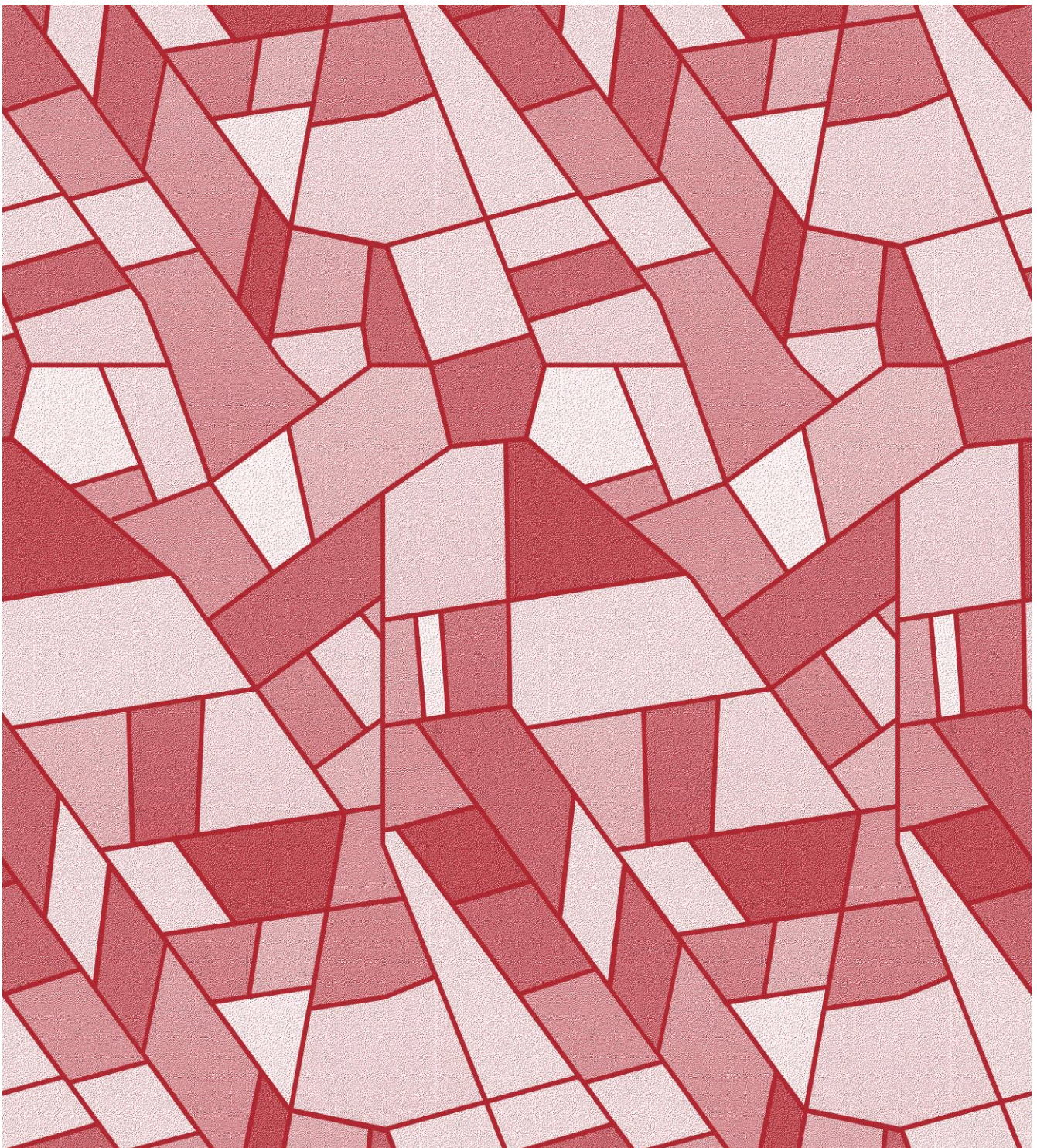


Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen – Sektor Gebäude

Beschrieb des angewendeten Wirkungsmodells, 24. September 2018
Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)



Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

EBP Schweiz AG, Zollikerstrasse 65, 8702 Zollikon

Autoren

Michel Müller, EBP

Gianluca De Sanctis, EBP

Sabine Perch-Nielsen, EBP

Begleitung Bund

Carla Gross, BAFU, Abteilung Klima

Michael Bock, BAFU, Abteilung Klima

Rosemarie Weigt, BAFU, Abteilung Klima

Regine Röthlisberger, BAFU, Abteilung Klima

Roger Nufer, BFE, Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

Begleitung Kantone

Kanton Aargau: Peter Barmet

Kanton Basel-Landschaft: Felix Jehle, Luca Hüsler

Kanton Bern: Christian Glauser, Thomas Rosenberg

Kanton Luzern: Jules Gut, Marco Lustenberger

Kanton Neuenburg: Stefano Giamboni

Kantone Schaffhausen und Thurgau: Reto Hunziker

Kanton Zürich: Alex Nietlisbach

Externe Begleitung

Donald Sigrist, Infracore

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Systemgrenzen	1
3.	Wirkungsmodell	2
4.	Abbildung des Gebäudebestandes	4
4.1	Modul Raumwärme	4
4.2	Modul Warmwasser	6
4.3	Modul Änderungen im Gebäudebestand	6
5.	Massnahmen	8
5.1	Betrachtete Massnahmen kantonaler Gesetze	8
5.2	Winterlicher Wärmeschutz	9
5.3	Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten	10
5.4	Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugerersatz	11
5.5	Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen	12
5.6	Elektrische Wassererwärmer und Heizungen	12
6.	Resultate des Wirkungsmodells	12

Anhang

A1	Generelle quantitative Annahmen	14
A2	Kantonal differenzierte quantitative Annahmen	17
A3	Quantitative Annahmen zur Massnahmenwirkung	21
A4	Angewendetes Netzmodell	27

1. Einleitung

Die hauptsächliche Verantwortung für klima- und energiepolitische Massnahmen im Gebäudebereich liegt bei den Kantonen. Das CO₂- und Energiegesetz verpflichtet die Kantone, dem Bund über ihre Massnahmen und deren Wirkungen Bericht zu erstatten. Dies erfolgt ab 2018 neu mit dem Bericht «Wirkung der Klima- und Energiepolitik in den Kantonen». Dieser wird ab 2018 alle zwei Jahre von den Bundesämtern für Umwelt (BAFU) und Energie (BFE) publiziert.

Berichterstattung der Kantone im Klima- und Energiebereich

Der Bericht stellt pro Kanton den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen aus Gebäuden dar und schätzt die Wirkung der kantonalen Massnahmen ab. Das dabei angewendete Wirkungsmodell wird in diesem Bericht beschrieben. Übergeordnetes Ziel des Wirkungsmodells ist die möglichst fundierte Abschätzung und prägnante Darstellung der Reduktion der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs durch kantonale Massnahmen im Gebäudebereich. Weitere Ziele sind:

Beschrieb des Wirkungsmodells

- Neben der Reduktion der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs auf kantonaler Ebene sind auch die Reduktion der Luftschadstoffe und die wirtschaftlichen Mehrinvestitionen in die Schweiz abgebildet.
- Die Bestimmungsfaktoren der nationalen Entwicklung des fossilen Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen sind abgeschätzt.
- Das Wirkungsmodell und seine Ergebnisse sind zukunftsfähig und konsistent: Zukunftsfähig bedeutet, dass neue Informationen, Datenerhebungen und die Entwicklung der kantonalen Gesetze in zukünftige Modellrechnungen eingebaut werden können, um diese stetig zu verbessern. Konsistent bedeutet, dass die Ergebnisse mit bestehenden Erhebungen und Resultaten verglichen werden. Wo möglich sollen bestehende Daten als Input bzw. zur Kalibrierung verwendet werden.

Die Entwicklung des Modells zur Wirkungsschätzung wurden mit einer Begleitgruppe aus Kantonsvertretern abgesprochen. Allen involvierten Kantonsvertretern sei hier ein Dank für ihr Engagement ausgesprochen.

Begleitung durch Kantonsvertreter

2. Systemgrenzen

Für die Wirkungsabschätzung wird auf den Energieverbrauch der Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser fokussiert. Mit diesem Fokus ist ein Grossteil des Energieverbrauchs in Wohngebäuden und auch im Dienstleistungssektor abgedeckt. Gemäss der «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2016 nach Verwendungszwecken» des BFE wird mehr als 80% der Energie in privaten Haushalten für die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser verbraucht. Im Dienstleistungssektor ist dieser Wert mit rund 58% geringer. Jedoch werden auch in diesem Sektor klimarelevante Brennstoffe nahezu ausschliesslich für Raumwärme und Warmwasser verbraucht. Zudem betrifft das Gros der kantonalen Massnah-

Erster Fokus auf Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser

men die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser. Ausgeschlossen für die Wirkungsabschätzung sind damit folgende Verwendungszwecke, die den Gebäudebereich betreffen: Beleuchtung, Klima und Lüftung und der Stromverbrauch von Elektrogeräten in Gebäuden¹.

Ein zweiter Fokus liegt auf Wohn- und Dienstleistungsgebäuden. Eine Wirkung im Industriesektor wird nicht betrachtet. Dies, weil die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser im Industriebereich im Hintergrund stehen. Vorherrschend ist der Verwendungszweck Prozesswärme (rund 55% des gesamten Energieverbrauchs der Industrie im 2016). Daher sind die wirkungsvollsten Massnahmen im Bereich Industrie nationale Massnahmen des CO₂-Gesetzes (CO₂-Abgabe, Emissionshandelssystem).

Zweiter Fokus auf Wohn- und Dienstleistungsgebäude

Die oben beschriebenen Systemgrenzen entsprechen denjenigen des Treibhausgasinventars. Massgebend für die Wirkung im Klima- und Energiebereich sind weiter folgende Definitionen:

Reduktion Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionen

- Klima: CO₂-Emissionen gemäss den Richtlinien des Treibhausgasinventars. Das heisst, dass im Kontext dieser Wirkungsschätzung Strom und Fernwärme keine Gebäudeemissionen verursachen, weil deren Verbrauch direkt beim einzelnen Gebäude zu keinen Emissionen führt.
- Energie: Betrachtet wird der Endenergieverbrauch, d.h. die an das Gebäude gelieferte Endenergie.
- Zeitliche Eingrenzung: Betrachtet wird die Wirkung im Zeitraum von Ende 2015 bis Ende 2016. Massgebend ist die Reduktion der jährlichen Emissionen bzw. des jährlichen Endenergieverbrauchs.

3. Wirkungsmodell

Abbildung 1 zeigt die übergeordnete Modellstruktur des angewendeten Wirkungsmodells.

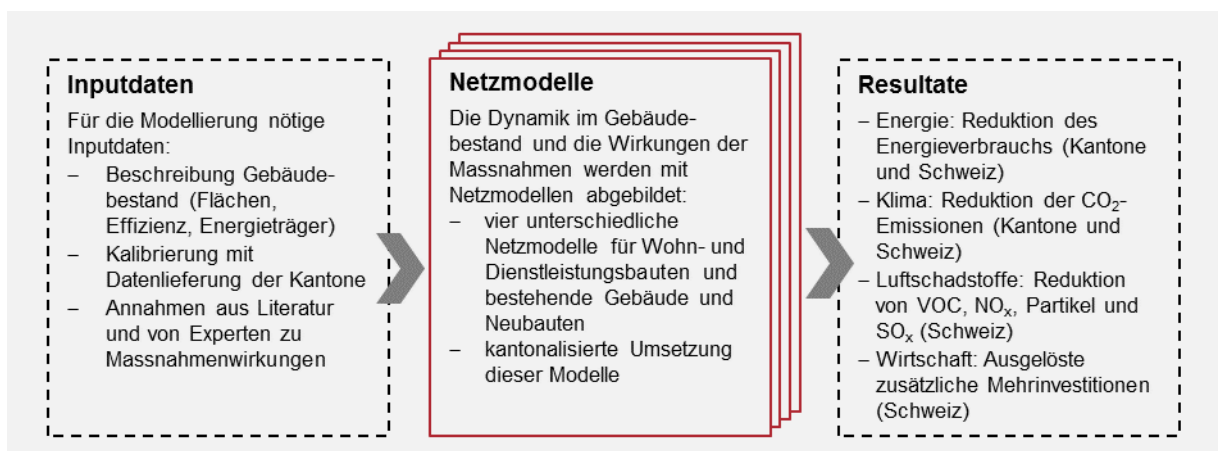


Abbildung 1: Übergeordnete Modellstruktur des angewendeten Wirkungsmodells.

1 Der Einsatz von elektrischen Heizungen und Wärmepumpen für die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser wird betrachtet.

Die Inputdaten fliessen ein, um den Gebäudebestand und die Wirkung der Massnahmen quantitativ zu beschreiben. Im Gebäudebestand müssen für Wohn- und Dienstleistungsbauten insbesondere die Energiebezugsflächen, die Effizienz der Gebäude und die eingesetzten Systeme für Raumwärme und Warmwasser beschrieben werden. Für eine möglichst hohe Konsistenz der Berichterstattung bildet die Datenlieferung der Kantone im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Berichterstattung die primäre Grundlage dazu.

Inputdaten für das Modell

Die eigentliche Wirkungsschätzung basiert auf netzbasierten Wirkungsmodellen. Netzmodelle wurden ursprünglich für die Wahrscheinlichkeitsrechnung verwendet. Sie eignen sich besonders gut um einzelne oder mehrere kausale Abhängigkeiten in Berechnungsgrössen sowohl grafisch als auch quantitativ abzubilden. Übergeordnet werden vier unterschiedliche Netzmodelle verwendet. Die vier Modelle ergeben sich, weil Wohn- und Dienstleistungsgebäude und Neubauten und bestehende Gebäude getrennt betrachtet werden. Die Modelle werden durch kantonal unterschiedliche Inputdaten kantonalisiert.

Netzbasierte Wirkungsmodelle

Die Energieverbrauchs- und CO₂-Reduktionen werden pro Kanton ermittelt und ausgewiesen. Die kantonalen Wirkungen (Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen) werden aggregiert, um die nationale Wirkung der kantonalen Massnahmen abzuschätzen. Damit das Modell mit Schweizer Werten übereinstimmt, werden zum Abschluss die kantonalen Schätzungen so kalibriert, dass im Mittel die aggregierten kantonalen Energieverbräuche dem statistisch erhobenen Schweizer Energieverbrauch entspricht. Für diese Kalibrierung wird die Datenlieferung der Kantone im Rahmen der Berichterstattung verwendet. Mit dem kalibrierten Modell werden zusätzlich zur Energie- und Klimawirkung auf nationaler Ebene die Wirkung der Massnahmen auf Luftschadstoffe und die Wirtschaft (ausgelöste Mehrinvestitionen) abgeschätzt.

Kantonale und nationale Resultate der Wirkungsschätzung

Abbildung 2 zeigt ein Netzmodell und stellt schematisch dar, wie mit dem Modell die Wirkung abgeschätzt wird. Die Wirkung wird für die Betrachtungsperiode von einem Jahr geschätzt. Dazu wird der Gebäudebestand am Anfang und am Ende der Periode beschrieben. Der «Gebäudebestand VORHER» ergibt sich anhand von Inputdaten der wichtigsten Kenngrössen der Bereiche Raumwärme und Warmwasser. Der «Gebäudebestand NACHHER» stellt den Gebäudebestand mit seinen energetischen Eigenschaften am Ende der Betrachtungsperiode dar. Er ergibt sich aus dem «Gebäudebestand VORHER» und den Änderungen im Gebäudebestand während der Betrachtungsperiode. Aus den energetischen Eigenschaften des Gebäudebestands werden der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen am Anfang und am Ende der Periode berechnet. Ein Vergleich ermöglicht die Analyse der entsprechenden Wirkungen. Die Massnahmen und Bestimmungsfaktoren beeinflussen die Änderungen der energetischen Eigenschaften im Gebäudebestand im Vergleich zu einer Referenzentwicklung.

Wirkungsschätzung mittels Netzmodellen

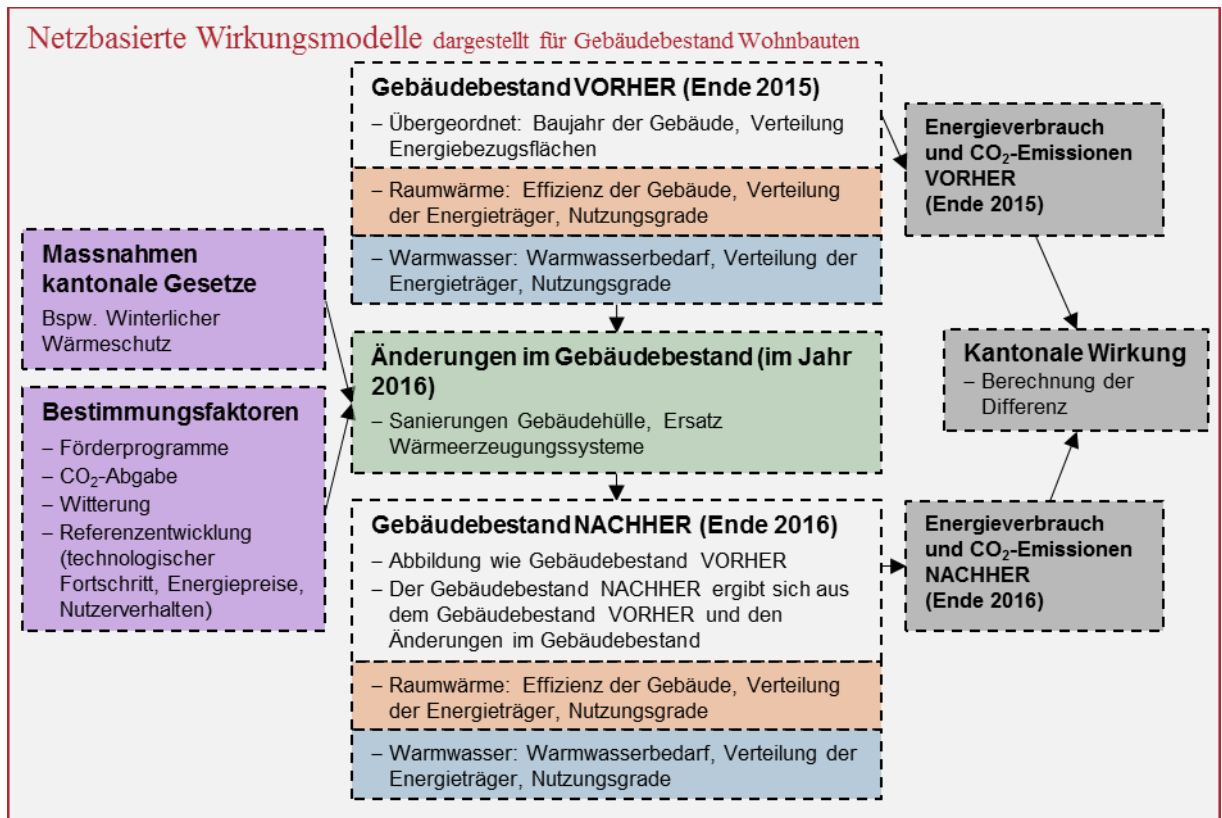


Abbildung 2: Schematische Darstellung des für bestehende Wohnbauten angewendeten Netzmodells.

4. Abbildung des Gebäudebestandes

Der Gebäudebestand wird grundsätzlich mit drei Modulen beschrieben: Je einem Modul für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW) und einem Modul für die Änderungen im Gebäudebestand. Dieses Kapitel zeigt die einzelnen Elemente in diesen Modulen auf. In Netzmodellen werden alle Elemente als Verteilungen beschrieben: In diesem Fall als Verteilungen über die Energiebezugsfläche des gesamten Gebäudebestands (bspw. Anteile der Systeme zur Erzeugung von Raumwärme). Diese Verteilungen können kausal voneinander abhängig sein und sind deswegen korreliert: Zum Beispiel treten Wärmepumpen eher bei neueren, effizienteren Gebäuden auf.

Drei Module Raumwärme, Warmwasser und Änderungen im Gebäudebestand

Für die Modellierung der Neubauten wird das Modul «Änderungen im Gebäudebestand» nicht benötigt. Die neuen Gebäude können direkt als Zustand des Gebäudebestands am Ende der Betrachtungsperiode beschrieben werden. Massnahmen und Bestimmungsfaktoren wirken in diesem Fall direkt auf die jeweiligen Elemente dieses Gebäudebestands.

Unterschiedliche Modellierung der Neubauten

4.1 Modul Raumwärme

Abbildung 3 zeigt die Elemente im Modul für Raumwärme. Die Pfeile stellen die kausalen Zusammenhänge zwischen den Elementen dar. Der wichtigste Input erfolgt mit den beiden Elementen «Heizwärmebedarf» und «System RW». Das Element «Heizwärmebedarf» beschreibt als Verteilung des Heizwärmebedarfs die Effizienz der betrachteten Gebäude. Das Element wird

Hauptinput Raumwärme: Elemente Heizwärmebedarf und System RW

kantonal differenziert und basiert auf den Energiekennzahlen gemäss der Datenlieferung der Kantone. Das Element «System RW» ist die prozentuale Verteilung der eingesetzten Heizsysteme im Gebäudebestand. Betrachtet werden Öl- und Gasfeuerungen, Holzfeuerungen, Wärmepumpen, Elektroheizungen und Fernwärme. Bivalente Heizsysteme werden nicht betrachtet. Das Element wird kantonal differenziert und basiert auf der Gebäude- und Wohnungsstatistik für 2015² und wird kalibriert mit der Datenlieferung der Kantone. Beide Elemente sind abhängig vom Baujahr der Gebäude. Damit wird abgebildet, dass ältere Gebäude tendenziell höhere Heizwärmebedarfe aufweisen und verbreiteter fossil beheizt werden.

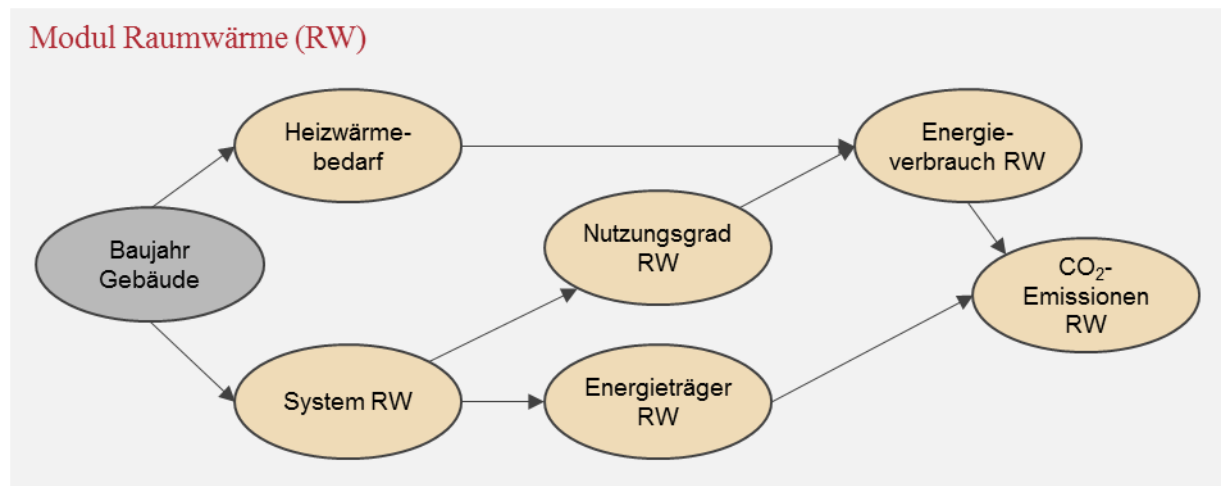


Abbildung 3: Modul zur Beschreibung des Verwendungszwecks Raumwärme.

Weitere Elemente, um den Energieverbrauch für Raumwärme zu berechnen, sind «Energieträger RW» und «Nutzungsgrad RW». «Energieträger RW» ist die prozentuale Verteilung der eingesetzten Energieträger zur Erzeugung von Raumwärme. Das Element leitet sich direkt aus «System RW» her und bildet beispielsweise ab, dass der Einsatz von Wärmepumpen zur Verwendung von Strom und Umweltwärme führt, proportional entsprechend der Annahme der mittleren Jahresarbeitszahl. Über «Nutzungsgrad RW» fließen Annahmen für den Nutzungsgrad der Systeme ein, abhängig von den eingesetzten Heizsystemen.

Weitere Elemente

Anhand der obigen Inputelemente werden die Resultate berechnet, der «Energieverbrauch RW» und die «CO₂-Emissionen RW». Der spezifische Energieverbrauch für Raumwärme wird mit der Effizienz der Gebäudehülle (Heizwärmebedarf) und des Nutzungsgrads der Heizsysteme berechnet. Die CO₂-Emissionen ergeben sich aus dem Energieverbrauch und den eingesetzten Energieträgern (diese bestimmen die Emissionsfaktoren).

Berechnete Resultate für Raumwärme

2 Für das Jahr 2016 fehlen die benötigten Angaben, weshalb auf Daten des Jahres 2015 zurückgegriffen wurde.

4.2 Modul Warmwasser

Abbildung 4 zeigt die Elemente im Modul für Warmwasser. Es ist analog aufgebaut wie das Modul für Raumwärme. Der wichtigste Input erfolgt mit den beiden Elementen «Warmwasserbedarf» und «System WW». Für das Element «Warmwasserbedarf» wird ein Standardnutzungswert gemäss SIA-Norm 380/1 angenommen³. Das Modul «System WW» ist die prozentuale Verteilung der eingesetzten Systeme zur Erzeugung von Warmwasser im Gebäudebestand. Betrachtet wird die Erzeugung von Warmwasser mit Öl- und Gasfeuerungen, Holzfeuerungen, Wärmepumpen, Elektroheizungen, Fernwärme, Wärmepumpenboiler und bivalenten Systemen mit Sonnenkollektoren. Das System für Warmwassererzeugung ist vom eingesetzten System für Raumwärme abhängig: Damit wird abgebildet, dass die Heizung in vielen Fällen auch zur Warmwasseraufbereitung genutzt wird.

Hauptinput Warmwasser: Warmwasserbedarf und System WW

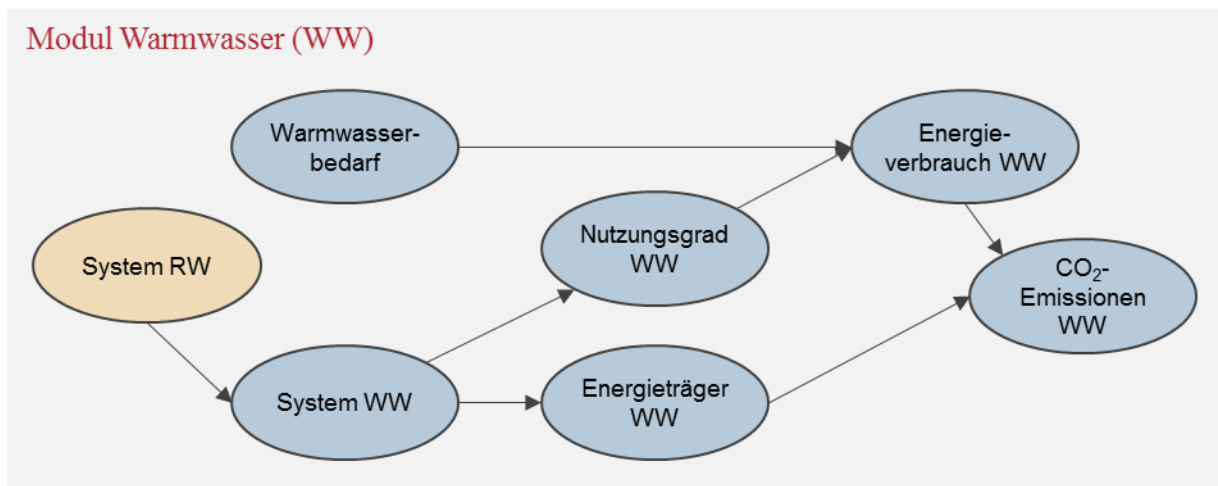


Abbildung 4: Modul zur Beschreibung des Verwendungszwecks Warmwasser.

Wie beim Modul für Raumwärme werden auch für Warmwasser die weiteren Elemente «Energieträger WW» und «Nutzungsgrad WW» betrachtet. In «Energieträger WW» fließen Annahmen zu mittleren Jahresarbeitszahlen (Einsatz von Wärmepumpen und Wärmepumpenboiler) und mittleren solaren Deckungsgraden für bivalente Systeme mit Sonnenkollektoren ein. Über «Nutzungsgrad WW» fließen Annahmen für den Nutzungsgrad ein, abhängig von den eingesetzten Systemen. Die Berechnung der Resultate «Energieverbrauch WW» und «CO₂-Emissionen WW» erfolgt identisch wie im Modul für Raumwärme.

Weitere Elemente und berechnete Resultate

4.3 Modul Änderungen im Gebäudebestand

Das Modul bildet alle Änderungen im Gebäudebestand über die Betrachtungsperiode ab. Diese umfassen sowohl den Ersatz von Wärmeerzeugungsanlagen als auch Sanierungen der Gebäudehülle. Diese Änderungen führen zu einer veränderten Verteilung des spezifischen Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Gebäudebestand. Die im Modell abgebildeten

Modul «Änderungen im Gebäudebestand»

³ Wärmebedarf für Warmwasser von 18 kWh/m² (Standardnutzungswert, flächengewichtet für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser)

Massnahmen und Bestimmungsfaktoren greifen bei diesen Änderungen im Gebäudebestand an, z.B. werden durch eine Massnahme im Vergleich zur Referenz mehr Ölheizungen durch Wärmepumpen ersetzt.

Abbildung 5 zeigt die Elemente im Modul «Änderungen im Gebäudebestand». Zentral ist das Element «Änderungen im Gebäudebestand». Dieses beschreibt übergeordnet alle Änderungen im Bestand und Korrelationen innerhalb dieser Änderungen (bspw. wann geschieht gleichzeitig eine Sanierung der Hülle und ein Ersatz der Heizung). Das Element ist abhängig vom Baujahr der Gebäude: Damit wird abgebildet, das vor allem bei älteren Gebäuden die Hülle energetisch saniert wird.

Element Änderungen im Gebäudebestand

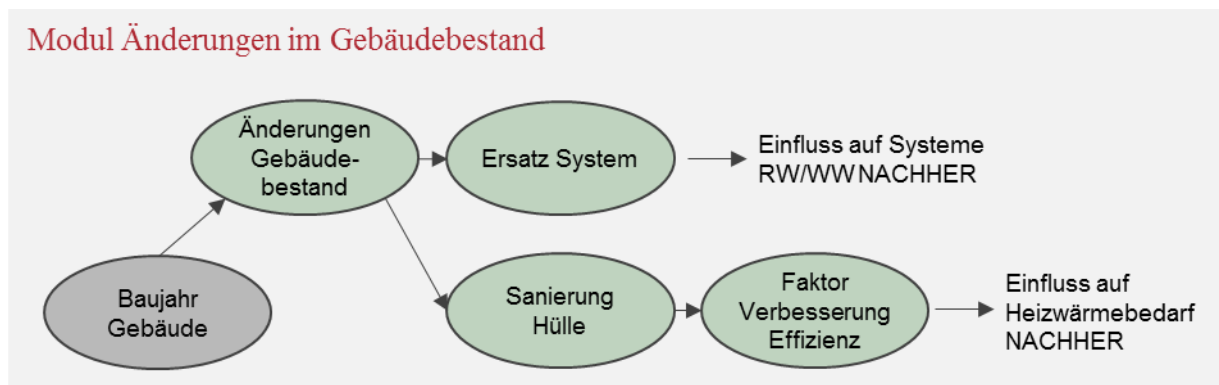


Abbildung 5: Modul zur Abbildung von Änderungen im Gebäudebestand (Raumwärme und Warmwasser).

Die Elemente «Sanierung Hülle» und «Faktor Verbesserung Effizienz» beschreiben zusammen Verbesserungen der Energieeffizienz durch Gebäudehüllensanierungen. Im Element «Sanierung Hülle» wird das Mengengerüst von Massnahmen an den verschiedenen Bauteilen der Gebäude definiert. Betrachtet werden:

Verbesserung der Energieeffizienz durch Sanierungen der Gebäudehülle

- Sanierung Fenster
- Sanierung Dach
- Sanierung Fassade und Fenster
- Sanierung Fenster und Dach
- Gesamtsanierungen: Fassade, Fenster und Dach

Das Element «Faktor Verbesserung Effizienz» legt für diese Massnahmen je die entsprechende Reduktion des Heizwärmebedarfs fest.

Das Element «Ersatz System» beschreibt, wie oft ein Ersatz der Wärmezeugungssysteme für Raumwärme und Warmwasser erfolgt. Für ersetzte Systeme wird eine Verteilung der neuen Systeme in Abhängigkeit der ersetzten Systeme definiert. Ein Ersatz eines Systems wirkt sich auch auf den Nutzungsgrad eines Systems aus.

Ersatz Systeme

5. Massnahmen

5.1 Betrachtete Massnahmen kantonaler Gesetze

Für die quantitative Wirkungsschätzung werden die in Tabelle 1 aufgeführten Massnahmen der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEn) betrachtet. Diese Auswahl der Massnahmen erfolgte mit Blick auf frühere Wirkungsschätzungen, eine erwartete relevante quantitative Wirkung innerhalb der betrachteten Systemgrenzen und in Absprache mit Vertretern der Kantone, des BAFU und weiterer Experten.

Betrachtete Massnahmen

Massnahme	Grundlage in den MuKEn
Winterlicher Wärmeschutz	Teil B des Basismoduls der MuKEn mit einem Fokus auf den winterlichen Wärmeschutz, Art. 1.6 (MuKEn 2008) bzw. Art. 1.7 (MuKEn 2014).
Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs bei Neubauten	Teil D des Basismoduls, Art. 1.20, 1.22 (MuKEn 2008) bzw. Art. 1.22, 1.23 und 1.25 (MuKEn 2014).
Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugersatz	Teil F des Basismoduls, Art. 1.29-1.31 (MuKEn 2014).
Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen	Teil C des Basismoduls (Artikel zu ortsfesten elektrischen Widerstandsheizungen sind in der nächsten Massnahme abgedeckt). Fokus auf Art. 1.11, 1.14 und 1.15 (MuKEn 2008) bzw. Art. 1.15-1.17 (MuKEn 2014).
Elektrische Wassererwärmer und Heizungen	Diverse Anforderungen an Elektroheizungen und Elektro-Wassererwärmer. Fokus auf Art. 1.12 und 1.13 (MuKEn 2008) bzw. Art. 1.13 und 1.14 und Teile H und I des Basismoduls (MuKEn 2014).

Tabelle 1: Ausgewählte Massnahmen für die quantitative Wirkungsschätzung.

Die fünf betrachteten Massnahmen werden in den Kapiteln 5.2 bis 5.6 detaillierter beschrieben. Die MuKEn werden in den Kantonen jedoch unterschiedlich umgesetzt, insbesondere hinsichtlich der zeitlichen Einführung und der Vollständigkeit der Übernahme des MuKEn-Katalogs. Solche kantonalen Unterschiede werden in der Modellierung über Ausprägungen der Massnahmen abgebildet, die sich durch ihre Wirkung im Gebäudebestand unterscheiden. Darüber werden die wichtigsten Unterschiede in der Umsetzung der MuKEn abgebildet. Detaildifferenzen mit wenig unterschiedlicher Wirkung werden nicht abgebildet. Die im Modell umgesetzten Annahmen für die unterschiedliche kantonale Umsetzung sind in Anhang A3.7 dokumentiert.

Detaillierte Beschreibung der Massnahmen und kantonalen Ausprägungen

Für jede Massnahme wird eine Referenzentwicklung «Referenz heute» beschrieben. Diese bildet die Reduktionen der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs ab, die heute im Gebäudebestand auch ohne kantonale Massnahmen stattfinden würden. Die Referenzentwicklung beinhaltet die Auswirkungen von Bestimmungsfaktoren wie Energiepreise und technologischer Fortschritt. Die tatsächliche Wirkung der kantonalen Massnahmen ist die zusätzliche Wirkung gegenüber dieser «Referenz heute». Die Bestimmung dieser Referenzentwicklung kann nur über Experteneinschätzungen und im Vergleich mit früheren Wirkungsanalysen erfolgen. Die «Referenz heute» ist eine Annahme mit zentralem Einfluss auf das Resultat der Wirkungsschätzung und mit grosser Unsicherheit. Deshalb wird zusätzlich eine «Referenz

Rolle der Referenzentwicklung

1990» bestimmt, die mit der «Referenz heute» verglichen werden kann. Diese «Referenz 1990» bildet die Reduktionen der CO₂-Emissionen und des Energieverbrauchs ab, die stattfinden würden, wenn Neubauten und Sanierungen wie im Jahr 1990 umgesetzt würden.

5.2 Winterlicher Wärmeschutz

Der winterliche Wärmeschutz umfasst Vorschriften für die Effizienz der Gebäudehülle, sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen bestehender Gebäude.

Die Massnahme wirkt u.a. auf die Energiebezugsfläche aller Neubauten im Jahr 2016. Es wird angenommen, dass die Massnahme keine Auswirkung auf die Neubau- und Ersatzbaurrate hat. Aufgrund der Anforderungen muss ein geringerer Heizwärmebedarf aller neuen Gebäude erreicht werden. Die Wirkung der Massnahme ergibt sich aus der Energiebezugsfläche aller Neubauten und der Einsparung im Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche.

Winterlicher Wärmeschutz bei Neubauten

Bei bestehenden Gebäuden wirkt die Massnahme auf die Energiebezugsfläche jener bestehenden Gebäude, bei welchen 2016 ein Teil der Hülle saniert wurde. Aufgrund der Anforderungen muss bei Sanierungsmassnahmen an der Gebäudehülle eine grössere Verbesserung des Heizwärmebedarfs erreicht werden. Die Wirkung der Massnahme ergibt sich somit aus der Energiebezugsfläche sanierter bestehender Gebäude und der erreichten zusätzlichen Verbesserung im Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche. Abbildung 6 zeigt die Wirkungszusammenhänge im Modell für bestehende Gebäude. Die Massnahme wirkt in Abhängigkeit des Elements «Sanierung Hülle» («wird saniert?») auf das Element «Verbesserung Energieeffizienz». Dieses stellt die Sanierungstiefe dar («wie gut wird saniert?»). Über «Verbesserung Effizienz» wirkt die Massnahme auf den Heizwärmebedarf. Es wird angenommen, dass die Massnahme selbst keinen Einfluss auf die Sanierungshäufigkeit hat («wird saniert?»).

Winterlicher Wärmeschutz bei bestehenden Gebäuden

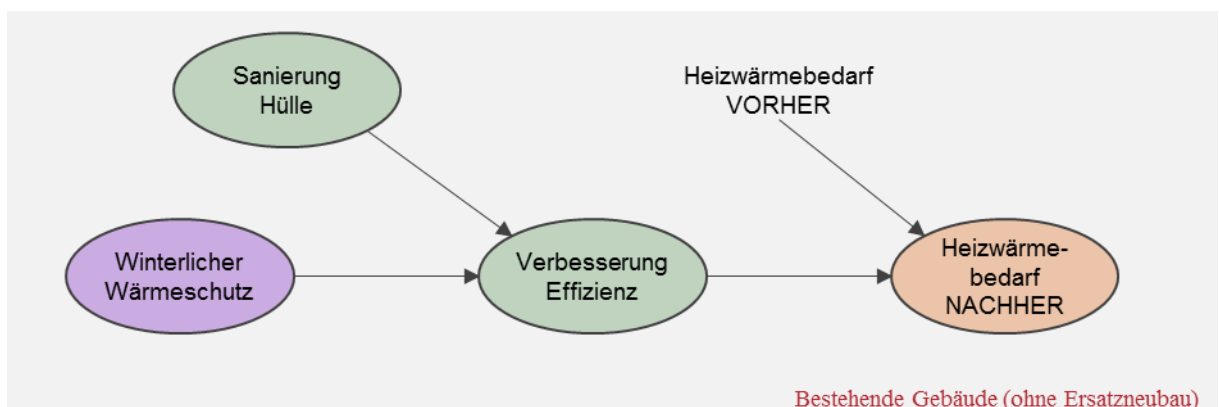


Abbildung 6: Wirkungszusammenhänge winterlicher Wärmeschutz im Modell für bestehende Gebäude.

Die Massnahme wird für die Ausprägungen MuKE n 2008 und 2014 quantifiziert. Zusätzlich werden als Referenz «Referenz heute» und «Referenz 1990» bestimmt. Für bestehende Gebäude wurde quantifiziert, wie stark

Quantifizierung der Massnahmenwirkung

Massnahmen an der Gebäudehülle durch die Anforderungen zu einer zusätzlichen energetischen Verbesserung führen. Für Neubauten und Ersatzbauten wurde die direkte Wirkung auf den Heizwärmebedarf quantifiziert. Die quantitativen Annahmen sind im Anhang A3 dokumentiert.

5.3 Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten

Die Anforderungen gelten für alle Neubauten und fordern, dass ein minimaler Anteil erneuerbarer Energie eingesetzt oder zusätzliche Energieeffizienzmassnahmen umgesetzt werden. Für die Erfüllung der Massnahme stehen Standardlösungen zur Verfügung. Diese beinhalten Massnahmen, die den Energieträger und/oder die Effizienz der Gebäude betreffen. Abbildung 7 zeigt die Wirkungszusammenhänge im Modell für Neubauten. Für die Umsetzung der Massnahme wird als Erstes eine Präferenz bestimmt, ob die Umsetzung mit vollständig erneuerbaren Energien (bspw. eine Wärmepumpe oder Holzheizung) oder mit fossilen Energien und zusätzlichen Effizienzmassnahmen erfolgt. Die Massnahmen wirkt abhängig von dieser Präferenz sowohl auf die Verteilung der Systeme zur Wärmeerzeugung als auch auf den Heizwärmebedarf der Neubauten.

Anforderungen für alle Neubauten

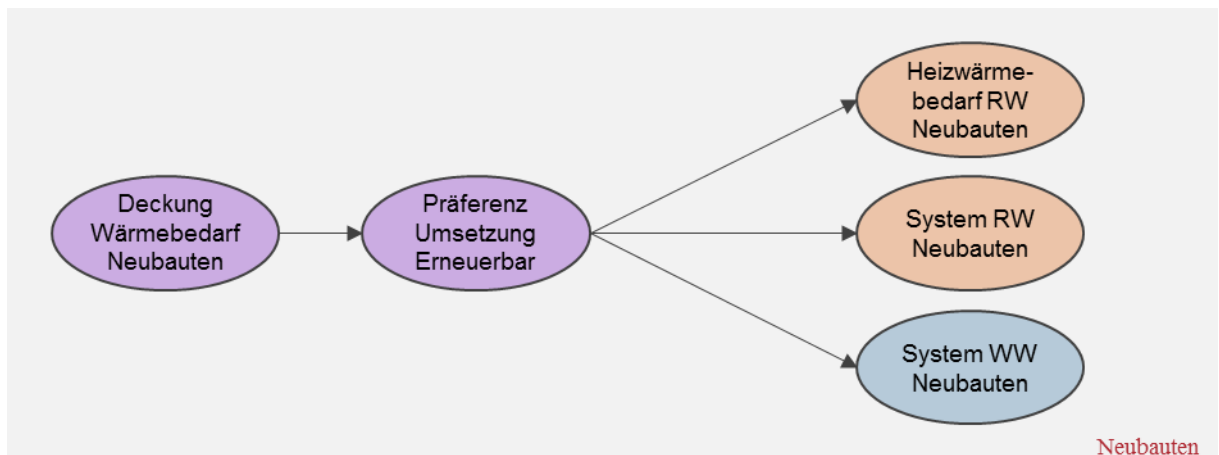


Abbildung 7: Wirkungszusammenhänge der Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten im Modell für Neubauten.

Die Massnahme wird für die Ausprägungen MuKE 2008 und 2014 quantifiziert. Als Hauptannahmen werden bestimmt, welche Standardlösungen der MuKE 2008 und 2014 wie oft umgesetzt werden und wie stark Effizienzmassnahmen den Heizwärmebedarf (zusätzlich) reduzieren. Für die «Referenz heute» und «Referenz 1990» werden die Verteilungen der Wärmeerzeugungssysteme eingeschätzt. Die quantitativen Annahmen sind im Anhang A3 dokumentiert.

Quantifizierung der Massnahmenwirkung

5.4 Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugerersatz

Die Anforderungen betreffen bestehende Wohngebäude mit GEAK Kategorie E oder schlechter und gelten nur dann, wenn die Heizung saniert wird. Die Massnahme fordert, dass beim Ersatz der Heizung ein minimaler Anteil (mindestens 10%) erneuerbarer Energie eingesetzt oder zusätzliche Energieeffizienzmassnahmen umgesetzt werden. Zur Umsetzung stehen Standardlösungen mit unterschiedlicher Wirksamkeit zur Verfügung. Einige dieser Standardlösungen setzen auf erneuerbare Energien, andere auf die Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen. Abbildung 8 zeigt die Wirkungszusammenhänge im Modell für bestehende Gebäude. Die Massnahme weist die komplexesten Wirkungsbeziehungen der betrachteten Massnahmen auf. Zur einfacheren Modellierung wird zusätzlich ein Element eingeführt, welches die Präferenz zur Umsetzung (Einsatz Erneuerbarer Energie oder Effizienzmassnahmen) beschreibt. Bei Energieeffizienzmassnahmen wird die Sanierungshäufigkeit erhöht (d.h. zusätzliche Massnahmen werden ausgelöst). Beim Einsatz Erneuerbarer Energie wirkt die Massnahme direkt auf die Verteilung der Wärmeerzeugungssysteme RW und WW. Den Elementen «Ersatz System RW», «Heizwärmebedarf VORHER» und «System RW VORHER» kommt als Auslösetatbestände eine zentrale Rolle zu. Die Massnahme greift nur, wenn eine Heizung ersetzt wird («Ersatz System RW»), wenn das Gebäude eine schlechte Effizienz aufweist («Heizwärmebedarf VORHER») und wenn es fossile Energie für die Heizung genutzt hat («System RW VORHER»).

Anforderungen in Wohnbauten mit schlechter Energieeffizienz

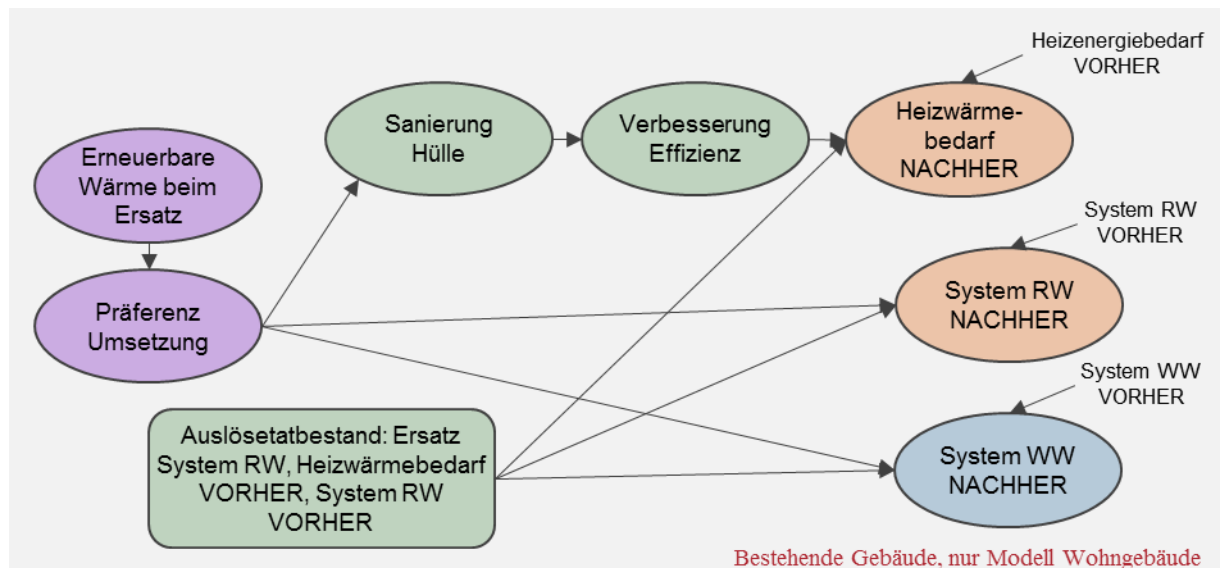


Abbildung 8: Wirkungszusammenhänge der Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs beim Wärmeerzeugerersatz im Modell für bestehende Gebäude.

Im Jahr 2016 war die Massnahme gemäss ihrer Formulierung in den MuKEN 2014 noch in keinem Kanton umgesetzt. Sie ist jedoch in Zukunft von grosser Bedeutung. Zudem vollziehen einige Kantone bereits seit mehreren Jahren ähnliche Vorschriften für die Warmwassererzeugung. Somit werden die Aus-

Quantifizierung der Massnahmenwirkung

prägungen MuKE n 2014 und Vorschriften für die Warmwassererzeugung betrachtet. Als Hauptannahmen wurden bestimmt, welche Standardlösungen gemäss MuKE n 2014 wie oft umgesetzt werden und wie stark Effizienzmassnahmen den Heizwärmebedarf (zusätzlich) reduzieren. Für die «Referenz heute» und «Referenz 1990» werden die Verteilungen der Wärmeerzeugungssysteme beim Systemersatz eingeschätzt. Auswirkungen auf die Energieeffizienz gibt es in diesen Referenzentwicklungen nicht. Die quantitativen Annahmen sind im Anhang A3 dokumentiert.

5.5 Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen

Aufgrund der Anforderungen wird ein besserer Nutzungsgrad der eingesetzten Wärmeerzeugungssysteme erreicht. Die Massnahme wirkt bei allen Neubauten und bei bestehenden Gebäuden, in denen 2016 die Heizung saniert wurde. Die Quantifizierung der Massnahme erfolgt über die Anpassung des Nutzungsgrads der Systeme. Die Anforderungen der MuKE n 2008 und 2014 werden als gleichwertig betrachtet und nicht unterschieden. Diese und die quantitativen Annahmen für die «Referenz heute» und «Referenz 1990» sind im Anhang A3 dokumentiert.

Anforderungen mit Auswirkung auf den Nutzungsgrad

5.6 Elektrische Wassererwärmer und Heizungen

Aufgrund der Anforderungen darf in allen Neubauten das Warmwasser nicht mehr vollständig elektrisch erwärmt werden. Elektrische Heizungen dürfen generell nicht mehr eingebaut werden. Diese Anforderungen fliessen für die Wirkungsschätzung direkt in die Verteilung der Wärmeerzeugungssysteme ein. Als Vergleich dazu werden die Referenzentwicklungen «Referenz heute» und «Referenz 1990» eingeschätzt. Diese Experteneinschätzungen basieren insbesondere auf der Gebäude- und Wohnungsstatistik und sind im Anhang A3 dokumentiert.

Wirkung in Neubauten

Aufgrund der Anforderungen darf bei einem Ersatz der Wärmeerzeugung in bestehenden Gebäuden das Warmwasser nicht mehr vollständig elektrisch erwärmt werden und elektrische Heizungen dürfen generell nicht mehr eingebaut werden. Die Quantifizierung des Ersatzverbots von Elektroheizungen wird direkt umgesetzt: wenn eine elektrische Wärmeerzeugung ersetzt wird, findet immer ein Systemwechsel statt. Zentral für die Wirkung der Massnahme ist der Anteil der elektrischen Wassererwärmer und Heizungen bei bestehenden Gebäuden (vgl. Anhang A2) und die Annahme, wie oft diese Systeme ersetzt werden (vgl. Anhang 0). Neben dem Ersatzverbot besteht in manchen Kantonen eine Sanierungspflicht. Diese würde auf den gesamten Bestand der (zentralen) Elektroheizungen wirken. Es wird jedoch angenommen, dass die Sanierungspflicht im Jahr 2016 noch keine zusätzliche Wirkung durch vorgezogene Sanierungen von Elektroheizungen aufweist.

Wirkung bei bestehenden Gebäuden

6. Resultate des Wirkungsmodells

Die Reduktionswirkungen Energie und Klima werden durch den Vergleich des Gebäudebestands zu Beginn und am Ende der Betrachtungsperiode ermittelt. Mit dem quantifizierten Wirkungsmodell kann letztendlich gezeigt

Reduktionswirkungen Energie und Klima

werden, wie sich die Energieeffizienz und die Energieträger (und damit der Verbrauch und die CO₂-Emissionen) verändern, wenn an einzelnen "Stellschrauben" (z.B. Massnahmen kantonaler Gesetze) gedreht wird. Mit der Abschätzung des Energieverbrauchs pro Kanton kann der Energieverbrauch über alle Kantone aggregiert werden und so die schweizweite Wirkung der Massnahmen ermittelt werden.

Die tatsächliche Wirkung der kantonalen Massnahmen wird als zusätzliche Wirkung gegenüber einer Referenzentwicklung bestimmt. Diese «Referenz heute» bildet die Energie- und Klimawirkung ab, die heute im Gebäudebestand auch ohne kantonale Massnahmen stattfinden würde (vgl. Kapitel 5.1). Die Referenzentwicklung beinhaltet die Wirkung von Bestimmungsfaktoren wie die Entwicklung der Energiepreise, der technologische Fortschritt und das Nutzerverhalten. Das Modell berechnet die Wirkung auf die CO₂-Emissionen und den Energieverbrauch witterungsunabhängig, d.h. unter der Annahme, dass im Bezugs- und im Vorjahr die gleichen Witterungsbedingungen herrschten. Auf den Einfluss des Bestimmungsfaktors der Witterung wird indirekt geschlossen, indem der Einfluss der Witterung über die beiden betrachteten Jahre nachträglich in die Resultate eingerechnet wird.

Wirkung der Massnahmen gegenüber Referenzentwicklung

Die kantonalen Fördermassnahmen und die Wirkung der CO₂-Abgabe auf nationaler Ebene werden als Bestimmungsfaktoren im Modell quantitativ abgebildet. Dabei wird der Einfluss dieser Bestimmungsfaktoren auf energetische Massnahmen (Energieeffizienz und Wahl erneuerbarer Energien) so kalibriert, dass die erwartete Energie- und Klimawirkung gemäss bestehenden Wirkungsschätzungen erreicht wird⁴.

Wirkung von Fördermassnahmen und der CO₂-Abgabe

Die Resultate der Reduktionswirkungen Energie und Klima werden auf kantonaler Ebene ausgewiesen. Auf nationaler Ebene werden zusätzlich die Wirkungen der Massnahmen auf Luftschadstoffe und die Wirtschaft (ausgelöste Mehrinvestitionen) ermittelt. Die Reduktion der Luftschadstoffemissionen basiert direkt auf der Ermittlung der Reduktion des Energieverbrauchs. Für die einzelnen Energieträger werden die entsprechenden spezifischen Emissionsfaktoren für VOC, NO_x, Partikel und SO_x eingesetzt (vgl. Anhang 0). Die ausgelösten Mehrinvestitionen werden anhand spezifischer Mehrinvestitionen nach umgesetzten Massnahmen (Effizienzmassnahmen, Energieträgerwechsel) ermittelt. Dieser Berechnung zugrunde liegt einerseits das Mengengerüst der Massnahmen (Anzahl sanierte m² Energiebezugsfläche für Effizienzmassnahmen, veränderte Nutzung erneuerbarer Energieträger in kWh pro Jahr für die Massnahme Energieträgerwechsel) und andererseits gegenüber einem Referenzfall formulierte spezifische Mehrinvestitionen, die gestützt auf das Harmonisierte Fördermodell der Kantone HFM 2015 bestimmt wurden (vgl. Anhang A1).

Resultate auf nationaler Ebene: Luftschadstoffe und ausgelöste Mehrinvestitionen

4 Die zusätzliche Wirkung der Fördermassnahmen im Jahr 2016 wurde gemäss Tabellensammlung zum Gebäudeprogramm, Berichtsjahr 2017 (Berechnungsgrundlage: HFM 2015), bestimmt. Die Schätzung der zusätzlichen Wirkung der CO₂-Abgabe im Jahr 2016 basiert auf Ecoplan 2017 («Wirkungsabschätzung zur CO₂-Abgabe, Aktualisierung bis 2015») und auf den Resultaten des Gleichgewichtsmodells und der Abgrenzung der Wirkung der CO₂-Abgabe mit der Wirkung der Förderprogramme und Zielvereinbarungen). Das Gleichgewichtsmodell betrachtet nur kurzfristige, direkte Reaktionen auf die Preisänderungen als Folge der Abgabe. Die zusätzliche Wirkung der kantonalen Fördermassnahmen und der CO₂-Abgabe auf nationaler Ebene betrug im Jahr 2016 geschätzt 100 ktCO₂/a und 330 GWh/a.

A1 Generelle quantitative Annahmen

A1.1 Energetische Sanierungsraten

Die folgenden Tabellen zeigen die Annahmen für die energetischen Sanierungsraten, welche die Elemente «Änderungen im Gebäudebestand» und «Sanierung Hülle» im Modell für bestehende Gebäude bestimmen. Die Annahmen für die Erneuerungsraten werden aufgrund fehlender Datengrundlagen nicht kantonal differenziert, es werden nationale durchschnittliche Werte eingesetzt. Das Element «Änderungen im Gebäudebestand» weist jedoch kantonale Unterschiede auf, da die Erneuerungsraten abhängig vom Baujahr der Gebäude sind.

Quellen: Bericht «Synthese Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich», BFE 2014 (insbesondere bauteilspezifische Erneuerungsraten); Erfahrungen aus dem Gebäudeprogramm (insbesondere Mengengerüst der Sanierungstätigkeit Einzelmassnahmen/kombinierte Massnahmen); Expertenschätzungen (insbesondere wird angenommen, dass Dienstleistungsgebäude einen höheren Anteil Gesamtsanierungen aufweisen, da sie verbreteter als Anlageobjekte bewirtschaftet werden).

Erneuerungsrate Gebäudehülle (bezogen auf die Energiebezugsfläche der bestehenden Gebäude)

	Wohngebäude	Dienstleistungsgebäude
Anteil Gebäudefläche, bei welcher 2016 Massnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt wurden	3.1%	2.3%

Bauteilspezifische Erneuerungsraten (bezogen auf die Energiebezugsfläche der bestehenden Gebäude, welche erneuert werden)

	Wohngebäude	Dienstleistungsgebäude
Ersatz der Fenster	48%	26%
Sanierung Dach	16%	26%
Sanierung Fassade und Ersatz Fenster	10%	4%
Sanierung Dach und Ersatz Fenster	10%	22%
Gesamtsanierung (Fassade, Dach, Fenster)	16%	22%

Änderungen im Gebäudebestand nach Baujahr: Wohngebäude

	vor 1961	1961-1990	1991-2000	2001-2005	2006-heute
Keine Änderungen	91.8%	91.8%	91.8%	100.0%	100.0%
Sanierung der Hülle	3.3%	3.3%	3.3%	0.0%	0.0%
Ersatz Wärmeerzeugungssystem	4.4%	4.4%	4.4%	0.0%	0.0%
Sanierung der Hülle und Ersatz Wärmeerzeugungssystem	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%

Änderungen im Gebäudebestand nach Baujahr: Dienstleistungsgebäude					
	vor 1961	1961-1990	1991-2000	2001-2005	2006-heute
Keine Änderungen	93.7%	93.7%	93.7%	100.0%	100.0%
Sanierung der Hülle	2.0%	2.0%	2.0%	0.0%	0.0%
Ersatz Wärmeerzeugungssystem	3.8%	3.8%	3.8%	0.0%	0.0%
Sanierung der Hülle und Ersatz Wärmeerzeugungssystem	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%

A1.2 Effizienz der Wärmeerzeugungsanlagen

Die Effizienz der Wärmeerzeugungsanlagen wird mit systemabhängigen Nutzungsgraden beschrieben. Zusätzlich dazu werden für Wärmepumpen Annahmen für die Jahresarbeitszahl und für Systeme mit thermischen Solaranlagen Annahmen für den solaren Deckungsgrad⁵ getroffen.

Quellen: Bericht «Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik», BFE 2016; Dokumentation «Gebäudeparkmodell Stadt Zürich», TEP Energy 2010; zusätzliche Expertenschätzungen.

System	Nutzungsgrad		Bemerkungen
	bestehende Anlagen	neue Anlagen	
Ölheizung	0.85	0.92	
Gasheizung	0.93	0.96	
Holzheizung	0.7	0.85	
Fernwärme	0.93	0.95	
Elektroheizung	0.92	0.95	
Wärmepumpe	1	1	Annahme für Jahresarbeitszahl: 3
Elektroboiler (Warmwasser)	0.8	0.85	
Wärmepumpenboiler (Warmwasser)	1	1	Annahme für Jahresarbeitszahl: 2.5
Ölheizung und Sonnenkollektoren (Warmwasser)	0.76	0.83	Nutzungsgrad des Gesamtsystems; Annahme für solaren Deckungsgrad: 40%
Gasheizung und Sonnenkollektoren (Warmwasser)	0.83	0.87	Nutzungsgrad des Gesamtsystems; Annahme für solaren Deckungsgrad: 40%
Holzheizung und Sonnenkollektoren (Warmwasser)	0.63	0.71	Nutzungsgrad des Gesamtsystems; Annahme für solaren Deckungsgrad: 40%

5 Der solare Deckungsgrad ist der Anteil der Energie, der durch Sonnenenergie bereitgestellt wird.

A1.3 Emissionsfaktoren

Quellen: «Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren für die Berichterstattung der Kantone», BAFU 2018 (CO₂-Emissionen); «Faktenblatt Emissionsfaktoren Feuerungen», BAFU 2015 (Luftschadstoffe). Die Emissionen für unterschiedliche Typen von Holzfeuerungen wurden anhand des Endenergieverbrauchs der Holzstatistik 2016 gewichtet.

CO ₂ -Emissionen	g/kWh
Heizöl	265.32
Erdgas	203.04
Restliche Energieträger: Holz, Fernwärme, Strom, Umweltwärme, Sonne	0

Luftschadstoff-Emissionen	NOx g/kWh	SOx g/kWh	VOC g/kWh	PM g/kWh
Heizöl	0.1332	0.0432	0.0216	0.00072
Erdgas	0.0648	0.0018	0.0072	0.00036
Holz	0.3654	0.03744	0.22572	0.27684
Restliche Energieträger: Fernwärme, Strom, Umweltwärme, Sonne	0	0	0	0

A1.4 Spezifische Mehrinvestitionen

Quellen: HFM 2015; Plausibilisierung mit früherer Wirkungsanalyse «Wirkung kantonaler Energiegesetze», Infrac 2013.

Spezifische Mehrinvestitionen	Wert	Einheit
Effizienzmassnahmen	54	Fr./m ² sanierter Energiebezugsfläche
Einsatz Wärmepumpe	0.2	Fr./kWh Endenergieverbrauch Umweltwärme
Einsatz Holzheizung	0.3	Fr./kWh Endenergieverbrauch Holzheizung
Einsatz solarthermische Anlage	2.5	Fr./kWh Endenergieverbrauch Solarenergie

A2 Kantonal differenzierte quantitative Annahmen

Dieser Anhang zeigt die wichtigsten kantonal differenzierten Annahmen: Die Energiebezugsflächen, die Verteilung des Gebäudebestandes nach Baujahren und die Verteilung der Wärmeerzeugungssysteme für Raumwärme und Warmwasser. Die Energiekennzahlen sind im Bericht «Wirkung der Klima- und Energiepolitik im Gebäudebereich in den Kantonen» dokumentiert.

A2.1 Energiebezugsflächen

Quellen: Daten der Berichterstattung der Kantone; bei fehlenden Daten erfolgte eine Schätzung anhand der «Entwicklung der Energiebezugsflächen» von Wüest & Partner.

	Bestehende Gebäude (Energiebezugsfläche in m ²)		Neubauten (Energiebezugsfläche in m ²)	
	Wohngebäude	Dienstleistungsgebäude	Wohngebäude	Dienstleistungsgebäude
CH	559'331'236	164'380'966	5'150'026	1'336'691
AG	44'725'565	7'946'075	411'809	64'615
AI	1'128'341	151'382	10'389	1'231
AR	3'851'190	1'048'218	35'460	8'524
BE	64'227'055	18'272'945	591'369	148'589
BL	16'337'112	4'647'997	150'423	37'796
BS	19'285'783	5'486'910	177'573	44'618
FR	19'230'844	4'922'832	177'067	40'031
GE	29'622'478	8'427'755	272'748	68'532
GL	2'958'455	1'388'902	27'240	11'294
GR	19'367'570	6'107'122	178'326	49'661
JU	4'907'308	934'277	45'184	7'597
LU	25'276'009	6'597'084	232'728	53'645
NE	11'129'544	3'225'014	102'475	26'225
NW	2'489'905	708'391	22'926	5'760
OW	2'706'975	811'203	24'924	6'596
SG	33'622'324	10'015'379	309'577	81'442
SH	7'957'148	2'263'852	73'265	18'409
SO	18'418'755	5'096'473	169'590	41'443
SZ	10'563'842	2'573'658	97'266	20'928
TG	21'718'087	6'178'913	199'969	50'245
TI	29'434'497	8'384'587	271'017	68'181
UR	2'433'981	562'468	22'411	4'574
VD	48'083'754	14'179'840	442'730	115'306
VS	22'320'942	7'088'673	205'519	57'643
ZG	7'805'127	4'621'636	71'865	37'582
ZH	89'728'646	32'739'380	826'174	266'226

A2.2 Baujahrverteilung

Quellen: Daten der Berichterstattung der Kantone; bei fehlenden Daten erfolgte eine Schätzung anhand der Gebäude- und Wohnungsstatistik 2015.

Kanton	Wohngebäude				
	vor 1961	1961-1990	1991-2000	2001-2005	2006-heute
CH	34.6%	36.2%	11.0%	5.1%	13.0%
AG	26.4%	35.1%	13.8%	6.6%	18.1%
AI	42.4%	29.2%	9.2%	5.8%	13.4%
AR	47.9%	28.2%	9.5%	2.7%	11.7%
BE	42.2%	34.8%	9.5%	4.2%	9.4%
BL	28.3%	44.3%	11.9%	4.4%	11.2%
BS	59.6%	31.0%	3.9%	1.6%	3.9%
FR	27.6%	32.1%	13.8%	6.8%	19.8%
GE	36.2%	40.5%	11.2%	4.0%	8.1%
GL	49.1%	28.4%	9.7%	2.7%	10.2%
GR	31.5%	38.4%	11.3%	5.0%	13.7%
JU	43.6%	31.2%	10.1%	3.5%	11.6%
LU	27.4%	35.5%	14.1%	5.9%	17.1%
NE	50.7%	30.8%	7.2%	3.1%	8.2%
NW	22.3%	39.7%	15.7%	7.9%	14.4%
OW	26.1%	35.9%	13.9%	6.3%	17.8%
SG	32.7%	36.0%	12.1%	5.0%	14.3%
SH	43.0%	32.4%	9.3%	3.5%	11.7%
SO	34.3%	35.7%	12.2%	4.6%	13.2%
SZ	19.9%	34.5%	16.2%	7.9%	21.4%
TG	33.2%	31.1%	13.9%	5.1%	16.7%
TI	41.0%	37.4%	6.8%	3.4%	11.5%
UR	32.7%	35.9%	14.0%	3.6%	13.9%
VD	38.0%	35.2%	7.3%	5.1%	14.4%
VS	22.9%	45.6%	11.4%	4.9%	15.3%
ZG	17.0%	37.6%	15.4%	9.6%	20.3%
ZH	33.4%	33.8%	10.7%	6.2%	15.9%

Kanton	Dienstleistungsgebäude				
	vor 1961	1961-1990	1991-2000	2001-2005	2006-heute
CH	51.9%	32.8%	8.1%	1.9%	5.3%
AG	48.8%	30.4%	10.3%	3.8%	6.6%
AI	32.6%	50.1%	11.7%	3.7%	1.9%
AR	51.9%	29.0%	15.6%	0.2%	3.3%
BE	58.5%	30.0%	6.1%	1.4%	4.1%
BL	45.2%	36.0%	10.4%	2.6%	5.8%
BS	56.5%	24.4%	5.9%	8.5%	4.6%
FR	34.8%	49.0%	6.1%	2.0%	8.1%
GE	38.2%	44.7%	9.4%	1.5%	6.2%
GL	24.4%	65.4%	1.3%	8.6%	0.3%
GR	41.5%	44.0%	7.1%	3.0%	4.5%
JU	86.2%	6.2%	6.1%	0.3%	1.2%
LU	52.7%	35.5%	4.4%	2.5%	4.9%
NE	37.6%	54.4%	1.2%	6.2%	0.7%
NW	43.9%	40.0%	10.3%	1.9%	3.9%
OW	25.0%	58.0%	9.1%	6.4%	1.5%
SG	28.2%	53.9%	2.8%	7.0%	8.1%
SH	65.5%	24.4%	7.9%	0.4%	1.8%
SO	69.7%	18.6%	8.2%	0.3%	3.1%
SZ	23.1%	38.2%	10.5%	19.7%	8.6%
TG	57.5%	27.2%	9.4%	1.9%	4.1%
TI	44.1%	22.0%	26.4%	5.7%	1.9%
UR	33.2%	28.7%	21.9%	9.8%	6.4%
VD	62.6%	31.2%	3.5%	1.6%	1.2%
VS	36.7%	46.5%	10.1%	0.8%	5.8%
ZG	5.4%	70.2%	10.8%	10.8%	2.9%
ZH	48.2%	29.3%	11.4%	5.5%	5.7%

A2.3 Verteilung System Raumwärme

Quellen: Die Verteilung der Systeme Raumwärme im Gebäudebestand wurden abhängig vom Baujahr der Gebäude mit Daten der Gebäude- und Wohnungsstatistik 2015 geschätzt und anhand der Datenlieferungen der Kantone kalibriert (die Anteile werden so korrigiert, dass die kantonalen Energiebilanzen aus der Datenlieferung erreicht werden). Übersichtlichkeitshalber sind auf der folgenden Seite die Verteilungen über die gesamte Schweiz gegeben und auf eine Darstellung der kantonalen Werte wurde verzichtet. Für die Wirkungsschätzung fließen die Werte kantonal differenziert ein.

Wohngebäude						
Baujahr	Ölheizung	Erdgasheizung	Holzheizung	Fernwärme	Elektroheizung	Wärmepumpe
vor 1961	42.4%	27.6%	20.4%	1.9%	4.6%	3.1%
1961-1990	52.3%	17.3%	10.5%	2.5%	7.3%	10.1%
1991-2000	37.5%	29.6%	7.6%	2.8%	2.4%	20.2%
2001-2005	24.8%	34.4%	5.1%	3.3%	1.6%	30.8%
2006-heute	5.0%	19.7%	7.3%	4.2%	1.1%	62.8%

Dienstleistungsgebäude						
Baujahr	Ölheizung	Erdgasheizung	Holzheizung	Fernwärme	Elektroheizung	Wärmepumpe
vor 1961	47.4%	29.1%	16.1%	2.7%	3.1%	1.6%
1961-1990	53.7%	23.2%	11.2%	4.3%	3.6%	4.0%
1991-2000	40.8%	28.0%	14.7%	5.6%	2.7%	8.2%
2001-2005	30.4%	34.7%	12.2%	7.7%	3.0%	12.0%
2006-heute	10.5%	29.9%	12.9%	7.8%	1.9%	37.0%

A2.4 Verteilung System Warmwasser

Quellen: Die Verteilung der Systeme Warmwasser im Gebäudebestand wurden abhängig vom System für Raumwärme mit Daten der Gebäude- und Wohnungsstatistik 2015 geschätzt. Der Übersicht halber ist in der folgenden Tabelle nur die Verteilung über die gesamte Schweiz gegeben und auf eine Darstellung der kantonalen Werte wurde verzichtet. Für die Wirkungsschätzung fliessen die Werte kantonal differenziert ein.

Verteilung Systeme Warmwasser (WW) abhängig vom System für Raumwärme (RW)						
System WW	Ölheizung (RW)	Erdgasheizung (RW)	Holzheizung (RW)	Fernwärme (RW)	Elektroheizung (RW)	Wärmepumpe (RW)
Ölheizung	69.7%	0%	0%	0%	0%	0%
Erdgasheizung	0%	79.4%	0%	0%	0%	0%
Holzheizung	0%	0%	39.6%	0%	0%	0%
Fernwärme	0%	0%	0%	82.4%	0%	0%
Wärmepumpe	0%	0%	0%	0%	0%	58.7%
Elektroboiler	28.8%	16.8%	56.8%	17.6%	100%	41.3%
Wärmepumpenboiler	0.6%	0.4%	0.6%	0%	0%	0%
Ölheizung und Sonnenkollektor	1.0%	0%	0%	0%	0%	0%
Erdgasheizung und Sonnenkollektor	0%	3.4%	0%	0%	0%	0%
Holzheizung und Sonnenkollektor	0%	0%	2.9%	0%	0%	0%

A3 Quantitative Annahmen zur Massnahmenwirkung

A3.1 Winterlicher Wärmeschutz (Neubauten)

Für die Wirkungsschätzung bei Neubauten wurde für alle Ausprägungen die direkte Wirkung auf den Heizwärmebedarf quantifiziert.

Quellen: Abschätzung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1 für die Referenzgebäude des HFM 2009 (Referenz-Einfamilienhaus und -Mehrfamilienhaus); Recherche im Rahmen der Berechnung der Wirkung Minergie, EBP 2017; Diverse Präsentationen der Energiefachstellen zur MuKE 2008 und MuKE 2014; Expertenschätzungen.

Mittlerer Heizwärmebedarf für Neubauten

	Wohngebäude	Dienstleistungsgebäude
Referenz 1990	100 kWh/m ² EBF	100 kWh/m ² EBF
Referenz heute (ohne kantonale Massnahmen)	70 kWh/m ² EBF	65 kWh/m ² EBF ⁶
mit Anforderungen MuKE 2008	46 kWh/m ² EBF	46 kWh/m ² EBF
mit Anforderungen MuKE 2014	42 kWh/m ² EBF	42 kWh/m ² EBF

A3.2 Winterlicher Wärmeschutz (bestehende Gebäude)

Für die Wirkungsschätzung bei bestehenden Gebäuden wurde quantifiziert, wie stark Massnahmen an der Gebäudehülle durch die Anforderungen zu einer mittleren Verbesserung des Heizwärmebedarfs führen. Bei diesen Annahmen wurde nicht zwischen Wohn- und Dienstleistungsgebäuden unterschieden.

Quellen: Abschätzung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1 für die Referenzgebäude des HFM 2009 (Referenz-Einfamilienhaus und -Mehrfamilienhaus); Recherche im Rahmen der Berechnung der Wirkung Minergie, EBP 2017; Diverse Präsentationen der Energiefachstellen zur MuKE 2008 und MuKE 2014; Expertenschätzungen.

Mittlere Verbesserung des Heizwärmebedarfs

	Referenz 1990	Referenz heute	MuKE 2008	MuKE 2014
Ersatz Fenster	-7%	-9%	-15%	-18%
Sanierung Dach	-7%	-10%	-13%	-13%
Sanierung Fassade und Fenster	-17%	-30%	-42%	-45%
Sanierung Dach und Fenster	-19%	-14%	-28%	-31%
Gesamtsanierung (Fassade, Dach und Fenster)	-24%	-40%	-56%	-58%

⁶ Leicht tiefer eingestuft als bei Wohngebäuden aufgrund höherer interner Lasten.

A3.3 Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten

Für die Referenzentwicklungen wurden die Verteilungen der Wärmeerzeugungssysteme eingeschätzt. Auswirkungen auf die Energieeffizienz gibt es in diesen Referenzentwicklungen nicht (Quellen siehe Fussnoten).

Verteilung der Energieträger bei Neubauten		
	Referenz 1990⁷	Referenz heute⁸
Heizöl	45%	17%
Erdgas	20%	26%
Holz	8%	6%
Elektroheizung	10%	3%
Wärmepumpe	15%	44%
Fernwärme	2%	4%

Hauptannahmen der Quantifizierung sind, welche Standardlösungen der MuKE 2008 und 2014 wie oft umgesetzt werden und wie stark Effizienzmassnahmen den Heizwärmebedarf (zusätzlich) reduzieren. Diese Annahmen sind in den folgenden Tabellen dargestellt (Quellen siehe Fussnoten).

Wahl der Systeme zur Erfüllung der Anforderungen MuKE 2008⁹	
Verbesserte Wärmedämmung	10%
Verbesserte Wärmedämmung, Komfortlüftung	2%
Verbesserte Wärmedämmung, Solaranlage	10%
Holzfeuerung, Solaranlage	2%
Automatische Holzfeuerung	10%
Wärmepumpe Sole/Wasser	25%
Wärmepumpe Luft/Wasser	25%
Komfortlüftung und Solaranlage	1%
Abwärme	15%
Wärmeerkopplung	0%

⁷ Expertenschätzung anhand der Verteilung der Energieträger der Bauten in den Perioden 1981-1990 und 1991-1995 (Quelle: Gebäude- und Wohnungserhebung 1990 und 2000)

⁸ Expertenschätzung anhand der Verteilung der Energieträger der Bauten in den Perioden 2001-2005 und 2006-2008 (Quelle: Gebäude- und Wohnungsstatistik 2009)

⁹ Expertenschätzung anhand der Verteilung der Energieträger bei Neubauten (Wüest & Partner Immo-Monitoring 2016-1)

Verbesserung Heizwärmebedarf Effizienzmassnahmen MuKE 2008

Verbesserte Wärmedämmung Opake Bauteile U-Wert 0.12 oder tiefer, Fenster U-Wert 1 oder tiefer	-20% ¹⁰
---	--------------------

Verbesserte Wärmedämmung, Komfortlüftung Opake Bauteile U-Wert 0.15 oder tiefer, Fenster U-Wert 1 oder tiefer	-20% ¹¹
---	--------------------

Verbesserte Wärmedämmung, Solaranlage Opake Bauteile U-Wert 0.15 oder tiefer, Fenster U-Wert 1 oder tiefer	-10%
--	------

Komfortlüftung und Solaranlage	-5%
--------------------------------	-----

Wahl der Systeme zur Erfüllung der Anforderungen MuKE 2014¹²

1A: Wärmepumpe Sole/Grundwasser, Effizienzmassnahme 1	10%
---	-----

1B: Automatische Holzfeuerung, Effizienzmassnahme 1	2%
---	----

1C: Fernwärme, Effizienzmassnahme 1	5%
-------------------------------------	----

1D: Wärmepumpe Luft, Effizienzmassnahme 1	10%
---	-----

2E: Stückholzfeuerung, Effizienzmassnahme 2	2%
---	----

3A: Wärmepumpe Sole/Grundwasser, Effizienzmassnahme 3	20%
---	-----

3B: Automatische Holzfeuerung, Effizienzmassnahme 3	6%
---	----

3C: Fernwärme, Effizienzmassnahme 3	10%
-------------------------------------	-----

4D: Wärmepumpe Luft, Effizienzmassnahme 4	20%
---	-----

5F: Gasbetriebene Wärmepumpe, Effizienzmassnahme 5	0%
--	----

6G: fossiler Wärmeerzeuger, Effizienzmassnahme 6	15%
--	-----

Verbesserung Heizwärmebedarf bei Effizienzmassnahmen MuKE 2014

1: Opake Bauteile U-Wert = 0.17, Fenster U-Wert = 1, Kontrollierte Lüftung	-5%
--	-----

2: Opake Bauteile U-Wert = 0.17, Fenster U-Wert = 1, Solaranlage	-0% (keine)
--	-------------

3: Opake Bauteile U-Wert = 0.15, Fenster U-Wert = 1	-5%
---	-----

4: Opake Bauteile U-Wert = 0.15, Fenster U-Wert = 0.8	-10%
---	------

5: Opake Bauteile U-Wert = 0.15, Fenster U-Wert = 1, Kontrollierte Lüftung, Solaranlage Warmwasser	-10%
--	------

6: Opake Bauteile U-Wert = 0.15, Fenster U-Wert = 0.8, Kontrollierte Lüftung, Solaranlage Heizung und Warmwasser	-15%
--	------

¹⁰ Knapp 30% bessere U-Werte führen zu 20% weniger Bedarf

¹¹ Knapp 15% bessere U-Werte führen zu 10% weniger Bedarf, Wirkung kontrollierte Wohnungslüftung 5-10%.

¹² Expertenschätzung anhand der Verteilung der Energieträger bei Neubauten (Wüest & Partner Immo-Monitoring 2016-1)

A3.4 Anforderungen Erneuerbare bei Heizungsersatz

Hauptannahmen der Quantifizierung sind, welche Standardlösungen gemäss Modul F der MuKE 2014 wie oft umgesetzt werden und wie stark Effizienzmassnahmen den Heizwärmebedarf (zusätzlich) reduzieren. Diese Annahmen sind in den folgenden beiden Tabellen dargestellt (Quellen siehe Fussnoten).

Wahl der Systeme zur Erfüllung der Anforderungen von Modul F der MuKE 2014¹³	
Thermische Solaranlage	5%
Holzfeuerung	5%
Wärmepumpe Luft/Wasser	25%
Wärmepumpe Sole/Wasser	25%
Wärmepumpe Erdgas	0%
Fernwärme	5%
Wärmeerkopplung	0%
WP-Boiler und PV	15%
Ersatz Fenster	10%
Dämmung Fassade/Dach	10%
Kontrollierte Lüftung	0%
Verbesserung Heizwärmebedarf bei Effizienzmassnahmen Modul F der MuKE 2014	
Ersatz Fenster bestehende Fenster U-Wert 2 oder höher, neue Fenster U-Wert Glas 0.7 oder tiefer	-20%
Dämmung Fassade/Dach bestehende Fassade/Dach U-Wert 0.6 oder höher, neue Fassade/Dach U-Wert 0.2 oder tiefer	-30%
Kontrollierte Lüftung	-10%

¹³ Befragung von Energieberatern zur Umsetzung von Modul F, EBP 2017; Energieträgerwahl beim Umbau, Zahlen von Wüest & Partner; Expertenschätzungen.

A3.5 Anforderungen an gebäudetechnische Anlagen

Für diese Massnahme wird die Quantifizierung relativ vorgenommen. Der mit den Anforderungen MuKE 2008 und 2014 erreichte Wert gilt mit 100% als Vergleichsgrösse. Die beiden Ausprägungen «Referenz im Jahr 1990» und «Referenz heute (ohne kantonale Massnahmen)» werden im Vergleich dazu formuliert¹⁴.

Nutzungsgrad von gebäudetechnischen Anlagen	
mit Anforderungen MuKE 2008 und 2014	100%
Referenz 1990	90%
Referenz heute	98% ¹⁵

A3.6 Elektrische Wassererwärmer und Heizungen

Neubauten: Für die Wirkungsschätzung wurde für die Referenzentwicklungen «Referenz 1990» und «Referenz heute» der Anteil elektrischer Heizungen geschätzt. Diese Expertenschätzungen basieren insbesondere auf der Gebäude- und Wohnungsstatistik.

	Referenz 1990	Referenz heute	Anforderungen MuKE (Verbot Neuinstallation)
Anteil elektrische Wassererwärmer (vollständige elektrische Erwärmung des Warmwassers)	45%	15%	0%
Anteil elektrische Heizungen	10%	3%	0%

Bestehende Gebäude: Für die Wirkungsschätzung wurde eingeschätzt, wie oft bei einer Erneuerung der elektrischen Wärmeenergie ein Systemwechsel stattfindet. Bei der Umsetzung der entsprechenden MuKE Anforderungen liegt dieser Wert definitionsgemäss bei 100%, da ein Systemwechsel gefordert wird.

	Referenz 1990	Referenz heute	Anforderungen MuKE (Verbot Ersatz)
Systemwechsel bei Erneuerung elektrischer Wassererwärmer (vollständige elektrische Erwärmung des Warmwassers)	25%	50%	100%
Systemwechsel bei Erneuerung elektrischer Heizungen	5%	25%	100%

¹⁴ Bspw. besagt der Wert von 90% bei «Referenz im Jahr 1990», dass die Nutzungsgrade 1990 um 10% schlechter waren als heute. Die Annahmen stützen sich auf Experteneinschätzungen.

¹⁵ Grundsätzlich sind die Standards (international) gesetzt. Bei Wegfall der Anforderungen könnten sich insbesondere höhere Heiztemperaturen durchsetzen, was bei gleichen Dämmstärken zu höheren Verlusten führen kann. Die Kesseltechnologie sowie die Dämmstärken sind Industriestandards und wenig veränderbar.

A3.7 Kantonale Umsetzung der Massnahmen

Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen zur kantonalen Umsetzung der fünf betrachteten Massnahmen. Diese Einstufung basiert auf dem Bericht «Stand der Energiepolitik 2016» mit dem Bezugszeitpunkt Ende März 2016.

Winterlicher Wärmeschutz	ohne Massnahmen	MuKE 2008	MuKE 2014
Einstufung der Kantone	-	AG, AI, AR, BE, FR, GL, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH	BL, BS, GE
Erneuerbare Wärme beim Wärmeenergieerzeugerersatz	ohne Massnahmen	Vorschriften Warmwasser	MuKE 2014
Einstufung der Kantone	AG, AI, AR, BE, FR, GE, GL, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH	BL, BS	-
Anforderung an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten	ohne Massnahmen	MuKE 2008	MuKE 2014
Einstufung der Kantone	BS	AG, AI, AR, BE, BL, FR, GE, GL, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH	-
Elektrische Wassererwärmer und Heizungen	ohne Massnahmen	Verbot Neuinstallation und Ersatz	
Einstufung der Kantone	LU, SO, SZ	AG, AI, AR, BE, BL, BS, FR, GE, GL, GR, JU, NE, NW, OW, SG, SH, TG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH	
Elektrische Wassererwärmer und Heizungen	ohne Massnahmen	MuKE 2008 / 2014 (keine Unterscheidung)	
Einstufung der Kantone	-	AG, AI, AR, BE, BL, BS, FR, GE, GL, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, UR, VD, VS, ZG, ZH	

A4 Angewendetes Netzmodell

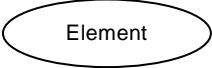
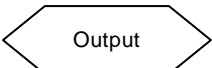
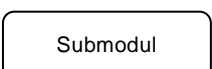

Das Netzmodell für den Gebäudebestand ist in Abbildung 9 dargestellt und entspricht dem schematischen Aufbau des Wirkungsmodells, das in Abbildung 2 dargestellt ist. Neben den einzelnen Elementen gibt es folgende Module, welche die Elemente zusammenfassen:

- Modul Raumwärme (VORHER und NACHHER)
- Modul Warmwasser (VORHER und NACHHER)
- Modul Änderungen im Gebäudebestand mit Submodulen:
 - Sanierung Hülle (Submodul in «Änderungen im Gebäudebestand»)
 - Ersatz System (Submodul in «Änderungen im Gebäudebestand»)

Diese Module sind in den Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13 mit den entsprechenden Elementen abgebildet.

Für die Neubauten wird ein eigenständiges Netzmodell erstellt, das in Abbildung 14 dargestellt ist. Es besteht aus den Modulen Raumwärme und Warmwasser, die analog aufgebaut sind wie die entsprechenden Module für den Gebäudebestand.

In den Abbildungen dieses Anhangs werden folgende grafische Symbole verwendet:

Grafische Symbole	Beschreibung
	Ein Element beschreibt den Zustand des Systems. Ein Element besitzt einerseits verschiedene Zustandseigenschaften (z.B. ein bestimmter Heizwärmebedarf oder ein bestimmtes System zur Wärmeerzeugung) und andererseits bedingte Häufigkeitsverteilung dieser Zustandseigenschaften.
	In den Output-Elementen werden die Zielgrössen berechnet. Dabei werden jeweils die bedingten Häufigkeiten und die Zustandseigenschaften berücksichtigt.
	Ein Submodul dient einer vereinfachten Darstellung des Wirkungsmodells und fasst verschiedene Elemente und deren Wirkungsbeziehungen zusammen.
	Beschreibt eine Wirkungsbeziehung zwischen zwei Elementen.

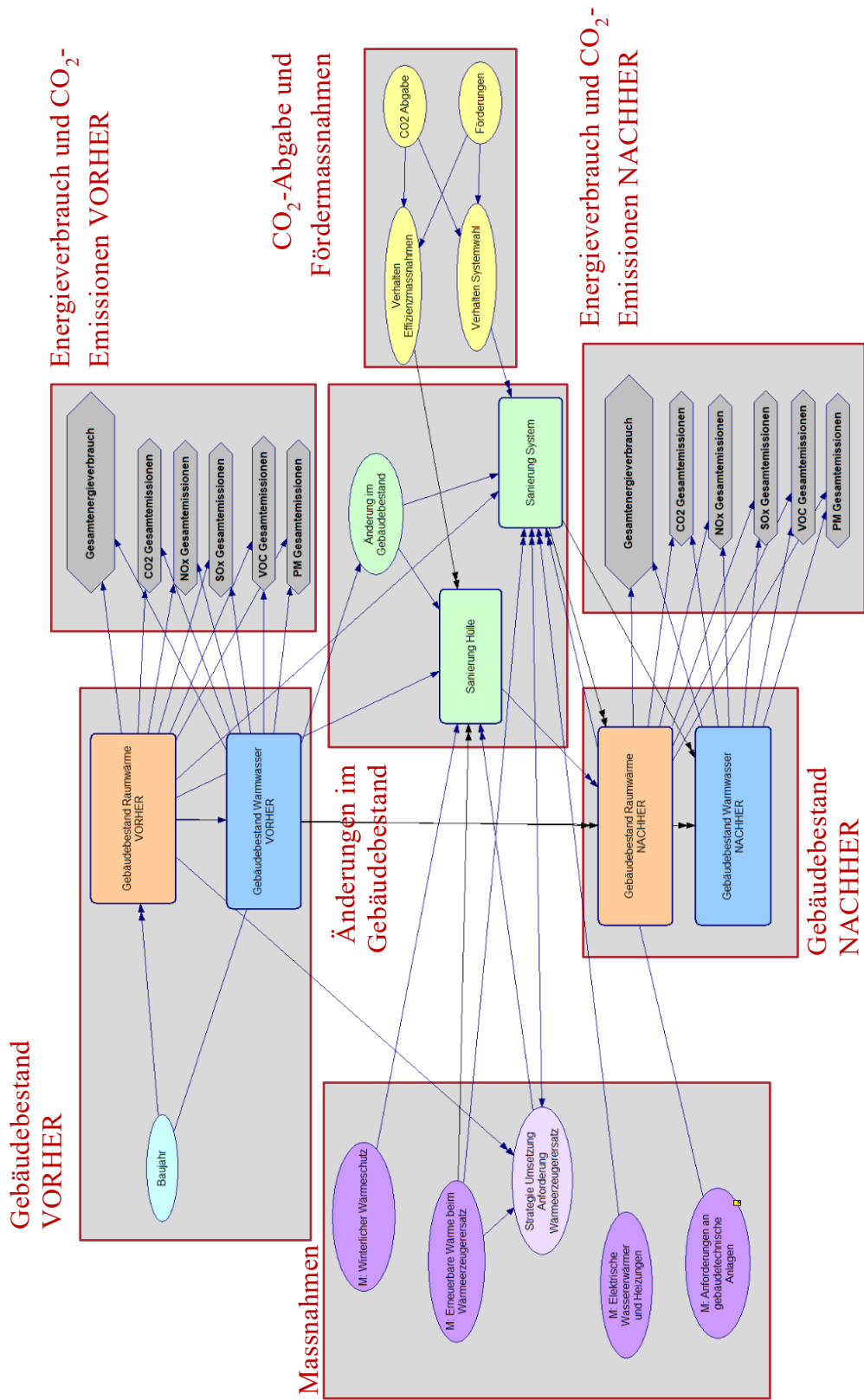


Abbildung 9: Netzmodell für den Gebäudebestand.

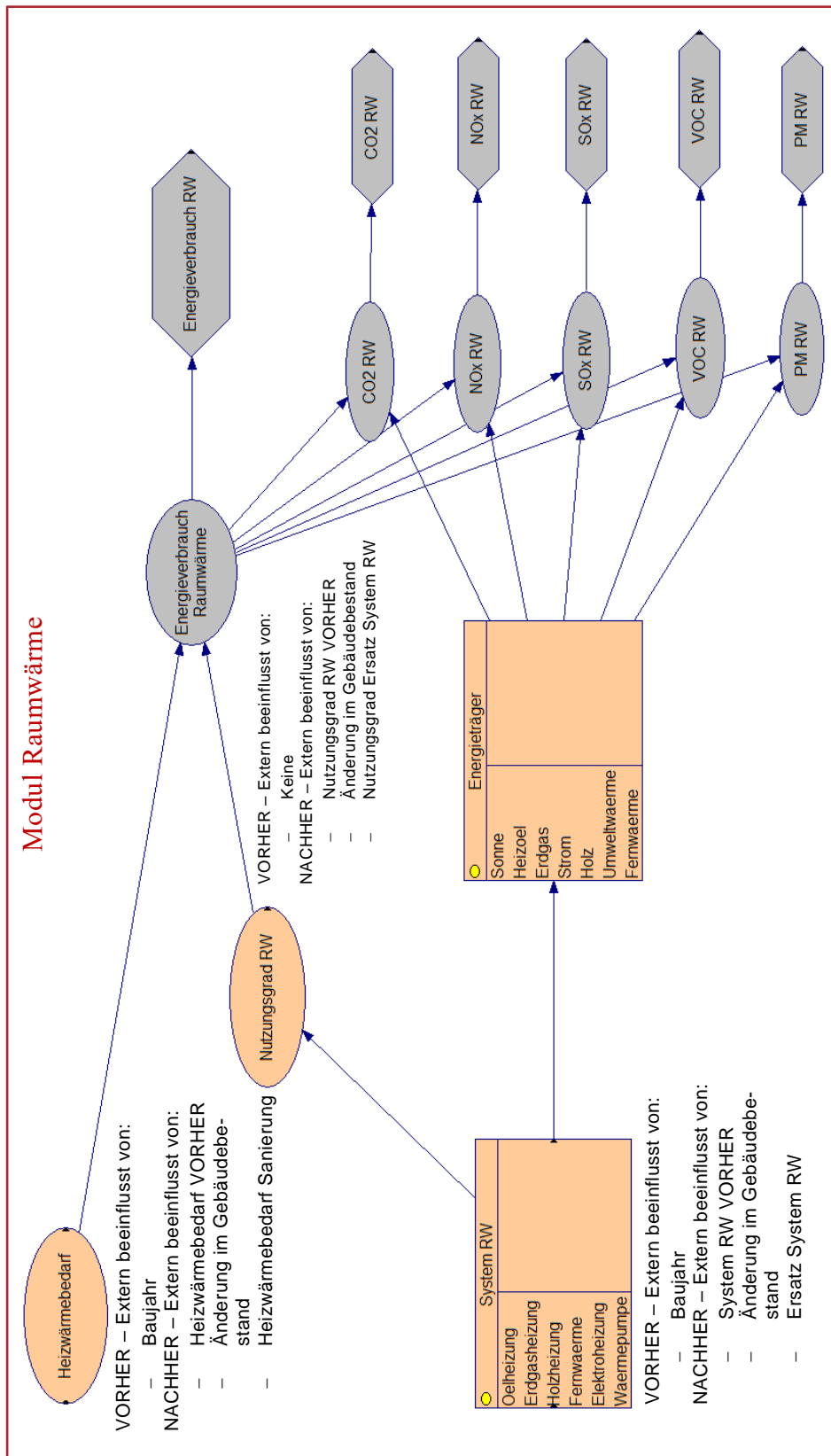


Abbildung 10: Modul Raumwärme. Die Elemente «System RW» und «Energieträger» sind hier als rechteckige (statt ovale) Elemente dargestellt, um die Zustandseigenschaften zu zeigen.

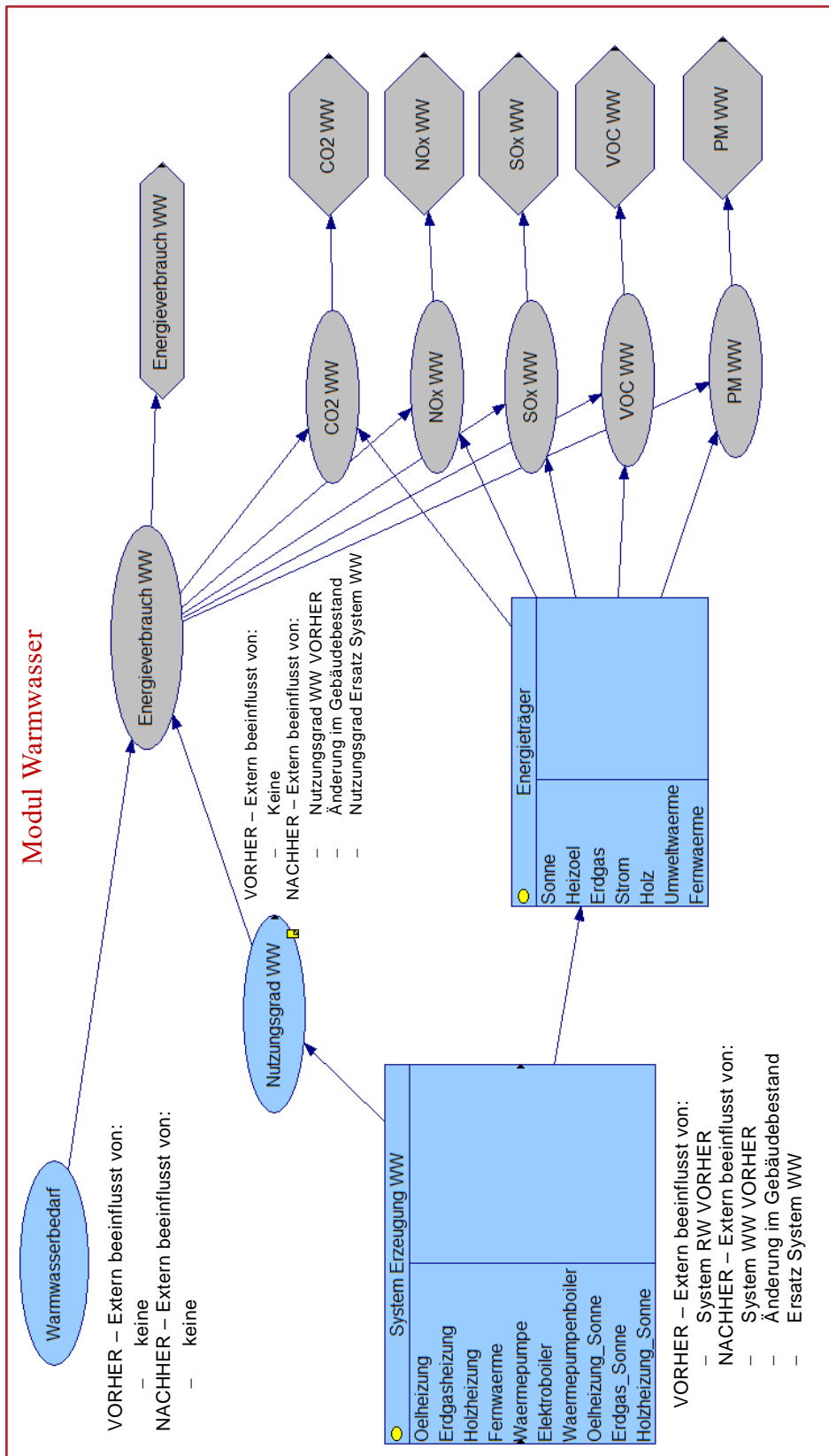


Abbildung 11: Modul Warmwasser. Die Elemente «System Erzeugung WW» und «Energieträger» sind hier als rechteckige (statt ovale) Elemente dargestellt, um die Zustandseigenschaften zu zeigen.

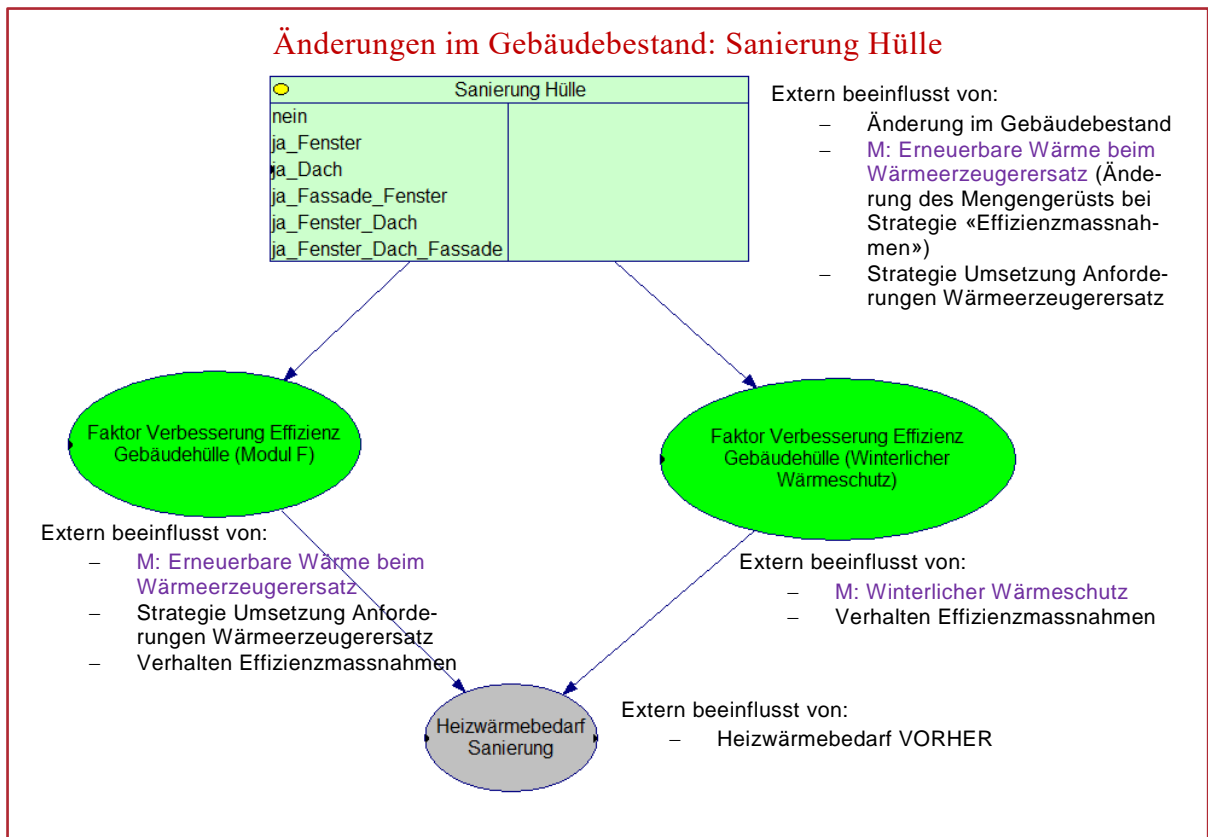


Abbildung 12: Änderung im Gebäudebestand: Sanierung Hülle. Das Element «Sanierung Hülle» ist hier als rechteckiges (statt ovales) Element dargestellt, um die Zustandseigenschaften zu zeigen.

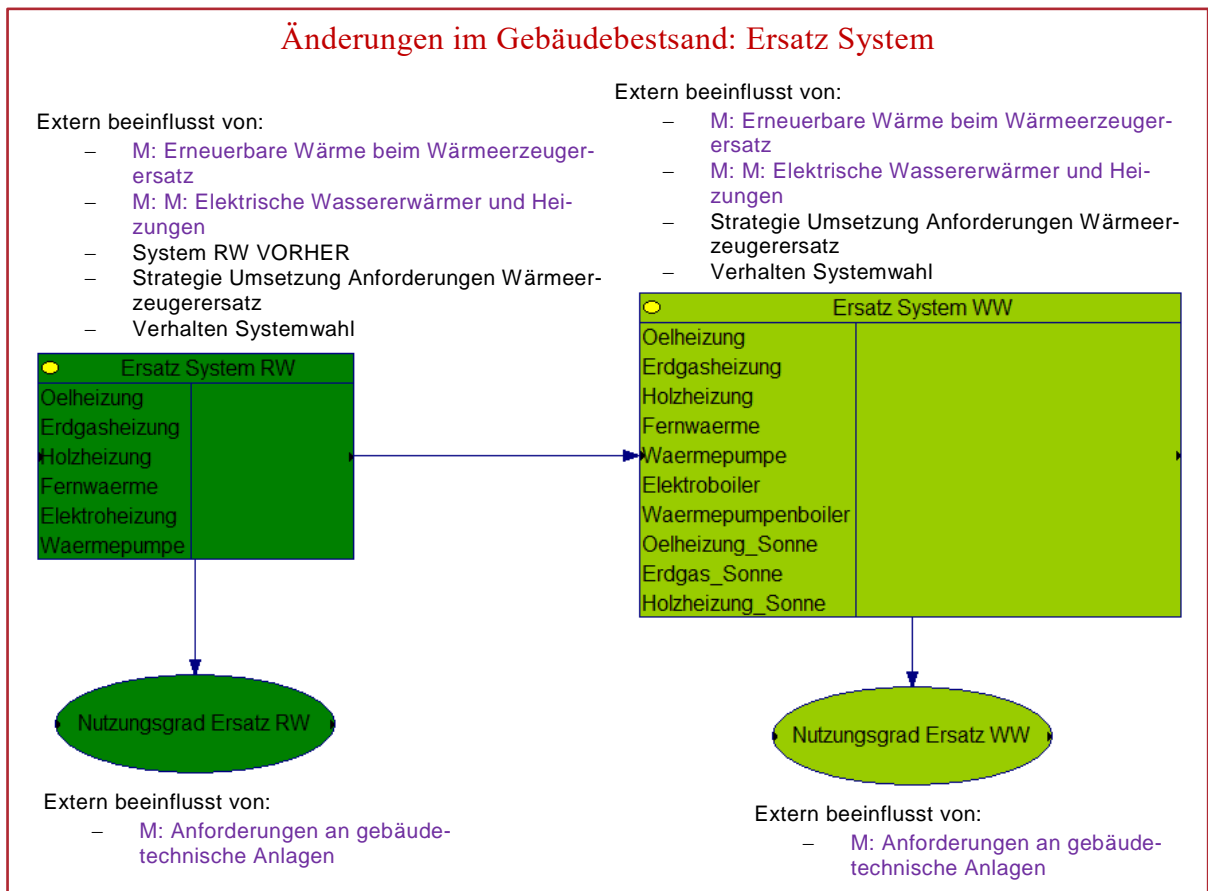


Abbildung 13 Änderung im Gebäudebestand: Ersatz System. Die Elemente «Ersatz System RW» und «Ersatz System WW» sind hier als rechteckige (statt ovale) Elemente dargestellt, um die Zustandseigenschaften zu zeigen.

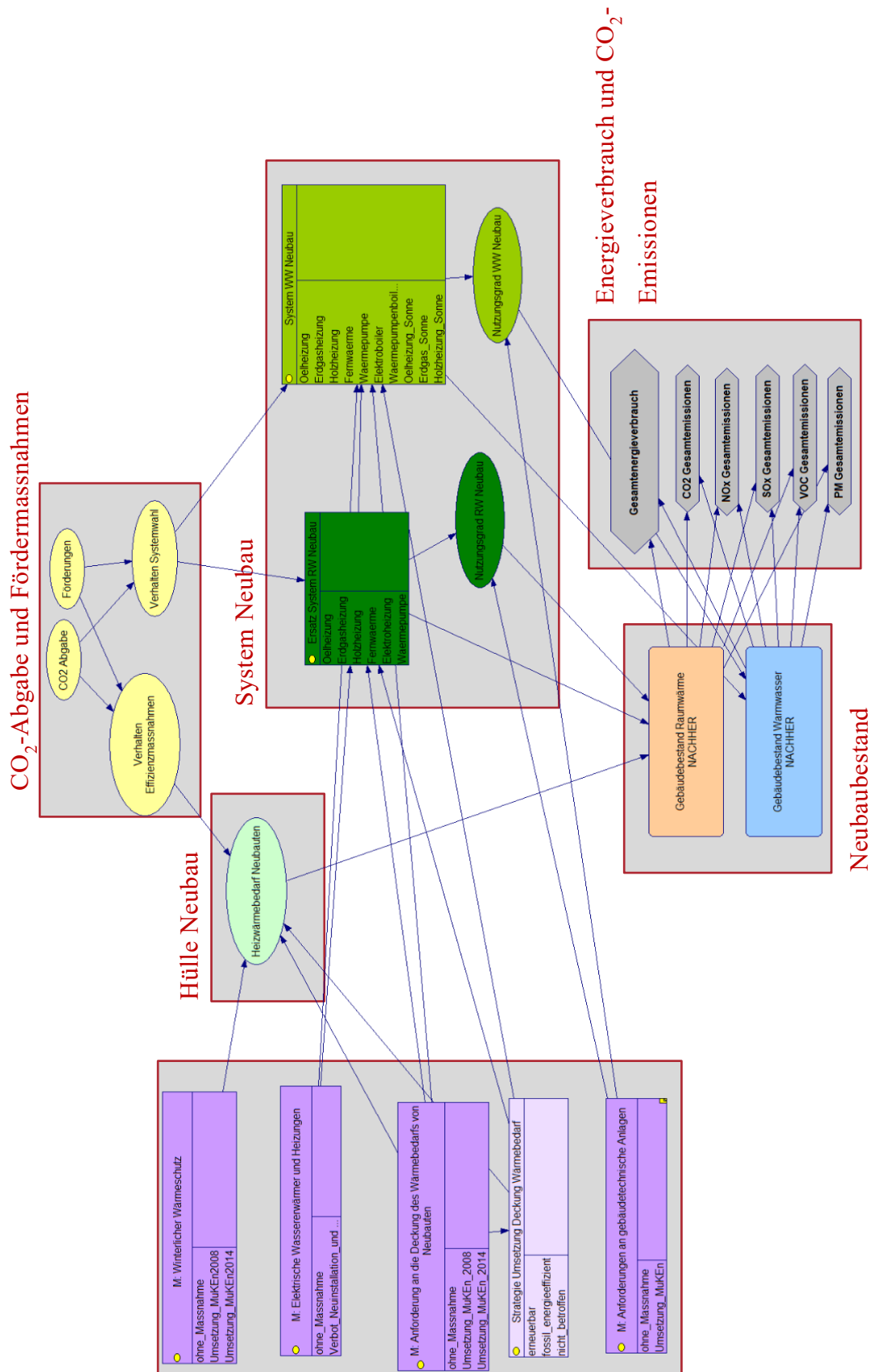


Abbildung 14: Netzmodell für Neubauten. Die Elemente «System RW Neubau» und «System WW Neubau» sind hier als rechteckige (statt ovale) Elemente dargestellt, um die Zustandseigenschaften zu zeigen.