht möglich. Allenfalls die finanzielle Abgeltung ordnungsrechtlicher Auflagen ähnlich wie bei der Ersatzabgabe für Parkplätze ist in dieser Hinsicht ein vorstellbares Instrument. Die flächendeckende Förderung dessen, was für das Erreichen der Klimaschutzziele erforderlich ist, scheidet bei der derzeitigen Finanzlage der öffentlichen Hand von vornherein aus.

Damit verbleiben als zentrale Optionen auf Landesebene letztlich nur das Ordnungsrecht und die Planungshoheit. Generell haben Länder und Kommunen hier einen großen Gestaltungsspielraum mit Bezug auf ihre lokale Infrastruktur, solange diese nicht überregionale Funktionen erfüllt wie etwa Flughäfen, Häfen und andere überregionale Verkehrswege. Insbesondere die Wärmeversorgung fällt unter das Landes- bzw. Kommunalrecht [Klinski 2009].



Zwar hat der Bund auch im Bereich der Gebäude mit den in Kap. 4.1.3 beschriebenen Gesetzen und Verordnungen zur Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden vieles geregelt. Er hat aber den Ländern explizit und implizit Gestaltungsspielräume gelassen. So dürfen diese schärfere Anforderungen stellen als in den bundesweiten Regelungen vorgesehen. Dies betrifft aber in der Regel den Fall, dass eine bereits geplante Baumaßnahme bestimmten Anforderungen unterworfen wird.

Entscheidend wird es in der Zukunft sein, die Eigentümer aller bestehenden Gebäude dazu zu bewegen, die energetische Qualität ihrer Gebäude zu verbessern. Da der Bund für bestehende Gebäude, in denen keine Sanierung geplant ist, bewusst keine Regelung getroffen hat, gibt es hier eine Lücke in der Gesetzgebung, die sich die Bundesländer zunutze machen können.

Dabei ist zu beachten, dass sich die Betroffenen regelmäßig auf den im Grundgesetz verbrieften Schutz ihres Eigentums berufen werden. Dieser gilt jedoch nicht unbeschränkt. Es ist aber erforderlich, dass die Eingriffe in das Eigentum notwendig, geeignet und verhältnismäßig sind.

Auch bei der Gestaltung des lokalen Verkehrs hat Hamburg als Land und Kommune einen sehr großen Spielraum. Dieser reicht vom gezielten Ausbau einzelner Verkehrsträger wie S-Bahn, Busse oder Straßen auf der Basis einer langfristigen Raumplanung bis hin zu den Regeln für ihre Nutzung (Preise, Geschwindigkeiten etc.).

Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die Regelungsmöglichkeiten von Bund, Ländern und Kommunen. Wo ein Land selbst keine Handlungsmöglichkeit hat, kann es über den Bundesrat versuchen, das Bundesrecht in der gewünschten Richtung zu verändern.

Tabelle 10: Regelungsmöglichkeiten auf der Ebene von Bund, Ländern und Kommunen.

		Maßnahme	Bund	Land	Kommune
Strom	Angebot	Ausbau EE	x		
		Neue konventionelle Kraftwerke	x	+ 1)	+ 1)
		Speicher		+ 1)	+ 1)
	Nachfrage	Kennzeichnungspflicht Verbrauch	a		
		Marktdurchdringung effizienter Geräte	a		
Wärme	Angebot	Einsatz EE Neubauten	a		
		Einsatz EE Bestand	x	+	o 2)
		Regulierung Wärmeerzeugung und -verteilung	x	+	?
		CO ₂ -Regulierung Fernwärme		?	
		Anschluss- und Benutzungszwang Fernwärme			+
		Konzessionsvorgaben Fernwärme			+
	Nachfrage	Wärmeschutz Neubau	x	+	o
Wärmeschutz Bestand		x	+	o	

		Maßnahme	Bund	Land	Kommune
		Einsparung Warmwasser	x	+	?
		Gebäudezustandsabhängige Steuer	a		
		Mietrecht (Eigner-Nutzer-Dilemma)	a		
		ökologischer Heizspiegel		?	?
Mobilität	Angebot	Verbrauchsgrenzen	a		
		Brennstoffe (Biodieselbeimischung)	a		
	Nachfrage	City-Maut		+	?
		Parkraumbewirtschaftung		+ 3)	+ 3)
		Tempolimits	x	+	+

- 1) Im Zuge von Raumordnungsverfahren / Wasserrecht
- 2) Bereits umgesetzt in Brandenburg
- 3) Z.B. auch in Form von Abgaben auf private Parkplätze
- a) ausschließliche Regelungskompetenz
- +) Regulierungspotential vorhanden
- o) Satzungsermächtigung durch das Land erforderlich

Fazit

Die zentralen Instrumente der Klimaschutzpolitik auf Landesebene sind die wirksame Bereitstellung von Information, eine anspruchsvolle und zukunftsorientierte Planung der künftigen Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur, ordnungsrechtliche Vorgaben zu deren Qualität sowie die Vorbildfunktion bei der Sanierung landeseigener Gebäude und der Beschaffung von Geräten und Fahrzeugen.

5.2 Maßnahmen und Instrumente für Hamburg

5.2.1 Bewusstseinsbildung und Motivation

5.2.1.1 Erkenntnisse der Umweltpsychologie

Entscheidungen im Bereich der Energienutzung, sei es zu Investitionen, zu organisatorischen Maßnahmen oder zum persönlichen Verhalten, werden durch Menschen getroffen [vgl. zu den Ausführungen in diesem Kapitel: Matthies 2009]. Dadurch bekommen Energieeffizienz und Energieeinsparung neben der technischen und ökonomischen auch eine psychologische Seite, die bisher bei der Implementierung von Maßnahmen und Instrumenten zum Klimaschutz wenig beachtet worden ist. Die Ergebnisse der Umweltpsychologie zeigen, dass die reine Bereitstellung von Informationen zwar notwendig aber eben nicht ausreichend ist für eine erfolgreiche Beeinflussung von energierelevanten Entscheidungen. Entsprechend sollten zukünftige Kampagnen in Hamburg diese Erkenntnisse berücksichtigen.

Um verfügbaren und wirtschaftlich sinnvollen Energieeinsparungen im Alltag tatsächlich zum Durchbruch zu verhelfen, ist es notwendig zu verstehen, wie Menschen urteilen und entscheiden, wie sie Informationen verarbeiten, welchen Einfluss Gruppenzugehörigkeiten haben können oder welche Motive Verhaltensänderungen bewirken können. Entsprechend



lassen sich die folgenden drei Bereiche unterscheiden, die Entscheidungen und Verhalten bei der Energienutzung beeinflussen:

- Wissen,
- Motivation und
- Barrieren.

Beim Wissen ist zu unterscheiden zwischen dem Erkennen des Problems und dem Handlungswissen. Zu ersterem gehören die Zusammenhänge zwischen Energienutzung, Umweltverschmutzung und Klimawandel. Beim Handlungswissen geht es um Fragen wie:

- Wieviel verbrauche ich und ist das vielleicht zu viel?
- Was kann ich eigentlich tun (und bringt das was)?
- Wo sehe ich eigentlich, dass ich Energie eingespart habe?

Bei der Motivation kommen persönliche und soziale Normen oder auch – oft subjektive – Kosten-Nutzen-Analysen hinzu. So können Einschätzungen wie „viel zu umständlich“, „bringt eh nichts“ oder „ist uncool, macht auch keiner den ich kenne“ dazu führen, dass technisch verfügbare und ökonomisch attraktive Maßnahmen und Verhaltensweisen nicht umgesetzt werden.

Schließlich sind noch Barrieren zu nennen, die die Umsetzung von an sich sinnvollen Maßnahmen behindern. Darunter fallen wahrgenommene Verhaltensspielräume („Ich kann ja gar nichts machen“) und Gewohnheiten (z.B. Lichtenlassen bei Verlassen des Raums).

Vor diesem Hintergrund macht die Umweltpsychologie auf der Basis verschiedener Untersuchungen konkrete Vorschläge, wie Interventionsstrategien ausgestaltet werden müssen, um energierelevante Investitionsentscheidungen und das anschließende Nutzerverhalten zu beeinflussen. Demnach ist die Bereitstellung von Information eine notwendige, für sich allein jedoch nicht hinreichende Bedingung für die Umsetzung von gewünschten Änderungen. Ebenso kann eine (finanzielle) Belohnung hilfreich sein. Die Frage, ob sie ausreichend ist, kann nicht pauschal bejaht werden. Entsprechend müssen weitere Aspekte berücksichtigt werden:

- Rückkopplung / Feedback: sollte möglichst kontinuierlich, am besten täglich erfolgen; auf der Stromrechnung am Jahresende ausgewiesene Einsparungen lassen sich schwer einzelnen Entscheidungen / Verhaltensänderungen zuordnen.
- Zielvorgaben: „Sparen Sie dieses Jahr 5% Energie – wir begleiten Sie!“
- Zielgruppenspezifisches „Marketing“ zum Thema Energieeinsparung: Jugendliche müssen anders angesprochen werden als Rentner.
- Abbau von Barrieren: Erinnerungshilfen, Hilfen zur Handlungsausführung
- Haushalts- oder unternehmensspezifische Beratung / Coaching

5.2.1.2 Beispiel Wissen

Die EU-Effizienzrichtlinie gibt zwar Ziele vor und beschreibt mögliche technische Maßnahmen, bleibt jedoch hinsichtlich der Instrumente, mit denen diese umgesetzt werden sollen, vage. Einen wesentlichen Beitrag müssen zielgerichtete Informationen der Anwender leisten.

Dabei reicht es nicht aus, die entsprechenden Informationen einfach bereitzustellen, sie müssen vielmehr aktiv den Nutzern nahe gebracht werden, wenn diese vor Kauf- oder Nutzungsentscheidungen stehen.

Wie in Kap. 4.1.4 gezeigt, gibt es in Hamburg bereits umfangreiches Material zu den Möglichkeiten der Energieeinsparung sowie eine ganze Reihe von Beratungsstellen. Diese sollten ausgebaut und hinsichtlich ihrer Wahrnehmung und der Erreichung der Zielgruppen weiterentwickelt werden.

Viele Menschen, sei es in privater oder beruflicher Funktion, fühlen sich im Dschungel der verfügbaren Information verloren und wenden sich vom Thema Klimaschutz ab. Es ist daher erforderlich, die Kommunikation zu vereinheitlichen, klarer zu strukturieren und gut wahrnehmbare Anlaufpunkte für Fragen und Rückmeldungen zu schaffen. Ein Element eines solchen Vorgehens könnte eine einheitliche Telefonnummer oder Internet-Seite analog zur Behördenhotline, die dann eine Vorsortierung der Anliegen vornimmt und an die eigentliche Fachberatung verweist. Weiter wäre eine zentrale Anlaufstelle sinnvoll, die die richtigen Programme vorschlagen, die entsprechenden Anträge vorhalten und am besten auch beim Ausfüllen helfen kann.

Es ist nur schwer möglich, die Wirkung der Beratung zu messen, geschweige denn zwischen Referenz- und Klimaschutz-Szenario zu differenzieren.

5.2.1.3 Beispiel Motivation

Um eine Akzeptanz in der Bevölkerung für die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen sicherzustellen, muss die Motivation für den Klimaschutz verbessert werden. Dies geht über die reine Wissensvermittlung hinaus und kann in verschiedenen sozialen Gruppen sehr unterschiedliche Herangehensweisen erfordern. Es ist notwendig hier neue professionelle Ansätze zu entwickeln und umzusetzen. Dafür sind dann auch die erforderlichen Mittel bereitzustellen.

Als ein Beispiel sei die Initiierung sogenannter *Energienachbarschaften* in Hamburg genannt (www.energienachbarschaften.eu/de). Bei diesem Wettbewerb setzen sich „Nachbarschaften“ bestimmte Ziele zur Energieeinsparung, z.B. (mindestens) 8% in sechs Monaten. Die Teilnehmer werden von einem Energiecoach begleitet. Erste Erfahrungen zeigen ein Einsparpotential von bis zu 37% (in Schweden) bzw. bis zu 18% (in Deutschland, Durchschnitt 12%). Entscheidend für den Erfolg war hierbei die Berücksichtigung der verschiedenen oben genannten Aspekte wie Zielsetzung, häufige Rückkopplung über den Erfolg, Einbindung sozialer Gruppen, sowie die Auszeichnung der Gewinner.

5.2.1.4 Beispiel Barrieren

Barrieren treten in unterschiedlichen Zusammenhängen auf und müssen entsprechend individuell angegangen werden. Zu den Barrieren gehören auch Gewohnheiten. Wie diese erfolgreich durchbrochen werden können, wurde bereits in unterschiedlichen Projekten gezeigt (www.change-energie.de/projekt). Entsprechend sollte die Hamburger Verwaltung systematisch Veränderungsprozesse hin zu energiebewusstem Verhalten bei ihren Mitarbeiter initiieren.



Aber auch im Verkehrsbereich kann Hamburg versuchen, Verkehrsroutinen systematisch zu durchbrechen. Wenn beispielsweise eine Familie nach Hamburg zieht, wird sie in den ersten Wochen ihr Mobilitätsverhalten festlegen. Wenn sie sich einmal für das Auto entschieden hat, wird es sehr schwer, sie davon wieder abzubringen. Wenn sie jedoch z.B. bei der Anmeldung im Einwohnermeldeamt angesprochen, auf die Möglichkeiten des ÖPNV in Hamburg hingewiesen und vielleicht durch eine kostenlose Netzkarte für ein bis zwei Monate angeregt wird, diesen auszuprobieren, könnte ihre Entscheidung anders ausfallen. Andere mögliche Interventionspunkte bei Verkehrsroutinen sind z.B. einen neuer Job, Nachwuchs oder ein Umzug innerhalb von Hamburg.

5.2.1.5 Bürgerbeteiligung

Einige der im Rahmen des Masterplans notwendigen Klimaschutzmaßnahmen burden Bürgern und Unternehmen zusätzliche Lasten auf. Um die Akzeptanz dafür zu gewinnen und zu erhalten ist neben der oben beschriebenen inhaltlichen Erklärung auch die Beteiligung der Betroffenen an der Umsetzung von erheblicher Bedeutung. So sollten insbesondere bei der Planung von städtischer Infrastruktur diejenigen, die davon am meisten betroffen sind, aktiv beteiligt werden. Dazu stehen vielfältige, erprobte Verfahren wie Planungszellen oder Bürgergutachten zu Verfügung. Wichtig ist, dabei auf Transparenz und Ergebnisoffenheit zu achten.

Zusammenfassung

Information und Kommunikation ist ein Schlüssel für die Akzeptanz von Klimaschutz in der Bevölkerung und die Basis für zielgerichtetes Handeln aller Akteure. Das Wissen muss jedoch so aufbereitet werden, dass es bei den Adressaten auch tatsächlich ankommt und von diesen in Handeln umgesetzt wird. Für diese Aufgabe müssen angemessene Mittel bereitgestellt werden.

Die Beteiligung der Betroffenen an der Planung von Infrastruktur hilft, spätere Akzeptanzprobleme zu vermeiden.

5.2.2 Elektrische Energie für Hamburg

Wie in Kap. 3.1.2 und 4.2.2 gezeigt sind die Handlungsmöglichkeiten Hamburgs in der Stromerzeugung begrenzt. Diese ist, getrieben durch das sehr erfolgreiche Instrument der Einspeisevergütung gemäß EEG, auch bereits auf einem guten Weg. Eine weitere Beschleunigung des Zuwachses an erneuerbaren Energien erscheint kaum möglich. Zum einen hält der erforderliche Ausbau der Stromnetze nicht mit der Entwicklung auf der Erzeugungsseite mit. Zum anderen sind die Kapazitäten zum Bau von Windkraftanlagen kurzfristig weitgehend ausgelastet. Sie lassen sich auch nicht in kurzer Zeit beliebig erweitern. Dazu fehlen das qualifizierte Personal und die entsprechenden Produktionskapazitäten. Beides zu vermehren erfordert seine Zeit. Das benötigte Kapital ist dagegen vorhanden, wenn man von kurzzeitigen Engpässen absieht, die auf die weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise zurückzuführen sind.

Effizienz

Auf der Anwendungsseite ist die Umsetzung der EU-Effizienzrichtlinie keineswegs gesichert, auch wenn dies für den Referenzfall unterstellt wurde. Da Hamburg keine Vorgaben für einzelne Geräte machen kann, bleibt an dieser Stelle zunächst nur der Verweis auf die in Kap. 5.2.1 diskutierten Ansätze zu Motivation und Beratung.

Darüber hinaus kann in Zusammenarbeit mit den örtlichen Stromanbietern über ein Mikrokredit-Programm nachgedacht werden, das es Haushalten mit geringem finanziellem Spielraum ermöglichen würde, ältere Hausgeräte mit hohem Verbrauch kostenneutral gegen sparsamere Geräte zu tauschen. Die Wirkung wäre allerdings begrenzt. So wurde bereits gezeigt, dass Einsparungen von 100.000 t CO₂ den Austausch von einer Million Kühlschränken bedeuten würde, was näherungsweise dem gesamten Bestand in Hamburger Haushalten entspricht.

Hamburg hat zudem die Möglichkeit, bestimmte Anwendungen von Strom zu beschränken. So kann das Heizen mit Strom in nicht sanierten Gebäuden, die Klimatisierung von Gebäuden, oder die Verwendung von Durchlauferhitzern eingeschränkt werden.

Das in Kap. 3.1.1 beschriebene Konzept der „Smart Grids“ sollte in Feldversuchen erprobt werden.

Grüner Strom

Gemäß des gewählten Ansatzes der Verursacherbilanz steht es den Nutzern in Hamburg frei, ihren persönlichen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, in dem sie grünen Strom beziehen. Sollte dieser auch in Hamburg produziert werden, so ist dies im Sinne der allgemeinen Motivationslage sicher hilfreich, jedoch nicht zwingend erforderlich. Abbildung 21 zeigt, welche CO₂-Minderung – unter den in Kap. 2.5 getroffenen Annahmen – mit Marktanteilen für Grünstrom zwischen 5% und 25% verbunden ist. So würde eine Verdreifachung des gegenwärtigen Anteils auf 15% in privaten Haushalten und 7,5% im Sektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistung“ bis 2020 gegenüber dem Referenzfall rund 0,24 Mio. t CO₂ in der Hamburger Bilanz vermeiden. Allerdings ist zu bedenken, dass ein Produkt „Grünstrom“ im Jahr 2050 nur noch minimale Minderungen gegenüber dem allgemeinen Strom bringt, da dieser dann ohnehin weitgehend CO₂-frei ist.

Der von der Stadt gegründete neue Versorger Hamburg Energie ist – ebenso wie die anderen Anbieter von Grünstrom in Hamburg – gefordert, diesen Mengen an die Endkunden zu vermarkten.

Grüner Strom kann heute relativ kostengünstig angeboten werden, weil er zum großen Teil aus älteren, bereits abgeschriebenen Anlagen bezogen wird. Neue Anlagen liefern nur einen kleinen Teil, so dass in der Mischkalkulation ein marktfähiger Preis möglich wird. Wenn die Nachfrage nach grünem Strom deutlich steigt, wird der Anteil neuer Anlagen und damit der Bezugspreis für diesen Strom ansteigen, was seine Vermarktung erschwert.

Die direkte oder indirekte Zurechnung von Strom aus Anlagen, die nach dem EEG gefördert werden, ist in diesem Zusammenhang nicht zulässig. Das EEG selbst verbietet die Doppelvermarktung von EEG-Strom als Grünstrom und rechnet die Umweltvorteile anteilig allen Kunden in Deutschland zu, die im Übrigen auch die Mehrkosten für diesen Strom tragen.

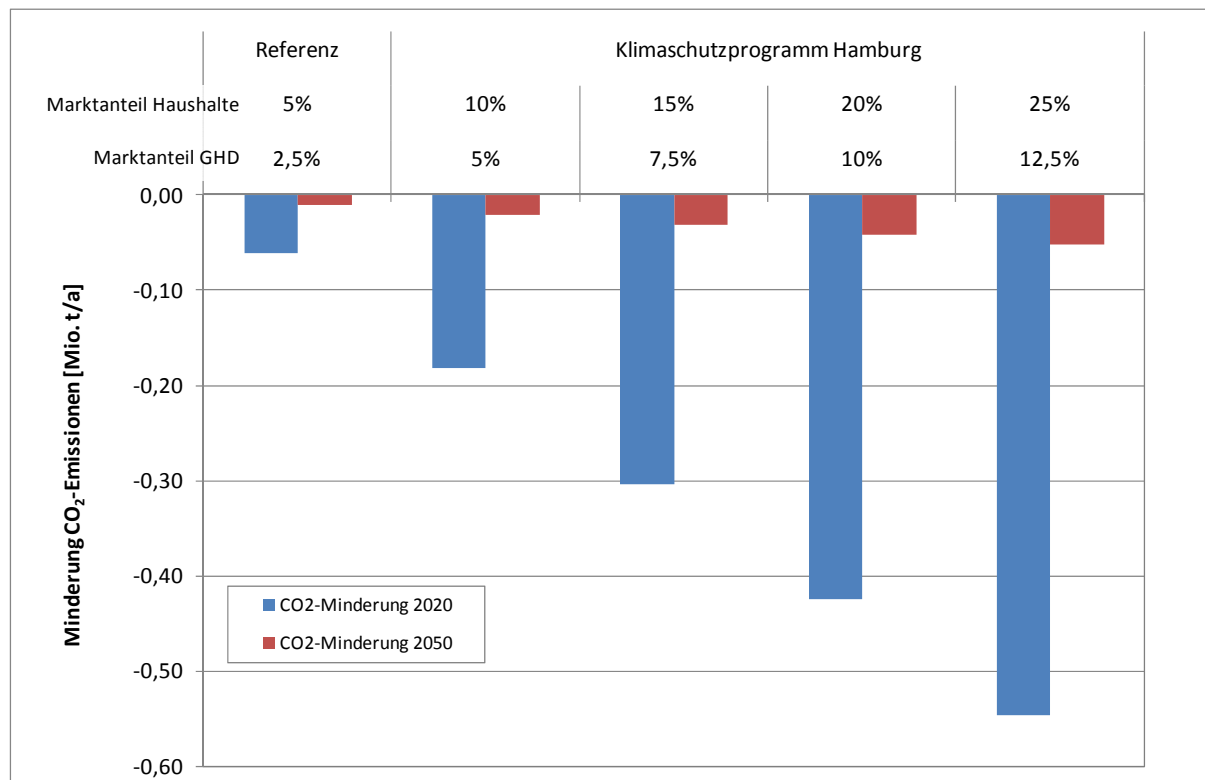


Abbildung 21: CO₂-Minderung durch den Bezug von grünem Strom in Hamburg.

Zusammenfassung

Die Handlungsmöglichkeiten Hamburgs im Strombereich beschränken sich auf die Beförderung der Energieeffizienz auf der Nutzungsseite. Hamburger Bürger können durch den Bezug von grünem Strom ihre persönliche CO₂-Bilanz – und damit auch diejenige Hamburgs – verbessern. Daneben können und sollen die lokalen Potentiale an erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung durch interessierte Investoren genutzt werden.

5.2.3 Raumwärme und Warmwasser in Hamburg

5.2.3.1 Weitergehende Maßnahmen an den Gebäudehüllen [Ecofys 2009]

Bereits im Referenzfall wird der Wärmebedarf in Gebäuden um rund 16% gegenüber 2009 und 19% gegenüber 2006 reduziert. Ecofys hat untersucht, wie sich weitergehende Maßnahmen an der Gebäudehülle im Laufe der Zeit auf den gesamten Wärmebedarf auswirken. Dabei wurden drei Fälle unterschieden:

- Besser sanieren: Die Wärmeschutzanforderungen werden gegenüber dem Referenzfall je nach Bauteil um 20-30% verschärft. Es werden nur noch Vollsanierungen und keine Teil-sanierungen mehr durchgeführt.
- Top sanieren: Die Wärmeschutzanforderungen entsprechen dem Passivhausniveau.
- Schneller sanieren: Die Wärmeschutzanforderungen werden gegenüber dem Referenzfall nicht verändert, aber die Sanierungsraten werden deutlich erhöht – und zwar auf 2,5% pro Jahr für Wohngebäude und 1,0%/a für Nicht-Wohngebäude.

Abbildung 22 zeigt die Auswirkungen dieser Parametervariationen auf den Wärmebedarf in Hamburger Gebäuden. Durch die Verschärfung der Anforderungen im Szenario „Besser sanieren“ geht der Wärmebedarf bis 2020 um 19% statt um 16% und bis 2050 um 57% statt um 46% gegenüber 2009 zurück. Werden die Anforderungen in der Sanierung auf Passivhausniveau geschraubt, dann beträgt der Rückgang gegenüber 2009 23% bis 2020 und 66% bis 2050. Durch eine Erhöhung der Sanierungsraten lässt sich die Einsparung bis 2020 auf 20% erhöhen. Dies führt jedoch dazu, dass 2050 mit einem Rückgang um 48% nur ein unwesentlich besseres Ergebnis erzielt wird als im Referenzfall. Entscheidend ist jedoch, das langfristige Ziel einer 80%-igen Minderung der CO₂-Emissionen gegenüber 1990 im Auge zu behalten, das von der Bundesregierung in ihrem Energiekonzept 2010 jetzt auch isoliert für den Raumwärmebedarf formuliert worden ist [BMW/BMU 2010]. Somit gilt:

Es ist wichtiger, im gleichen Zeitraum weniger Gebäude gut zu sanieren als möglichst viele Gebäude weniger gut zu sanieren. Geschieht dies nicht, müssen viele Gebäude bis 2050 ein zweites Mal saniert werden, um die insgesamt erforderlichen Einsparungen zu erreichen, was wirtschaftlich gesehen nicht sinnvoll wäre.

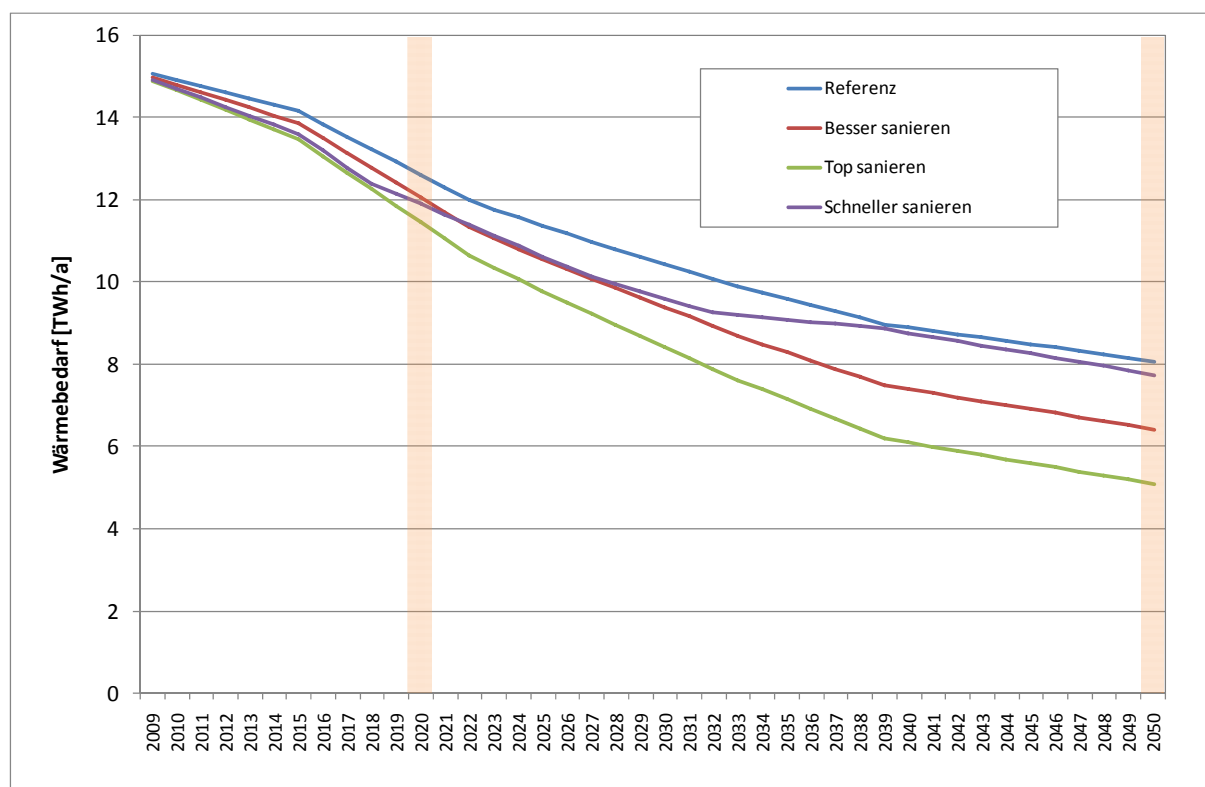


Abbildung 22: Entwicklung des Wärmebedarfs in Gebäuden bei verschiedenen Maßnahmenbündeln [Ecofys 2009].

Den weiteren Betrachtungen im Hinblick auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Raumwärmegewinnung wird in diesem Gutachten die Ecofys-Variante „Besser Sanieren“ zugrunde gelegt, die einem Heizwärmebedarf sanierter Gebäude von – je nach Gebäudetyp – 35 bis 60 kWh/(m²a) entspricht.



Das Umweltbundesamt geht in seiner jüngsten Studie [UBA 2010] von einem noch geringeren Heizwärmebedarf der Gebäude in der Größenordnung von 30 kWh/(m²a) im Jahr 2050 aus. Gegen eine so weitreichende Sanierung gibt es jedoch wegen der hohen Kosten erhebliche Vorbehalte bei den Gebäudeeigentümern. Es ist heute auch noch nicht zuverlässig feststellbar, ob aus wirtschaftlicher Sicht eine bessere Sanierung oder die Versorgung mit CO₂-freier Energie vorzuziehen ist. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird daher hier die etwas geringere Sanierungsqualität gewählt.

Die Umsetzung der über den Referenzfall hinaus gehenden Maßnahmen wird durch Förderung allein nicht zu schaffen sein. Da andere finanzielle Anreize wie Steuern oder Abgaben zurzeit nicht möglich sind, verbleibt letztlich nur das Ordnungsrecht.

Hamburg sollte in einem Landesgesetz die Sanierung des Gebäudebestandes auf Neubaulniveau unter Wahrung von angemessenen Übergangsfristen vorschreiben.

In einem allgemeinen Abschnitt sollte dieses Gesetz zunächst klarstellen, dass die Energienutzung in Gebäuden spätestens ab 2050 so erfolgen muss, dass dabei (fast) keine CO₂-Emissionen entstehen oder an anderem Ort induziert werden. Dies ist erforderlich, um Gebäudeeigentümern die Möglichkeit zu nehmen, sich auch noch in 20 Jahren gegen entsprechende Auflagen mit dem Argument des Bestandsschutzes zu wehren.

Es sollten Anforderungen definiert werden, ab wann ein Gebäude saniert werden muss. Dies könnte der Fall sein, wenn ein Gebäude vor 1979 gebaut wurde und bisher keine wesentlichen Sanierungen erfolgt sind oder ein bestimmter Heizwärmebedarf überschritten wird. In diesen Fällen sollte die Sanierung auf das Neubauniveau der EnEV 2009 vorgeschrieben werden.

Wie die Anforderungen genau zu definieren sind, muss im Detail noch diskutiert werden. Vorstellbar sind Regelungen, die sich

- am Dämmstandard,
- an der Primärenergieeinsparung oder
- am CO₂-Ausstoß

orientieren. Sinnvoll wäre es, für alle Bereiche Mindeststandards vorzugeben, um unerwünschte Ausweichreaktionen wie die CO₂-neutrale Beheizung eines ungedämmten Gebäudes mit Holz zu vermeiden. Ansonsten sollte den Eigentümern oder Investoren die Möglichkeit gegeben werden, selbst zu entscheiden, ob sie eine bessere Dämmung oder eine stärkere Versorgung mit CO₂-armen Energien anstreben. Welche Maßnahme im Einzelfall wirtschaftlicher ist, kann stark von den lokalen Gegebenheiten abhängen.

Für Neubauten sollte spätestens ab 2015 der Passivhaus-Standard als Regelfall gelten. Im Einzelfall können auch hier durchaus Ersatzmaßnahmen nach dem Prinzip „mehr CO₂-arme Energieversorgung bei weniger Dämmung“ zugelassen werden.

Die Förderung energiesparender Maßnahmen im Gebäudebereich sollte auf Pilotprojekte mit neuen technischen Lösungen und auf das Passivhausniveau beschränkt werden. Die Förderung sollte an der erreichten Energie- oder CO₂-Einsparung und nicht am Einsatz bestimmter Techniken oder Dämmstandards festgemacht werden. Sie sollte außerdem an der tat-

sächlich erzielten und nicht an der prognostizierten Einsparung festgemacht werden, was ein effektives Monitoring erfordert (vgl. Kap. 5.2.6).

Weitere Ansatzpunkte sind

- die Erstellung von standardisierten Maßnahmenpaketen für verschiedene Gebäudetypen;
- die Aufstellung eines Kriterienkatalogs, anhand dessen sich entscheiden lässt, ob ein Gebäude besser abgerissen als saniert werden sollte;
- die Erhöhung des Anteils vorgefertigter Komponenten in der Sanierung, um die Ausführungsqualität zu erhöhen.

Für Details zu diesen Punkten sei auf das schon mehrfach erwähnte Ergänzungsgutachten von Ecofys verwiesen [Ecofys 2009].

Schließlich ist es noch wichtig, das Eigner-Nutzer-Dilemma anzugehen. Darunter versteht man die Tatsache, dass die energetische Sanierung eines Gebäudes vom Eigentümer zu finanzieren ist, der wirtschaftliche Nutzen in Form verringerter Energiekosten jedoch dem Nutzer des Gebäudes zufällt. Während Mieten im gewerblichen Bereich frei ausgehandelt werden und diesen Aspekt berücksichtigen können, schränkt das geltende Mietrecht für Wohngebäude die Weitergabe der Kosten einer energetischen Sanierung in der Praxis stark ein. Da es sich um abschließendes Bundesrecht handelt, sollte Hamburg gemeinsam mit anderen Ländern auf dem Weg einer Bundesratsinitiative versuchen, hier Abhilfe zu schaffen.

Zusammenfassung

Neubauten sollten in Hamburg möglichst bald, d.h. spätestens ab 2015, nur noch auf Passivhausniveau erfolgen. Bestehende Gebäude sollten mindestens auf Neubauniveau saniert werden. Eine Förderung ist nur für Maßnahmen möglich und sinnvoll, die über dieses Niveau hinausgehen.

5.2.3.2 Versorgung mit Wärme

Die grundsätzlichen Möglichkeiten, den nach einer Sanierung verbleibenden Energiebedarf in Gebäuden zu decken, wurden in Kap. 3.2.2 diskutiert. Für Hamburg ergeben sich einige Besonderheiten, die im Folgenden diskutiert werden.

Die wichtigsten Techniken für die dezentrale Versorgung von Gebäuden in Hamburg sind in der Zukunft Wärmepumpen, die mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, und Solarkollektoren. Beide Techniken brauchen je nach Ausgestaltung einen Backup für Bedarfsspitzen bzw. Zeiten, in denen sie nicht zur Verfügung stehen. Dies kann mittel- und langfristig über Strom aus konventionellen Kraftwerken, über Speicher oder – bei sehr geringem Restbedarf – auch über fossil-gefeuerte Anlagen geschehen.

Solarkollektoren stehen in unmittelbarer Konkurrenz um geeignete Flächen zu Photovoltaik-Anlagen. Sie nutzen die eingestrahelte Sonnenenergie besser als letztere. Hinzu kommt, dass sich Strom besser zu einem Gebäude transportieren lässt als Wärme. Daher kann es mittelfristig erforderlich sein, einen Vorrang für Solarkollektoren zu definieren. Dies hängt aber auch von der weiteren Entwicklung der Stromversorgung ab. Wenn es hier häufig zu



hohen Überschüssen kommt, kann es sinnvoll sein, diese in Form von Wärme zu speichern, was Solarkollektoren obsolet machen könnte.

Die BMU-Leitstudie geht davon aus, dass das Potential für Biomasse begrenzt ist und in erster Linie dort genutzt werden sollten, wo es anfällt [BMU 2008b]. Die individuelle Heizung mit Pellets wird daher eher die Ausnahme bleiben. Es wird ferner angenommen, dass die in Hamburg anfallende Biomasse in erster Linie in der Nah- und Fernwärme eingesetzt wird.

In sehr verdichteten Gebieten reicht das Potential von Solarkollektoren und Wärmepumpen unter Umständen nicht aus. In diesen Gebieten ist eine zentrale Versorgung mittels Nah- oder Fernwärme nötig. Diese muss langfristig wiederum vollständig aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Die lokale Biomasse wird dazu nur einen kleinen Beitrag leisten können (vgl. Abbildung 9). Auch wenn das Biomasse-Potential mittel- und langfristig begrenzt ist, kann überlegt werden, ob für eine Übergangszeit Biomasse in größeren Mengen für den Betrieb von Nah- und Fernwärmenetzen importiert werden soll. Dies muss dann wegen der großen Mengen vorrangig per Schiff erfolgen. Unabdingbare Voraussetzung muss dabei sein, dass die Biomasse aus nachhaltiger Nutzung stammt. Solange in Ländern wie Kanada große Mengen Restholz aus der Forst- und Holzwirtschaft ungenutzt bleiben, spricht im Prinzip nichts dagegen, diese auch nach Deutschland zu importieren. Man muss sich jedoch darüber im Klaren sein, dass diese Länder ihre Biomassepotentiale vorrangig selbst nutzen werden, sobald sie ihre Anstrengungen im Klimaschutz ein ähnliches Niveau wie in Deutschland erreichen.

Abbildung 23 zeigt, dass die in Hamburg installierte Solarkollektorfläche um ein Vielfaches vergrößert werden muss, wenn diese Technik einen nennenswerten Beitrag zur CO₂-Vermeidung leisten soll. Derzeit finden sich weniger als 100.000 m² Kollektorfläche auf Hamburger Dächern. Diese wird sich im Referenzfall bis 2020 allenfalls auf 200.000 m² verdoppeln. Um eine CO₂-Minderung von 100.000 t zu erreichen, müssen dagegen 1,3 Mio. m² Kollektorfläche installiert werden. Das erscheint sehr viel, ist aber möglich, wenn auf allen neu gebauten oder sanierten Gebäuden Solarkollektoren installiert werden. Ob dies im Einzelfall tatsächlich geschehen sollte oder ob sich z.B. Wärmepumpen als die bessere Wahl erweisen, kann an dieser Stelle offen bleiben. Hamburg könnte den Spielraum des EEWärmeG nutzen und die Verwendung erneuerbarer Energien auch bei der Sanierung bestehender Gebäude vorschreiben. Es ist jedoch im Einzelfall abzuwägen, ob eine bessere Sanierung oder der Einsatz erneuerbarer Energien wirtschaftlicher ist.

Zusammenfassung

Die Restversorgung von Neubauten und sanierten Gebäuden sollte mit möglichst CO₂-armer, am besten CO₂-freier Energie erfolgen. Für Hamburg sind dabei Wärmepumpen, die mit CO₂-freiem Strom betrieben werden, und Solarkollektoren die erste Wahl.

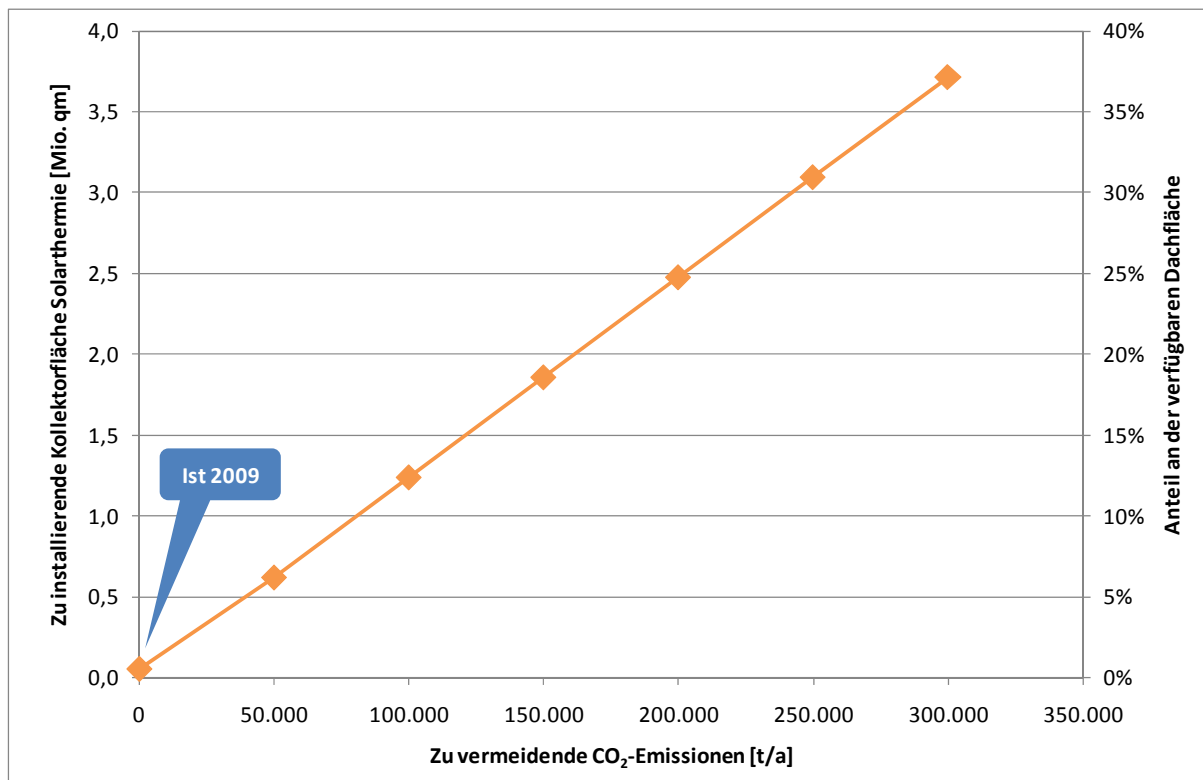


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen installierter Solarkollektorfläche und CO₂-Minderungen gegenüber 2006 sowie den verfügbaren Dachflächen in Hamburg.

5.2.3.3 Die Zukunft der Fernwärme in Hamburg

Hamburg verfügt über eines der größten Fernwärmenetze Europas. Es deckt etwa 25% des Wärmebedarfs von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden ab, was einem Äquivalent von mehr als 400.000 Wohneinheiten entspricht. Sein Betrieb ist aber mit CO₂-Emissionen von mehreren Millionen Tonnen im Jahr verknüpft, auch wenn von diesen in der Verursacherbilanz aufgrund der verwendeten Methodik nur eine Million Tonnen der Fernwärme zugerechnet werden. Wie sich zeigen wird, kann die Umgestaltung der Fernwärmeversorgung einen der größten Beiträge zum Klimaschutzkonzept 2020 liefern.

Derzeit ist geplant, das Heizkraftwerk in Wedel durch einen Anschluss des im Bau befindlichen Steinkohle-Kraftwerks in Hamburg-Moorburg an das Fernwärmenetz zu ersetzen. Als Folge davon würden die spezifischen CO₂-Emissionen aus der Fernwärme bei konstantem Absatz annähernd gleich bleiben. Es wird jedoch im Rahmen dieser Studie angenommen, dass der Fernwärmeabsatz proportional zum Rückgang des Heizwärmebedarfs sinkt.

Abbildung 24 zeigt die Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors in Abhängigkeit vom Fernwärmeabsatz für verschiedene technische Konfigurationen. Abbildung 25 gibt die daraus resultierenden absoluten CO₂-Emissionen wieder. Für derartige Berechnungen ist es erforderlich, die CO₂-Emissionen der Heizkraftwerke auf die in sogenannter Kuppelproduktion gemeinsam produzierten Endenergieformen Strom und Fernwärme aufzuteilen. Dazu gibt es eine ganze Reihe verschiedener Methoden, von denen keine als einzig richtige bezeichnet werden kann [UBA 2008]. Der Länderarbeitskreis Energiebilanzen und die Umweltbehörde in Hamburg verwenden die sogenannte „Finnische Methode“, die auch vom Öko-Institut und dem Umweltbundesamt empfohlen wird [UBA 2008]. Dabei werden die Emissionsminderun-



gen aus der gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom gleichmäßig auf beide Endenergieformen aufgeteilt. Diese Methode liegt auch den im Folgenden präsentierten Zahlen zugrunde. Es sei darauf hingewiesen, dass sich bei Verwendung einer anderen Aufteilung der Emissionen andere Werte für die Emissionsminderung ergeben können.

Da in der Fernwärme ein konstanter Sockel aus der Müllverbrennung enthalten ist, die mit 110 g/kWh einen geringeren Emissionsfaktor aufweist als die übrigen Brennstoffe, sinkt der durchschnittliche CO₂-Emissionsfaktor für die Fernwärme mit sinkendem Absatz. Lediglich wenn die gesamte Steinkohle in der Fernwärme durch Biomasse ersetzt würde, steigt der Faktor mit abnehmendem Fernwärmeabsatz (orange Kurve in Abbildung 24).

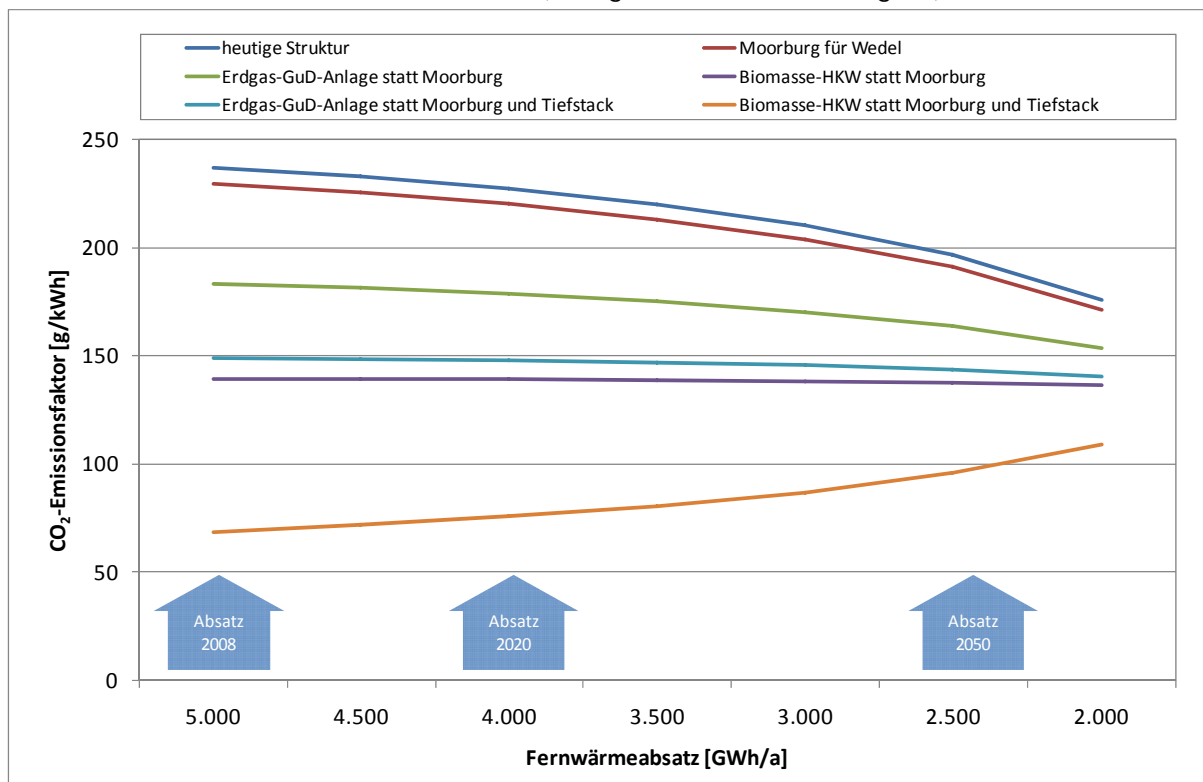


Abbildung 24: Entwicklung des CO₂-Emissionsfaktors der Fernwärme in Hamburg für unterschiedliche technische Konfigurationen in Abhängigkeit vom Fernwärmeabsatz.

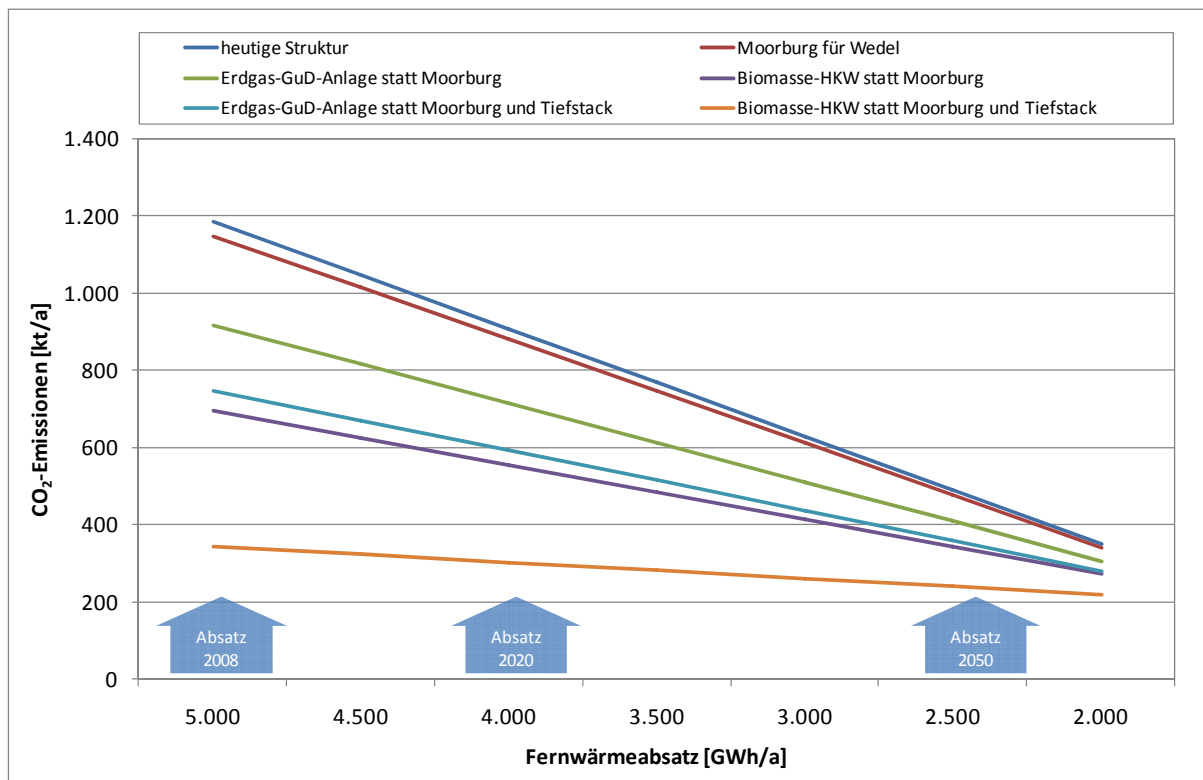


Abbildung 25: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Fernwärme in Hamburg für unterschiedliche technische Konfigurationen in Abhängigkeit vom Fernwärmeabsatz.

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich Emissionsfaktor und absolute Emissionen nur geringfügig verbessern, wenn das Heizkraftwerk Wedel durch das Steinkohle(heiz)kraftwerk Moorburg ersetzt wird.

Würde statt des Steinkohlekraftwerks Moorburg ein Erdgas-GuD-Kraftwerk an das Fernwärmesystem angeschlossen, ergibt sich bei der verwendeten Aufteilung der Emissionen zwischen Strom und Wärme sowie konstantem Fernwärmeabsatz von 5 TWh/a eine CO₂-Minderung von 0,23 Mio. t CO₂ im Jahr. Das entspricht 20% der Emissionen aus der Fernwärme. Wenn man ein Biomasse-Kraftwerk errichten würde, beliefe sich die Einsparung auf 0,45 Mio. t CO₂ im Jahr oder 40%. Das Kraftwerk Moorburg würde dann ausschließlich zur Stromerzeugung eingesetzt.

Falls neben Moorburg auch das Kraftwerk in Tiefstack durch eine GuD-Anlage ersetzt würde, wären – wiederum bei konstantem Absatz – CO₂-Minderungen von 0,4 Mio. t/a oder 35% zu erzielen. Ersetzte man beide Anlagen durch Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse betrüge die CO₂-Reduktion 0,8 Mio. t/a oder 80%.

Die obigen Abbildungen zeigen zudem, dass die Fernwärme bei dieser Betrachtungsweise nur dann einen besseren Emissionsfaktor als ein Gasbrennwertkessel hat, wenn statt des Kraftwerks Moorburg eine gasgefeuerte KWK-Anlage angeschlossen wird. Langfristig erforderliche Minderungen von 80% sind aber nur in Kombination von Bedarfsminderung und Einsatz von Biomasse (oder anderen erneuerbaren Energien) zu erreichen.

Die Ablösung der Steinkohle in der Fernwärmeversorgung ist einer der wichtigsten Beiträge zur Verringerung der CO₂-Emissionen in Hamburg.



Hamburg erwägt zurzeit, den 2014 auslaufenden Konzessionsvertrag für die Fernwärme nicht zu verlängern, sondern das Fernwärmenetz ab diesem Zeitpunkt in eigener Regie zu betreiben. Dazu wurde bereits der neue Energieversorger Hamburg Energie gegründet, der letztlich die Keimzelle eines künftigen Stadtwerks bilden soll. Gleichzeitig gibt es Überlegungen, die CO₂-Emissionen der Fernwärme in einem Landesgesetz zu beschränken.

Generell gibt es drei Möglichkeiten, mit der Fernwärme zu verfahren:

- Zum einen könnte diese schrittweise (fast) vollständig auf CO₂-freie Energieträger umgestellt werden. Die mittel- und langfristige Problematik des Einsatzes von Biomasse wurde bereits weiter oben angesprochen. Die Fernwärme in ihrer heutigen Form allein aus Solarenergie, Wärmepumpen und Geothermie zu speisen, ist nicht möglich. Der Einsatz hocheffizienter Gasheizkraftwerke wäre ein sinnvoller Zwischenschritt, der Zeit schafft, die Fortschritte bei der Sanierung von Gebäuden zu beobachten und technische Alternativen zu untersuchen und zu testen.
- Der andere Extremfall wäre, alle Gebäude soweit energetisch zu optimieren, dass die Fernwärme obsolet wird. Auch für diese Strategie ist noch nicht abzusehen, ob sie umsetzbar ist.
- Die dritte und zweckmäßigste Möglichkeit ist, das Fernwärmenetz in Subnetze zu zerlegen. Dies hätte den Vorteil, dass der hydraulische Betrieb deutlich einfacher würde und bei geringeren Drücken erfolgen könnte. Zudem wären geringere Vorlauftemperaturen möglich. Dies würde die Einbindung erneuerbarer Energien und gegebenenfalls verfügbarer Abwärme aus Gewerbebetrieben erleichtern. Es könnte zudem ein Wettbewerb im Betrieb dieser Subnetze hergestellt werden, der innovative Lösungen befördern würde. Weiter könnte es Dritten ermöglicht werden, Wärme in die Netze einzuspeisen. Und es könnte für einzelne Teilnetze auch entschieden werden, diese nach der gründlichen Sanierung der Mehrzahl der Gebäude ggf. stillzulegen.

Wenn das Kraftwerk Moorburg einmal mit dem Fernwärmenetz verbunden ist, werden viele dieser Überlegungen hinfällig. Weder Vattenfall noch ein möglicher anderer Betreiber des Netzes wird die dann im wahrsten Sinne des Wortes versenkten Kosten einfach abschreiben und die neugebaute Leitung außer Betrieb nehmen.

5.2.3.4 Planung der künftigen Wärmeversorgungsstruktur in Hamburg

Die heute vorliegenden Daten und Erfahrungen reichen nicht aus, um entscheiden zu können, in welchen Teilen Hamburgs die noch benötigte Restwärme zentral bereitgestellt werden sollte und wo dies besser dezentral geschehen sollte und welche Technik jeweils am besten geeignet ist. Es ist daher sinnvoll, verschiedene Varianten im Rahmen von Mustersanierungen in größeren zusammenhängenden Gebieten wie Quartieren oder Stadtteilen zu testen.

Dazu ist es auch erforderlich, die Datenlage über den Wärmebedarf in der Stadt zu verbessern. Letztlich sollte ein hochaufgelöstes Wärmekataster, wie es in anderen Städten existiert, erstellt werden. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei eine Gebäudetypologie, die kontinuierlich aktualisiert wird.

Sich heute schon für eine Strategie zu entscheiden, birgt die Gefahr des sogenannten „Lock-in“. Darunter versteht man einen Pfad, der nicht mehr verlassen werden kann, weil bereits sehr viel Kapital gebunden ist oder weil bedeutende wirtschaftliche Interessen entstanden sind.

Auf der Basis der neuen Daten und der gesammelten Erfahrungen sollte dann der Entwicklungsplan für die Wärmeversorgung in Hamburg kontinuierlich fortgeschrieben werden.

5.2.4 Prozesswärme in Hamburg

Hamburg hat nur begrenzten Einfluss auf die Energienutzung der im Stadtgebiet tätigen Unternehmen. Die großen Feuerungsanlagen unterliegen ohnehin den Regeln des EU-Emissionshandels. Für andere Anlagen sind im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) Anforderungen definiert, die nicht verschärft werden können [vgl. Klinski 2009]. Ohnehin stellt sich bei lokalen Auflagen immer die Frage, ob ein Betrieb dann in eine Nachbarregion abwandert, wenn dort nicht dieselben Anforderungen herrschen.

Dennoch gibt es auch im Bereich der Prozessenergie eine Reihe von Handlungsoptionen. Da diejenigen für die Nutzung von Strom bereits im Kap. 5.2.2 abgehandelt wurden, steht hier die *Prozesswärme* im Vordergrund. Diese wird in Hamburg zu 20% aus Strom, zu 10% aus Fernwärme und zu 70% aus Erdgas erzeugt.

Auch bei der *Prozesswärme* steht die effektive Beratung im Vordergrund. Hier ist ein erster Schritt mit der Gründung einer Energieagentur getan worden. Da es aber in Hamburg bereits eine Vielzahl spezialisierter und gut vernetzter Beratungseinrichtungen gibt und zudem die rechtlich problematische Gefahr einer Konkurrenz zu privaten Anbietern besteht, sollte einer solchen Agentur eher eine koordinierende Funktion im Sinne der in Kap. 5.2.1.2 vorgeschlagene zentrale Anlaufstelle zukommen.

Die Erfahrung der Energielotsen in der Handelskammer zeigt, wie wichtig die aktive Ansprache der Unternehmen ist. Gezielte Anfragen von Unternehmen sind die Ausnahme. Gleichzeitig stellen diese Energielotsen immer wieder fest, wie groß die Informationslücken sind. In ihrer jetzigen personellen Ausstattung können die Energielotsen allerdings nur einen Bruchteil der Unternehmen in Hamburg erreichen.

Als weitere Hemmnisse stellt man in Befragungen in Unternehmen fest, dass Energiefragen als „nicht zum Kerngeschäft gehörend“ eine niedrige Priorität beigemessen wird. Zudem genügen sie häufig nicht den Renditeanforderungen in eben diesem Kerngeschäft. Dies ist verständlich, wenn man weiß, dass der Energiekostenanteil in der deutschen Wirtschaft im Mittel nur bei 5% liegt. In energieintensiveren Unternehmen sind Wissen und Engagement bei der Energieeffizienz auch entsprechend höher.

Pauschale Selbstverpflichtungen von Unternehmen zu Emissionsminderungszielen sind keine geeigneten Instrumente für den Klimaschutz, wenn sie nicht einem projektbezogenen Monitoring und Sanktionen unterworfen sind.

Selbstverpflichtungen könnten jedoch Erfolg versprechen, wenn sie Bereiche umfassen, in denen ein unmittelbarer Nutzen für die beteiligten Unternehmen sichtbar wird. So könnte sich die Hamburger Wirtschaft verpflichten, in allen der ca. 8.800 Unternehmen des produzierenden Gewerbes in Hamburg bis 2020 eine Energieberatung durchzuführen. Eine andere



Möglichkeit besteht in der Zusage, in allen größeren Unternehmen Energiebeauftragte zu installieren. Dies könnte der Hamburger Initiative „Unternehmen und Ressourcenschutz“ zusätzlichen Schub verleihen.

Besser als der Raumwärmebedarf kann sich industrieller oder gewerblicher Wärmebedarf sehr gut für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung eignen, wenn dieser Wärmebedarf über eine große Zahl von Stunden im Jahr besteht. Besonders wirtschaftlich ist die KWK, wenn das Unternehmen auch einen so hohen Strombedarf hat, dass der produzierte Strom selbst genutzt werden kann. Beispiele für eine solche Situation sind Schwimmbäder oder das Betriebsgelände von Hamburg Wasser.

Vielfach werden KWK-Anlagen deshalb nicht gebaut, weil sie sich nur über Zeiträume von 10 Jahren und mehr rechnen, die weit jenseits der Rentabilitätsanforderungen der Unternehmen liegen. Hier können Contracting-Unternehmen einspringen. Allerdings zögern diese oft mit einem Engagement, weil sie das Risiko fürchten, dass das produzierende Unternehmen – aus welchen Gründen auch immer – die Wärme nicht über den gesamten Zeitraum abnimmt. Dieses Risiko muss in geeigneter Weise ab gepuffert werden, wenn Contracting an dieser Stelle zum Erfolg verholfen werden soll.

Es war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, das Potential für industrielle KWK in Hamburg zu quantifizieren. Zwar liegen hierzu Untersuchungen vor, diese sind jedoch auf die hier verwendete Systematik nur bedingt anwendbar. Potential für KWK-Anlagen mit einer Leistung von mehr als 20 MW besteht vor allem im Umwandlungsbereich, d.h. in den Raffinerien. Deren Energiebedarf ist aber in der hier verwendeten Verursacherbilanz für Hamburg nicht enthalten. Somit können die entsprechenden CO₂-Minderungen hier nicht ausgewiesen werden. Zudem fallen diese Anlagen zumindest zum Teil unter den Emissionshandel, was eine Abbildung zusätzlich erschwert. Als letztes kommt noch hinzu, dass nach der hier verwendeten Systematik der Länder-Energiebilanzen der größte Teil der durch KWK erzielten CO₂-Minderungen dem Strom und nicht der Wärme zugerechnet werden müssten.

Im Folgenden wird der Einsatz der KWK für die in der Energiebilanz erfassten Mengen an Prozesswärme daher unter die allgemeine Steigerung der Energieeffizienz subsumiert.

Abbildung 26 zeigt die Entwicklung CO₂-Emissionen aus der Prozesswärme für den Referenzfall und zwei ambitionierte Szenarien. Im Referenzfall wird angenommen, dass der spezifische Energieeinsatz für die Prozesswärme bis 2050 linear um 40% sinkt. Für die beiden Varianten wird angenommen, dass die beschriebenen Maßnahmen zu einer noch ambitionierteren linearen Reduzierung um 50% und 60% bis 2050 führt. Kombiniert mit dem gleichzeitigen Wachstum der Nachfrage und den Veränderungen in der Stromerzeugung ergeben sich für 2020 zusätzliche CO₂-Minderungen gegenüber dem Referenzfall in Höhe von 50.000 t bzw. 90.000 t pro Jahr.

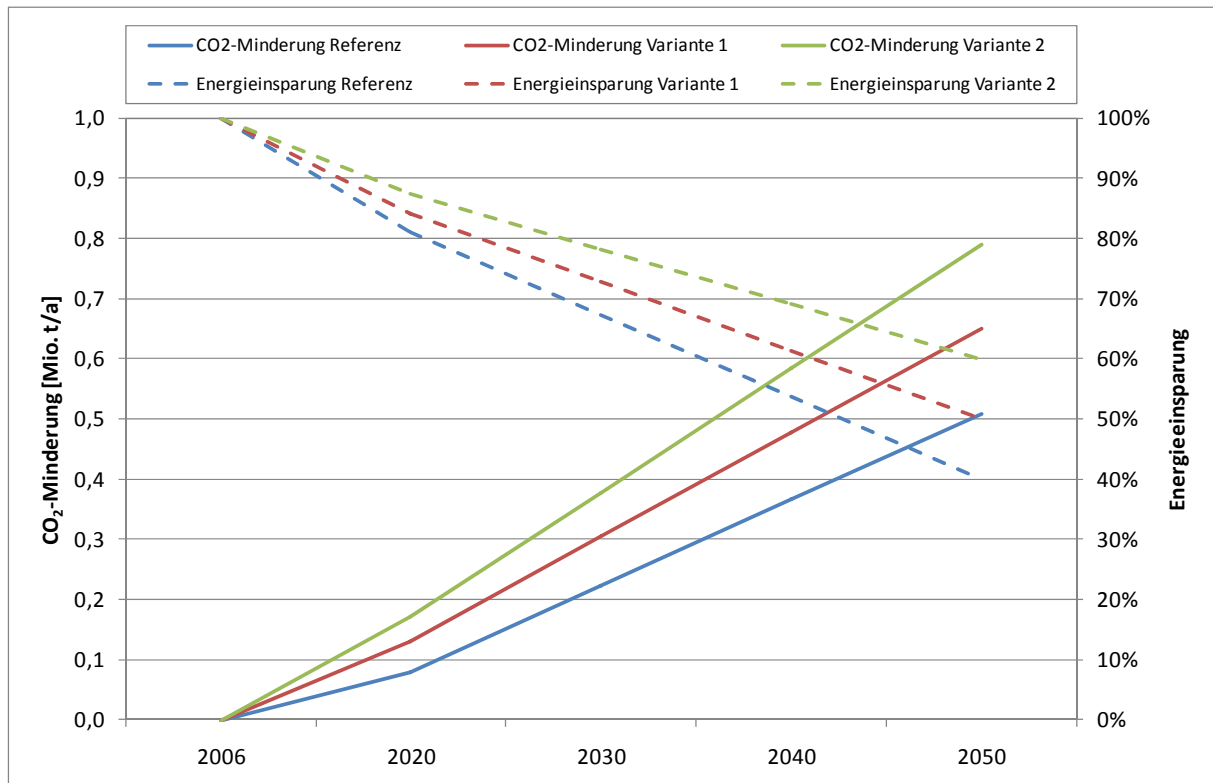


Abbildung 26: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Prozesswärme in Hamburg bei unterschiedlichen Effizienzverbesserungen gegenüber dem Referenzfall.

5.2.5 Mobilität in Hamburg

Ein Bundesland hat nur wenig Einfluss auf die für die individuelle Mobilität von Personen und Waren verfügbare Fahrzeugtechnik. Autos, Flugzeuge, Züge und Schiffe werden von wenigen großen Firmen entwickelt, die Anforderungen an sie von der EU oder der Bundesregierung festgelegt. Einfluss kann hier allenfalls über Bundesratsinitiativen genommen werden.

Auf regionaler und lokaler Ebene wird aber über wichtige Rahmenbedingungen für den Einsatz der Fahrzeuge sowie die Technologien an den Strecken wie etwa die Verkehrsstelematik entschieden. Dies geschieht zum Teil unmittelbar durch die Schaffung der nötigen Infrastruktur von Straßen, Schienenwege, Parkplätzen oder Radwegen. Und es geschieht mittel- und langfristig durch die Planung von Wohn- und Gewerbegebieten oder den Bau von Verkehrswegen ins Umland, also Maßnahmen, die Verkehr erzeugen oder vermeiden können. Auch über die Angebotspolitik im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) einschließlich der Tarifgestaltung wird auf lokaler und regionaler Ebene entschieden. All dies sind Maßnahmen, mit denen auf Landesebene versucht werden kann, das Mobilitätsverhalten zu beeinflussen.

Nachdem im Referenzfall bereits optimistische Annahmen über die technische Entwicklung getroffen wurden, müssen sich zusätzliche Anstrengungen zum Klimaschutz im Verkehrssektor auf die Vermeidung von motorisiertem Individualverkehr mit fossilen Treibstoffen oder seine Verlagerung auf CO₂-ärmere Verkehrsmittel konzentrieren.

Abbildung 27 zeigt die zusätzlichen CO₂-Minderungen in 2020 bei verschiedenen Niveaus der Verkehrsvermeidung für PKW und LKW. Für den Referenzfall wurden trotz leichten



Wachstums beim Güterverkehr CO₂-Minderungen durch technischen Fortschritt in Höhe von 0,67 Mio. t/a ermittelt. Eine Vermeidung von 10% der von PKW zurückgelegten Wegstrecken oder deren Verlagerung auf CO₂-freie Verkehrsträger vermeidet den Ausstoß von 0,18 Mio. t CO₂ pro Jahr. Bei einem Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel muss näherungsweise die doppelte Kilometerzahl verlagert werden, um dieselbe CO₂-Minderung zu erzielen. Eine prozentuale Reduzierung der LKW-Fahrten um 10% führt zu Einsparungen in Höhe von 0,06 Mio. t CO₂ pro Jahr.

Abbildung 27 macht auch deutlich, dass der weit überwiegende Beitrag zu den CO₂-Minderungen von den PKW kommt. Dies wird unterstützt durch Abbildung 28, die die heutige Aufteilung der Emissionen auf PKW, kleine und große LKW sowie den Schienenverkehr wiedergibt. Wichtig ist auch zu sehen, dass die kleineren LKW doppelt so viel CO₂ ausstoßen wie die größeren. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die meisten großen LKW Hamburg nur auf direkt Weg durchfahren oder den Hafen anfahren, während kleinere LKW im Lieferverkehr große Strecken in der Stadt zurücklegen. Insgesamt hat also der innerstädtische Verkehr, auf den Hamburg auch einen höheren Einfluss ausüben kann, einen größeren Anteil an den Emissionen als der überregionale Verkehr.

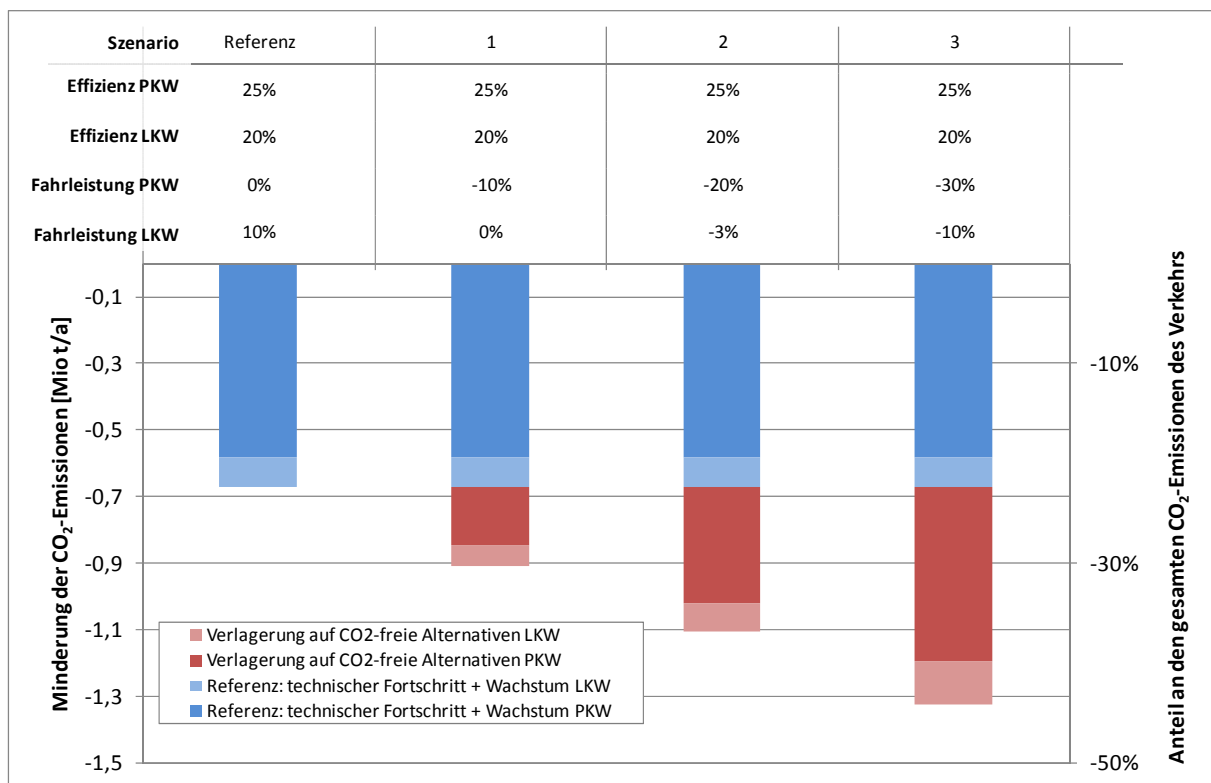


Abbildung 27: Mögliche zusätzliche Minderungen der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor in Hamburg durch Verlagerung auf CO₂-freie Alternativen.

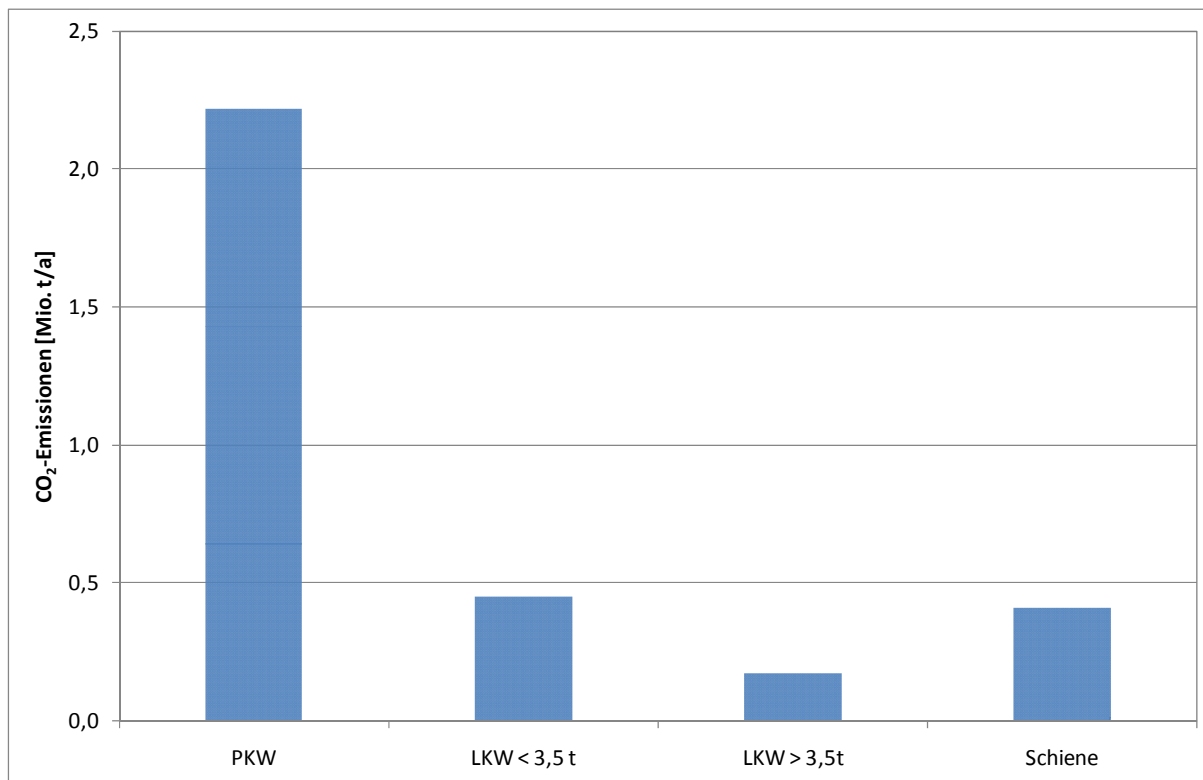


Abbildung 28: Aufteilung der CO₂-Emissionen des Verkehrs in Hamburg auf Fahrzeugkategorien heute [infas 2009, KBA 2008].

5.2.5.1 Personenverkehr

Um das Mobilitätsverhalten im Sinne einer Vermeidung und Verlagerung von PKW-Fahrten angehen zu können, ist es wichtig zu verstehen, welche Wege zu welchen Zwecken zurückgelegt werden. Obwohl für Hamburg bzw. das Gebiet des Hamburger Verkehrsverbundes (HVV) umfangreiches Datenmaterial vorliegt [infas 2009], lassen sich mit dem veröffentlichten Material zurzeit noch nicht alle gewünschten Berechnungen durchführen. Zusätzliche Auswertungen der Daten sind beauftragt und werden voraussichtlich Ende 2010 vorliegen. Abbildung 29 zeigt auszugsweise den Binnen- und Quellverkehr Hamburgs für Wegelängen bis 40 km Wegelänge. Der Zielverkehr nach Hamburg ist darin nicht enthalten. Wie in Abbildung 29 zu sehen ist, wird ein Großteil der Personenkilometer dieses Verkehrs im Segment zwischen 8 und 15 km zurückgelegt.

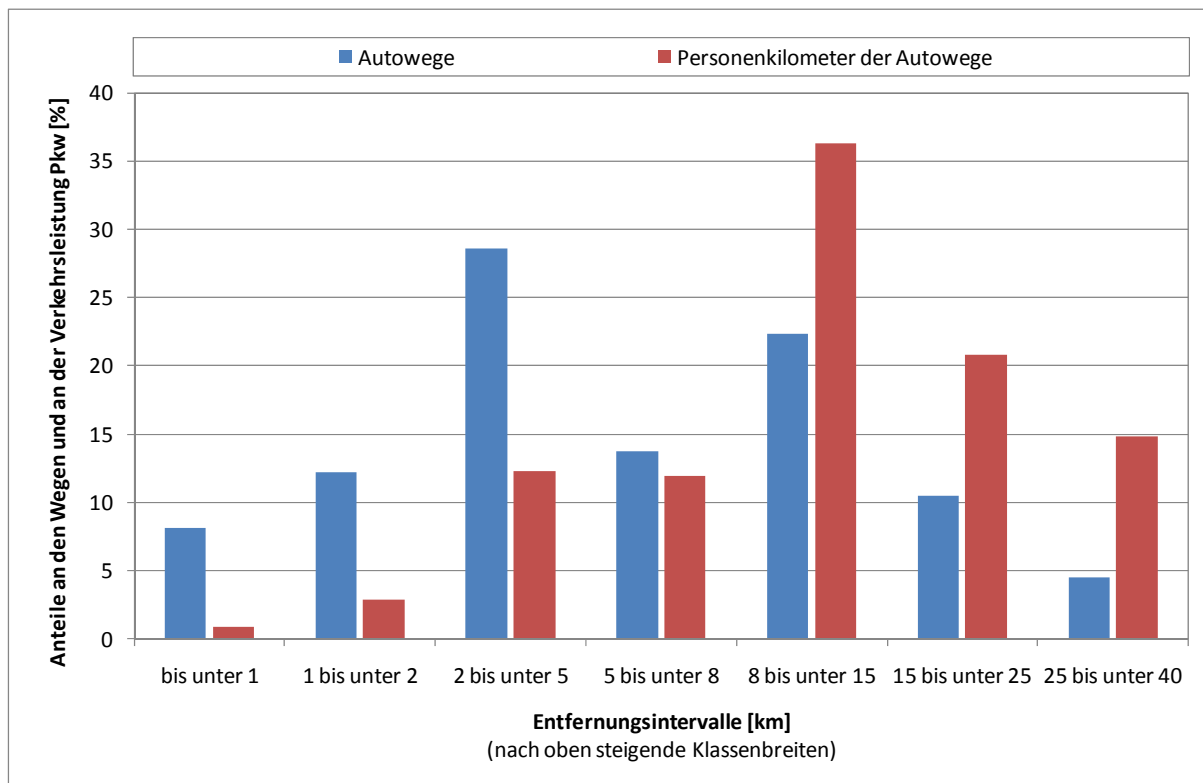


Abbildung 29: Binnen- und Quellverkehr Hamburgs bis 40 km Wegelänge pro Tag in 2008. Wege und Verkehrsleistung [in Personenkilometern, Pkm] mit Pkw nach Entfernungsintervallen (Quelle: MID 2010).

Für Wegelegen von mehr als 5 km kommt für eine Verlagerung in erster Linie der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bzw. der Regionalverkehr in Frage. Damit reduziert sich die Emissionsminderung bei einem Umstieg vom PKW entsprechend nicht auf Null sondern auf den Emissionsfaktor des ÖPNV. Folglich müssen für die gleiche Emissionsminderung mehr Personenkilometer verlagert werden. Darüber hinaus muss versucht werden, den Besetzungsgrad pro PKW deutlich zu erhöhen, um die Zahl der PKW-Fahrten zu verringern.

Elektrofahrzeuge werden bei dem für das Jahr 2020 erwarteten Strommix in der CO₂-Bilanz schlechter abschneiden als der ÖPNV, so dass hier wiederum mehr Kilometer verlagert werden müssten, um eine äquivalente CO₂-Minderung zu erreichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Hamburger S-Bahn seit Anfang 2010 mit Grünstrom betrieben wird, wodurch die Emissionen des ÖPNV weiter sinken. Es ist aus heutiger Sicht auch nicht gesichert, dass marktgängige Elektrofahrzeuge bis 2020 zur Verfügung stehen werden. Mit Blick auf einen längeren Horizont bis 2050 ist die Förderung von Elektrofahrzeugen bzw. deren Infrastruktur zum Sammeln von Erfahrungen und zur Weiterentwicklung der Technologie durchaus sinnvoll. Eine Vorfestlegung auf einen Pfad sollte jedoch vermieden werden.

Bei Zwecken der Mobilität dominieren der Weg zur Arbeit und dienstliche Fahrten. Der Arbeitsweg ist dabei ein wichtiger Ansatzpunkt für eine Verlagerung oder Vermeidung. Allerdings ist zu bedenken, dass die öffentlichen Verkehrsmittel in Hamburg zur morgendlichen Hauptverkehrszeit auf den zentralen Streckenabschnitten heute schon weitgehend ausgelastet sind. Die Aufnahmefähigkeit für zusätzliche Passagiere liegt bei der derzeitigen Taktung im einstelligen Prozentbereich.

Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass es ab einem gewissen Punkt einen Zielkonflikt mit der Qualität der Beförderung gibt. Um hier Abhilfe zu schaffen, sind entweder

- eine Abflachung der morgendlichen Verkehrsspitze – und somit eine Verschiebung der Fahrtzeitpunkte –,
- eine Erhöhung der Taktfrequenzen (sofern im bestehenden Netz möglich) mit entsprechendem zusätzlichen Aufwand an Fahrzeugen und Personal oder
- umfangreiche Investitionen in zusätzliche Netzkapazitäten erforderlich.

Ein Abflachen der Verkehrsspitze lässt sich aber nicht unbedingt durch behördliches Handeln erreichen, sondern erfordert gesellschaftliche Veränderungen wie z.B. eine Zunahme der Telearbeit oder eine Verlagerung von Arbeitszeiten, deren Wirkung schwer einzuschätzen ist.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass mit den für die CO₂-Minderungen notwendigen Änderungen beim Modal-Split eine Ausweitung im Angebot beim ÖPNV einhergehen muss. Soweit es sich dabei nicht um Fahrzeuge, sondern um Schienenwege handelt, ist eine Umsetzung bis 2020 nur auf einzelnen Strecken zu realisieren. So kann die Stadtbahn als neues Schienenverkehrssystem einen deutlichen Qualitätssprung im ÖPNV mit sich bringen. Dies gilt für den Fahrkomfort, die Beförderungsgeschwindigkeit (Lichtsignalbeeinflussung) und die Leistungsfähigkeit. Außerdem führt die Umstellung vom Betrieb mit Dieseln auf ein weiteres elektrisches System zu erheblich geringeren lokalen Immissionen und bei Verwendung von Strom aus regenerativen Quellen auch zu einem verringerten CO₂-Ausstoß.

Für die S-Bahn sind Investitionen in Fahrzeuge bereits bis 2017 festgeschrieben. Systemerweiterungen durch zusätzliche Haltestellen und Strecken sollten dennoch erwogen werden.

Neben den längerfristig ausgerichteten Erweiterungen im Schienenverkehr kann mit einem Ausbau des Busverkehrs kurzfristig auf Nachfragerwachstum reagiert werden. Mittelfristig, d.h. bis 2020, können auch erhebliche Verbesserungen für den Fahrtablauf auf wichtigen Busstrecken erreicht werden, wenn die Lichtsignalbeeinflussung durch Busse ausgebaut wird.

Im motorisierten Individualverkehr können verschiedene Formen gemeinsamer Fahrzeugnutzung (Pooling, Car- und Ride-Sharing) einen Beitrag zur Verringerung der Zahl von Autofahrten leisten. So sind als Weiterentwicklung von „Mitfahrbörsen“ für spontane Fahrten innovative Mitnahmesystemen unter Nutzung mobiler Internetanwendungen (Dynamic Ride Sharing-Systeme) denkbar, wie sie in den USA bereits existieren (vgl. z.B. www.fliinc.mobi, www.caribo.mobi oder www.avego.com).

Aufgrund dieser Analyse ergeben sich folgende Ansatzpunkte zur Förderung eines weniger klimaschädlichen Mobilitätsverhaltens:

- die Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl in Richtung CO₂-armer Verkehrsträger (Fuß- und Radverkehr, Nahverkehr) durch geeignete Anreize;
- die Erhöhung des Besetzungsgrades von PKW, vor allem bei den Pendlerfahrten über 10 km;
- die Verbesserung des Nahverkehrsangebot auf den langen Strecken aus den Einzugsgebieten rund um Hamburg;
- die Erhöhung der Attraktivität von Fuß- und Radverkehr, um kurze Wege aus dem ÖPNV heraus zu verlagern und so in den Innenstadträumen Platzkapazitäten zu schaffen;
- die Steigerung der Aufenthaltsqualität in den Stadtteilen, damit die Bürger möglichst viele Aktivitäten in ihren Nahräumen ausführen können und so längere Wege vermeiden;



- die Vermeidung von verkehrserzeugenden Raumstrukturen in der Region, die überwiegend nur mit motorisiertem Individualverkehr abgewickelt werden können.

Die generelle Strategie, um die Hamburger zu einem Wechsel des Verkehrsträgers zu bewegen, sollte es sein, die Alternativen des motorisierten Individualverkehrs im Vergleich attraktiver zu machen. Daraus ergeben sich verschiedene Grundstrategien (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Ansatzpunkte zur Vermeidung und Verlagerung von PKW-Fahrten.

Grundstrategie	Beispiel
1. Zielgruppen-Ansätze	betriebliches Mobilitätsmanagement, Mobilitätserziehung
2. Pooling- und Ride-Sharing-Strategie	Dynamic Ride Sharing, Pendlerbörsen
3. Angebote für Langstrecken-Pendler	Park & Ride, Bike & Ride, Dynamic Ride Sharing
4. CO ₂ -orientierte Raum- und Verkehrsplanung	CO ₂ -orientiertes Geschwindigkeiten-Konzept, Parkraummanagement (im Sinne von Parkraum-Verknappung), Komfort-Rad-Netz / Fahrrad-Infrastruktur

Von den in Tabelle 11 genannten Maßnahmen, die auf das Verhalten abzielen, sei die Parkraumverknappung hervorgehoben. Durch sie lässt sich auch auf den Pendelverkehr zwischen Hamburg und seinem Umland Einfluss nehmen. Flächendeckend eingesetzt könnten durch dieses Instrument gegebenenfalls auch tangentielle Fahrten im motorisierten Individualverkehr vermieden werden. Dazu ist es allerdings erforderlich, dass auch private Anbieter von Parkraum einbezogen werden. Der kurzfristig zu erwartende Anstieg des Verkehrs zur Parkplatzsuche würde vermutlich nach einer Gewöhnungsphase wieder abklingen.

Es zeigt sich, dass im Verkehr im Gegensatz zu anderen Sektoren eine große Vielfalt sehr unterschiedlicher Instrumente herrscht. Ihre Wirkung lässt sich je nach Maßnahme verschieden gut abschätzen und sollte daher durch ein Monitoring und eine Begleitforschung überwacht werden. Eine Reihe von Instrumenten ist zudem offenkundig umstritten. Sie einfach verordnen zu wollen, kann zu erheblichen Widerständen in der Bevölkerung führen. Es ist deshalb wichtig, die Betroffenen an dem Planungs- und Entscheidungsprozess zu beteiligen, um so den Grundstein für den erforderlichen Paradigmen-Wechsel in der Verkehrspolitik zu legen.

Es wird vorgeschlagen, so schnell wie möglich **Mobilitätsentwicklungspläne** für Hamburg und für die Metropolregion zu erarbeiten und dann zügig umzusetzen.

Dabei sollten die Anliegen der Hamburger z.B. in Form von Bürgergutachten oder Planungszellen einfließen. Wichtig ist dabei, dass ein solcher Prozess Interessenkonflikte kooperativ lösen muss und insofern ein Vorgehen unter Einbindung geschulter Mediatoren erfordert. Ein solcher Prozess soll

- zwar harte und quantifizierte Ziele voraussetzen, in der Wahl der Mittel aber ergebnisoffen sein,
- möglichst allen betroffenen Gruppen die Möglichkeit geben, sich zu beteiligen, und
- für die Beteiligten transparent sein.

5.2.5.2 Güterverkehr

Abbildung 28 hat bereits gezeigt, dass der Anteil kleinerer LKW an den CO₂-Emissionen in Hamburg doppelt so hoch ist wie derjenige größerer LKW. Ansatzpunkte für lokales Handeln ergeben sich demnach eher für den Lieferverkehr in der Stadt als im Fernverkehr.

Eine sinnvolle kurzfristige Maßnahme wäre dabei eine Selbstverpflichtung aller Unternehmen im Güterverkehr, ihre Fahrer regelmäßig an Spritspartrainings teilnehmen zu lassen. Erfahrungsgemäß lassen sich dadurch im Mittel Treibstoff- und CO₂-Einsparungen von 10-15% erzielen, so dass sich die Trainings selbst finanzieren.

CO₂-Fragen sollten in die Standort-Beratung bei Neuansiedlungen bezüglich Güterverkehr und resultierenden Pendler- und Dienstfahrten einbezogen werden. Auch die Praxis der Ausweisung von Gewerbeflächen sollten vor diesem Hintergrund überprüft werden, so dass insbesondere der Lieferverkehr CO₂-optimiert organisiert werden kann.

Im Rahmen des oben vorgeschlagenen Mobilitätsentwicklungsplans sollte über neue Logistikkonzepte im Lieferverkehr nachgedacht werden. Diese können dazu beitragen, die Auslastung der LKW und insbesondere der Lieferfahrzeuge zu erhöhen, um so Fahrten zu vermeiden. Ein Ansatzpunkt dafür ist die Einrichtung von Güterverkehrszentren, in denen vom Fernverkehr auf die Nahverteilung umgeladen wird. Ein solches Vorgehen stellt höhere Anforderungen an die Kooperationsfähigkeit der beteiligten Unternehmen.

Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich im Zuge der weiteren Entwicklung des Internets das Einkaufsverhalten ohnehin immer mehr zu Online-Bestellungen verlagern wird. Die Ladengeschäfte würden sich dann von Verkaufs- zu Ausstellungsflächen entwickeln, was insbesondere geänderte Güterströme zur Folge hätte.

Langfristig erscheint eine Umstellung des Gütertransports über längere Strecken auf elektrische Energie, die aus erneuerbaren Energien stammt, als einzige Möglichkeit, die CO₂-Emissionen um 80% oder mehr zu reduzieren. Aus heutiger Sicht ist dies am ehesten schieneengebunden möglich. Ob in Konkurrenz dazu marktfähige Brennstoffzellen- oder Hybridfahrzeuge verfügbar sein werden, ist derzeit nicht absehbar.

Zusammenfassung

Die wichtigste Klimaschutzmaßnahme im Verkehrssektor ist die Vermeidung, Verkürzung und Verlagerung von PKW-Fahrten im Regionalverkehr. Da es dazu einer Reihe sich gegenseitig unterstützender Strategien bedarf, die zum Teil derzeit noch auf geringe Akzeptanz stoßen werden, wird vorgeschlagen, unter Beteiligung der Betroffenen Mobilitätsentwicklungspläne für Hamburg und die Metropolregion zu erarbeiten. Dabei sollten in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft auch Maßnahmen für die Verbesserung der Auslastung von LKW im lokalen Güterverkehr erarbeitet werden. Für den Güterfernverkehr sollten die Voraussetzungen geschaffen werden, um ihn langfristig nahezu vollständig auf der Basis elektrischer Sys-



teme abwickeln zu können. Hierfür benötigt Hamburg die Unterstützung des Bundes und der Bahn.

5.2.6 Bedeutung von Monitoring und Qualitätssicherung

Die hier beschriebene Klimaschutzstrategie basiert auf dem momentanen Stand der Erkenntnis, insbesondere den heute am Markt verfügbaren Techniken. Angesichts der vielfältigen Anstrengungen, die zum Schutz des Klimas und für eine dauerhaft umweltgerechte Energienutzung unternommen werden, ist der Erkenntnisstand ständig im Fluss. Eine Reihe von Fragen wurde bereits im Konzept selbst offen gelassen.

Es ist daher sehr wichtig, die Wirkung aller Maßnahmen und Instrumente soweit irgend möglich zu messen, um gegebenenfalls nachsteuern zu können. Instrumente können sich als wirkungslos erweisen und sollten wieder fallen gelassen werden, wenn ihre Kosten höher sind als ihr Nutzen. Andere Instrumente können zu Ausweichreaktionen führen, die unterbunden werden müssen. Und schließlich muss überprüft werden, ob der Ansatz als Ganzes auf Dauer die gesteckten Ziele erreicht oder ob weiteres Handeln erforderlich ist.

Ein wichtiges Instrument dabei ist die Energie- und CO₂-Bilanz. Für die Entwicklung einer effizienten Strategie ist es hinderlich, wenn die Basisdaten einer Studie im Jahr 2009 aus dem Jahr 2006 stammen. Seitdem sind eine Reihe von Klimaschutzmaßnahmen ergriffen worden, deren Wirkung deshalb noch nicht beurteilt werden kann. Zudem weisen die vorliegenden Bilanzen eine Reihe methodischer Probleme auf, die bereinigt werden sollten. Hilfreich wäre es, wenn mindestens vorläufige Zahlen innerhalb eines Jahres vorliegen würden.

Neben der Überwachung der Gesamtstrategie ist es außerordentlich wichtig, sicherzustellen, dass die angestrebten Standards im Gebäudebereich eingehalten werden. Hier gilt es durch ausreichende Stichproben und gegebenenfalls angemessene Sanktionen sicherzustellen, dass die in Plänen und Genehmigungen ausgewiesenen Kennwerte für die energetische Qualität eines Gebäudes auch tatsächlich umgesetzt werden, dass also z.B. Bauelemente mit den vorgesehenen Wärmedämmwerten verwendet werden. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass auch die erforderliche Qualität in der Bauausführung erreicht wird, insbesondere was die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und die Vermeidung von Wärmebrücken angeht. Hier sollten alle Bauherren, insbesondere aber die öffentliche Hand, routinemäßig auf eine unabhängige Qualitätssicherung zurückgreifen.

Zusammenfassung

Monitoring und Qualitätssicherung sind entscheidende Komponenten für den Erfolg einer Klimaschutzstrategie. Sie lassen sich nur dann auf dem erforderlichen Niveau etablieren, wenn die dafür notwendigen finanziellen und personellen Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Ohne eine systematische Vollzugskontrolle droht eine Verfehlung der Ziele.

5.2.7 Handeln der Verwaltung

Der öffentlichen Hand kommt neben ihrer Rolle in der Setzung der Rahmenbedingungen eine weitere wichtige Funktion zu, nämlich die des Vorbilds beim Umgang mit eigenen Ge-

bäuden, Anlagen und Fahrzeugen oder bei der Planung und dem Betrieb von Infrastruktureinrichtungen.

Entscheidungsträger auf allen Ebenen und in allen Bereichen der öffentlichen Verwaltung sowie in den Unternehmen im öffentlichen Besitz müssen Klimaschutz bei jeder Entscheidung, die den Energiebedarf tangiert, im Kopf behalten.

Dies reicht von der Planung neuer Baugebiete über den Bau öffentlicher Einrichtungen bis hin zur Beschaffung von Fahrzeugen und Geräten aller Art sowie deren energiesparende Nutzung. Darüber hinaus sollte die öffentliche Hand schrittweise alle bestehenden Gebäude und Anlagen konsequent energetisch optimieren.

Wenn die öffentliche Hand sich nicht gemäß den vor ihr propagierten Zielen verhält, wird es ihr nicht gelingen, eine breite Akzeptanz in der Öffentlichkeit für die mit den Klimaschutzanstrengungen zunächst verbundenen Lasten zu erreichen.

Im Übrigen stellen diese Maßnahmen auch eine Vorsorge zum Schutz der öffentlichen Finanzen gegen die zu erwartende Steigerung der Energiepreise dar. In diesem Zusammenhang sollten die Anforderungen an die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Investitionen so verändert werden, dass nicht eine prozentuale Steigerung des Ölpreises, sondern ein absoluter Wert in der Größenordnung von mindestens 150 US-Dollar je Barrel angenommen wird. Ansonsten führen kurzzeitig sinkende Energiepreise immer wieder zur Verschiebung oder zur völligen Aufgabe wichtiger energiesparender Investitionen.

Um die Anstrengungen innerhalb der Verwaltung zu befördern, wäre es hilfreich, eine zentrale Stelle mit weitreichenden Kompetenzen zu schaffen, die für alle Fragen des Klimaschutzes und der Energie zuständig ist. Dies könnte beispielsweise ein eigenes *Amt für Energie und Klimaschutz* in der Behörde für Stadtentwicklung und Umweltschutz sein, das alle Vorhaben mitzeichnen muss, die eine bestimmte Energie- oder CO₂-Menge überschreiten. Es wäre sogar zu überlegen, ob einer solchen Einrichtung nicht eine eigene Stimme im Senat verschafft werden sollte, indem sie zu einer eigenen Behörde aufgewertet wird.

Zusammenfassung

Die öffentliche Hand muss eine klar erkennbare Vorreiterrolle einnehmen. Die Kompetenzen zu Fragen der Energieversorgung und des Klimaschutzes in den Behörden müssen gebündelt werden.

5.3 Beispiel einer möglichen Maßnahmenkombination für 2020

In diesem Kapitel wird eine mögliche Kombination der in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten Maßnahmen vorgestellt, die geeignet ist, das Ziel einer 40%-igen Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hamburg bis 2020 zu erreichen (Tabelle 12).

Dabei wird jeweils aus den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Bandbreiten in den einzelnen Sektoren ein als sinnvoll und in der Summe als ausgewogen erachtetes Umsetzungsniveau ausgewählt, bei dem alle Bereiche einen Beitrag zum Gesamtziel leisten. Es sei darauf hingewiesen, dass durchaus andere Maßnahmenkombinationen gewählt werden können, um das Ziel zu erreichen.



Im Hinblick auf die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Maßnahmen ist es wichtig zu verstehen, dass eine Abschwächung des gewählten Niveaus in einem Bereich notwendigerweise durch eine Verschärfung in einem anderen Bereich kompensiert werden muss. Wer in einem Bereich weniger zumutet, muss in einem anderen Bereich mehr abverlangen.

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die gewählten Maßnahmenniveaus und vergleicht diese mit dem Referenzfall.

Für den Bereich der Stromerzeugung werden keine über den Referenzfall hinausgehenden Anstrengungen unterstellt. Der Stromverbrauch soll durch erfolgreiche Motivation und Beratung um 9% statt um 6% zurückgehen. Damit ist eine Verringerung der CO₂-Emissionen um 0,14 Mio. t pro Jahr verbunden. Der Anteil grünen Stroms soll in den privaten Haushalten und im Bereich „Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)“ verdreifacht werden, was weitere 0,25 Mio. t CO₂ pro Jahr vermeidet.

Beim Wärmebedarf wird die Umsetzung des Konzepts „Besser sanieren“ aus dem Ergänzungsgutachten von Ecofys unterstellt. Dieses hat bezogen auf den Wärmebedarf bis 2020 nur geringe Vorteile gegenüber dem Referenzfall, ist jedoch für die weitergehende Ziele bis 2050 von entscheidender Bedeutung (s. Kap. 5.2.3.1). Immerhin erreicht es dennoch zusätzliche CO₂-Minderungen von 0,24 Mio. t/a.

Durch die Verringerung des Wärmebedarfs sinkt der Fernwärmeabsatz bis 2020 von 5 auf 4 TWh/a. Es wird angenommen, dass es gelingt, die Fernwärme in Hamburg bis 2020 ohne den Einsatz von Steinkohle bereitzustellen. Dazu werden ein Erdgas-GuD-Kraftwerk (anstelle eines Anschlusses des Kraftwerks Moorburg) und ein Biomasseheizkraftwerk (als Ersatz für das Heizkraftwerk Tiefstack) errichtet. Damit lassen sich – auf Grundlage des hier verwendeten Bilanzierungsverfahrens – 0,43 Mio. Tonnen CO₂ vermeiden, was den größten Einzelbeitrag in diesem Maßnahmenbündel darstellt.

Es werden eine halbe Million Quadratmeter Solarkollektoren installiert. Dieser Wert steht stellvertretend für die Nutzung erneuerbarer Energien. Es können auch gleichwertige andere Techniken installiert werden. Letztlich bedeutet diese Zahl aber, dass alle neugebauten oder sanierten Gebäude in erheblichem Umfang erneuerbare Energien nutzen müssen. Insgesamt wird hier ein Minderungsbeitrag von 0,03 Mio. t CO₂ pro Jahr erwartet. Welche Variante unter welchen Bedingungen die Wirtschaftlichste ist und ob der relativ geringe Beitrag zur Erreichung des Gesamtziels den finanziellen Aufwand überhaupt lohnt, sollte in Praxistests ermittelt werden. Die entsprechenden Informationen sollten dann allen Beteiligten zugänglich gemacht werden.

Der Einsatz von Wärmepumpen zur Bereitstellung von 0,3 TWh Wärme hat im Jahr 2020 nur geringe Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen, da der Generalfaktor für Strom noch nicht weit genug gesunken ist. Langfristig, d.h. wenn nach und nach immer mehr Strom aus erneuerbarer Energie stammt, tragen die bereits installierten Wärmepumpen dann automatisch mehr zum Klimaschutz bei.

Der Prozesswärmebedarf sinkt um 10%, was angesichts des erheblichen Anstiegs beim Aktivitätsniveau erhebliche Verbesserungen der eingesetzten Techniken erfordert. Der Beitrag zur CO₂-Minderung beträgt 0,12 Mio. t/a.

Für den Sektor Mobilität wird angenommen, dass bis 2020 15% des heutigen PKW-Verkehrs vermieden und der im Referenzfall erwartete Anstieg des LKW-Verkehrs um 10%

nicht nur kompensiert, sondern der Güterverkehr auf der Straße um weitere um 10% verringert wird. Dadurch werden 0,38 Mio. t CO₂ im Jahr nicht in die Atmosphäre abgegeben.

Tabelle 12: Vorschlag für eine Maßnahmenkombination, die zu einer Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hamburg gegenüber 1990 um 40% bis 2020 führt. Alle Prozentangaben außer für CO₂ sind auf das Referenzjahr 2006 bezogen.

	Referenz	Mögliches Ziel Hamburg	Delta	CO ₂ [Mio. t]
		gegenüber 2006		
Generalfaktor Strom	0,6 -> 0,45 kg/kWh	-		
Stromverbrauch	- 6%	- 10%	- 4%	0,14
grüner Strom Haushalte	5%	15%	+ 10%	0,25
grüner Strom GHD*	2,5%	7,5%	+ 5%	
Heizenergie- und Warmwasserbedarf	- 21%	- 26%	- 5%	0,24
Fernwärme		CO ₂ -arm	CO ₂ -arm	0,43
Wärmepumpen		0,3 TWh/a		0,03
Solarthermie	0,2 Mio. m ²	0,5 Mio. m ²	0,3 Mio. m ²	0,03
Prozesswärmebedarf	+/- 0	- 10%	- 10%	0,12
spez. Verbrauch PKW	- 25%			
Aktivitätsniveau PKW	100%	85%	- 15%	0,26
spez. Verbrauch LKW	- 20%			
Aktivitätsniveau LKW	110%	90%	- 20%	0,12
CO₂-Emissionen	- 32%	- 40%	- 8%	1,6
		gegenüber 1990		

* GHD = Gewerbe, Handel, Dienstleistung

In der Gesamtbilanz lassen sich somit

- im Stromsektor weitere 0,39 Mio. t CO₂,
- im Wärmesektor 0,71 Mio. t CO₂ und
- im Verkehrssektor 0,38 Mio. t CO₂ vermeiden.

Dies macht die Dominanz der Wärmeversorgung für die mittelfristig durch Hamburg zu erreichende Reduktion der CO₂-Emissionen deutlich.

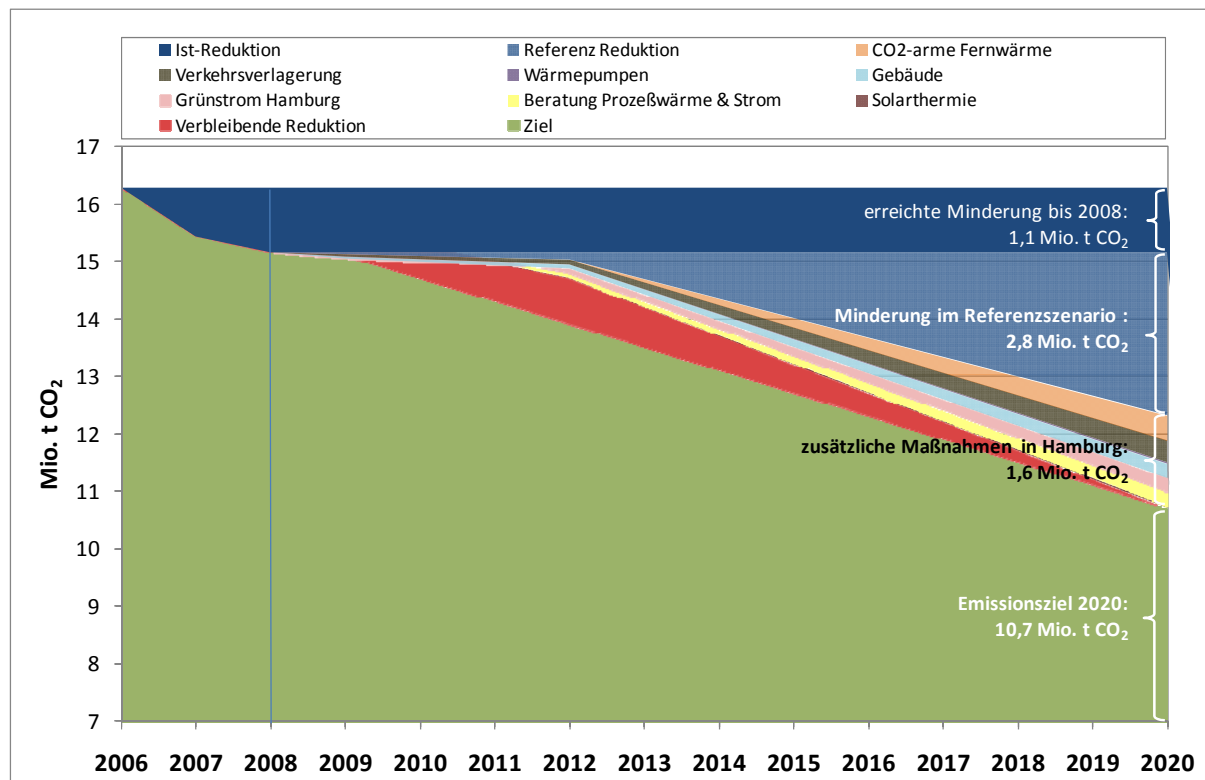


Abbildung 30: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Hamburg bis 2020 und Beiträge der verschiedenen Sektoren zu ihrer Minderung.

Der Nullpunkt der vertikalen Achse wurde zur Verbesserung der Übersichtlichkeit verschoben.

Abbildung 30 zeigt den Verlauf der CO₂-Emissionen bis 2020 und die Minderungsbeiträge der verschiedenen Sektoren, wobei zu beachten ist, dass die vertikale Achse nicht bei 0, sondern bei 7 Mio. t beginnt. Dabei ist zu erkennen, dass die CO₂-Minderungen bis 2008 größer waren als für einen linearen Verlauf zur Zielerreichung erforderlich. Ob dies den Anstrengungen zum Klimaschutz oder der Wirtschaftskrise zuzurechnen ist, wird sich erst nach Vorliegen der Energie- und CO₂-Bilanzen für die folgenden Jahre bzw. das von der Leitstelle für Klimaschutz initiierte Monitoring der Klimaschutzaktivitäten in Hamburg klären lassen. Ab 2010 bleiben die für den Referenzfall prognostizierten Minderungen hinter der erforderlichen Reduzierung zurück, da einige der vorgeschlagenen Maßnahmen ihre Wirkung erst zeitverzögert entfalten. So startet die unterstellte Umstrukturierung der Fernwärme erst 2012. Das Ziel für 2020 wird jedoch erreicht.

Das hier vorgestellte Szenario geht davon aus, dass die Fernwärme in Hamburg im Jahr 2020 CO₂-arm, d.h. ohne die Nutzung von Steinkohle, bereitgestellt wird. Sollte das Kraftwerk Moorburg zu diesem Zeitpunkt jedoch Fernwärme liefern, die aus der Verbrennung von Steinkohle stammt, wird die Hamburger CO₂-Bilanz mit 170.000 t pro Jahr mehr belastet als wenn die Fernwärme aus einer GuD-Anlage stammte. Um diese Emissionsmenge zu kompensieren müssten beispielsweise weitere 10 Prozentpunkte der PKW-Fahrleistung in Hamburg eingespart oder rund 100.000 Wohnungen zusätzlich auf Niedrigenergiestandard saniert werden.



Zusammenfassung

Die wichtigsten Ansatzpunkte für Hamburg im Klimaschutz bis 2020 sind:

- eine CO₂-arme Fernwärme,
- die energetische Sanierung großer Wohn- und Nicht-Wohngebäude, die vor der ersten Wärmeschutzverordnung von 1979 gebaut wurden, sowie
- die Vermeidung oder Verlagerung von PKW-Fahrten von mehr als 10 km Länge.



5.4 Wirtschaftliche Aspekte

An dieser Stelle stellt sich die Frage nach den Kosten der Klimaschutzmaßnahmen. Die wichtigere Frage ist aber: Was kostet es, wenn wir diese Maßnahmen nicht ergreifen?

Eine der einflussreichsten Untersuchungen zu dieser Frage ist der sogenannte „Stern Review: The Economics of Climate Change“, der 2006 vom ehemaligen Chefökonom der Weltbank, Nicholas Stern im Auftrag der britischen Regierung erarbeitet wurde [Stern 2006]. Stern kommt zu dem Ergebnis, dass ein ungebremseter Klimawandel eine Reduzierung des globalen Bruttosozialprodukts um 5% pro Jahr zur Folge haben könnte. Die derzeitige Finanz- und Wirtschaftskrise würde sich dagegen als eher unbedeutend erweisen. Gleichzeitig stellt Stern fest, dass die Vermeidung des Klimawandels weniger als ein Prozent des weltweiten Bruttosozialprodukts kosten würde und somit wirtschaftlich zu leisten sei.

Unabhängig davon zeigen Abbildung 11 und Abbildung 14, dass die Kosten der Gewinnung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten sehr wahrscheinlich unter das Niveau sinken werden, das in den letzten beiden Jahren für konventionelle Energien bereits erreicht wurde. Es ist mit einiger Sicherheit davon auszugehen, dass die Preise für fossile Energieträger in diesem Zeitraum über dieses Niveau hinaus ansteigen werden, sobald die derzeitige Finanz- und Wirtschaftskrise überwunden ist und die steigende Nachfrage der Schwellenländer an den Energiemärkten wieder im Vordergrund steht.

Ähnliches gilt für die Kosten der Energieeffizienz. Zahlreiche Studien haben in der Vergangenheit schon aufgezeigt, dass es in vielen Fällen günstiger ist, eine Kilowattstunde einzusparen statt sie bereitzustellen. Die gilt auch für den Bereich der Gebäude, wie im Teil 2 dieses Gutachtens gezeigt wird [Ecofys 2009]. Dabei wäre es sinnvoll, künftig auch zu prüfen, ob statt einer energetischen Sanierung alter Gebäude nicht ein Abriss und Neubau gesamtwirtschaftlich günstiger wäre, da dann auch nicht-energetische Aspekte wie „altersgerechtes Wohnen“ oder „Erneuerung der Leitungen“ leichter berücksichtigt werden könnten.

Sollten die Preise konventioneller Energieträger wider Erwarten nicht steigen, so werden sich bei anspruchsvollen Emissionsminderungszielen die Preisrelationen zwischen den verschiedenen Energieträgern durch steigende Preise für CO₂-Emissionsrechte solange verändern, bis Energieformen mit hohem CO₂-Anteil aus dem Markt gedrängt werden. Die Fortsetzung der bisherigen Art und Weise Energie zu nutzen wäre auch in diesem Fall mit deutlich höheren Kosten verbunden.

Der Umbau der Energieversorgung kann insoweit auch als Vorsorge gegen steigende Preise fossiler Energien und als Beitrag zur Versorgungssicherheit gesehen werden. Insbesondere die kontinuierliche, systematische Verringerung des Energiebedarfs der Gebäude kann auch als langfristiges Mieterschutzprogramm interpretiert werden, da die Mieter auf diese Weise vor hohen künftigen Ausgaben für Wärme geschützt werden. Hinzu kommen – mindestens im Verkehrsbereich – erhebliche Einsparungen bei der bisherigen Infrastruktur für Straßen und Parkraum.

Der Umbau der Energieversorgung hin zu einer dauerhaft umweltgerechten Energienutzung ist für den Klimaschutz zwingend notwendig. Er ist wirtschaftlich und sozialpolitisch mindestens verantwortbar, wenn nicht sogar vorteilhaft gegenüber einer Fortführung des bisherigen Umgangs mit Energie.

6 FORTSCHREIBUNG DES KLIMASCHUTZSZENARIOS BIS 2050

Wichtiger noch als das Erreichen der Klimaschutzziele für 2020 ist es, weitergehende Minderungen bis 2050 zu ermöglichen.

Hier gibt es zwei Bereiche, die schon im Referenzfall sehr große Beiträge leisten. Dies ist zum einen die fast vollständig CO₂-freie Erzeugung von Strom (vgl. Kap. 3.1.2). Zum anderen wird der Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser bis 2050 um mehr als 50% zurückgehen. Zudem ist zu erwarten, dass die Fahrzeuge insgesamt sehr viel effizienter werden, sei es durch neue konventionelle Techniken oder der Einsatz von Elektrofahrzeugen (vgl. Tabelle 13). Insgesamt gehen die CO₂-Emissionen im Referenzfall bereits um 68% gegenüber 1990 zurück.

Um eine Verringerung um 80% zu erreichen, muss zusätzlich der Ausstoß von 1,6 Mio. t CO₂ im Jahr vermieden werden. Absolut gesehen ist der langfristige Minderungsbedarf, der durch Klimaschutz in Hamburg abgedeckt werden muss, somit nicht viel größer als derjenige für 2020. Prozentual beträgt der Minderungsbedarf dann allerdings immerhin 30% der Emissionen im Referenzfall. Dabei ist zu bedenken, dass die Option „Grünstrom“ 2050 nicht mehr zur Verfügung steht. Zudem wird der Beitrag einer CO₂-armen Nah- oder Fernwärme durch den abnehmenden Raumwärmebedarf deutlich geringer.

Hamburg darf somit nach 2020 keinesfalls nachlassen im Bemühen um Klimaschutz. Der Referenzfall ist nicht definiert als „Business-as-usual“, sondern als konsequente Umsetzung dessen, was heute schon beschlossen wurde. Dies sicherzustellen, wird entschlossenes Handeln auf vielen Ebenen erfordern.

Auch in den Jahren nach 2020 bleiben der Gebäude- und der Verkehrssektor die wichtigsten Handlungsfelder für den Klimaschutz in Hamburg. Besonders wichtig ist es hier, durch einen frühzeitigen Start der Sanierung auf sehr gute energetische Niveaus langfristig rund drei Viertel des Energiebedarfs einsparen zu können.

Tabelle 13 und Abbildung 31 zeigen wiederum die Wirkungen einer von vielen möglichen Maßnahmenkombinationen, mit denen sich das Klimaschutzziel für 2050 erreichen lässt. Angesichts des sehr langen Zeithorizonts dient diese Betrachtung eher als Konsistenzprüfung, ob das Minderungsziel für 2050 prinzipiell erreichbar ist, denn als konkrete Handlungsempfehlung. Zwischen 2020 und 2050 müssen hier vor dem Hintergrund der bis dahin gemachten Erfahrungen und der technischen Entwicklung Anpassungen vorgenommen werden.



Tabelle 13: Vorschlag für eine Maßnahmenkombination, die zu einer Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hamburg gegenüber 1990 um 80% bis 2050 führt. Alle Prozentangaben außer für CO₂ sind auf das Referenzjahr 2006 bezogen.

	Referenz	Mögliches Ziel Hamburg	Delta	CO ₂ [Mio. t]
gegenüber 2006				
Generalfaktor Strom	0,6 -> 0,05 kg/kWh-			
Stromverbrauch	- 20%	- 33%	- 13%	0,05
Heizenergie- und Warmwasserbedarf	-57%	-65%	- 8%	0,44
Fernwärme		fast CO ₂ -frei	fast CO ₂ -frei	0,28
erneuerbare Energien				0,32
Prozesswärmebedarf	- 16%	- 30%	- 14%	0,14
spez. Verbrauch PKW	- 50%			
Aktivitätsniveau PKW	100%	80%	- 20%	0,23
spez. Verbrauch LKW	- 30%			
Aktivitätsniveau LKW	120%	90%	- 30%	0,16
CO₂-Emissionen	- 71%	- 80%	- 9%	1,6
gegenüber 1990				

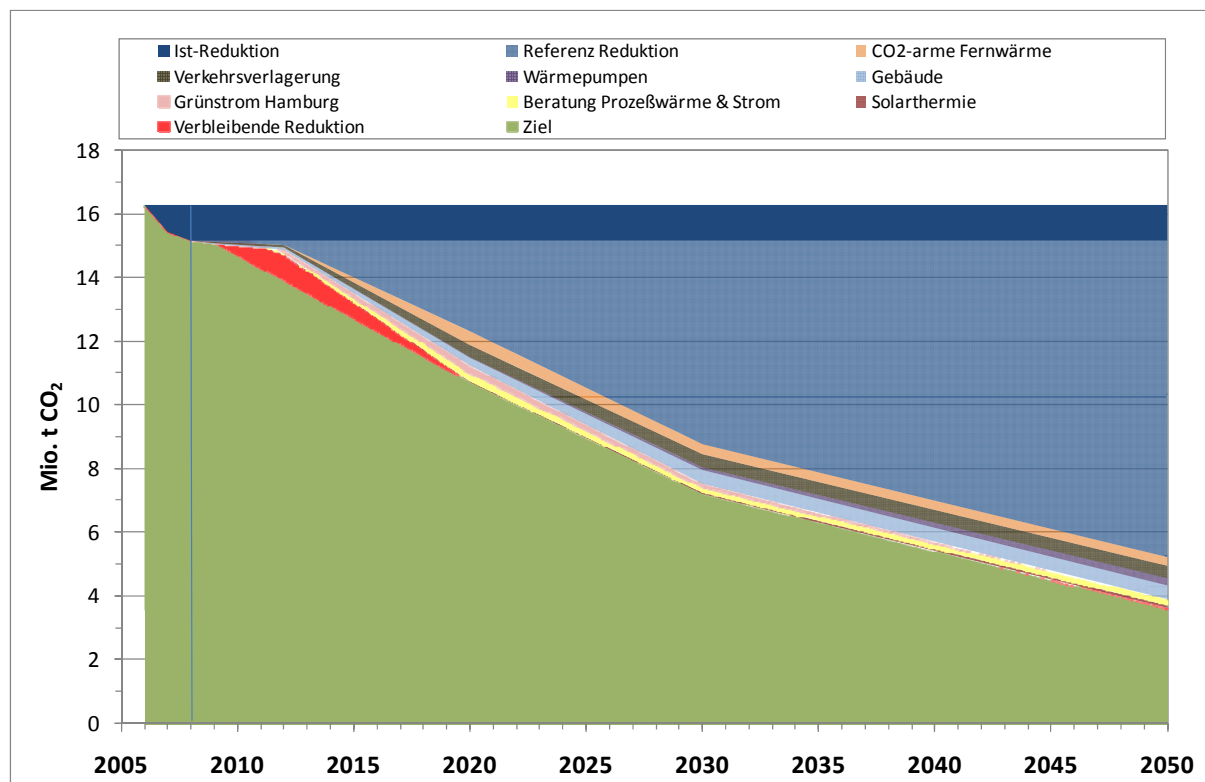


Abbildung 31: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Hamburg bis 2050 und Beiträge der verschiedenen Sektoren zu ihrer Minderung.



ANHÄNGE

Abkürzungen

... _f	... bezogen auf Brennstoffenergie (fuel energy)
... _{el}	... bezogen auf <u>e</u> lektrische Energie (Strom)
... _{th}	... bezogen auf <u>t</u> hermische Energie (Wärme)
°C	Grad Celsius
€	Euro
€/MWh	Euro je Megawatt-Stunde 1 €/MWh = 1/10 c€/kWh
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIMSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
BioNV	Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (www.bmu.de)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (www.bmwi.de)
BSU	Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg (www.bsu.hamburg.de)
c€, ct	Euro-Cent
CCS	Carbon Capture and Storage (= CO ₂ -Abscheidung und Ablagerung)
CH ₄	Methan
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
dena	Deutsche Energie-Agentur, Berlin (www.dena.de)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (www.dlr.de)
EbP	Energiebetriebene Produkte
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EJ	Exajoule = 10 ¹⁸ J
EnEV	Energieeinsparverordnung (für Gebäude)
ET	Emissions Trading
EU	European Union / Europäische Union
EU-ETS	European Emissions Trading System (= Handel mit Emissionsrechten)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg



GuD	Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk
GW	Gigawatt = 1.000 MW
GWh	Gigawatt-Stunde = 1.000 MWh
GJ	Gigajoule = 10^9 J
Gt	Gigatonne = 10^9 t
h	Stunde
H ₂	Wasserstoff
HGÜ	Hochspannungsgleichstromübertragung
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm (der Bundesregierung)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (= Weltklimarat, www.ipcc.org)
K	Kelvin (Einheit der absoluten Temperatur; 0 °C = 273 K)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau (Förderbank des Bundes, www.kfw.de)
kW	Kilowatt = 1.000 Watt
kWh	Kilowatt-Stunde = 1.000 Wattstunden
kWh/(m ² ·a)	Kilowatt-Stunde pro Quadratmeter und Jahr (Einheit des Heizwärmebedarfs)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LAK	Länderarbeitskreis (Energiebilanzen) (www.lak-energiebilanzen.de)
LED	Licht-emittierende Diode / Light emitting diode
Li	Lithium
LKW	Lastkraftwagen
m ²	Quadratmeter
M€	Millionen €
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mt	Megatonnen = 1 Million t
MW	Megawatt = 1.000 kW
MWh	Megawatt-Stunde = 1.000 kWh
N ₂ O	Di-Stickstoff-Oxid (Lachgas)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PJ	Petajoule = 10^{15} J
PKW	Personenkraftwagen
ppm	Parts per million (Maß für die Konzentration von Gasen)
PV	Photovoltaik



TWh Terawatt-Stunde = 1 Million MWh
t Tonne

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change (www.unfccc.org)

U-Wert Wärmedurchgangskoeffizient, gemessen in $W/(m^2 \cdot K)$

W Watt (elektrische Leistung)

$W/(m^2 \cdot K)$ Watt je Quadratmeter und Kelvin (Einheit des Wärmedurchgangskoeffizienten)

Wh Watt-Stunden (physikalische Arbeit); 1 Wh = 3.600 Ws = 3.600 J

Ws Watt-Sekunde (physikalische Arbeit)

WSchVO Wärmeschutzverordnung

Größenordnungen

c Centi = 10^{-2}
k Kilo = 10^3
M Mega = 10^6
G Giga = 10^9
T Tera = 10^{12}
P Peta = 10^{15}
E Exa = 10^{18}



Referenzen

Die angegebenen Internet-Links entsprechen dem Stand von 2009. Es kann nicht garantiert werden, dass diese Links dauerhaft bestehen.

arrhenius Institut 2009: *Neue Kohlekraftwerke und Strompreise*, arrhenius Policy Brief 1, Hamburg, 2009.

BMU 2007: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, *Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung*, Berlin, Dezember 2007.
www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/39875.php

BMU 2008: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: *Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklungen*, Berlin, 2008.
www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/2720.php

BMU 2008b: J. Nitsch: *Leitstudie 2008 „Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“*, Untersuchung im Auftrag des BMU, Berlin, Oktober 2008.
www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/42383.php

BMU 2010: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: *Entwicklung der erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2009*, Berlin, März 2010.

BMU 2010b: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland unter Berücksichtigung europäischer und globaler Entwicklung – Zwischenbericht zum Basisszenario 2010*, noch unveröffentlicht.

BMWi 2008: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: *Energiedaten 2008 – Nationale und internationale Entwicklung*, Berlin, 2008.

BMWi 2009: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: *Energiedaten 2009 – Nationale und internationale Entwicklung*, Berlin, 2009.

BMWi/BMU 2010: *Energiekonzept – Neun Punkte für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*, Berlin, Entwurf in der Fassung vom 6. September 2010.

Bode et al. 2002: *Climate policy: analysis of ecological, technical and economic implications for international maritime transport*, in: International Journal of Maritime Economics, 4, S. 164 – 184.

Bode 2009: *(Wann) ist Grünstrom CO2-frei?* In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 59, 5, S. 46-49.

BP 2008: British Petroleum, *Statistical Review of World Energy 2008*, London, 2008.
www.bp.com/statisticalreview

CEC 2008: Commission of the European Communities, *20 20 by 2020 – Europe's Climate Change Opportunity*, COM(2008) 13, 16, 17, 18, and 19, Brussels, 23.1.2008.
ec.europa.eu/energy/climate_actions/index_en.htm

COM 2007: Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuß und den Ausschuß der Regionen, *Begrenzung des globalen Klimawandels auf 2 Grad Celsius, Der Weg in die Zukunft bis 2020 und darüber hinaus*, KOM(2007) 2 endgültig, Brüssel, 10.1.2007.

- EBPG 2008: *Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Energiebetriebene-Produkte-Gesetz – EBPG)* vom 27.2.2008, BGBl. I, S. 258-267.
www.ebpg.bam.de/de/ebpg_medien/ebp_gest_08-03_ebpg-bgbl.pdf
- Ebel et al. 2009: W. Ebel, W. Eicke-Hennig, W. Feist, H.-M. Groscurth, *Energieeinsparung bei Alt- und Neubauten*, C.F. Müller, Heidelberg, 2000.
- Ecofys 2009: *Masterplan Klimaschutz Hamburg, Teil 2: Wärmebedarf der Gebäude*, Hamburg, 2009.
- EU 2005: *Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte ...*, Amtsblatt L 191 der EU vom 22.7.2005, S. 29-58.
www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Hintergrund/EuP-Dokumente/oekodesignrichtlinie_AmtsblattEU.pdf
- EU 2006: *Richtlinie 2006/32/EG vom 5. April 2006*, Amtsblatt L 114 der EU vom 27.4.2006, S.64 ff.
www.energieeffizienz-online.info/index.php?id=9877
- EUC 1996: *Community Strategy on Climate Change – Council Conclusions*, CFSP Presidency statement, Luxembourg (25/6/1996) - Press:188 Nr: 8518/96
- EWI 2010: EWI, GWS und Prognos, *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Projekt 12/10 für das BMWi, Basel / Köln / Osnabrück*, August 2010.
- FHH 2007: Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft, *Hamburger Klimaschutzkonzept 2007-2012*, Drucksache 18/6803 v. 21.8.2007.
- FHH 2008: Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft, *Fortschreibung des Hamburger Klimaschutzkonzepts 2007-2012*, Drucksache 19/1752 v. 9.12.2008.
- FHH 2009: Mitteilung des Senats an die Bürgerschaft, *Fortschreibung des Hamburger Klimaschutzkonzepts 2007-2012*, Drucksache 19/4906 v. 22.12.2009.
- FVEE 2010: Forschungsverbund Erneuerbare Energien FVEE, *Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien*, Juni 2010.
- Groscurth 2005: *Grundlagenstudie „Erneuerbare Energien in Hamburg“*, Endbericht für die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg, März 2005.
www.arrhenius.de/uploads/media/Groscurth_ErneuerbareEnergienHamburg.pdf
- Groscurth 2010: *Diskussionspapier Kraft-Wärme-Kopplung*, im Auftrag von Germanwatch e.V. im Rahmen des BMBF-Projektes Mainstreaming von Klimarisiken und -chancen im Finanzsektor, Hamburg 2010.
www.arrhenius.de/uploads/media/2010-04-27_arrhenius_KWK_Final.pdf
- Hare, Rogelj und Schaeffer 2009: *Industrialized country emission reductions in 2050*, Working paper in „Climate Analytics, 2009.
- infas 2009: *Mobilität in Deutschland – Tabellenband für den HVV*, Bonn, Juni 2009.
- IPCC 2005: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, 2005.
- IPCC 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): *Climate Change 2007 – Fourth Assessment Report*, Valencia, 2007.
www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm
- KBA 2008: Kraftfahrtbundesamt, *Verkehr deutscher Lastkraftfahrzeuge, Statistik für 2008*.



- KlimaCampus 2009: H. v. Storch und M. Claußen (Hrsg.), Klimabericht für die Metropolregion Hamburg, November 2009.
- Klinski 2009: Europäischer Politikrahmen und Regulierung des Wärmemarktes auf Bundesebene – Spielräume der Länder, Vortrag bei „Expertengespräch Fernwärme“ der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg, 28.10.2009.
- Loga et al. 2007: T. Loga, N. Diefenbach, A. Enseling, U. Hacke, R. Born, J. Knissel, E. Hinz: *Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand - ...*, Institut Wohnen und Umwelt im Auftrag des Verbandes der Südwestdeutschen Wohnungswirtschaft e.V., Darmstadt, November 2007.
www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_QBer_EnEff_Wohngeb_Nov2007.pdf
- Marr und Wehner 2005: *Möglichkeiten einer nachhaltigen Energieversorgung für eine deutsche Großstadt am Beispiel von Hamburg*, Diplom-Arbeit an der Universität Flensburg, 30. März 2005.
- Matthies 2009: *Energierrelevante Entscheidungen und Energienutzungsverhalten aus psychologischer Sicht - Perspektiven für Maßnahmen*, Bericht im Rahmen des BMBF Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“.
- MID 2010: Schriftliche Auskunft von infas basierend auf [infas 2009].
- Meinshausen, Meinshausen, Hare, Raper, Frieler, Knutti, Frame und Allen 2009: *Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C*; Nature, Vol. 458, April 2009, doi: 10.1038/nature08017
- Prognos 2007: *Hamburg liegt vorn! Auswertung des Prognos Deutschland Reports 2030 und des Prognos Zukunftsatlas 2006 für Hamburg*, Studie im Auftrag der Behörde für Wirtschaft und Arbeit der FHH, Basel, Bremen, 30.4.2007.
- projects energy 2009: *Energie aus heimischer Biomasse, Studie zum Biomassepotential in der Freien und Hansestadt Hamburg*, im Auftrag der Landwirtschaftskammer Hamburg, unterstützt von der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU), Hamburg, Mai 2009.
- Schindler und Zittel (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik) 2008: *Zukunft der weltweiten Erdölversorgung*, Studie im Auftrag der Energy Watch Group, Ottobrunn, 2008.
www.energywatchgroup.org/Erdoel-Report.32.0.html
- Schott 2005: *Memorandum zur solarthermischen Kraftwerkstechnologie*, Mainz, 2005.
- Smith, Schneider und Oppenheimer 2009: *Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern"*, Proceedings of the National Academy of Science (PNAS), doi 10.1073/pnas.0812355106.
- SRU 2009: Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen, *Abscheidung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid, Stellungnahme zum Gesetzentwurf der Bundesregierung*, April 2009.
- Statistikamt Nord 2004: *Bevölkerungsvorausschätzung für Hamburg bis 2020*, Statistischer Bericht A18-2004 H, Hamburg, 21.10.2004.
- Statistikamt Nord 2010: *Energie- und CO₂-Bilanz für Hamburg – Rückgang der Emissionen gegenüber 1990 geringer als bisher ausgewiesen*, Statistik informiert ... Nr. 74/2010 v. 27.7.2010.
www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/SI10_074.pdf
- Stern 2006: *Review on the Economics of Climate Change*, HM Treasury, London, UK, 2006.
www.occ.gov.uk/activities/stern.htm



Trieb 2008: *Sonnenkraftwerk Wüste*, EW Jg. 107 (2008), S. 24-29.

Trieb und Müller-Steinhagen 2007: *Sustainable Electricity and Water for Europe, Middle East and North Africa*, DLR, Stuttgart, 2007.

www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Trieb_EUMENA_Power_and_Water-2007-10-10-FT2.pdf

UBA 2008: U. Fritsche und L. Rausch (Öko-Institut), *Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme*, UBA-Forschungsbericht 360 16 008, Darmstadt, 2008.

UBA 2010: Umweltbundesamt, *Energieziel 2050 – 100% Strom aus erneuerbaren Quellen*, Berlin, Juli 2010.

WI 2006: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, *Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen*, Endbericht im Auftrag der E.ON AG, Wuppertal, Mai 2006.

ZEW 1996: K. Rennings et al., *Nachhaltigkeit, Ordnungspolitik und freiwillige Selbstverpflichtung*, ZEW Schriftenreihe Umwelt- und Ressourcenökonomik, Physica Verlag, Heidelberg, 1996.



Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Endenergiebilanz für Hamburg 2006 und 2007	14
Tabelle 2: Spezifische CO ₂ -Emissionen verschiedener Energieträger.....	17
Tabelle 3: CO ₂ -Verursacherbilanz für Hamburg 2006 und 2007	18
Tabelle 4: Wirkung von Hamburger Maßnahmen im Rahmen einer Verursacherbilanz.....	24
Tabelle 5: Grundsätzliche Möglichkeiten für die dauerhaft umweltgerechte Wärmeversorgung von Gebäuden.	35
Tabelle 6: Optionen für die Bereitstellung von Prozesswärme	40
Tabelle 7: Beispiele, um den Ausstoß von 100.000 t CO ₂ im Verkehrsbereich zu vermeiden.	44
Tabelle 8: Abriss-, Sanierungs- und Neubauraten in Hamburg	54
Tabelle 9: CO ₂ -Minderungen in 2020 im Referenzfall gegenüber 2006.	58
Tabelle 10: Regelungsmöglichkeiten auf der Ebene von Bund, Ländern und Kommunen.	60
Tabelle 11: Ansatzpunkte zur Vermeidung und Verlagerung von PKW-Fahrten.	82
Tabelle 12: Vorschlag für eine Maßnahmenkombination, die zu einer Reduzierung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen in Hamburg gegenüber 1990 um 40% bis 2020 führt.	87
Tabelle 13: Vorschlag für eine Maßnahmenkombination, die zu einer Reduzierung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen in Hamburg gegenüber 1990 um 80% bis 2050 führt.	92

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Physik des Treibhauseffektes.	6
Abbildung 2: Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 2007.	8
Abbildung 3: Endenergiebilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 - 2007 nach Endenergieträgern und Sektoren.	15
Abbildung 4: Endenergiebilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2007 nach Sektoren und Endenergieträgern.	15
Abbildung 5: Endenergiebilanz für Hamburg 2006 und 2007 nach Anwendungsgebieten und Sektoren	16
Abbildung 6: CO ₂ -Verursacherbilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 - 2007 nach Endenergieträgern und Sektoren.	19
Abbildung 7: CO ₂ -Verursacherbilanz für Hamburg 1990 sowie 2006 – 2007 nach Sektoren und Endenergieträgern.	19
Abbildung 8: CO ₂ -Verursacherbilanz für Hamburg 2006 und 2007 nach Anwendungsgebieten und Sektoren.	20
Abbildung 9: Potentiale erneuerbarer Energien in Hamburg im Vergleich zum Bedarf an Strom und Raumwärme in 2006 und 2020.	25
Abbildung 10: Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland gemäß BMU-Basiszenario.	28
Abbildung 11: Entwicklung der Stromgestehungskosten verschiedener Techniken bis 2050	30
Abbildung 12: Entwicklung der mittleren spezifischen CO ₂ -Emissionen aus der Stromerzeugung in Deutschland (Generalfaktor) gemäß BMU-Leitstudie 2008 und BMU-Basiszenario 2010	31
Abbildung 13: Prinzipien des Passivhauses.	32
Abbildung 14: Entwicklung der Wärmebereitstellungskosten verschiedener Techniken.	37
Abbildung 15: Entwicklung des Energieeinsatzes zur Wärmebereitstellung im BMU-Basiszenario 2010 nach Energieträgern	41
Abbildung 16: Energieeinsatz im Verkehr im BMU-Basiszenario 2010 nach Kraftstoffarten	43
Abbildung 17: Anteil erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland.	49
Abbildung 18: CO ₂ -Emissionen aus der Versorgung Hamburger Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2009 nach Gebäudetypen, Baujahr, Sanierungsstand und Heizungsart... ..	54
Abbildung 19: Entwicklung des Wärmebedarfs in Gebäuden im Referenzfall	55
Abbildung 20: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Hamburg im Referenzfall.	58
Abbildung 21: CO ₂ -Minderung durch den Bezug von grünem Strom in Hamburg.	66
Abbildung 22: Entwicklung des Wärmebedarfs in Gebäuden bei verschiedenen Maßnahmenbündeln	67
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen installierter Solarkollektorfläche und CO ₂ -Minderungen gegenüber 2006 sowie den verfügbaren Dachflächen in Hamburg.	71



Abbildung 24: Entwicklung des CO ₂ -Emissionsfaktors der Fernwärme in Hamburg für unterschiedliche technische Konfigurationen in Abhängigkeit vom Fernwärmeabsatz.	72
Abbildung 25: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Fernwärme in Hamburg für unterschiedliche technische Konfigurationen in Abhängigkeit vom Fernwärmeabsatz.	73
Abbildung 26: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen aus der Prozesswärme in Hamburg bei unterschiedlichen Effizienzverbesserungen gegenüber dem Referenzfall.....	77
Abbildung 27: Mögliche zusätzliche Minderungen der CO ₂ -Emissionen im Verkehrssektor in Hamburg durch Verlagerung auf CO ₂ -freie Alternativen.....	78
Abbildung 28: Aufteilung der CO ₂ -Emissionen des Verkehrs in Hamburg auf Fahrzeugkategorien.....	79
Abbildung 29: Binnen- und Quellverkehr Hamburgs bis 40 km Wegelänge pro Tag in 2008.....	80
Abbildung 30: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Hamburg bis 2020 und Beiträge der verschiedenen Sektoren zu ihrer Minderung.	88
Abbildung 31: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Hamburg bis 2050 und Beiträge der verschiedenen Sektoren zu ihrer Minderung.	92