



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Gebäude

Januar 2016

Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik

Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept
der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und
Treibhausgasemissionen.

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern
Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien, Sektion Gebäude

Auftragnehmer:

TEP Energy GmbH
Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich
www.tep-energy.ch
Telefon +41 43 500 71 71
Fax +41 43 500 71 79

Autoren:

Dr. Martin Jakob (Projektleitung), TEP Energy
Dr. Giacomo Catenazzi, TEP Energy
Marc Melliger, TEP Energy
Remo Forster, TEP Energy
Gregor Martius, TEP Energy
Martin Ménard, Lemon Consult

Lektorat:

Edgar Brütsch, nmc.ch

Begleitgruppe:

Adrian Grossenbacher (BFE, Auftraggeber)
Magnus Willers (Geschäftsführer KGTV)
Stephan Peterhans (Vorstand KGTV)
Heini Glauser (Vorstand KGTV)

Teilnehmer an den Experten-Workshops:

Volker Wouters	Zoran Alimpic	Bruno Soder
Björn Schrader	Urs Steinemann	Jürg Tödtli
Stefan Gasser	Harry Bleiker	Reto Keller
Oliver Königs	Heinz Eichenberger	Jürg Nipkow
Michael Rammelt	Benno Zurfluh	Theo Baumgartner
Rolf Löhner	Michael Eschmann	

Die Autoren danken den Mitgliedern der Begleitgruppe, den Teilnehmern an den Experten-Workshops und weiteren Kollegen für ihre Beiträge zum vorliegenden Projekt.

BFE-Bereichsleiter: Adrian Grossenbacher

BFE Vertrags- und Projektnummer: SI/401393-02, 810002357

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Diese Studie verfolgt das Ziel, die Bedeutung der Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (THGE) im Bereich der Gebäudetechnik aufzuzeigen. Ausgangslage der Potenzialabschätzung ist eine umfassende und kompakte Darstellung des Ist-Zustandes der Gebäudetechnik im schweizerischen Gebäudepark. Betrachtet werden die energetischen Verwendungszwecke *Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik*. Für diese werden technische und betriebliche Massnahmen definiert, bzgl. ihrer Anwendungsmöglichkeiten und Wirkung validiert und bewertet. Die Bewertung erfolgt auf den Betrachtungsebenen Endenergie, Treibhausemissionen und Primärenergie. Bei letzterer wird eine Unterscheidung zwischen gesamt- und nicht-erneuerbarer Primärenergie getroffen. Die Emissionsreduktionspotenziale werden als CO₂-Äquivalente ausgewiesen. Die Quantifizierung der Potenziale erfolgt für alle Gebäudekategorien, wobei auf Wohn-, Büro- und Schulgebäude ein spezieller Fokus gelegt wird. Mit dem vorliegenden Projektergebnis wird eine fundierte Grundlage zur Umsetzung von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik bereitgestellt und es wird eine Basis für die Erarbeitung von Instrumenten zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes gelegt.

Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen beinhaltet die Elemente Datenerhebung, Strukturierung, Validierung, Modellierung und Plausibilitätsanalyse. Eine umfassende Massnahmenliste der Konferenz der Gebäudetechnik-Verbände (KGTV) wurde nach energetischen Verwendungszwecken strukturiert und ergänzt und in der Folge durch den Einbezug von Experten validiert. Für zwei Szenarien, einem Referenz- und einem Effizienzscenario, wurde die Marktdurchdringung von Gebäudetechnikmassnahmen und deren Einfluss auf den Energieverbrauch und THGE modelliert, um deren gesamtschweizerische Potenzialwirkung im Jahr 2050 zu bestimmen. Die zwei Szenarien sind wie folgt definiert:

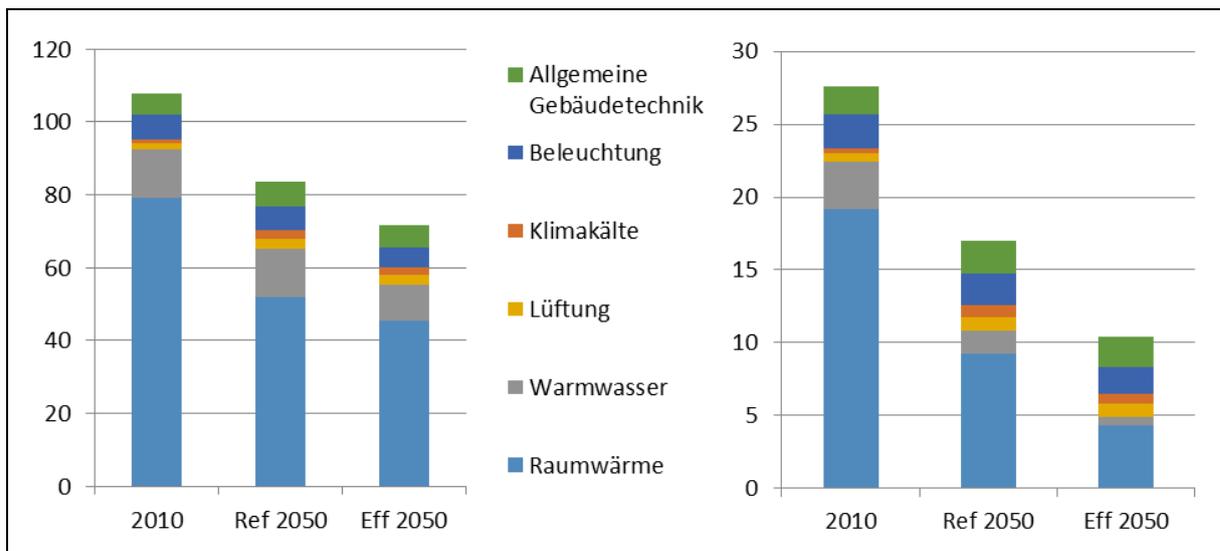
- Das Referenzscenario beschreibt die erwartete autonome Durchdringung von Gebäudetechnikmassnahmen und Effizienzfortschritten, die auch ohne zusätzliche und verstärkte energiepolitische Instrumente umgesetzt würden. Aktuelle gesetzliche Vorgaben von Bund und Kantonen sowie weitere Instrumente wie z. B. Förderprogramme und Aktivitäten von EnergieSchweiz und den Verbänden und Branchen stellen dabei eine Voraussetzung in diesem Szenario dar. Dieses Szenario ist vergleichbar mit dem Szenario „Weiter wie bisher“ der Energieperspektiven des Bundesamts für Energie.
- Im Effizienzscenario können durch zusätzliche Anreize und Anforderungen in Form von geeigneten Instrumenten eine stärkere Markt- und Bestandesdurchdringung von solchen Gebäudetechnikmassnahmen und damit eine höhere Effizienz- und Reduktionswirkung erzielt werden. Zu diesen Massnahmen gehören die Substitution von Energieträgern bei Heizung und Warmwasser, der Ersatz, die Nachrüstung und der effiziente Betrieb von Lüftungs- und Klimakälteanlagen, Beleuchtungen und viele weitere gebäudetechnische Effizienzmassnahmen bei diesen und weiteren Anwendungen. Das Effizienzscenario ist im Bereich Gebäudetechnik vergleichbar mit dem Szenario „Politische Massnahmen (POM)“ der Energieperspektiven.

Das im Effizienzscenario ausgeschöpfte Potenzial im Bereich Gebäudetechnik ergibt sich aus der Differenz zwischen Referenz- und Effizienzscenario und quantifiziert die zusätzlichen Energieeffizienzgewinne und Emissionsverminderungen im Bereich der Gebäudetechnik bis ins Jahr 2050.

Die Entwicklung von Energienachfrage und THG-Emissionen in den zwei Szenarien

Bereits im Referenzscenario kann eine Trendwende herbeigeführt werden, dies trotz des zugrunde gelegten Flächenwachstums im Gebäudebereich von rund 30%, welches durch Bevölkerungs- und Beschäftigtenwachstum getrieben ist. Sowohl Energienachfrage als auch THG-Emissionen liegen 2050 deutlich unter dem Niveau von 2010 (siehe Abbildung 1), dies dank Massnahmen im Bereich Gebäudehülle und Gebäudetechnik. Im Effizienzscenario akzentuiert sich die Trendwende, wobei der hier ausgewiesene zusätzliche Effekt allein auf Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik zurück zu

führen ist. Bei den THG-Emissionen ist der Rückgang deutlicher ausgeprägt als bei der Endenergie, bei der auch die erneuerbaren Energieträger (inkl. Umweltwärme) jeweils im Total enthalten sind.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 1 Endenergie inkl. erneuerbare Energien und Umweltwärme (in TWh, Diagramm links) und THG-Emissionen (in Mt CO₂-eq, Diagramm rechts)

Energieeffizienz- und Emissionsreduktionspotenziale

Die Energieeffizienz- und Emissionsreduktionspotenziale werden auf Ebene der Endenergie, der totalen Primärenergie, der nicht erneuerbaren Primärenergie und der Treibhausgasemissionen betrachtet. Im Vergleich zum Referenzscenario beträgt die Reduktion der Gebäudetechnik im Effizienzscenario bei der Endenergie im Total (inkl. erneuerbare Energien und Umweltwärme) rund 11.8 TWh. Bei der Primärenergie_{total} die Potenzialausschöpfung rund 21.0 TWh. Der nicht-erneuerbare Anteil bei End- und Primärenergie gehen noch stärker zurück. Entsprechend beträgt die Reduktion bei der Primärenergie_{n.e.} rund 29.2 TWh und bei den Treibhausgasemissionen 6.6 Mt CO₂-eq. Letzteres entspricht einer Reduktion von 38% bzw. 39 % bei PE_{n.e} und THG, diese im Vergleich zum Referenzscenario im Jahr 2050. Diese deutliche Reduktion ist vor allem auf die Substituierung von fossilen Energieträgern durch erneuerbare zurück zu führen. Bei der Primärenergie_{total} beträgt die relative Reduktion 17 % und bei und bei der Endenergie, welche die erneuerbaren Energien inkl. Umweltwärme mit enthalten, rund 14 %.

Die in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Verwendungszwecke (und deren Massnahmen) in sehr unterschiedlichem Mass zu den Gesamtpotenzialen auf diesen vier Betrachtungsebenen beitragen. Zum Emissionsreduktionspotenzial von rund 6.6 Mt CO₂-eq im Effizienzscenario trägt der Verwendungszweck *Raumwärme* (inkl. Wärmeteil der lüftungstechnischen Massnahmen) mit rund 5.0 Mt CO₂-eq, im Vergleich zu den anderen Verwendungszwecken von rund 1.6 Mt CO₂-eq, deutlich mehr bei. Diese Ergebnisse lassen sich u. a. durch die vorgängig erstellte Relevanzanalyse erklären: *Raumwärme* ist energetisch betrachtet der Verwendungszweck mit der grössten Bedeutung (siehe Abbildung 1)

In ihrer quantitativen Bedeutung wird Raumwärme gefolgt von *Warmwasser*, *Beleuchtung* *Kälte* und *Allgemeine Gebäudetechnik*. Je nach eingesetzter Technologie verschiebt sich bei der Effizienzwirkung die Gewichtung der Verwendungszwecke auf die Energienachfrage bzw. die THG-Emission. Die Massnahmen der Verwendungszwecke *Kälte* und *Allgemeine Gebäudetechnik* bieten jedoch ebenfalls nicht zu vernachlässigende Potenziale. Dies trifft insbesondere auf die Bewertungskriterien Primärenergie_{total} und auf den Energieträger Strom zu.

Tabelle 1 Potenzialausschöpfung zur Reduktion von Endenergie (EE), totaler Primärenergie (PE_{total}), nicht-erneuerbarer Primärenergie (PE_{n. e.}) und Treibhausgasemissionen (THG) im Vergleich der Szenarien Referenz- und Effizienzscenario.

	EE	PE _{total}	PE _{n. e.}	THG
	TWh	TWh	TWh	Mt CO ₂ -eq
Ist-Zustand 2010	107.8	148.9	121.9	27.6
Referenzscenario 2050	83.4	121.9	77.7	17.0
Raumwärme ¹⁾	-6.8	-12.4	-22.0	-5.0
Warmwasser	-3.1	-4.3	-4.1	-0.9
Lüftung (Teil Strom)	0.0	0.0	0.0	0.0
Kälte	-0.6	-1.3	-0.9	-0.2
Beleuchtung	-0.9	-1.9	-1.4	-0.3
Allgemeine Gebäudetechnik	-0.5	-1.2	-0.8	-0.2
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050²⁾	-11.8	-21.0	-29.2	-6.6
	-14%	-17%	-38%	-39%
Effizienzscenario 2050	71.6	100.9	48.5	10.5
¹⁾ inkl. Beitrag von Lüftungsanlagen zur Reduktion des thermischen Energiebedarfs				
²⁾ im Vergleich zum Referenz-Szenario				

Quelle: TEP Energy

Innerhalb der verschiedenen Verwendungszwecke lassen sich zusammengefasst folgende ausgewählte Ergebnisse festhalten:

- Bei den Verwendungszwecken *Raumwärme* und *Warmwasser* lassen sich durch die Substitution von fossilen durch erneuerbare Energieträger und den Ersatz der entsprechenden Heizsysteme (z. B. Holz und v.a. Wärmepumpen) bedeutende Potenziale zur Einsparung von THGE und nicht-erneuerbarer Primärenergie erschliessen. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass in den urbanen Räumen einige dieser Potenziale nur mit leitungsgebundenen thermischen Netzen erschlossen werden können (Fernwärme, Niedertemperaturnetze). Zusätzliche Potenziale bestehen im Einsatz von effizienteren Heizsystemen (v. a. im Referenzscenario), Massnahmen der energetischen Betriebsoptimierung (eBO), dem Einsatz von Gebäudeautomation (GA) sowie durch lüftungstechnische Massnahmen zur Reduktion des thermischen Bedarfs. Dabei tragen *Raumwärme* und *Warmwasser* mit 57 % bzw. 26 % zusammen mit Abstand am meisten zur Reduktion der Endenergie im Effizienzscenario bei, siehe Ergebnisse in Tabelle 2.
- Die Potenziale des Verwendungszwecks *Lüftung* liegen insbesondere in der Erneuerung und dem Einsatz von effizienten Lüftungsanlagen sowie in Massnahmen im Bereich der anwesenheits- und bedarfsgerechten Steuerung, Regelung und energetischen Betriebsoptimierung, insbesondere bei einem systemweiten Betrachtungsansatz. Diese Massnahmen kompensieren in etwa die Auswirkungen aufgrund des erhöhten Stromverbrauchs durch mehr Lüftungsanlagen, welche zum Zweck der Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.
- Auch beim Verwendungszweck *Klimakälte* ergeben sich grosse Potenziale durch konzeptionelle, planerische und betriebliche Systemoptimierungen. Dazu gehören variable Rückkühltemperaturen, die Nutzung von freier Kälte, gleitende Kaltwassertemperaturen sowie ein aufeinander abgestimmter Betrieb der Pumpen der verschiedenen Wasserkreisläufe. Mit effizienten Kältemaschinen und Geräten lassen sich weitere Potenziale erschliessen.
- Beim Verwendungszweck *Beleuchtung* wird im Referenzscenario das Potenzial durch den Einsatz von LED-Leuchtmittel auch ohne weiteres Zutun weitgehend ausgeschöpft werden. Hingegen ergeben sich bedeutende Potenziale durch den Einsatz von energieeffizienten Leuchten sowie von Massnahmen, welche die Betriebsdauer und -intensität der Beleuchtung örtlich und zeitlich nach

Bedarf regeln. Durch die technischen Eigenschaften der LED erschliessen sich, auch aufgrund ihrer technischen Eigenschaften, diesbezüglich zusätzliche Möglichkeiten.

- Allen Verwendungszwecken gemein ist die Bedeutung der betrieblichen, bedarfsgerecht regulierenden Massnahmen, namentlich durch energetische Betriebsoptimierung und Gebäudeautomation. Diese bieten wesentliche Potenziale, sowohl auf Ebene der einzelnen Verwendungszwecke als auch auf Ebene der Gewerke übergreifenden Massnahmen, wie Monitoring oder Vernetzung von Heizung, Kälte und Storensteuerung. Auch ist eine adäquat durchgeführte energetische Betriebsoptimierung Voraussetzung zur Erreichung der in dieser Studie ausgewiesenen Potenziale, insbesondere jener der GA-Massnahmen.

Tabelle 2 Anteile der Einsparungen (d.h. der Potenzialausschöpfung) nach Verwendungszwecken.

	Endenergie	THG-Emissionen
Raumwärme (inkl. thermischer Teil Lüftung)	57 %	76%
Warmwasser	26 %	14%
Lüftung (Teil Strom)	0 %	0%
Kälte	5 %	3%
Beleuchtung	7 %	5%
Allgemeine Gebäudetechnik	4 %	3%
Total (%)	100 %	100%
Total (TWh, Mt CO₂-eq)	11.8 TWh	6.6 Mt CO ₂ -eq

Quelle: TEP Energy

Die in Tabelle 3 dargestellten Auswertungen zeigen, dass die Massnahmen bei den mit Strom betriebenen Verwendungszwecken *Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik* vor allem auf die installierte Leistung der gebäudetechnischen Geräte, Anlagen und Systeme abzielen. Beim Verwendungszweck *Kälte* liegt der Fokus der Reduktionen mehrheitlich bei der Reduktion der Volllaststunden. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch bei diesem Verwendungszweck über das ganze Jahr gesehen stärker reduziert werden kann als die installierte Leistung im Dimensionierungsfall des heissesten Tages. Bei der Lüftung sind die Beiträge durch die Reduktion der installierten Leistung bzw. der Volllaststunden in etwa ausgeglichen. Das lässt sich auch festhalten, wenn man die Summe dieser Strom basierten Verwendungszwecke betrachtet.

Tabelle 3 Anteile an den Einsparungen in 2050 Effizienzzenario (im Vergleich zum Referenzzenario) differenziert nach Massnahmentyp: Reduktion installierte Leistung und Reduktion Volllaststunden (VLH).

	Beitrag durch die Reduktion		
	der installierten Leistung	der Volllaststunden	Total
Lüftung	51 %	49 %	100 %
Klimakälte	18 %	82 %	100 %
Beleuchtung	60 %	40 %	100 %
Allgemeine Gebäudetechnik	70 %	30 %	100 %
Total Gebäudetechnik (ohne Heizen und Warmwasser)	51 %	49 %	100 %

Quelle: TEP Energy

Nicht zuletzt zeigen die in Tabelle 3 aufgeführten Ergebnisse auf, dass für die Umsetzung der ausgewiesenen Potenziale zum einen jeweils die richtigen Entscheide auf der konzeptionellen und planerischen Ebene zu treffen sind, um bei Neubau und Erneuerung effiziente Anlagen und Geräte zu installieren und dass zum anderen die Anlagen so zu konzipieren sind, dass ein effizienter Betrieb mit möglichst wenig Vollaststunden möglich wird. Letzteres wiederum erfordert die permanente Aufmerksamkeit des für den Betrieb zuständigen Personals, welches durch geeignete technische Einrichtungen wie Gebäudeautomations- und Monitoringsysteme zu unterstützen ist.

Schlussbemerkung

Mit dem vorliegenden Projektergebnis wird eine fundierte Grundlage zur Umsetzung von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik bereitgestellt und es wird eine Basis für die Erarbeitung von *Instrumenten* zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes gelegt. Das Erarbeiten von solchen Instrumenten war nicht Gegenstand der Untersuchung. Aufgrund des Hintergrundwissens und der Erfahrung der Autoren und aufgrund der bei der Projektbearbeitung gewonnenen Erkenntnisse, u. a. im Rahmen der durchgeführten Expertenworkshops und durch den Kontakt mit Branchen- und Gebäudetechnikexperten, lässt sich festhalten, dass ein gut aufeinander abgestimmter Mix von Instrumenten zu definieren und umzusetzen ist, und dass diese Instrumente auf verschiedenen Ebenen anzusetzen haben. Dazu gehören Vorschriften, Information in verschiedener Form, darunter Normen und Standards, Arbeitshilfen, Aus- und Weiterbildung auf der Angebots- und auf der Nachfrageseite, Vernetzung der Akteure der verschiedenen Ebenen. Die Umsetzung ist durch ein entsprechendes Umfeld von nicht zu tiefen Preisen bei den nicht-erneuerbaren Energien zu unterstützen. Mit solchen Ansätzen sollte es gelingen, die in diesem Bericht dargestellten Massnahmen umzusetzen und die ausgewiesenen Potenziale tatsächlich auszuschöpfen. Hierbei ist das Engagement von Akteuren auf allen oben angesprochenen Ebenen erforderlich und gleichzeitig ein Erfolgsfaktor.

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	ii
	Begrifflichkeit: Abkürzungen und Glossar	ix
	Abkürzungen.....	ix
	Glossar	xi
1	Auftrag.....	1
	1.1 Ausgangslage	1
	1.2 Zielsetzung.....	1
	1.3 Methodisches Vorgehen im Überblick	2
2	Methodisches Vorgehen im Einzelnen	6
	2.1 Systemgrenze und Studienumfang.....	6
	2.2 Definition der Potenziale und Szenarien.....	7
	2.3 Berechnungsmethodik	12
	2.4 Relevanzanalyse: Mengengerüst und Energieverbrauch pro Verwendungszweck	15
	2.5 Gruppierung und Strukturierung der Gebäudetechnikmassnahmen ..	20
3	Charakterisierung der Gebäudetechnikmassnahmen	23
	3.1 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Raumwärme</i>	23
	3.2 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Warmwasser</i>	29
	3.3 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Lüftung</i>	31
	3.4 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Klimakälte</i>	37
	3.5 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Beleuchtung</i>	41
	3.6 Massnahmen beim Verwendungszweck <i>Allgemeine Gebäudetechnik</i>	46
	3.7 Anmerkungen zur spezifischen und übergreifenden GA	49
4	Aggregierte Energieeffizienz- und Emissionsreduktionspotenziale	51
	4.1 Effizienzpotenziale auf Ebene Endenergie	51
	4.2 Effizienzpotenziale auf Ebene Primärenergie.....	59
	4.3 Emissionsreduktionspotenziale	64
5	Schlussbemerkung	71
6	Verzeichnisse	72
	6.1 Literaturverzeichnis.....	72
	6.2 Tabellenverzeichnis	74
	6.3 Abbildungsverzeichnis	79

7	Anhang	81
7.1	Anhang zu Kapitel 2: Methodik	81
7.2	Anhang zu Kapitel 3: Gebäudetechnikmassnahmen.....	84
7.3	Anhang zu Kapitel 4.2: Primärenergie	96
7.4	Quervergleiche mit der Energiestatistik und der Energiestrategie ...	102
7.5	Detaillierte Übersicht der Durchdringungsgrade.....	106
7.6	Originale Massnahmenliste mit Anmerkungen zur Umstrukturierung	108
7.7	Umstrukturierte Massnahmenliste und Quantifizierung der Potenziale.....	116
7.8	Liste der Instrumente (Vorschlag KGTV, nicht quantifiziert).....	131

Begrifflichkeit: Abkürzungen und Glossar

Abkürzungen

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BUR	Betriebs- und Unternehmensregister
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -eq	Kohlendioxidäquivalente
EBF	Energiebezugsfläche
eBO	energetische Betriebsoptimierung
EE	Endenergie
EER	Energy efficiency ratio (Leistungszahl)
Eff	Effizienz(szenario)
EFH	Einfamilienhaus
EK	Emissionskoeffizient
EL	Extra leicht (Heizöl)
EnDK	Konferenz Kantonaler Energiedirektoren
ESEER	European seasonal energy-efficiency ratio
EVAK	Evakuierungsanlage
FL	Fluoreszierende Lampe
FU	Frequenzumformer
FW	Fernwärme
GA	Gebäudeautomation
GEST	Gesamtenergiestatistik
GPM	Gebäudeparkmodell
GTM	Gebäudetechnikmassnahme
GWh	Gigawattstunde (1 Mio. kWh, 10 ⁹ Wh)
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
HGT	Heizgradtage
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IKTU	Informations-, Kommunikations- und Unterhaltungstechnologie
ISI	Institut für System- und Innovationsforschung
JAZ	Jahresarbeitszahl
JNG	Jahresnutzungsgrad
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KGTV	Konferenz der Gebäudetechnik-Verbände
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LA	Lüftungsanlagen
LED	Light emitting diode (Leuchtdiode, Licht emittierende Diode)

MB	Merkblatt
MFH	Mehrfamilienhaus
MJ	Megajoule
MSR	Messen, Steuern, Regeln
MuKE n	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
e.	nicht erneuerbar (in Bezug auf PE)
NOGA	Nomenclature générale des activités économiques (Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige)
Pa	Pascal (Masseinheit für Druck)
PE	Primärenergie
PEF	Primärenergiefaktor
PIR	Passive infrared
POM	Politische Massnahmen (Szenario der Energiestrategie 2050 des Bundes)
Ref	Referenz(szenario)
RW	Raumwärme
RZ	Rechenzentrum
SEER	Seasonal energy-efficiency ratio
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
T	Temperatur
TABS	Thermoaktive Bauteilsysteme
TEP	Technology Economics Policy
TGM	Technisches Gebäudemanagement
THG	Treibhausgase
THGE	Treibhausgasemissionen
THG-EK	Treibhausgas-Emissionskoeffizient
TWh	Terawattstunde (1 Milliarde kWh, 10 ¹² Wh)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VHKA	Verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung
VLH	Volllaststunden
VZ	Verwendungszweck
W	Watt
WKG	Wirkungsgrad
WKK	Wärmeerkraftkopplung
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WS	Workshop
WW	Warmwasser
WWB	Weiter wie bisher (Szenario der Energiestrategie 2050 des Bundes)

Glossar

Ausrüstungsgrad

Anteile der mit einem Energiedienst ausgerüsteten Gebäude (z. B. Anteil der Gebäude mit Lüftungs- oder Klimaanlage). Nicht zu verwechseln mit dem Durchdringungsgrad von Massnahmen.

Bottom-up Modell

Hier Modell, welches „von unten nach oben modelliert“, d. h. von kleinteiligen Strukturen (spezifischer Energieverbrauch einer einzelnen Anwendung in einem einzelnen Raum) mittels eines differenzierten Mengengerüsts (z. B. Flächen und Beschäftigte pro Raumnutzungsmix, Branchenmix, Gebäudekategoriestruktur etc.), zu aggregierten Grössen (gesamtschweizerischer Energieverbrauch) hochrechnet.

Durchdringungsgrad

Hier der Anteil der Gebäude, bei welchen eine (technische oder betriebliche) GT-Massnahme bis zu einem bestimmten Jahr angewandt wurde. Der Durchdringungsgrad bezieht sich nur auf Gebäude, welche mit dem entsprechenden Energiedienst ausgerüstet sind (so bedeutet z. B. ein Durchdringungsgrad einer Lüftungsmassnahme von 100 %, dass alle belüfteten Gebäude mit dieser Massnahme ausgerüstet sind, nicht belüftete jedoch nicht). Der sich über die Zeit verändernde Durchdringungsgrad ergibt sich aus Marktanteil, Erneuerungsrate und Jahr (siehe auch Marktanteil).

Effizienzscenario

Hier Szenario, welches Instrumente und Rahmenbedingung zur verstärkten Förderung gebäude-technischer Massnahmen voraussetzt (vgl. Kapitel 2.2.1).

Endenergie

Energie, welche den Hausanschluss des Verbrauchers oder die Arealgrenze passiert hat. Beinhaltet im Vergleich zu Nutzenergie die Umwandlungsverluste (z. B. zu Nutzenergie durch Wärmeerzeuger) im Haus (siehe auch Primärenergie). Nebst der kommerziell bezogenen Energie beinhaltet die Endenergie auch die auf dem Areal erzeugte oder genutzte Energie wie z. B. Solarenergie, Geothermie und die Umgebungenergie, sofern die Nutzung mittels technischer Anlagen gewonnen wird (passiv genutzte Solarenergie durch Fenster ist in der Endenergie nicht enthalten).

Energetische Betriebsoptimierung

Beinhaltet nach SIA 2048:2015 alle betrieblichen Massnahmen, welche nach der Inbetriebnahme sowie in periodischen Abständen durchgeführt werden, um den Betrieb von Gebäudetechnikanwendungen energetisch zu optimieren.

Energieanwendung

In der Regel ein Gebäude, eine technische Anlage oder ein Gerät, das Energie zu einem bestimmten Verwendungszweck wie z. B. Licht, Wärme, Kälte, Lüfterneuerung etc. verwendet.

Energiedienst

Funktion, welche durch eine Energieanwendung / einen Verwendungszweck erfüllt wird (z. B. erwärmte oder gekühlte Räume, Warmwasser, Frischluft, Licht, Sicherheit etc.). Ist dem Begriff Verwendungszweck ähnlich.

Energieeffizienzpotenzial

Potenzial zur Reduktion des Energiebedarfs, das durch die Steigerung der Energieeffizienz, beispielsweise durch erhöhte Nutzungsgrade, sparsame Lampen und andere Gebäudetechnikelemente, bedarfsgerechten Betrieb etc. verfügbar ist bzw. erschlossen werden kann.

Erneuerungsrate

Rate, mit welcher eine Gebäudetechnikanwendung (z. B. eine Lüftungsanlage oder Kälteanlage) typischerweise ersetzt wird, angegeben in % pro Jahr. Die Erneuerungsrate ist typischerweise umgekehrt proportional zur Anzahl Jahre, nach welcher eine Gebäudetechnikanwendung (z. B. eine Lüftungsanlage oder Kälteanlage) ersetzt wird.

Ex-Post Analysen

Jährlich vom BFE durchgeführte Analyse des schweizweiten Energieverbrauchs nach Verwendungszwecken (siehe z. B. BFE 2014).

Gebäudeautomation (GA)

Gebäudetechnikanwendungen und Systeme, die messen und automatisch steuern und regeln (MSR). Kommunikation zwischen den Systemen kann ein Teil davon sein. Ziel ist ein energieeffizienter und wirtschaftlicher Gebäudebetrieb (siehe auch SIA 386.110). Beinhaltet als Voraussetzung oft eine eBO.

Gebäudetechnikanwendungen

Geräte und Installationen im Gebäude. Liefern einen Energiedienst und sind Teil eines Verwendungszweckes.

Marktanteil

Bezeichnet hier den Anteil der Gebäude, auf welche eine GT-Massnahme im Erneuerungszyklus angewandt wird. Der Marktanteil bezieht sich nur auf Gebäude, welche mit dem entsprechenden Energiedienst ausgerüstet sind und bei welchen die entsprechende Massnahme noch nicht angewandt wurde. Aus Marktanteil und Erneuerungsrate ergibt sich der Durchdringungsgrad für ein bestimmtes Jahr (so ergibt sich aus einem Marktanteil von 50 % und einem Erneuerungszyklus von 10 Jahren, nach 30 Jahren ein Durchdringungsgrad von $1 - 0.5^3 = 87.5$ %).

Nutzenergie

Energie (Wärme oder Strom), welche der Endnutzer für einen Energiedienst direkt verwendet oder benötigt (z. B. Wärmeenergie ab Heizradiator). Siehe auch Primärenergie.

Primärenergiefaktor

Faktor, welcher die Menge Primärenergie, die zur Bereitstellung einer Einheit Endenergie benötigt wird, quantifiziert. Beinhaltet dafür nötige Aufwände wie Förderung, Transport, Raffination und Verteilung (vgl. Kapitel 2.2.3).

Potenzial, realisierbares

Unterschied zwischen Referenz- und Effizienzscenario (vgl. Kapitel 2.2.1).

Potenzial, technisches

Differenz zwischen der im Gebäudepark installierten Gebäudetechnik und dem theoretischen Zustand, nach dem im gesamten Gebäudepark der verfügbare Stand der Technik eingebaut wäre (vgl. Kapitel 2.2.1).

Primärenergie, nicht erneuerbar und erneuerbar

Energie, die von natürlichen, noch nicht verarbeiteten Energieträgern stammt (Erdöl, Erdgas, Solarenergie, Umweltwärme). Beinhaltet im Vergleich zur Endenergie die Umwandlungsverluste der Kraftwerke und Verteilverluste der Netze bis zum Hausanschluss. Zusammenhang: Primärenergie > Endenergie > Nutzenergie.

Realisierungsgrad

Grad, mit welchem eine betriebliche Massnahme, die periodisch angewendet werden kann, umgesetzt wird. Relevant für eBO Massnahmen. Entspricht dem Durchdringungsgrad.

Referenzszenario

Szenario, welches keine weitergehenden energiepolitischen Instrumente zur Umsetzungsförderung von Gebäudetechnikmassnahmen enthält (vgl. Kapitel 2.2.1).

Verwendungszweck

Zweck, für welcher Endenergie verwendet bzw. Nutzenergie genutzt wird. Stellt den Gebäudenutzern einen Energiedienst bereit (vgl. Kapitel 2.1.1), d. h. ist ein Synonym zu Energiedienst.

1 Auftrag

Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE wird mit dem vorliegenden Projekt das Ziel verfolgt, die Bedeutung der Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (THGE) im Bereich der Gebäudetechnik aufzuzeigen. Betrachtet werden die energetischen Verwendungszwecke Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung und Allgemeine Gebäudetechnik. Für diese werden technische und betriebliche Massnahmen definiert, bzgl. ihrer Anwendungsmöglichkeiten und Wirkung validiert und bewertet. Die Bewertung erfolgt auf den Betrachtungsebenen Endenergie, Treibhausemissionen und Primärenergie. Bei letzterer wird eine Unterscheidung zwischen gesamter und nicht-erneuerbarer Primärenergie getroffen. Die Emissionsreduktionspotenziale werden als CO₂-Äquivalente ausgewiesen. Die Quantifizierung der Potenziale erfolgt für alle Gebäudekategorien, wobei auf Wohn-, Büro- und Schulgebäude ein spezieller Fokus gelegt wird. Mit dem vorliegenden Projekt soll eine fundierte Grundlage zur Umsetzung von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik bereitgestellt und eine Basis für die Erarbeitung von Instrumenten zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes gelegt werden.

1.1 Ausgangslage

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 des Bundes bietet der Gebäudebereich nach wie vor hohe Potenziale, um den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu vermindern. Nebst der Verbesserung des Wärmeschutzes der Gebäudehülle und der Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare lassen sich Energie- und Emissionseinsparungen auch durch eine Steigerung der Energieeffizienz im Bereich Gebäudetechnik erzielen. Während die beiden erstgenannten Möglichkeiten bereits durch den Bund, die Kantone, die Stiftungen Klimarappen, KliK und weitere mit Gesetzes- und Förderinstrumente abgedeckt sind und eine hohe Wahrnehmung haben, geniesst der Bereich energieeffiziente Gebäudetechnik weit weniger Aufmerksamkeit.

In diesem Zusammenhang stellt sich zunächst die Frage nach gebäudetechnikbezogenen Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der Energie- und Emissionsreduktionspotenziale, dies unter Berücksichtigung der heute bereits umgesetzten Massnahmen.

Obwohl auch im Bereich Gebäudetechnik zahlreiche Grundlagen in den unterschiedlichen Bereichen der Gebäudetechnik verfügbar sind, fehlt eine sowohl umfassende und kohärente als auch kompakte Darstellung des Ist-Zustandes der Gebäudetechnik im Gebäudepark und der schweizweiten Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und CO₂-Reduktion.

Vor diesem Hintergrund haben sich rund 30 Fach- und Branchenverbände zur Konferenz der Gebäudetechnik-Verbände (KGTV) zusammengeschlossen. Deren Ziel ist die Umsetzung einer Roadmap zur Unterstützung der Umsetzung der Energiestrategie 2050 sowie die Bildung einer Plattform, welche für den Austausch von Aktivitäten der verschiedenen Gebäudetechnikverbände dient. Des Weiteren soll die Konferenz auch als kompetente Ansprechstelle für Politik und Behörden dienen und koordinierte politische Vorstösse durchführen. Als ersten Schritt dazu hat die KGTV erkannt, dass das bestehende Fach- und Erfahrungswissen sowie bestehende Grundlagen aufzubereiten und besser sichtbar und greifbar gemacht werden müssen.

Ein wichtiges und aktuelles Ergebnis dieser Aktivitäten der KGTV ist eine strukturierte Liste von zahlreichen Massnahmen aus 12 verschiedenen Disziplinen der Gebäudetechnik. Darin werden die Massnahmen ansatzweise bzgl. Verantwortlichkeit, Gebäudekategorie, Einsatz, Projektphase, spezifischer Einsparung, Amortisation, Lebensdauer, Kategorie und energiepolitischem Massnahmentyp charakterisiert. In der Folge werden diese Vorarbeiten in dieser Studie aufgegriffen und darauf aufbauend solide und belastbare Grundlagen für eine Abschätzung der Einsparpotenziale der Massnahmen erarbeitet.

1.2 Zielsetzung

Übergeordnetes Ziel dieses Projekts ist ein Beitrag dazu, die Sichtbarkeit der Gebäudetechnik und ihrer Potenziale zu erhöhen, die möglichen Beiträge der Gebäudetechnikbranche zur Umsetzung der Energiepolitik von Bund, Kantonen und Gemeinden aufzuzeigen sowie Grundlagen für aktive Beiträge der Branchen zu Umsetzungsaktivitäten bereit zu stellen.

Im Vergleich zu Gebäudehülle, erneuerbaren Energien und Stromerzeugung weisen die Potenziale im Bereich Gebäudetechnik eine deutlich höhere Vielfalt auf. Dies drückt sich auch in der hohen Anzahl Fach- und Branchenverbände aus und ist einer der Gründe für die vergleichsweise geringere Sichtbarkeit: Gesetzesvertreter, Behörden, Fachstellen und Kommunikation konzentrierten sich während einer langen Zeit auf die grossen Potenziale im Bereich Gebäudehülle und erneuerbare Energien, welche mit wenigen (i.d.R. einfachen) Massnahmen angegangen und über welche mit eingängigen und einfach verständlichen Inhalten berichtet werden konnte.

Die Gebäudetechnikbranchen im Allgemeinen und die KGTV im Besonderen stehen also vor der besonderen Herausforderung, die möglichen Beiträge zur Umsetzung der Energiepolitik zu identifizieren sowie sichtbar und konkret zu machen. Damit können sie in der Folge von Gesetzgebung, Behörden, Fachstellen und Kommunikation sowie Aus- und Weiterbildung aufgegriffen und in die Umsetzung auf den verschiedenen Ebenen integriert werden. Ein wichtiges Element in diesem Prozess stellen gut abgestützte und breit verständliche Grundlagen dar, auf denen in der Folge aufgebaut werden kann. Dieser Bericht stellt einen Beitrag dazu dar.

Das inhaltliche Ziel des Projekts ist es, Grundlagen zu Massnahmen und Potenzialen im Bereich Gebäudetechnik bereit zu stellen. Konkret werden folgende Teilaspekte verdichtet aufbereitet:

1. Strukturierung, Gruppierung und Darstellung der möglichen Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik, dies ausgehend von der erwähnten Liste der KGTV sowie von den Fachverbänden in der Vergangenheit erarbeiteten Richtlinien und Merkblätter.
2. Darstellung des Ist-Zustandes der Gebäudetechnik im Gebäudepark Schweiz (Verbreitung und Zustand, namentlich bzgl. Energieeffizienz).
3. Technisch-realisiere Potenzialanalyse der Gebäudetechnik zur Einsparung von Endenergie, Primärenergie und Emissionen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen bereits umgesetzten Massnahmen und weiter zur Verfügung stehenden Potenzialen.

Diese Ziele wurden in Zusammenarbeit mit den involvierten Branchen und unter Einbezug des spezifischen Fach-, Experten- und Erfahrungswissens von Fachleuten und Branchenvertretern verfolgt. Diese Zusammenarbeit war explizites Projektziel. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Schlussbericht zusammengetragen und dargestellt.

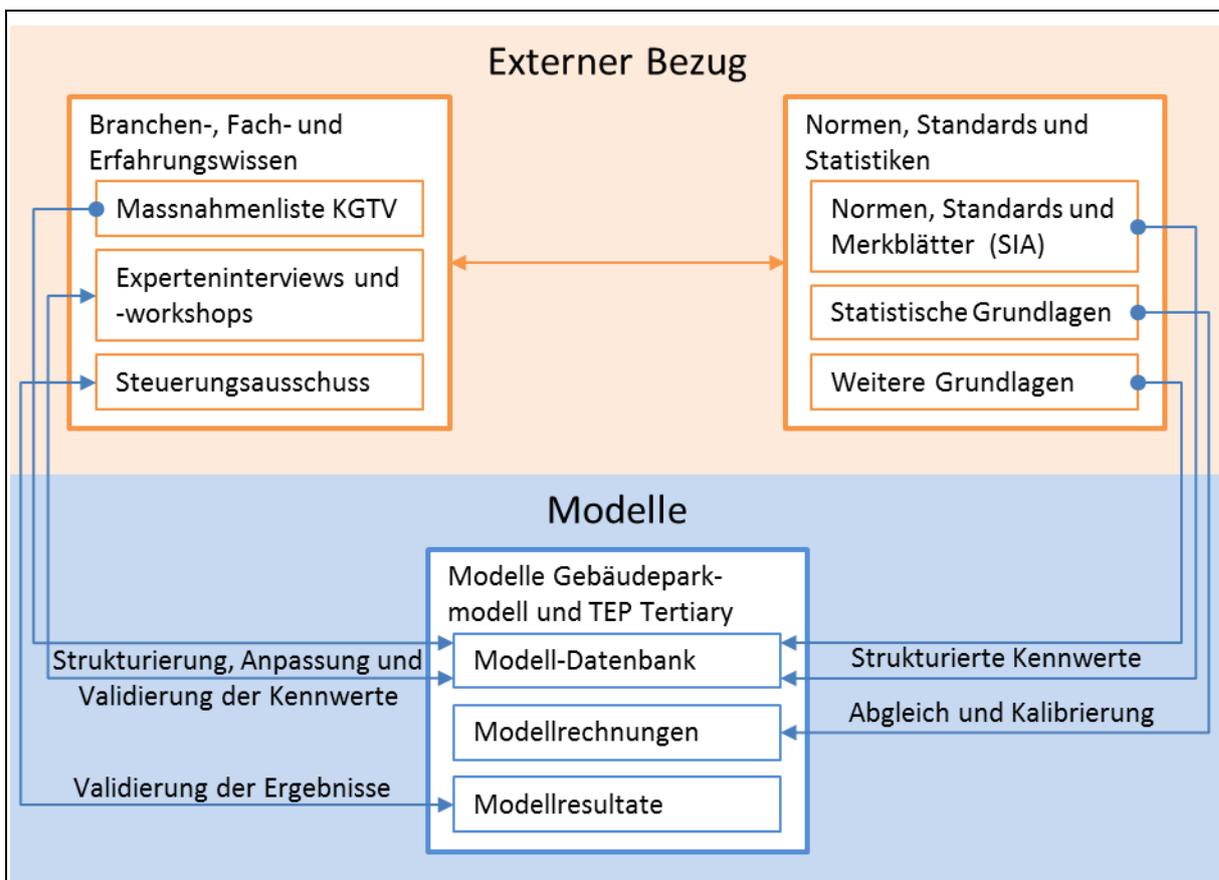
1.3 Methodisches Vorgehen im Überblick

Das Vorgehen leitet sich aus den oben erläuterten Zielsetzungen und den verfügbaren Berechnungstools und Grundlagen ab und wird in folgende Teile gegliedert:

1. Strukturierung und Charakterisierung der Gebäudetechnikmassnahmen
2. Auswertung von Branchen-, Fach- und Erfahrungswissen durch den Einbezug von externen Experten sowie Normen und Standards
3. Darstellung des Ist-Zustands der Gebäudetechnik im Gebäudepark Schweiz
4. Berechnung der aggregierten Energie- und Treibhausgas-Emissions-Reduktionspotenziale mittels der Modelle TEP Tertiary und Gebäudeparkmodell (siehe Kapitel 2.3)

Abbildung 2 stellt dieses Vorgehen schematisch dar und verdeutlicht die Interaktionen zwischen den Berechnungstools (v.a. Energiemodelle) und den externen Bezügen, namentlich den Normen und Standard, Merkblättern sowie statistischen Grundlagen zu Gebäudebestand und Energieverbrauch auf der einen Seite und dem Branchen-, Fach- und Erfahrungswissen auf der anderen Seite.

Diese methodischen Elemente und die Verweise zu den einzelnen Kapiteln werden nachfolgend erläutert.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 2 Im Projekt eingesetzte Modelle und ihr Bezug zu externen Quellen wie Normen, Standards und Statistiken sowie zum Branchen-, Experten- und Fachwissen.

1. Strukturierung und Charakterisierung der Gebäudetechnikmassnahmen

Ausgangslage des ersten Teils der Studie bildet eine durch die KGTV erstellte Liste mit 127 Massnahmen und 13 Instrumenten aus 12 Disziplinen. Die Strukturierung und Charakterisierung dieser Gebäudetechnikmassnahmen umfasst folgende Schritte:

- Klärung der Systemgrenzen: In [Kapitel 2.1](#) werden die Systemgrenzen und der Studiumfang anhand der Verwendungszwecke und Gebäudekategorien definiert.
- Potenzialdefinition: In [Kapitel 2.2](#) erfolgt die Definition des Potenzials und der Szenarien.
- Konsolidierung Massnahmenliste: Die von der KGTV zur Verfügung gestellte Massnahmenliste wird gemäss den Systemgrenzen geprüft und durch weitere Massnahmen ergänzt.
- Gruppierung und Strukturierung der Massnahmen: Die identifizierten Gebäudetechnikmassnahmen werden gemäss [Kapitel 2.5](#) weitergehend strukturiert. Insbesondere wird ein Bezug zu den Verwendungszwecken gemäss Definition des SIA und der Energieverbrauch-Analysen nach Verwendungszwecken (BFE 2014) hergestellt. Dies erlaubt nicht zuletzt eine kompaktere Darstellungsform.
- Wirkung der Massnahmen bzgl. Energieeffizienz und Emissionen: Charakterisierung der Gebäudetechnikmassnahmen bezüglich Reduktionswirkung (spezifisch, bezogen auf Einzelgebäude) auf Basis von bestehenden Vorarbeiten und verfügbaren Grundlagen (z. B. Projekte und Berechnungstools GEPAMOD; INSPIRE und FORECAST) und Literaturrecherchen. Bei den Massnahmen werden verschiedene Effizienzstufen definiert. Die Annahmen bezüglich der Reduktionswirkung sind in den [Kapiteln 3.1 bis 3.6](#) dokumentiert.

2. Einbezug von Branchen-, Fach- und Erfahrungswissen durch externe Experten sowie Normen und Standards

Durch den Einbezug von externen Experten (in Form von Expertengesprächen und strukturierten Workshops für die Bereiche Lüftung/Klima, Beleuchtung, Raumwärme & Warmwasser sowie Gebäudautomation & energetische Betriebsoptimierung) und des verfügbaren Fachwissens in Form von Berichten, Vorschriften, Normen, Merkblättern und Empfehlungen werden zum einen die Modell- und Berechnungsgrundlagen (z. B. spezifische Reduktionswirkung) etabliert, validiert und punktuell aktualisiert und zum anderen Ergebnisse plausibilisiert. Im Wesentlichen wurden folgende Grundlagen verwendet, welche wie folgt kategorisiert werden können:

- Mengengerüst, d. h. Daten zum Gebäudepark wie z. B. Häufigkeit und Flächen der verschiedenen Gebäudekategorien und die Verbreitung der verschiedenen Energieanwendungen:
 - Gebäudeparkmodell (siehe Kapitel 7.1.1 und Jakob et al. 2015), Modell TEP Tertiary (Jakob und Catenazzi 2013)
 - Erhebung bei Bürogebäuden (Aiulfi et al. 2009)
 - Erhebung von TEP Energy zu VHKA und weiteren Massnahmen im Gebäudebereich
- Strukturierung und Verbreitung der Energieanwendungen im Ist-Zustand:
 - SIA 380/4, MuKE, SIA 382/1, SIA 180: Normen Standards und Merkblätter
 - SIA 2024: Verwendungszwecke pro Raumnutzung
 - Ex-Post Analysen des Bundesamts für Energie (Bearbeitung des Dienstleistungssektors durch TEP Energy)
 - Massnahmenliste KGTV
 - Marktanalysen
 - Modell FORECAST, welches eine umfangreiche Datenbank von Energieeffizienzmassnahmen inkl. energetischer Wirkung und Wirtschaftlichkeit enthält (siehe www.forecast-model.eu)

3. Darstellung des Ist-Zustandes und Modellanpassungen

Die Darstellung des Ist-Zustandes und die Modellanpassungen umfassen folgende Schritte:

- Zuordnung auf Modellstrukturen: Die Gebäudetechnikmassnahmen werden auf Modellstrukturen zugeordnet.
- Aufbereiten der Datenbasis sowie Aktualisieren und Erweitern der Datenstruktur und der Datenbasis d Gebäudeparkmodells (GPM) (Jakob et al. 2015) sowie des Ex-Post-Analyse Modells TEP Tertiary (Jakob und Catenazzi 2013) mit Fokus auf Gebäudetechnik. Die Modelle basieren auf zahlreichen statistischen Grundlagen (u.a. auf dem GWR und dem BUR) und sind gesamtschweizerisch an der Gesamtenergiestatistik und weiteren Grundlagen¹ geeicht. Die Berechnungsmethodik wird in [Kapitel 2.3](#) näher erläutert.
- Darstellung der relevanten Kenngrössen des Ist-Zustandes: Die relevanten Kenngrössen des Ist-Zustandes werden als Teil der aggregierten Ergebnisse in [Kapitel 2.4](#) tabellarisch und graphisch dargestellt.

¹ Schweizerische Elektrizitätsstatistik, Ex-post Analysen des BFE (Prognos/TEP/Infras 2014), Erhebung Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor (Bachmann et al. 2014, Bendel et al. 2011)

4. Berechnung und Darstellung der aggregierten Energie- und Treibhausgas-Emissions-Reduktionspotenziale

Die Berechnung und Darstellung der aggregierten Energie- und Treibhausgas-Emissions-Reduktionspotenziale erfolgt so weit wie möglich mit den erwähnten Modellen der TEP Energy und ergänzend durch vor- oder nachgelagerte Berechnungen und Abschätzungen. Hierfür kommen folgende Teilschritte zur Anwendung:

- Definition von zwei Szenarien inklusive Aufbereitung der Rahmenparameter (Mengengerüst und energiepolitisches Umfeld, Darstellung neue MuKE) gemäss Kapitel 2.2 (Szenariendefinition) und Kapitel 2.4 (Mengengerüst).
- Fortschreibung der relevanten Modellparameter mit Fokus auf die weitere Marktdurchdringung von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik für die beiden Szenarien.
- Durchführung von Modellrechnungen mit dem Gebäudeparkmodell 2.0 basierend u.a. auf dem Projekt GEPAMOD (Jakob et al. 2015, siehe Beschreibung dazu im Kapitel 7.1.1 im Anhang).
- Auswertungen und Analysen der Ergebnisse: In Kapitel 4 erfolgt eine quantitative Darstellung der Reduktionspotenziale der Gebäudetechnik und daraus ableitend die Würdigung der Potenziale. Die Ergebnisse werden so aufbereitet, dass damit eine Priorisierung der Massnahmen möglich wird.

2 Methodisches Vorgehen im Einzelnen

Im Folgenden werden der Umfang der vorliegenden Studie abgegrenzt, der Potenzialbegriff und die verwendeten Szenarien definiert sowie Hinweise zur Modellgrundlage und der Berechnungsmethodik gegeben.

- Kapitel 2.1 definiert die Systemgrenze dieser Studie anhand der Verwendungszwecke, Gebäudekategorien und grenzt Massnahmen von Instrumenten ab.
- Kapitel 2.2 definiert den Potenzialbegriff und führt die notwendigen Szenarien ein. Die Berechnung der Primärenergie und THGE wird erklärt und Unterschiede zwischen den Szenarien hervor gehoben.
- Kapitel 2.3 stellt die verwendete Berechnungsmethodik in der Übersicht für Wärme und Elektrizität dar.
- Kapitel 2.4 stellt die strukturellen Grundlagen zum Mengengerüst des Gebäudeparks und zum Energieverbrauch pro Verwendungszweck dar, hierbei jeweils mit Verweis auf die verschiedenen Verwendungszwecke, dies im Sinne einer Relevanzanalyse.
- Kapitel 2.5 beschreibt die Gruppierung und Strukturierung der Gebäudetechnikmassnahmen so wie deren Zuordnung auf die Struktur des Mengengerüsts und der Verwendungszwecke. Zusätzlich werden Unterschiede zwischen den Szenarien umrissen.

2.1 Systemgrenze und Studienumfang

2.1.1 Verwendungszwecke

Die in diesem Bericht betrachteten Massnahmen und ihre Potenziale bis 2050 umfassen den Bereich Gebäudetechnik. In der Regel handelt es sich hierbei um fest am oder im Gebäude installierte Anlagen und Technischelemente, nicht jedoch mobile Anwendungen wie Geräte. Thematisch werden die folgenden Verwendungszwecke abgedeckt, welche den Gebäudenutzenden einen direkten Energiedienst liefern: warme oder gekühlte Räume, Warmwasser, Frischluft, Licht, Sicherheit etc.

- *Raumwärme*
- *Warmwasser*
- *Lüftung*
- *Klimakälte*
- *Beleuchtung*
- *Allgemeine Gebäudetechnik*

Die Massnahmenliste der KGTV beinhaltet zudem den Bereich Gebäudeautomation (GA). Hierbei handelt es sich in der Regel nicht um einen Energieverwendungszweck per se, sondern um eine Technologie, welche die vorgenannten gebäudetechnischen Energieverwendungszwecke steuert, regelt und damit in besserer Qualität bereitstellt. So gesehen ist GA eine Querschnittstechnologie. Darüber hinaus kann Gebäudeautomation auch als Energieeffizienzmassnahme eingesetzt werden, ähnlich wie klassische energetische Betriebsoptimierungen (eBO), welche ebenfalls bei allen genannten Verwendungszwecken zur Anwendung kommt. Ebenso Bestandteil der Studie ist die Wärmekraftkopplung WKK, welche gesondert betrachtet wird.

Nicht Bestandteil der Betrachtungen sind Haushaltslampen, steckbare Geräte wie Haushaltgeräte, Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und des Unterhaltungsbereichs, Bürogeräte, branchenspezifische Anwendungen wie Kochen, Serverräume, Grossgeräte des Gesundheitswesens, Prozesskälte, Catering etc. sowie Industrieprozesse. In einigen Fällen ist der Übergang zwischen Gebäudetechnik und Geräten fließend, z. B. bei der Beleuchtung. In solchen Fällen wird in den einzelnen Kapiteln jeweils darauf hingewiesen, welche Verwendungszwecke in den Betrachtungen enthalten sind. Eine ausführliche Relevanzanalyse erfolgt in Kapitel 2.4.3.

2.1.2 Abgrenzung von Massnahmen zu Instrumenten

Abzugrenzen von den (Gebäudetechnik-)Massnahmen sind die (energiepolitischen) Instrumente. Erstere umfassen konkrete planerische, investive sowie betriebliche Massnahmen bei oder an einzelnen Gebäuden, welche durch Gebäudeeigentümer und -betreiber entschieden und durch Gebäudetechnikfirmen (inkl. Planer) konkret umgesetzt werden. Im Gegensatz dazu umfassen Instrumente z. B. Förder- und Anreizprogramme, Informationskampagnen, Aus- und Weiterbildungslehrgänge. Instrumente sind in diesem Sinn Voraussetzung oder unterstützende Elemente, damit Massnahmen vermehrt oder weitergehend umgesetzt werden. Im Rahmen der nachfolgenden Potenzialbetrachtung werden Instrumente zwar nicht quantifiziert, jedoch wo sinnvoll erwähnt.

2.1.3 Gebäudekategorien

In Bezug auf die Gebäudekategorien erfolgt eine spezifische Betrachtung für Wohngebäude (Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäusern), Bürogebäude und Schulgebäude in der Schweiz. Die übrigen Gebäudekategorien des Dienstleistungs- und Industriesektors werden zusammengefasst betrachtet, wobei auch für jene Gebäudekategorien spezifische Annahmen getroffen werden (z. B. zum Ausrüstungsgrad von Kälteanlagen im Detailhandel). Von der Betrachtung ausgeschlossen ist der Landwirtschaftssektor. Eine ausführliche Relevanzanalyse nach Gebäudekategorie und Bauperiode erfolgt in Kapitel 2.4.1.

2.2 Definition der Potenziale und Szenarien

2.2.1 Potenzialdefinition und Berechnungsmethodik

Die Analyse des Potenzials der Energieeffizienz- und Substitutionsmassnahmen ist ein zentrales Element dieser Studie. So ergibt sich das **theoretische technische Potenzial** aus der Differenz zwischen der im Gebäudepark installierten Gebäudetechnik und dem theoretischen Zustand, in welchem im gesamten Gebäudepark der verfügbare Stand der Technik eingebaut wäre (siehe Abbildung 3).

Weil sich der Gebäudepark und die angewendete Gebäudetechnik laufend verändern, ist das technische Potenzial zeitabhängig: mit steigender Durchdringung der verfügbaren Effizienztechnik im Rahmen von erforderlichen Erneuerungen verringert sich das verbleibende (technische) Potenzial (bei gleichem Technikangebot). Mit zunehmender technischer Entwicklung in Form von effizienteren oder neuen effizienten Technologien kann sich das technische Potenzial wiederum vergrössern.

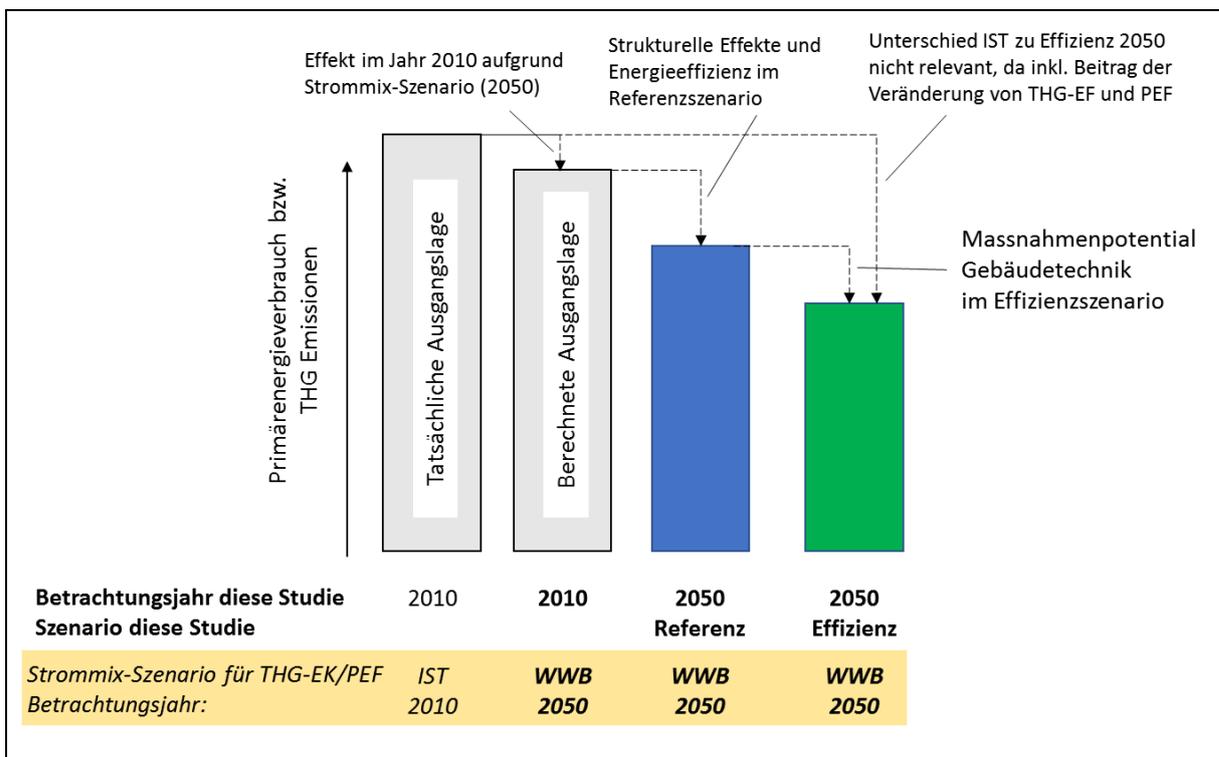
Um die Potenziale für einen konkreten, in der Zukunft liegenden Zeitpunkt ermitteln zu können, sind also die relevanten künftigen Entwicklungen im Gebäudepark zu berücksichtigen, d. h. die Vergrösserung des Gebäudeparks und dessen Ausrüstungsgrad mit Gebäudetechnik sowie die laufende energetische Erneuerung. Im Rahmen dieser Entwicklungen können Massnahmen zur Erschliessung von Energieeffizienz- und Emissionsreduktionsmassnahmen ergriffen werden. Zu deren Quantifizierung ist die Definition von zwei Szenarien zweckmässig:

- Das **Referenzszenario** enthält im Vergleich zu heute keine weitergehenden energiepolitischen Instrumente zur Umsetzungsförderung von Gebäudetechnikmassnahmen. Das Szenario ist vergleichbar mit dem Szenario *Weiter wie bisher* (WWB) der Energiestrategie 2050 des Bundes.
- Das **Effizienzscenario** setzt Instrumente und adäquate Rahmenbedingungen zum verstärkten Einsatz von gebäudetechnischen Massnahmen voraus, namentlich Vorschriften, Informationsaktivitäten, Normen und Standards, Arbeitshilfen, Aus- und Weiterbildungen, Energiepreissignale und andere Anreizinstrumente. Das Szenario ist bzgl. Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik vergleichbar mit dem Szenario *Politische Massnahmen* (POM) der Energiestrategie des Bundes. Im Übrigen und namentlich im Bereich Gebäudehülle, Haushaltgeräte und Betriebseinrichtungen ist es jedoch Szenario WWB vergleichbar, d.h. gegenüber dem Referenzszenario wurden keine weiteren Veränderungen vorgenommen. So gesehen stellt das Effizienzscenario einen (auf die Gebäudetechnik beschränkten) Teilschritt hin zu den Zielen des Szenario POM dar.

Eine Gegenüberstellung der beiden letztgenannten Szenarien im Vergleich zum WWB und POM Szenario befindet sich in Kapitel 7.4.4 im Anhang. Es ist zu betonen, dass es in diesem Projekt und bei den Szenariorechnungen nicht um eine Revidierung der bestehenden Grundlagen der Energieperspektiven des BFE geht, sondern um eine Konkretisierung im Bereich Gebäudetechnik, dies als Grundlage für die Umsetzung der Massnahmen.

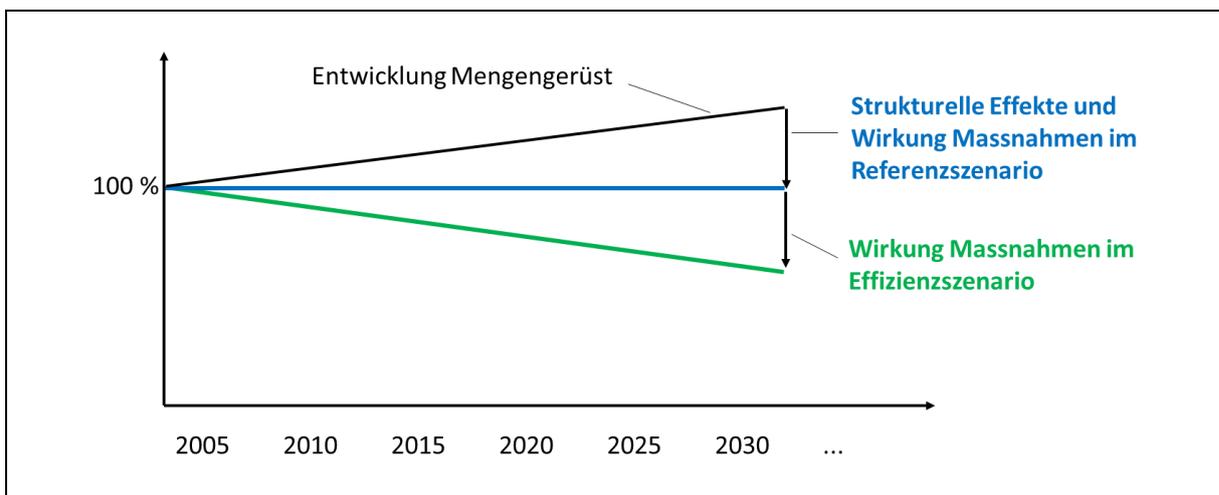
Es wird davon ausgegangen, dass die Marktdurchdringung der Massnahmen im Effizienzzenario rascher und weitergehend erfolgt, jedoch das theoretische technische Potenzial nicht völlig erreicht wird, da nicht davon auszugehen ist, dass der gesamte Gebäudepark komplett auf den verfügbaren Stand der Technik aufgerüstet wird. In der vorliegenden Studie gehen wir insbesondere davon aus, dass Massnahmen mit hohen technischen oder wirtschaftlichen Hemmnissen nicht ausgeschöpft werden (siehe Abbildung 3). Es wird ein zu schaffendes Förder- und „Forderumfeld“ mit entsprechenden Instrumenten unterstellt, so dass weitergehende Massnahmen wirtschaftlich vertretbar und umgesetzt werden. Mit diesen Massnahmen wird ein Teil des **technisch-realisierbaren und wirtschaftlich vertretbaren** Potenzials erschlossen. Hierbei wird bewusst nicht von einer kompletten Ausschöpfung des Potenzials ausgegangen, da dies ein zu idealistischer Ansatz wäre, der in der praktischen Umsetzung in der Regel nicht flächendeckend erreicht wird.

Die Berechnung der im Effizienzzenario **realisierten Potenzialausschöpfung** beruht hauptsächlich auf der Annahme von Marktdurchdringungsgraden, die zwischen den beiden Szenarien differenziert werden (vgl. Kapitel 2.2.4 unten). Das dargestellte Potenzial der betrachteten Massnahmen in einem bestimmten Jahr berechnet sich dann aus der Differenz zwischen Referenzszenario und Effizienzzenario zu diesem Zeitpunkt. Der Lesbarkeit halber wird die technisch-realisierbare wirtschaftlich vertretbare Potenzialausschöpfung in der Folge vereinfachend mit **Massnahmenpotential** oder kurz mit **Potenzial** bezeichnet.



Quelle: TEP Energy

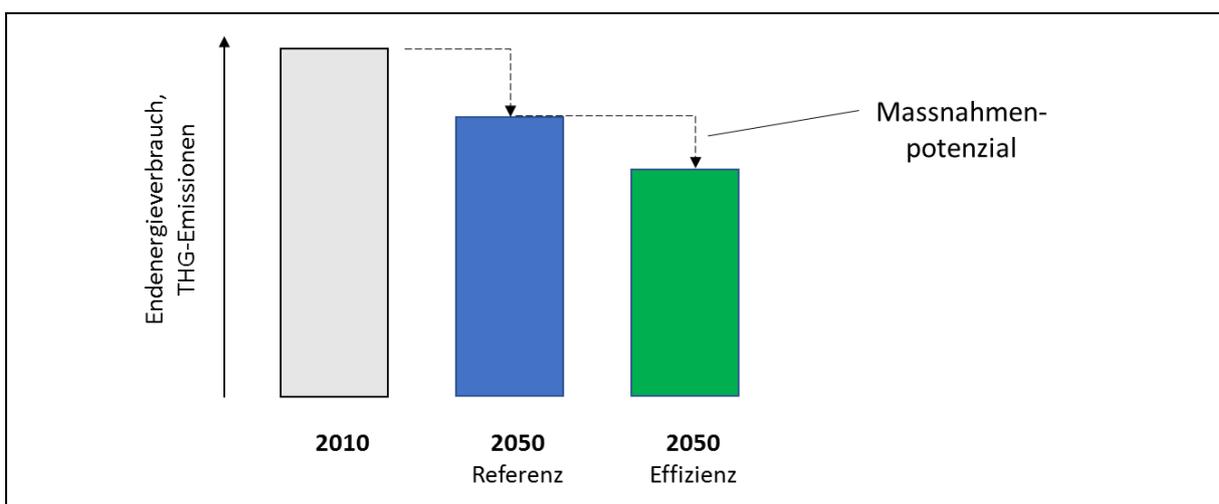
Abbildung 3 Technisches Potenzial und technisch-realisierbares Potenzial zur zusätzlichen Marktdurchdringung.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 4 Entwicklung des Mengengerüsts in den verschiedenen Szenarien (schematische Darstellung). Hierbei ist zu beachten, dass in beiden Szenarien auch strukturelle Effekte auftreten (Neubauten und Ersatzneubauten sind effizienter als der bestehende Bestandesdurchschnitt), welche die Energieeffizienz ebenfalls steigern.

Es ist zu betonen, dass sich die Wirkung der zu betrachtenden GTM aus der Differenz zwischen zwei Szenarien in einem bestimmten Jahr (z. B. 2050) ergibt und nicht als Differenz zwischen dem Modellstartjahr 2010 und dem Jahr 2050, wie in Abbildung 5 verdeutlicht wird.



Quelle: TEP Energy

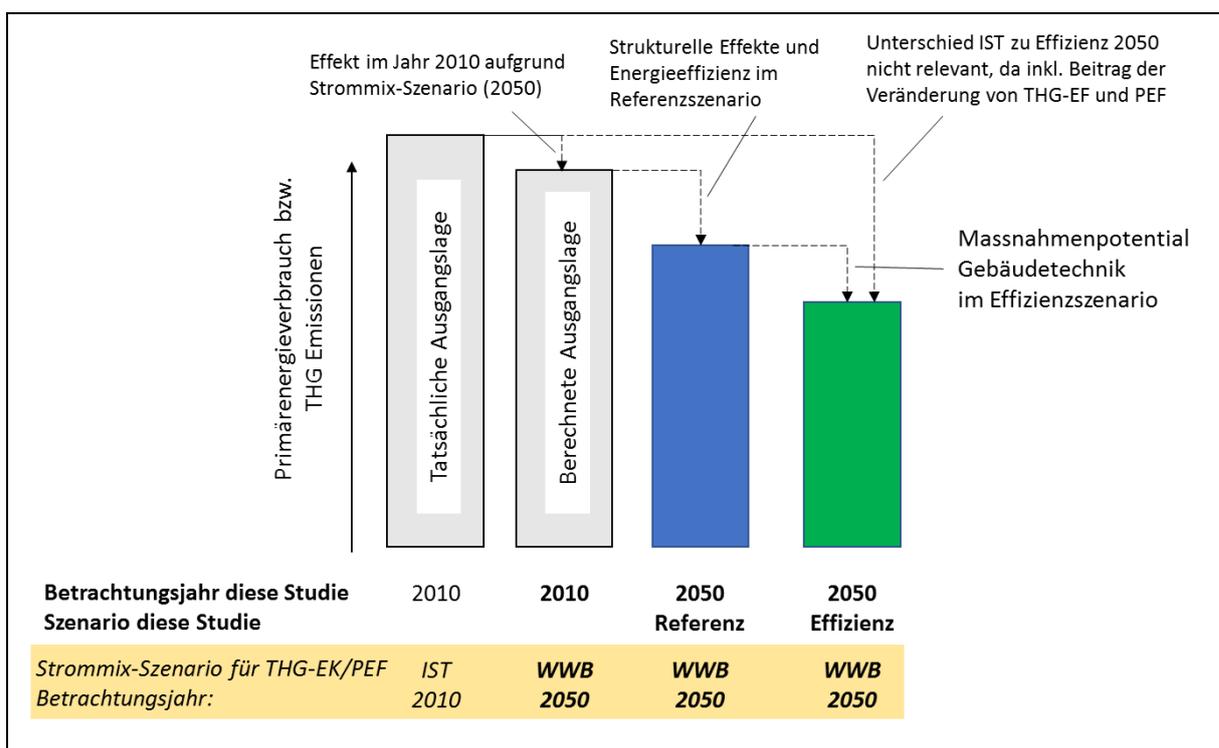
Abbildung 5 Technisch-realisierbares Potenzial (Massnahmenpotenzial) als Unterschied zwischen Referenz- und EffizienzszENARIO (schematische Darstellung).

2.2.2 Bewertung der Potenziale auf Ebene Primärenergie und Treibhausgase sowie Einfluss des Strom- und Fernwärmemixes

Die Bewertung der Potenziale auf Ebene der PE und THGE bedingt die Annahme eines Strom- und Fernwärmemixes. Die dazu gehörenden Primärenergiefaktoren (PEF) und Treibhausgasemissionskoeffizienten (THG-EK) beeinflussen die Wirkung der Gebäudetechnikmassnahmen massgeblich. Um die Wirkung der Gebäudetechnikmassnahmen **unverzerrt** darstellen zu können, d. h. unabhängig vom Einfluss des Strommixes, werden dem Betrachtungsstartjahr (2010) und den Szenarien (Referenz- und EffizienzszENARIO) aus methodischen Gründen die gleichen PE-Faktoren und THG-Emissionskoeffizienten zugrunde gelegt. Dies entspricht in diesem Bereich einem sogenannten Ceteris paribus (und nicht einem Szenarioansatz im reinen Sinn) und ist deshalb eine Annäherung an eine Ge-

samt Betrachtung. Da bereits für das Jahr 2010 die PEF und THG-EK von 2050 zur Anwendung kommen, werden die Potenziale der stromspezifischen Massnahmen bei der Primärenergie unterschätzt. Die Wirkung wird bei den THG-Emissionen im Vergleich zum Liefermix 2014 überschätzt und im Vergleich zu POM (2050) unterschätzt (allerdings jeweils auf tiefem Niveau), wie aus einem Vergleich der entsprechenden PEF und THG-EK in Tabelle 4 hervor geht.

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich ist, sind kommen für das Jahr 2010 die PEF und THG-EK basierend auf dem WWB Szenario der Energieperspektiven des Bundes zur Anwendung. Es wird deutlich, dass durch die unterschiedlichen PEF und THG-EK für das Jahr 2010 ein Unterschied zwischen THG Emissionen *IST 2010* und *WWB 2050* entsteht. Die im Bericht für das Jahr 2010 dargestellten Primärenergiewerte und THG-Emissionen entsprechen also nicht dem Stand 2010, sondern stellen einen theoretischen Wert dar, welcher auf der Endenergie von 2010, aber auf PEF und THG-EK von 2050 beruhen.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 6 Schematische Darstellung der Potenziale der Gebäudetechnik im Zusammenhang mit den beiden Szenarien: und der zeitlichen Entwicklung des angenommenen Strommixes für die Berechnung von PE und THGE (IST= Ist-Zustand, WWB=Weiter wie bisher). Der Unterschied zwischen IST 2010 zu Effizienz 2050 ist nicht relevant, da er Beiträge der Veränderung von THG-EF und PEF enthält und deshalb nicht allein die Wirkung der Gebäudetechnikmassnahmen enthält. Daher wird dieser Unterschied nicht weiter betrachtet (sondern die bereinigte Ausgangslage mit den hypothetischen PEF und THG-EF des Szenarios WWB für das Jahr 2050, welche auch für das Jahr 2010 angewendet werden).

2.2.3 Verwendete Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten

Die der Szenarioanalyse zugrundeliegenden Primärenergiefaktoren (PEF) und Treibhausgasemissionskoeffizienten (THG-EK) bestimmen die Unterschiede zwischen dem Referenz- und Effizienzzenario sowie die zeitliche Entwicklung der Primärenergie und der THGE massgeblich mit. Nachfolgend werden die verwendeten Faktoren eingeführt. Primärenergie und die THGE werden ausgehend von der Endenergienachfrage berechnet. Dazu wird die Endenergienachfrage pro Energieträger mit den in Tabelle 4 aufgeführten Faktoren gewichtet. Datengrundlage dieser Faktoren sind die Ökobilanzdaten

im Baubereich (KBOB 2012/2014), welche auf der Lebenszyklusanalyse und deren Anwendung gemäss Frischknecht et al. (2011) basieren. Der Strommix wird mit den PEF und den THG-EK für die Szenarien des Bundesamts für Energie *Weiter wie bisher* (WWB) bewertet, welche durch Wyss et al. (2013) ermittelt wurden. Zum Vergleich sind auch die Werte des heutigen Liefermixes sowie das Szenario POM (Angebotsvariante E inkl. Handel) dargestellt.

Die PEF und THG-EK beinhalten die Energie zur Bereitstellung der benötigten Energieträger (Transporte, Förderung, Raffination etc.), zur Bereitstellung und Entsorgung der dafür benötigten Infrastruktur (Bohrinseln, Verteilnetze, Kraftwerke, Pipelines etc.) sowie alle entstehenden Emissionen. Die Bereitstellung der Wärmeerzeuger (z. B. Heizsysteme) und deren Nutzungsgrade sind nicht Teil der Bilanzierung.

Die PEF quantifizieren die Menge an Primärenergie, die zur Bereitstellung von einer Einheit Endenergie (z. B. 1 kWh) benötigt wird. Bei den Energieträgern Heizöl, Erdgas, Holz und Biomasse entspricht dies dem Energiegehalt des Energieträgers selbst (d. h. 1 kWh) plus den zusätzlichen Aufwänden (Förderung, Transport, Raffination, Verteilung etc.). Gemäss der Methodik der Lebenszyklusanalyse wird der Primärenergiegehalt von Biogas und Fernwärme den Ausgangsprodukten und -prozessen zugeordnet (z. B. Lebensmittel im Fall von Biogas). Somit werden für diese Energieträger bloss die zusätzlichen Aufwände wie Transport und Aufbereitung bilanziert, was in einem PEF von kleiner 1 resultieren kann. Solarenergie und Umweltwärme benötigen keine zusätzlichen Aufwände zur Bereitstellung der Endenergie (nicht zu verwechseln mit dem Prozess der Wärmeerzeugung). Der gesamte PEF setzt sich aus einem erneuerbaren und einem nicht-erneuerbaren Anteil zusammen. Für die THGE sind jedoch nur die nicht-erneuerbaren Anteile relevant.

Tabelle 4 Verwendete Faktoren (PEF und THG-EK) zur Berechnung der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen.

Energieträger	PEF, gesamt	PEF, nicht erneuerbar	THG-EK t CO ₂ -eq/GWh
Heizöl (EL)	1.23	1.22	298
Erdgas	1.07	1.06	228
Holz (Holzschnitzel, genutzt in Anlagen mit Partikelfilter)	1.15	0.0664	11
Biomasse (Stückholz)	1.06	0.0523	11
Biogas	0.338	0.308	132
Fernwärme (Durchschnitt Netze CH)	0.869	0.548	108
Solarenergie	1	0	0
Umweltwärme	1	0	0
Strommix 2014, CH-Liefermix	3.14	2.69	149 ^a
Strommix, Energiestrategie 2050; WWB Szenario; Angebotsvariante C inkl. Handel	2.2 ^b	1.61 ^b	337 ^b
Strommix, Energiestrategie 2050; POM Szenario; Angebotsvariante E inkl. Handel	1.92 ^b	1.06 ^b	78 ^b
Quelle: KBOB (2014) ausser Fussnote a: KBOB (2012) und Fussnote b: Wyss et al. (2013).			

Quelle: KBOB 2014; KBOB 2012b; Wyss et al. 2013

2.2.4 Einflussfaktoren und Unterschiede zwischen den Szenarien

Die Entwicklung der Energie und Emissionen der beiden Szenarien und damit die Wirkung der Gebäudetechnikmassnahmen wird durch eine Reihe von indirekten Faktoren beeinflusst. Aus methodischen Gründen ist hierbei eine komplette Beschreibung der Treiber erforderlich, welche einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik haben. Dazu gehören die in Tabelle 5 aufgeführten Einflussfaktoren.

Um die Vergleichbarkeit der beiden Szenarien möglichst hoch zu halten, werden die meisten Einflussfaktoren Szenario-invariant angenommen und nur bezüglich der Marktdurchdringung der Gebäudetechnikmassnahmen unterschieden. Namentlich wird die Entwicklung des Hauptmengengerüsts, des spezifischen Mengengerüsts und der Effizienz im Wärmebereich der Gebäude (Gebäudehülle) wird für beide Szenarien als identisch angenommen (gleiches Flächenwachstum, gleiche Ausdehnung von Komfortanforderungen). Eine Ausnahme bilden die Energiedienste, welche sowohl dem Komfort als auch der Energieeffizienz dienen, z. B. zusätzliche Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Für diese beiden Bereiche wird von unterschiedlichen Entwicklungen zwischen den beiden Szenarien ausgegangen.

Tabelle 5 Faktoren, welche Energienachfrage, Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen der zwei Szenarien beeinflussen. Für die Gebäudetechnik relevante Faktoren sind hervorgehoben.

	Einfluss auf das Potenzial der Gebäudetechnikmassnahmen	Unterschiedlich zwischen den zwei Szenarien
Hauptmengengerüst (Flächenwachstum), Ersatzneubau	Indirekt (mengenmässig mehr Anwendungen können beeinflusst werden)	Nein
Spezifisches Mengengerüst (weitere Ausrüstung der Gebäude mit Energiediensten)	Indirekt (mengenmässig mehr Anwendungen können beeinflusst werden)	Nur bei Ausrüstungsgrad von Lüftungsanlagen mit WRG zur Erhöhung der thermischen Energieeffizienz im Effizienzscenario im Verhältnis zum Referenzscenario)
Gebäudehüllenseitige Effizienzmassnahmen	Indirekt (gesetzliche Vorgaben und Förderprogramme reduzieren Nachfrage)	Nein
Ersatz im Erneuerungszyklus (Substitution von Energieträgern, effizientere Anlagen etc.)	Direkt	Ja
Nachrüstungsmassnahmen	Direkt	Ja
Betriebliche Massnahmen	Direkt	Ja
Strom- und Fernwärmemix	Indirekt	Nein

Quelle: TEP Energy

2.3 Berechnungsmethodik

Die Berechnung der Szenarien, welche als Grundlage zur Berechnung der Energie- und Emissionsreduktionspotenziale dienen, wird wo möglich mit dem Gebäudeparkmodell durchgeführt und wo erforderlich durch exogene Betrachtungen ergänzt. Das Gebäudeparkmodell (GPM) wird im Rahmen des BFE-Projekts GEPAMOD seit Ende 2013 modell- und datentechnisch auf eine neue Basis gestellt und integriert auch Module und Ansätze der Modelle TEP Tertiary und FORECAST. Bei diesen Modellen handelt es sich um sogenannte Bottom-up Modelle, bei denen der Endenergieverbrauch mittels eines Mengengerüsts (z. B. beheizte, belüftete oder beleuchtete Fläche, mit Warmwasser oder frischer Luft versorgte Personen etc.) und spezifischen Verbrauchswerten berechnet wird. Der Endenergieverbrauch wird in der Folge mit Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionskoeffizienten bewertet, um Primärenergieverbrauch und THGE zu erhalten.

2.3.1 Reihenfolge der Massnahmen

Zwischen den verschiedenen Einzelmassnahmen, den übergeordneten Gebäudetechnikmassnahmen (z. B. energetische Betriebsoptimierung und Gebäudeautomation) und den weiteren Einflussfaktoren sind Interaktionseffekte zu verzeichnen, welche die Wirkung der Massnahmen beeinflussen:

- Auf der einen Seite vergrössert sich die aggregierte Wirkung einer bestimmten Massnahme bei zunehmender gesamtschweizerischer Gebäudefläche.
- Auf der anderen Seite verringert sich die Wirkung von nachgelagerten Massnahmen, wenn vorgängig bereits andere Massnahmen umgesetzt werden. So sind z. B. die Energieeinsparungen durch die *tageslichtabhängige Beleuchtungsstärke* geringer, wenn vorgängig bereits durchwegs *effiziente Leuchten* eingesetzt werden². Die Wirkung einer bestimmten Massnahme hängt also von der Reihenfolge ab, in welcher die Massnahme im Vergleich zu anderen Massnahmen ergriffen bzw. berechnet wird.

Die Festlegung der Reihenfolge der Massnahmen lässt sich in der Regel sachlogisch begründen. In einem ersten Schritt werden die exogenen Einflussfaktoren wie die Veränderung des Mengengerüsts berücksichtigt, weil diese Entwicklung ausserhalb des Einflussbereichs der Gebäudetechnikbranchen und der Energiepolitik liegt. In einem zweiten werden Energieeffizienzmassnahmen im Bereich Gebäudehülle (als vorgelagerte Entwicklung) und im Bereich eigentliche Gebäudetechnikmassnahmen betrachtet. Innerhalb dieser werden zunächst Massnahmen im Bereich Konzeption und Planung, gefolgt von der Wahl des Effizienzlevels der eingesetzten Technologie und danach betriebliche Massnahmen berücksichtigt. In einem dritten Schritt wird die Substitution von Energieträgern einbezogen. Mit der abschliessenden Wahl des Strom- oder Fernwärmemixes wird die resultierende Endenergie bewertet, woraus sich in der Regel folgende Reihenfolge der Berechnung und der Quantifizierung der Massnahmen ergibt:

1. Veränderung des Mengengerüsts
(mehr Gebäude, höherer Ausrüstungsgrad der Gebäude mit Gebäudetechnik)
2. Steigerung der (nachfrageseitigen) Energieeffizienz durch
 - a. Planung, Konzeption
 - b. Investitionsentscheide, Wahl Effizienzlevel
 - c. Betriebliche Massnahmen
3. Substitution von Energieträgern
4. Wahl des Primärenergiemixes (v. a. relevant bei Strom- und Fernwärmeanwendungen)

Die Massnahmenpakete in Kapitel 3 und 4 wurden in der Reihenfolge, in welcher diese in den entsprechenden Annahme- und Ergebnistabellen aufgeführt sind, quantifiziert. Die Festlegung folgt dabei der obigen sachlogischen Begründung.

2.3.2 Berechnung der Endenergie

Abhängig von der Energieanwendung und dem Verwendungszweck wird im Gebäudeparkmodell oder bei den exogenen Berechnungen ein unterschiedlicher Ansatz verfolgt, um den Endenergieverbrauch (und mittels Differenzrechnung die Potenziale) zu berechnen. Die Berechnungsansätze unterscheiden sich zwischen den rein strombasierten Gebäudetechnik-Anwendungen wie Beleuchtung und jenen der Verwendungszwecke *Raumwärme* und *Warmwasser*, die mit mehreren Energieträgern gedeckt werden können.

² Rechenbeispiel: Es wird eine Leuchte mit 100 W spezifischer Leistung und 1000 Volllaststunden Betrieb, d. h. einem Verbrauch von 100 kWh, und den zwei folgenden Massnahmen betrachtet. Massnahme 1: 40 % spezifische Energieeinsparung durch effiziente Leuchten. Massnahme 2: 30 % Reduktion durch eine Massnahme zur bedarfsgerechneten Anpassung der Beleuchtungsstärke. Wird diese Leuchte ersetzt, ist die Einsparung bei 1000 Volllaststunden 40 kWh und im Ergebnis resultiert ein Verbrauch von 60 kWh ($100 \text{ W} \times 1000 \text{ h} \times \{1 - 0.4\} = 60 \text{ kWh}$). Die Massnahme 2 mit der tageslichtabhängigen Anpassung der Beleuchtungsstärke bewirkt bei der unabhängigen Umsetzung mit der alten ineffizienten Leuchte eine Reduktion von 30 kWh (30% von 100 kWh). Wird dieselbe Massnahme 2 nach der Umsetzung der Massnahme 1 umgesetzt, beträgt die Effizienzwirkung 18 kWh (30% von 60 kWh), so dass ein Verbrauch von 42 kWh resultiert (würde die Abhängigkeit vernachlässigt und die beiden Reduktionswirkungen von 30% und 40% einfach addiert, würde ein Verbrauch von 30 kWh und eine Massnahmenwirkung von 70 kWh resultieren).

Raumwärme und Warmwasser

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs für die *Raumwärme* beruht auf einem Energiebilanzmodell zur Berechnung der thermischen Nutzenergie gemäss SIA 380/1. Der Bedarf an thermischer Nutzenergie für die modellierten Gebäude hängt zum einen ab von Gebäudekategorie, Bauperiode, geometrischen Verhältnissen und Gebäudenutzung sowie zum anderen von baulichen und gebäudetechnischen Massnahmen. Die baulichen Massnahmen hängen im Fall der Neubauten von entsprechenden gesetzlichen Anforderungen (namentlich seitens der MuKE) und im Fall des Gebäudebestandes von Gebäudeerneuerungsmassnahmen wie Wärmedämmungen und Fensterersatz ab. Bei den gebäudetechnischen Massnahmen, welche den Bedarf an thermischer Nutzenergie verändern, sind insbesondere die Sanierung von bestehenden Lüftungsanlagen sowie die Installation von zusätzlichen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zu nennen. Als eine weitere wichtige Massnahme ist die Gebäudeautomation der Heizung und des Warmwassers zu nennen, welche eine bedarfsgerechte Regelung der Raumwärme und der Wärmeverteilung steuert.

Die Energieträgerwahl der Heiz- und Warmwassersysteme erfolgt in Abhängigkeit von Gebäudeattributen wie Gebäudeenergieeffizienz, Vorlauftemperaturen sowie Heizsystemattributen wie Effizienz und Kosten der Heizsysteme. Die Effizienz der Heizsysteme, charakterisiert durch die Nutzungsgrade, hat einen wesentlichen Einfluss auf den Endenergieverbrauch und hängt bei Wärmepumpen (WP) auch von der Vorlauftemperatur ab. Je nach Szenario wird bzgl. der Nutzungsgrade der Heizsysteme von einer unterschiedlich starken Verbesserung ausgegangen. Währendem im Referenzszenario davon ausgegangen wird, dass Effizienzsteigerungen bei den feuerungsbedingten Anlagen bis 2050 ohne weitere Förderung möglich sind (im Vergleich zu 2010), wird im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzszenario keine weitere Steigerung erwartet. Im Gegensatz zu den feuerungsbasierten Anlagen ist jedoch insbesondere bei den WP im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzszenario von höheren Nutzungsgraden (Jahresarbeitszahlen) auszugehen.

Nebst Gebäudehülle, Luftwechsel und Energieträgerwahl können Primärenergie und THGE im Wärmebereich durch energetische Betriebsoptimierungsmassnahmen (eBO), die Installation und Nutzung von Gebäudeautomationssystemen (GA) sowie durch Massnahmen im Bereich Wärmeverteilung und -abgabe beeinflusst werden. Um die Wirkung dieser Massnahmen zu quantifizieren, werden nachgelagerte Abschätzungen durchgeführt. Dazu wird deren Anteil am Endenergieunterschied quantifiziert. Im Bereich der GA wird auf die Grundlagen wie die SIA 386.110 Bezug genommen und die übrigen Massnahmen werden ad hoc auf Grundlage von Literatur und Experteneinschätzungen quantifiziert (siehe Kapitel 3.1 für weitergehende Erläuterungen). Die Modell-Datenbasis der Massnahmenpakete für die Verwendungszwecke *Raumwärme* und *Warmwasser* werden im Kapitel 2.4 beschrieben.

Eine ausführlichere technische Beschreibung der Berechnungsgrundlagen für *Raumwärme* und *Warmwasser* befindet sich in Anhang 7.1.2.

Strombasierte Gebäudetechnik-Anwendungen

Strombasierte Gebäudetechnikanwendungen beinhalten die Verwendungszwecke *Klimakälte*, *Lüftung*, *Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik* (sowie WP bei *Raumwärme* und *Warmwasser*, welche jedoch nicht mittels des folgenden Ansatzes quantifiziert werden, sondern mit einem separaten Modul des Gebäudeparkmodells, siehe. Kapitel 3). Der elektrische Energieverbrauch dieser Verwendungszwecke wird als Produkt von Mengengerüst, Ausrüstungsgrad des Verwendungszweckes (z. B. belüfteter Flächen- bzw. Volumenanteil), spezifischer installierter Leistung und Volllaststunden berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Energieverbrauch} = & \text{Mengengerüst (z. B. EBF in m}^2\text{)} \times \\ & \text{Ausrüstungsgrad (z. B. Anteil der belüfteten Fläche in \%)} \times \\ & \text{installierte Leistung (W/m}^2\text{)} \times \\ & \text{Volllaststunden (h pro Jahr)} \end{aligned}$$

Dabei werden Leistung und Volllaststunden durch die Massnahmen und Massnahmenpakete reduziert und in der Folge der Energieverbrauch der Verwendungszwecke gesenkt. Zu beachten ist, dass die Wirkung einzelner Massnahmen von den bereits vorgängig durchgeführten Massnahmen abhängt. Dies macht es wie oben erwähnt erforderlich, dass für die Quantifizierung der einzelnen Massnahmen eine Reihenfolge, in der diese Massnahmen ergriffen werden, festgelegt werden muss. Die Resultate dieser Berechnungen sind in Kapitel 2.4, aufgeschlüsselt nach den entsprechenden Verwendungszwecken, aufgeführt. Die Berechnungsansätze der strombasierten Verwendungszwecke werden im Anhang 7.1.3 näher erläutert und konkretisiert. Die Ausgangslage für den elektrischen Energieverbrauch beruht auf den in Kapitel 1.3 erwähnten Grundlagen (SIA 2024, Experteneinschätzungen etc.) sowie eigenen Anpassungen und Berechnungen. Konkrete Hinweise zur Berechnung der Ausgangslage werden im Kapitel 2.4 für die jeweilige Verwendungszwecke beschrieben.

Bei Massnahmen mit geringer Wirkung, die Bestandteil eines Massnahmenpakets sind, erfolgt die Abschätzung, indem ein Wirkungsanteils am entsprechenden Massnahmenpaket abgeschätzt wird.

Die Resultate dieser Berechnungen und Abschätzungen sind in der Massnahmenliste im Anhang 7.7 aufgeführt.

2.4 Relevanzanalyse: Mengengerüst und Energieverbrauch pro Verwendungszweck

Eine wichtige Grundlage für die Bestimmung der gesamtschweizerischen Effizienz- und Emissionsreduktionspotenziale ist die energetische Relevanz der Verwendungszwecke. Gemeint sind energieverbrauchende Gebäudetechnikanwendungen, die einen sogenannten Energiedienst leisten, also z. B. Räume warm oder kühl halten, beleuchten, mit frischer Luft und Warmwasser versorgen³. Die damit verbundenen Energieverbräuche können also einem Verwendungszweck zugeordnet werden. Dazu werden auf die Definitionen des SIA Merkblatts 2024 sowie auf die Verwendungszweckanalysen des Bundesamts für Energie Bezug genommen (BFE 2014). Nachfolgend wird zunächst die Menge an Gebäuden und Räumen und deren Ausrüstungsgrad mit den verschiedenen Energieanwendungen entsprechend zusammenfassend dargestellt.

2.4.1 Energiebezugsflächen nach Gebäudekategorie und Bauperiode

Im zugrundeliegenden Gebäudeparkmodell, welches im Rahmen des BFE-Projekts GEPAMOD weiterentwickelt und auf eine neue datenseitige Grundlage gestellt wurde, sind diese Bezugsgrössen nach 18 Branchen, 44 Sub-Branchen und 45 Raumtypen differenziert. Diese Unterbranchen (siehe Tabelle 39 im Anhang) wurden für die Darstellung des Mengengerüsts gemäss Tabelle 6 zu den folgenden Branchengruppen bzw. Gebäudekategorien zusammengefasst: Wohngebäude, Bürogebäude und Schulgebäude. Die übrigen Unterbranchen wurden als Gruppe mit der Bezeichnung „Übrige Gebäudekategorien“ aggregiert. Der Industriesektor ist unter der Kategorie übrige Gebäudekategorien subsumiert. Von der Betrachtung ausgeschlossen ist der Landwirtschaftssektor.

Der Gebäudepark wies im Jahr 2010 einen Flächenbestand von rund 720 Mio. m² EBF auf. Ähnlich wie bei den Energieperspektiven des Bundes wächst der Gebäudepark netto um knapp 30% auf rund 980 Mio. m². Ein Teil des heutigen Bestandes wird zudem durch Neubauten ersetzt, so dass zwischen 2011 und 2050 ein Neubauvolumen von knapp 350 Mio. m² resultiert (Tabelle 6). Im Fokus der Betrachtung stehen die Wohn-, Büro- und Schulgebäude, d. h. rund 73 % des Gebäudebestands im Jahr 2010 bzw. rund 72 % des Gebäudeparks des Jahres 2050. Innerhalb der drei genannten Gebäudekategorien haben die Wohngebäude mengenmässig mit Abstand die grösste Bedeutung, sowohl 2010 (vgl. Abbildung 7) als auch 2050. Aufgrund des hohen spezifischen Stromverbrauchs erhalten jedoch

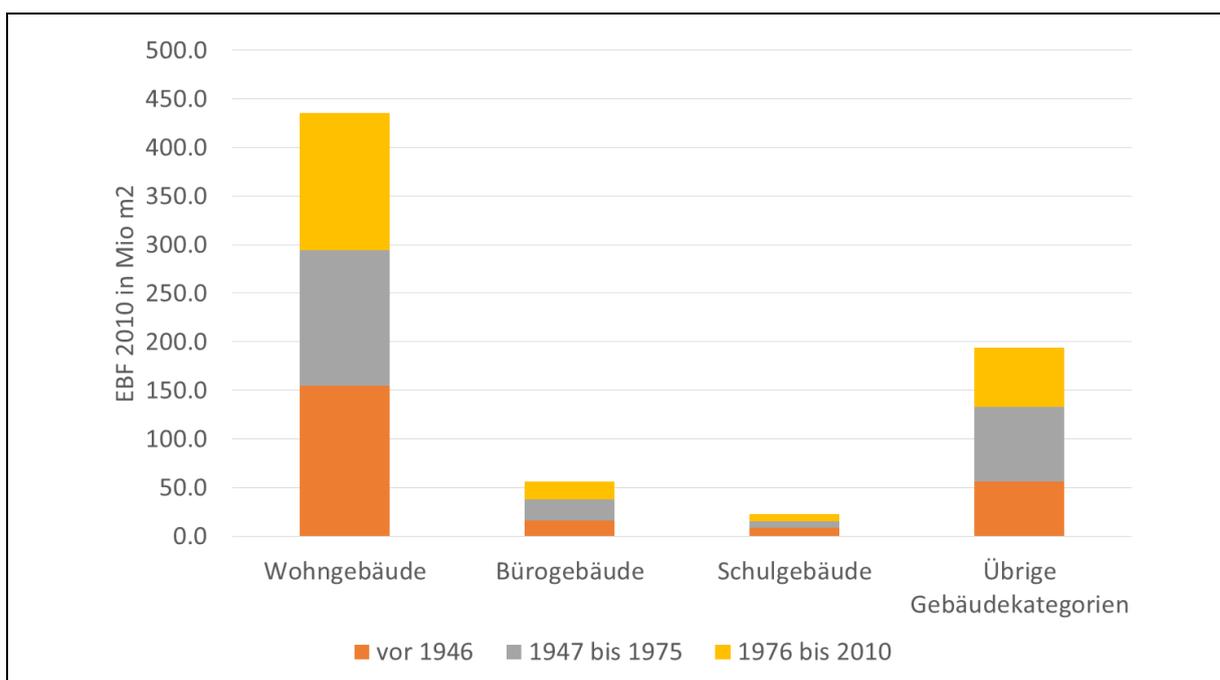
³ Dies kann jeweils unterschiedlich effizient erfolgen. Hier sind jedoch nicht Gebäudetechnikanwendungen gemeint, die rein der Effizienzsteigerung dienen; diese werden in den nachfolgenden Kapiteln behandelt.

die Nicht-Wohngebäude eine höhere Bedeutung, insbesondere im Bereich Stromeffizienzmassnahmen und beim Bewertungsindikator Primärenergie.

Tabelle 6 Zugrundeliegendes Mengengerüst: Gebäudebestand bis 2010 nach Bauperiode und Neubau bis 2050, nach Gebäudekategorien, in Mio. m². EBF (nicht höhenkorrigiert).

	Wohngebäude	Bürogebäude	Schulgebäude	Übrige Gebäudekategorien	Total
Enthaltene Unterbranchen	Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und andere Gebäude mit Wohnnutzungen	Banken und Versicherungen, öffentliche Verwaltung, Bürogebäude von weiteren Branchen des Dienstleistungssektors	Öffentliche und private Schulen der primären, sekundären und tertiären Bildung	Gross- und Detailhandel, Gesundheitswesen, diverse Dienstleistungsbranchen, Branchen des Industriesektor	
Bauperiode					
vor 1946	157.6	16.9	7.2	61.7	243.7
1947 bis 1975	141.7	20.5	10.5	66.2	238.9
1976 bis 2010	144.1	18.9	5.1	66.8	134.9
Total Bestand im Jahr 2010	443.4	56.3	23.0	194.7	717.5
Neubau 2011 bis 2050 (inkl. Ersatzneubau)	243.8	32.8	9.1	106.0	392.4
Total heutiger Bestand im Jahr 2050	364.8	44.6	18.1	162.0	589.5
Total Bestand 2050	608.6	77.4	27.2	268.6	981.8

Quelle: TEP Energy, Gebäudeparkmodell



Quelle: TEP Energy, Gebäudeparkmodell

Abbildung 7 Gebäudebestand im Jahr 2010 nach Bauperiode (EBF in Mio. m²).

2.4.2 Anteile von belüfteten und gekühlten Flächen

Im Unterschied zu den Verwendungszwecken *Raumwärme* und *Beleuchtung* ist bei der *Lüftung* und der *Klimakälte* der Ausrüstungsgrad relevant für die Abschätzung der Effizienzpotenziale. Grundsätzlich ist der Anteil der belüfteten und gekühlten Flächen abhängig von der Bauperiode, der Grösse, dem Standort sowie dem Sektor. Ausgehend von Feststellungen in Jakob et al. (2013), Ott et al. (2013), den Grundlagen im Modell TEP Tertiary und in den Expertenworkshops wurden diese Anteile für die gesamtschweizerische Situation festgelegt, was in Tabelle 7 und Tabelle 8 in Abhängigkeit der Bauperiode, der Grösse und dem Gebäudekategorie dargestellt ist. Die Standortabhängigkeit tritt insbesondere bei kleineren Gebäuden zwischen Stadt, Land und Agglomeration auf, wobei Experten davon ausgehen, dass Lüftungs- und Kälteanlagen im Neubau eher im städtischen Umfeld Verbreitung finden werden.

Es ist davon auszugehen, dass die belüftete Fläche weiter zunehmen wird. Zum einen ist dies auf die beträchtliche Menge an Neubauten zurückzuführen, welche bis 2050 zu erwarten sind, zum anderen auf den Umstand, dass Neubauten in der Regel einen höheren Ausrüstungsgrad mit Lüftungsanlagen aufweisen als der Gebäudebestand. Allerdings ist auch im Gebäudebestand von einem weiteren Anstieg des Ausrüstungsgrades auszugehen, insbesondere bei Nicht-Wohngebäuden.

Tabelle 7 Ausrüstungsgrad der Gebäude mit Lüftungsanlagen: Anteil der belüfteten Flächen nach Gebäudekategorie, Bauperiode und Gebäudegrösse. Grosse Gebäude sind definiert als Gebäude mit einer EBF > 1000 m².

Gebäudegrösse	Wohngebäude		Bürogebäude		Schulgebäude	
	EFH	MFH	gross	klein	gross	klein
vor 1946	0 %	0 %	50 %	15 %	15 %	5 %
1947 bis 1975	0 %	0 %	55 %	30 %	20 %	10 %
1976 bis 2009	10 %	5 %	80 %	35 %	30 %	15 %
Neubauten 2011 - 2030	35 %	25 %	100 %	60 %	35 %	20 %
Neubauten 2031 - 2050	50 %	50 %	100 %	65 %	40 %	25 %

Quelle: Jakob et al. (2013), Ott et al. (2013), TEP Tertiary, TEP Energy, Experteneinschätzungen

Tabelle 8 Ausrüstungsgrad der Gebäude mit Kälteanlagen: Anteil der gekühlten Flächen nach Gebäudekategorie, Bauperiode und Gebäudegrösse. Grosse Gebäude sind definiert als Gebäude mit einer EBF > 1000 m².

Gebäudegrösse	Wohngebäude		Bürogebäude		Schulgebäude	
	EFH	MFH	gross	klein	gross	klein
vor 1946	0 %	0 %	35 %	10 %	1 %	1 %
1947 bis 1975	0 %	0 %	40 %	25 %	5 %	2 %
1976 bis 2009	0 %	0 %	60 %	30 %	10 %	5 %
Neubauten 2011 - 2030	5 %	2 %	90 %	45 %	15 %	5 %
Neubauten 2031 - 2050	10 %	5 %	95 %	55 %	20 %	10 %

Quelle: Jakob et al. (2014), Ott et al. (2013), TEP Tertiary, TEP Energy, Experteneinschätzungen

Dieser Anstieg des Ausrüstungsgrades ist zum einen auf exogene Gründe wie erhöhte Komfortanforderungen und architektonische Trends (Gebäude mit hohem Glasanteil) und zum anderen auf Energieeffizienzmassnahmen (Lüftungen ermöglichen die Kontrolle des Luftwechsels und die Nutzung von Wärmerückgewinnung) zurückzuführen. So gesehen stellen Lüftungsanlagen sowohl eine energieverbrauchende Gebäudetechnik anwendung als auch eine Effizienzmassnahme dar.

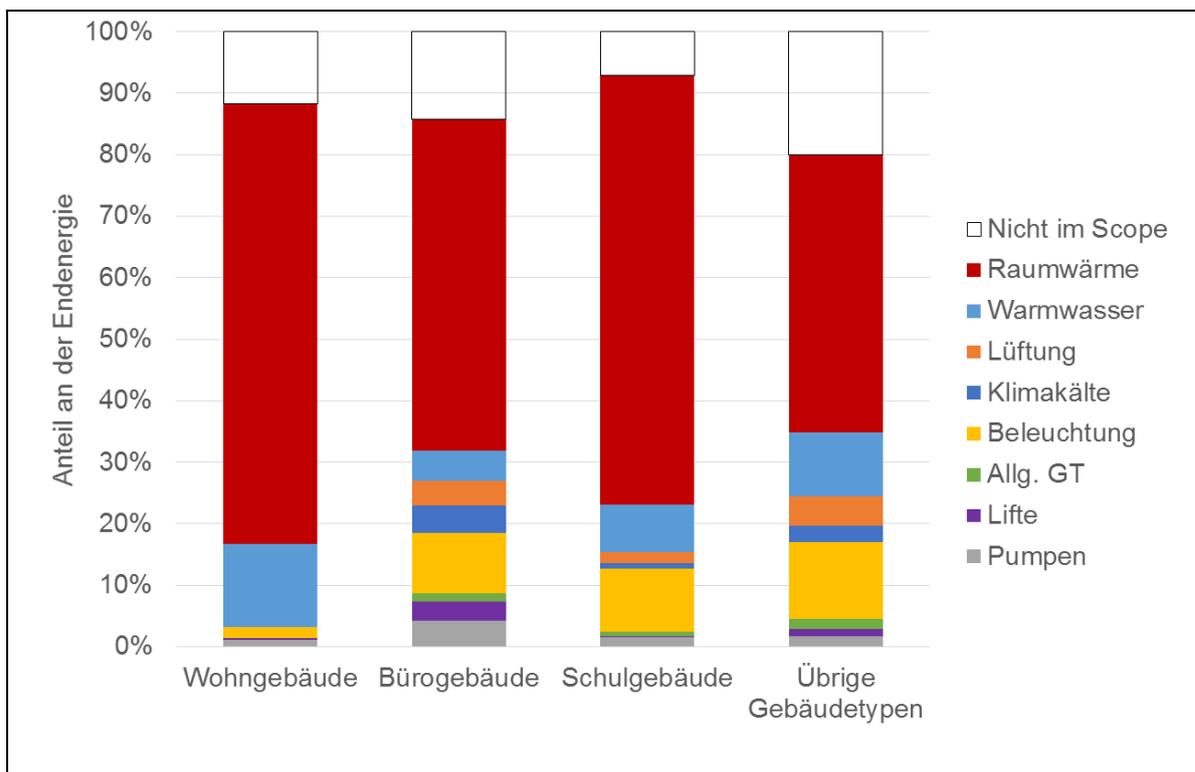
2.4.3 Energieverbrauch nach Verwendungszweck

Der **Energieverbrauch nach Verwendungszweck** ergibt sich aus dem oben dargestellten Mengengerüst und spezifischen Verbrauchswerten. Letztere stützen sich auf verschiedene Berechnungsansätze (siehe Kapitel 2.2.4) und orientieren sich an verschiedenen Grundlagen der SIA und des Gebäudeparkmodells (GPM). Diese spezifischen Verbrauchswerte werden in den nachfolgenden Kapiteln weitergehend konkretisiert, u. a. durch eine Einschätzung der bereits umgesetzten Gebäudetechnikmassnahmen. Die Berechnungsgrundlagen im Gebäudeparkmodell sind in einem iterativen Prozess angepasst worden, damit die resultierenden Endenergieverbräuche gesamtschweizerisch mit der Gesamtenergiestatistik übereinstimmen (vgl. dazu die Quervergleiche in Kapitel 7.4 im Anhang)

Bei den Wohn- und den Bürogebäuden entfallen gemäss Abbildung 8 rund 87 % des Endenergieverbrauchs auf die Verwendungszwecke *Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung, Allgemeine Gebäudetechnik, Lifte und Pumpen*; bei den Schulen rund 93 % und bei den übrigen Gebäudekategorien rund 79 %, wobei die industrielle Prozessenergie nicht Bestandteil der Bezugsgrösse ist. Diese Verwendungszwecke haben entsprechend eine hohe Relevanz, wobei der grösste Teil davon auf *Raumwärme* und *Warmwasser* entfällt.

Da der **Strom** primärenergieintensiver (vgl. PEF in Tabelle 4) und höherwertiger ist als die übrigen Energieträger, ist eine separate Betrachtung angezeigt. Wie in Abbildung 9 verdeutlicht, fällt beim Strom der Anteil der Gebäudetechnikanwendungen (GT-Anwendungen) in der Regel geringer aus als beim gesamten Endenergieverbrauch gemäss Abbildung 8, weil ein beträchtlicher Anteil des Stromes nicht für GT-Anwendungen verwendet wird, sondern z. B. in Geräten (vgl. nächster Abschnitt). Bei den Wohngebäuden machen die GT-Anwendungen nur rund die Hälfte des Stromverbrauchs aus. Bei Büro- und Schulgebäuden sind es zwischen 67 % und 72 % und bei den übrigen Gebäudekategorien rund 50 % (hierbei ist die industrielle Prozessenergie nicht Bestandteil der Bezugsgrösse), die auf GT-Anwendungen entfallen. Bei den Wohngebäuden haben wiederum *Raumwärme* und *Warmwasser* eine grosse Bedeutung in Form von Elektrodirektheizungen, Wärmepumpen, Elektroboilern und Pumpen im Bereich Wärmeverteilung. Innerhalb der übrigen GT-Anwendungen hat die *Beleuchtung* die grösste Bedeutung, vor allem bei den Nicht-Wohngebäuden, gefolgt von *Lüftung* und *Klimakälte*. Vor allem bei den Nicht-Wohngebäuden ist es also erforderlich, eine Vielzahl von GT-Anwendungen und -massnahmen einzubeziehen, um einen relevanten Anteil der energetischen Verwendungszwecke abzudecken zu können.

Der relativ grosse Verbrauchsanteil ausserhalb des Projektgegenstands bei den Wohngebäuden betrifft v. a. Haushaltgeräte aus den Bereichen Küche, Wäsche sowie Information, Kommunikation und Unterhaltung. Bei den Nicht-Wohngebäuden kommen die Prozesskälte sowie branchenspezifische Grossgeräte (z. B. im Gesundheitswesen) dazu.



[TWh]	Wohngebäude		Bürogebäude		Schulgebäude		Übrige Gebäudekategorien		Alle Gebäudekategorien	
Raumwärme	58.7	72%	4.9	54%	2.4	70%	9.8	45%	75.7	65%
Warmwasser	11.2	14%	0.5	5%	0.3	8%	2.3	10%	14.1	12%
Lüftung	0.0	0.0%	0.4	4%	0.1	2%	1.0	5%	1.5	1%
Klimakälte	0.01	0.0%	0.4	4%	0.0	1%	0.6	3%	1.0	1%
Beleuchtung	1.4	2%	0.9	10%	0.4	10%	2.7	12%	5.3	5%
Allg. GT	0.1	0%	0.1	1%	0.0	1%	0.4	2%	0.6	1%
Pumpen	0.9	1%	0.4	4%	0.1	1%	0.4	2%	1.7	1%
Lifte	0.2	0.2%	0.3	3%	0.0	0%	0.2	1%	0.7	1%
Nicht im Scope	9.6	12%	1.3	14%	0.2	7%	4.4	20%	15.5	13%
Total	82.0	100%	9.0	100%	3.4	100%	21.7	100%	116.2	100%

Quelle: TEP Energy, Gebäudeparkmodell

Abbildung 8 Gesamtschweizerischer Endenergieverbrauch 2010 (alle Energieträger) nach Gebäudekategorie und Verwendungszweck in TWh (Tabelle) und prozentualem Anteil am Total (Abbildung und Tabelle).

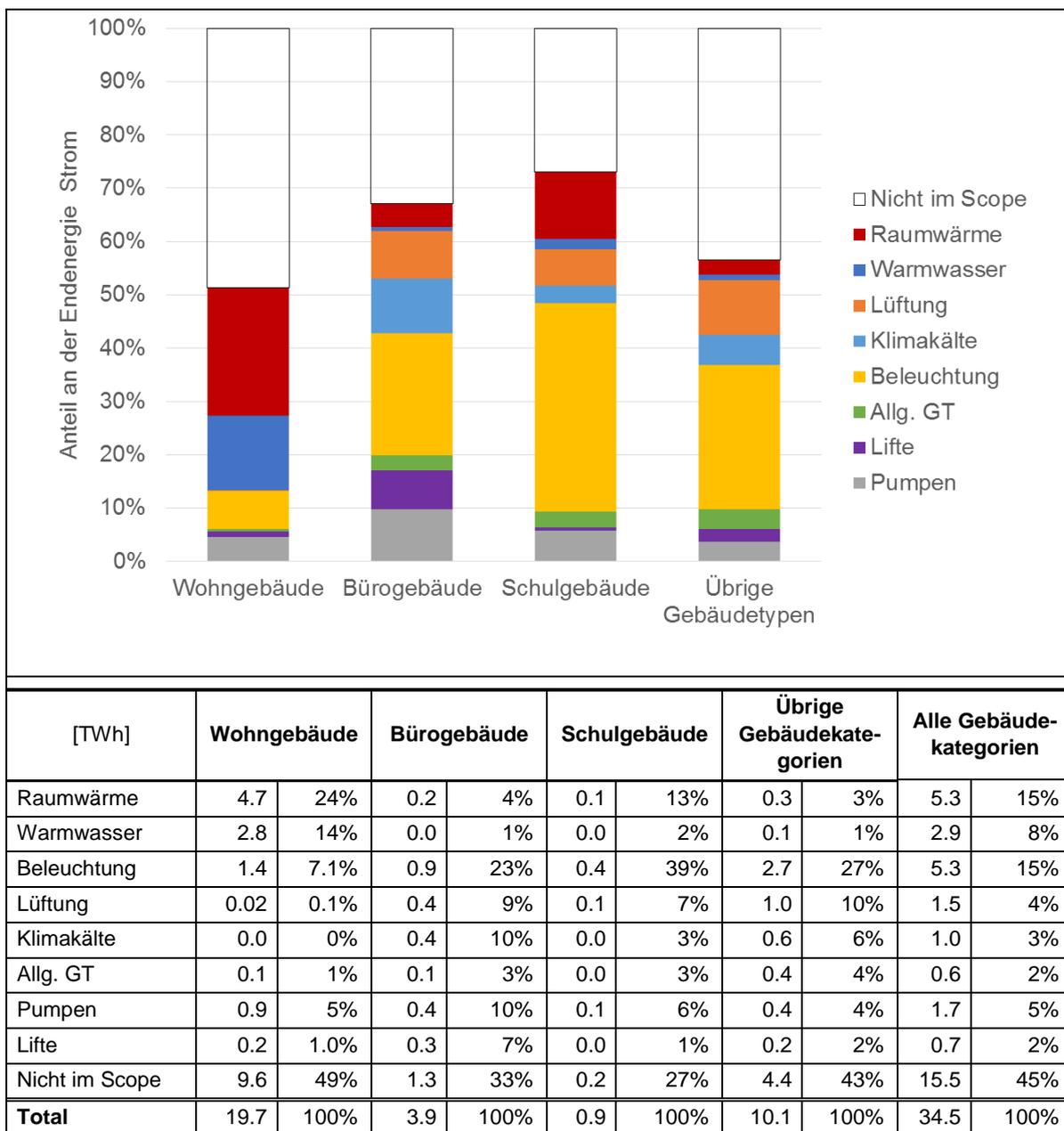


Abbildung 9 Stromverbrauch 2010 nach Gebäudekategorie und Verwendungszweck in TWh (Tabelle) und prozentuellem Anteil am Total (Abbildung und Tabelle).

2.5 Gruppierung und Strukturierung der Gebäudetechnikmassnahmen

Im Hinblick auf die Quantifizierung der Potenziale und die dafür adäquaten Berechnungsmethoden sowie auf die weitere Verwendung der Ergebnisse wurden die Gebäudetechnikmassnahmen mittels folgender Kriterien gruppiert und strukturiert:

- Nach **Verwendungszweck**: *Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung und Allgemeine Gebäudetechnik.*
- Nach **Anwendungsbereich**: bei Neubauten oder im Bestand als Nachrüstung oder Erneuerung im Erneuerungszyklus sowie als betriebliche Massnahme.
- Nach **Massnahmentyp**: planerisch, investiv oder betrieblich (vgl. Kapitel 2.3.1).

Die Verwendungszwecke ergeben sich aus der Systematik der Gebäudetechnikgewerke, die sich auch im Merkblatt SIA 2024 und in der Struktur des Gebäudeparkmodells widerspiegeln. Die berücksichtigten Verwendungszwecke sind unten in Tabelle 9 aufgeführt. Bei den Gebäudetechnikmassnahmen werden zwei grundsätzliche Massnahmentypen unterschieden, nämlich Massnahmen zur Reduktion der installierten Leistung sowie Massnahmen zur Reduktion der Volllaststunden. Eine Wirkung auf die installierte Leistung kann beispielsweise durch eine angepasste Konzeption und Planung sowie effizientere Gebäudetechnikelemente und Anlagen erreicht werden. Die Wirkung auf die Volllaststunden umfasst vor allem Massnahmen im Bereich der bedarfsgerechten Steuerung und Regelung, z. B. mittels Gebäudeautomation (GA) oder im Bereich energetischer Betriebsoptimierungen (eBO).

Als Ausgangslage für die Erstellung eines kohärenten Massnahmensets, welches im Anhang 7.7 in Form der umstrukturierten Massnahmenliste aufgeführt ist, diente die Massnahmenliste der KGTV. In einem iterativen Prozess wurden diese Massnahmen strukturiert und inhaltlich sich überschneidende oder gleiche Massnahmen zusammengefasst. Massnahmen, welche sich nicht innerhalb der Systemgrenze befinden (vgl. Kapitel 2.1), z. B. weil die Massnahmen steckbare Geräte betreffen oder weil es sich um Instrumente handelt, sind der Vollständigkeit halber am Ende der Liste aufgeführt (weitere konkrete Anmerkungen zur Umstrukturierung befinden sich im Anhang 7.6).

Um Verwechslungen zu vermeiden, wurde eine neue Nummerierung wie folgt eingeführt: T.Xy, wobei T für TEP steht, y die Nummer bezeichnet und X für den jeweiligen Bereich steht mit B für Beleuchtung, G für Allgemeine Gebäudetechnik, T für Transport und Lifte, W für Raumwärme, A für übergreifende Gebäudeautomation, K für Klimakälte, L für Lüftung S für Sanitär/Warmwasser.

Tabelle 9 Strukturierung der Gebäudetechnikmassnahmen anhand ausgewählter Beispiele.

Verwendungszweck	Massnahmen zur Reduktion der installierten Leistung		Massnahmen zur Reduktion der Volllaststunden	
	Konzeption & Planung	Effiziente Technik	Inbetriebnahme, energetische Betriebsoptimierung und Wartung	Steuerung & Regelung
Raumwärme	Adäquate Dimensionierung, Ersatz fossiler Heizsysteme (T.W01)	Effizienzsteigerung von Wärmepumpen (T.W04, TW.24), Ersatz Elektroheizungen (T.W02)	eBO Heizung, Hydraulischer Abgleich (T.W07)	Regelung der Vorlauftemperaturen (T.W17,T.W27)
Warmwasser	Warmwasserverteilung (T.S03)	Ersatz Elektroboiler durch WP-Boiler (T.S02)	eBO Warmwasser	Regelung der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern (T.S08)
Klimakälte	Verdunstungskühler (T.K03)	Effiziente Kälteerzeuger (T.K04), Sonnenschutz	eBO Kälte (T.K08), Systemoptimierung Kältesystem, Sonnenschutz Einsatz	Variable Kühlkreistemperatur (T.K07), Free cooling (T.L20)
Lüftung	Dichte Luftverteilsysteme (T.L12), Optimale Luftleitungsführung (T.L11)	Grössere Monoblocs (T.L01)	eBO Lüftung (T.L27)	Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung (T.L23)
Beleuchtung	Beleuchtung der Hauptsehaufgabe (T.B02)	Effiziente Leuchten (T.B01)	Betriebskontrolle und Inbetriebnahme Sensorik (T.B09)	Tageslichtabhängige Beleuchtungsstärke (T.B06)
Allgemeine Gebäudetechnik	Diverse Effizienzmassnahmen	Diverse Effizienzmassnahmen	Betrieb Energiemanagementsystem (EMS) und Durchführung Eventmanagement	Gewerke übergreifende Gebäudeautomation

Quelle: TEP Energy

Bezugnehmend zur allgemeinen Darstellung der Szenario-Einflussfaktoren in Kapitel 2.2.2, konzentriert sich die durch Gebäudetechnikmassnahmen (GTM) direkt beeinflussbare Energie- und Emissionsentwicklung der Szenarien auf die folgenden Anwendungsfelder:

- Investitionsentscheide bei Neubauten
- Ersatz im Erneuerungszyklus (Substitution von Energieträgern, effizientere Anlagen etc.)
- Nachrüstungsmassnahmen
- Betriebliche Effizienzmassnahmen

Der jeweils spezifische Wirkungsmechanismus wird in Tabelle 10 kurz beschrieben. Die ersten beiden Anwendungsfelder in Tabelle 10 (Neubau und Nachrüsten von Gebäuden mit neuen Energiediensten) erhöhen zunächst die Energienachfrage, um neue Bedürfnisse zu decken (mehr Wohn- und Nutzfläche, mehr Lüftungen und Klimakälte). In beiden Feldern können je nach Szenario Gebäudetechnikmassnahmen umgesetzt werden, um den Anstieg der Energienachfrage und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen zu dämpfen. Beim Anwendungsfeld „Ersatz im Erneuerungszyklus“ können die Energieeffizienz gesteigert und die Emissionen durch geeignete Massnahmen reduziert werden, indem effizientere oder funktionell erweiterte Anwendungen eingesetzt und emissionsärmere Energieträger verwendet werden. Beim Anwendungsfeld Nachrüstungsmassnahmen handelt es sich um (i. d. R.) technische Massnahmen, um die Energieeffizienz von bestehenden Anwendungen zu erhöhen. Mit inbegriffen sind auch steuer-, mess- und regeltechnische Nachrüstungen. Zum Teil sind für die Entfaltung der Wirkung betriebliche Massnahmen erforderlich. Umgekehrt können Nachrüstungsmassnahmen eine Voraussetzung für betriebliche Massnahmen sein.

Tabelle 10 Generelle Umschreibung der Unterschiede zwischen Referenz- und Effizienzscenario bezogen auf Neubau und Bestand.

Anwendungsfelder	Beispiel	Referenz	Effizienz
Neubau	Gesamte Gebäudetechnik	Gesetzliche Vorgaben (namentlich MuKE n 2014), Standardvorgehen	Über MuKE n und Standard hinausgehende Effizienzmassnahmen (bis Best Practice)
Gebäudebestand: Nachrüsten (Diffusion von neuen Energiediensten aus dem Bereich Gebäudetechnik)	Einbau von neuen Lüftungs- oder Klimakälteanlagen im Bestand (der bisher nicht damit ausgerüstet war) zur Komforterrhöhung	Standardvorgehen, gesetzliche Vorgaben (falls zutreffend)	Darüber hinausgehende Effizienz- und Substitutionsmassnahmen
Gebäudebestand: Ersatz im Erneuerungszyklus	Ersatz von Lüftungsanlagen (Monobloc), Kältemaschinen, Verteilungen etc.	«Eins zu Eins»-Ersatz, Stand der Technik, evtl. gesetzliche Vorgaben	Darüber hinausgehende Effizienzmassnahmen bis hin zu Best Practice
Gebäudebestand: Nachrüstungsmassnahmen	Nachrüsten von WRG, Frequenzumformern (FU), Bewegungsmeldern GA etc. in/an bestehenden Lüftungsanlagen	Kein Einbau / Einsatz von Nachrüstungsmassnahmen	Nachrüstung mit Effizienzmassnahmen
Gebäudebestand und Neubau: Betriebliche Massnahmen	Energetische Betriebsoptimierung (eBO), Nutzung vorhandener oder neuer GA, etc. in/an bestehenden Lüftungsanlagen	Keine eBO bzw. normale Wartung, keine oder suboptimale Nutzung von GA	Energetische Betriebsoptimierung, GA

Quelle: TEP Energy

3 Charakterisierung der Gebäudetechnikmassnahmen

Kapitel 3.1 bis 3.6 beschreibt die getroffenen quantitativen Annahmen und qualitativen Bewertungen der Massnahmen der verschiedenen Verwendungszwecke. Dabei wird zum einen auf den aktuellen Ist-Zustand und zum anderen auf die möglichen zukünftigen Entwicklungen eingegangen, letztere differenzierend zwischen zwei Szenarien. Technische und ökonomische Kennwerte, welche die Grundlage und Datenbasis der Modellberechnung im Gebäudeparkmodell (GPM) darstellen, werden entweder in diesem Kapitel oder im Kapitel 7.2 im Anhang erläutert.

Um eine solide Modellierungsbasis zu erhalten, wurden die Massnahmen teilweise zu aggregierten Massnahmenpaketen zusammengefasst, für welche Berechnungsgrundlagen zur Verfügung stehen. Die Beschreibung dieser Massnahmen(-pakete) erfolgt unten in Kapitel 3.1 bis 3.6 und orientiert sich an folgender Struktur:

- **Ausgangslage:** Beschreibt den Ist-Zustand der Massnahme oder des Massnahmenpakets. Ausgehend davon werden die verbleibenden Potenziale umrissen.
- **Massnahme / Massnahmenpaket:** Beschreibt die Zuordnung der Massnahmen zum Massnahmenpaket und beschreibt deren Bedeutung in energetischer Hinsicht. Es werden Hinweise für die Anwendbarkeit der Massnahmen bezüglich der Gebäudekategorien oder Räume gegeben sowie Grundlagen und Annahmen im Zusammenhang mit den Energieeinsparpotenzialen ausgewiesen.
- **Referenzszenario:** Beschreibt die Entwicklung im Referenzszenario gemäss Definition im Kapitel 2.2.1 und deklariert die Annahmen zum Marktanteil und Durchdringungsgrad.
- **Effizienzzenario:** Beschreibt die Unterschiede zum Referenzszenario und die zugrundeliegenden Annahmen zum Durchdringungsgrad im Effizienzzenario.

3.1 Massnahmen beim Verwendungszweck *Raumwärme*

Im Wärmebereich bestehen Einsparpotenziale durch Effizienzmassnahmen in den Bereichen Luftwechsel und Wärmerückgewinnung, Wärmeverteilung und -abgabe, Heizungsregelung inkl. Gebäudeautomation, Effizienzsteigerung von Wärmepumpen sowie durch Substitutionsmassnahmen bei den eingesetzten Energieträgern. Dabei sind Massnahmen im Bereich Gebäudehülle nicht Projektgegenstand. Die Effizienzeinsparungen durch optimierte Pumpen werden in dieser Studie als Bestandteil der Allgemeinen Gebäudetechnik quantifiziert (vgl. Kapitel 3.6). Im Verwendungszweck *Raumwärme* werden somit die folgenden Massnahmenpakete quantifiziert oder qualitativ beurteilt:

- Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen (T.L03, T.L13, T.L12, T.A07, T.L32).
- Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Heizanlagen (T.W29)
- Effizienzsteigerung von Wärmepumpen (T.W28, T.W04, T.W24)
- Effiziente Wärmeabgabe (T.W14, T.W10)
- Energetische Betriebsoptimierung Heizung (T.W25, T.W07, T.W12, T.W13, T.W26)
- Gebäudeautomation Heizung (T.W16, T.W17, T.W20, T.W22, T.W23, T.W27)
- Substitution von fossilen Energieträgern (T.W01, T.W02)
- Einsatz von Biogas-WKK (T.W03)

Diese Massnahmen werden im den folgenden Unterkapitel im Einzelnen erläutert.

Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen

Ausgangslage: Ein Teil des Raumwärmebedarfs wird durch den Luftwechsel (thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom) verursacht. Je nach Gebäudekategorie beträgt dieser Anteil zwanzig Prozent (bei alten ungedämmten Gebäuden) bis über fünfzig Prozent (effiziente Neubauten) bzw. 50 bis über 100 MJ/m², (siehe Jakob et al., 2002). Damit kommt dem Luftwechsel energetisch eine ähnlich

hohe Bedeutung zu wie die Warmwasserversorgung. Der Luftwechsel erfolgt derzeit hauptsächlich über Fensteröffnungen (Grossteil der Wohngebäude) und über Lüftungsanlagen (nebst Undichtigkeiten aller Art in der Gebäudehülle). Sowohl im ersteren und etwas weniger im letzteren Fall bestehen substantielle Effizienzpotenziale durch Nachrüstungsmassnahmen und durch die Verbesserung bestehender Anlagen.

Massnahmenpaket: Obwohl die Massnahmen *Optimierte Wärmerückgewinnung* (T.L03), *Dämmung von Luftkanälen* (T.L13) und *Abdichtung von Luftverteilsystemen* (T.L12) ein Teil der Lüftungsanlagen ist, wird durch diese der Heizwärmebedarf reduziert. Anwendbar sind diese Massnahmen auf Gebäude mit Lüftungsanlagen, d. h. auf einen relativ geringen Anteil bei den Wohngebäuden und auf einen substantiellen Anteil bei den Nicht-Wohngebäuden. Bezugnehmend auf den jeweiligen Stand der Technik und der bereits erfolgten Umsetzungen werden die Massnahmen wie folgt charakterisiert:

- Bei Wärmerückgewinnungsanlagen geht es um die Erhöhung des Wirkungsgrades über die gesetzlich vorgeschriebenen Normwerte (nach MuKE) hinaus, wobei die Durchführbarkeit im Einzelfall geprüft werden muss. Experten nehmen an, dass die thermischen Wirkungsgrade der Anlagen von 55 % bei bestehenden Anlagen mit einem Alter von mehr als zehn bis fünfzehn Jahren bis auf 75 % (Referenzszenario) bzw. 85% (Effizienzszenario) gesteigert werden können (als Jahresmittelwert gesehen). Es muss beachtet werden, dass durch den Einsatz einer effizienteren Wärmerückgewinnung (WRG) die Druckverluste im Lüftungssystem jedoch wieder steigen. Es existieren zudem immer noch Grossanlagen ohne WRG. Es ist davon auszugehen, dass im Referenzfall bis ins Jahr 2050 bereits ein grosser Teil der Anlagen einen guten Stand der Technik aufweisen wird (75% WRG-Ng) und die Massnahmen zusätzlich in rund 30 % der Gebäude mit Lüftungsanlagen ergriffen werden kann.
- Durch die *Dämmung von Luftkanälen* (T.L13) und durch die *Abdichtung von Luftverteilsystemen* (T.L12) kann bei der Wärmeverteilung im Bereich der Lüftungsanlagen ein Teil der Verluste eingespart werden. Über alle Gebäudekategorien gesehen betreffen diese nur einen relativ geringen Anteil der gesamten Wärmeverteilung, weil der Grossteil der Verteilung über hydraulische Systeme erfolgt (auch weil ein Grossteil der Gebäude nicht mit Lüftungen ausgerüstet ist).
- Massnahmen im Verwendungszweck Lüftung, welche den thermisch wirksamen Luftvolumenstrom beeinflussen, wirken indirekt auf den Raumwärmebedarf (vgl. dazu Tabelle 49 im Anhang zur Zuordnung der Massnahmen auf die energiebestimmenden Einflussgrössen).
- Zusätzlich kann im Winter eine thermische Effizienzsteigerung mittels einer *Zeitautomatik der Storensteuerung* (T.A07) erreicht werden, da dadurch die Dämmung im Bereich der Fenster erhöht und unnötiges Schliessen der Storen bei nutzbarer Sonneneinstrahlung verhindert wird. Allerdings ist die Wirkung der Dämmung durch Storen bei modernen Fenstern ($U\text{-Wert} < 1 \text{ W/m}^2\text{K}$) minimal und bei den meisten Storentypen vernachlässigbar. Nur bei dichten, seitlich geführten Storen ist eine signifikante Erhöhung der Temperatur im Zwischenraum möglich.

Referenz- und Effizienzscenario: Modelliert wird das Massnahmenpaket als Teil der Effizienzverbesserungen des Wärmemoduls des Gebäudeparkmodells. Die Abschätzung orientiert sich dabei an einer Hochrechnung von typischen Einsparungen durch WRG-Anlagen mit erhöhten Wirkungsgraden, wie oben erläutert. Die Potenziale der Luftkanäle werden als Teil dieser Effizienzverbesserungen quantifiziert.

Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Anlagentypen

Ausgangslage: Bei den feuerungsbasierten Anlagentypen (Öl- und Gasheizungen) wurden in den letzten Jahrzehnten kontinuierliche Verbesserungen erreicht, zuletzt durch die Einführung der Kondensationstechnik, zunächst bei Gasheizungen (ab Ende der 1990er Jahre) und dann bei den Ölheizungen (ca. zehn Jahre später). So ist zunächst bei den Gaskesseln und nachfolgend bei den Ölkesseln bezüglich der Jahresnutzungsgrade (JNG) von neuen Anlagen eine Sättigung erreicht worden. Dies bedeutet, dass der energetische Nutzungsgrad künftig nur noch geringfügig verbessert werden kann (vgl. dazu Abbildung 17 im Anhang).

Massnahmenpaket: Die Steigerung des JNG von Feuerungsanlagen ist eine potenziell wichtige Massnahme, weil ein grosser Bestandteil des Gebäudeparks von solchen Anlagen beheizt wird und *Raumwärme* und *Warmwasser* eine hohe energetische Bedeutung haben (vgl. Kapitel 2.1.1). Der durchschnittliche Jahresnutzungsgrad kann erhöht werden, wenn bestehende alte Anlagen durch solche mit einem besseren Wirkungsgrad ersetzt werden (namentlich durch solche mit Kondensationstechnik) und wenn bei Ersatz und Neubau die Anlagen gut konzeptioniert und dimensioniert werden. Der Wirkungsgrad von zentralen Holzheizungen könnte allenfalls in Zukunft durch die *Abgaskondensation* bei nassen Brennstoffen (T.W29) zusätzlich gesteigert werden. Voraussetzungen dafür sind Heizsysteme mit tiefen Vorlauftemperaturen (wie Flächenheizungen) oder die Kopplung mit Wärmepumpen.

Referenzszenario: In der aggregierten Betrachtung ergeben sich zwischen 2010 und den folgenden Jahren weitere Verbesserungen des durchschnittlichen Nutzungsgrades des Anlagenbestandes. Die Verbesserung ergibt sich durch den besseren Wirkungsgrad von neuen Anlagen, welche bei Ersatz und Neubau eingesetzt werden.

Effizienzzenario: Wir gehen davon aus, dass die bereits im Referenzszenario unterstellte Entwicklung nicht wesentlich beschleunigt werden kann. Unter Umständen könnte ein Teil der Eigentümer dazu bewegt werden, ihre Anlagen nach Ablauf der typischen Abschreibungsfristen (15 bis 20 Jahre) und vor dem Erreichen der technischen Lebensdauer (20 bis 25 Jahre) vorzeitig zu ersetzen. Die wirtschaftlichen Vorteile und der Effizienzgewinn eines solchen Vorzugs sind jedoch eher gering und in ihrer Wirkung zeitlich begrenzt. Gegenüber dem Referenzszenario ist beim Jahresnutzungsgrad von neuen Anlagen von keiner Verbesserung auszugehen, da bereits bei den heute eingesetzten neuen Anlagen eine Sättigung bezüglich der Verbesserung erreicht worden ist. Wir gehen deshalb im Referenz- und im Effizienzzenario im Jahr 2050 von denselben Nutzungsgraden aus. Bei Holzheizungen wird von einer um 10 % gesteigerten Effizienz durch die Abgaskondensation ausgegangen.

Effizienzsteigerung von Wärmepumpen

Ausgangslage: Wärmepumpen werden sowohl im Verwendungszweck *Raumwärme* (als auch im Verwendungszweck *Warmwasser*) eine zunehmende Bedeutung erlangen, vor allem im Effizienzzenario. Wärmepumpen könnten zum wichtigsten Heizsystem mit dem grössten Marktanteil werden. Entsprechend nimmt auch die Bedeutung eines hohen Nutzungsgrades zu, damit die Substitutionswirkung (T.W01 und T.W02) gesteigert werden kann.

Massnahmenpaket: Im Unterschied zu den feuerungsbasierten Anlagentypen sind im Bereich Wärmepumpen auch bei den Produkten und bei Neuanlagen weitere technische Verbesserungsmöglichkeiten erschliessbar. Zum einen kann das WP-Aggregat (inkl. Hilfssysteme) verbessert werden (abstrakt formuliert: der Gütegrad gesteigert) und zum anderen lässt sich die Jahresarbeitszahl (JAZ) durch eine Reduktion der Vorlauftemperatur und entsprechend dafür erforderlichen Massnahmen am System und am Gebäude steigern. Bei Wohngebäuden kann ein Teil der Steigerung des Gütegrades durch *Wärmepumpen System-Module* (T.W04), d. h. optimal aufeinander abgestimmte Komponenten, erfolgen. Im Fall der Erdsonden-WP kann u. U. auch die *Regeneration der Wärmequelle* (T.W24) bei Erdsondenfeldern durch Solarenergie oder Abwärme helfen, die JAZ zu steigern. Es wird zwischen 6 Wärmepumpen-Typen unterschieden: Erdsonden-Wärmepumpen, Grundwasser-Wärmepumpen, Flusswasser-Wärmepumpen, Seewasser-Wärmepumpen, ARA-Wärmepumpen und Luftwärmepumpen. Diese Differenzierung ist notwendig, da die verschiedenen Wärmepumpentypen unterschiedliche Betriebspunkte (unterschiedliche Quellentemperaturen), unterschiedliche Nebenverbräuche (z. B. für die Umwälzpumpe) und unterschiedliche Gütegrade der Geräte aufweisen.

In Zusammenhang mit dem Einsatz von Erdsonden- und Grundwasser-WP sind die Knappheit von Erdwärme und Grundwasser in dicht besiedeltem Gebiet sowie rechtliche und technische Restriktionen zu deren Erschliessung zu beachten (bei den Erdwärmesonden kann dies durch entsprechende Massnahmen, namentlich die Regeneration der Wärmequelle, kompensiert werden, (siehe Wagner 2014). Das Potenzial von Fluss- und Seewasser nutzende WP ist vor allem durch die örtliche Nicht-Verfügbarkeit eingeschränkt. Bis zu einem gewissen Mass kann diese Einschränkung durch Fernwärmeverbunde bzw. Energienetze überwunden werden (siehe z. B. die Städte Genf und Zürich, beschrieben u. a. in Jakob et al. 2013, Jakob et al. 2015b).

Referenzszenario: Im Referenzszenario ist von einer Steigerung des Gütegrads von rund 10 % bis 2050 (im Vergleich zu heute) und einer Steigerung von rund 5 % - 10 % aufgrund geringerer Vorlauf-temperaturen auszugehen, so dass sich im Einzelfall je nach WP-System ein Gesamteffekt von 15 % bis gut 20 % ergibt.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird gegenüber dem Referenzszenario eine zusätzliche Steigerung des Gütegrads von rund 5 % unterstellt. Ein Teil dieser Steigerung ist bei Wohngebäuden auf den Einsatz von WP System-Modulen zurückzuführen. Zusammen mit der weiteren Senkung der Vorlauf-temperaturen ergibt sich im Einzelfall je nach WP-System ein Gesamteffekt von 13 % (Gebäudebestand) bis gut 20 % (im Neubau) in Bezug auf die JAZ.

Die JAZ der verschiedenen WP-Systeme sind für die Ausgangslage und für die beiden Szenarien in Tabelle 11 dokumentiert (die Grundlagen zu diesen Annahmen sind in Kapitel 7.2.1 im Anhang dokumentiert).

Tabelle 11: Annahmen für die Jahresarbeitszahl (JAZ) von Wärmepumpen für die Ausgangslage, sowie für die beiden Szenarien im Jahr 2050 (Systemgrenze Wärmeerzeugung). T_{VI} bezeichnet die Vorlauf-temperatur.

Wärme- pumpen Typ	Ausgangslage 2010		Referenzszenario 2050		Effizienzzenario 2050	
	JAZ Bestand ($T_{VI} = 60\text{ °C}$)	JAZ Neubau ($T_{VI} = 35\text{ °C}$)	JAZ Bestand ($T_{VI} = 55\text{ °C}$)	JAZ Neubau ($T_{VI} = 35\text{ °C}$)	JAZ Bestand ($T_{VI} = 50\text{ °C}$)	JAZ Neubau ($T_{VI} = 30\text{ °C}$)
Erdsonde	2.6	3.7	3.0	4.4	3.4	5.1
Grundwasser	2.9	4.4	3.4	5.5	3.9	6.5
Fluss	2.7	3.8	3.1	4.6	3.5	5.4
See	2.6	3.7	3.0	4.4	3.4	5.1
ARA	2.7	3.9	3.1	4.7	3.5	5.4
Luft	2.3	3.2	2.7	3.8	2.9	4.5

Quelle: TEP Energy, WS.

Effiziente Wärmeabgabe

Ausgangslage: Die Wärmeabgabe erfolgte in Wohngebäuden bis in die 1980er-Jahre über Radiatoren, danach zunehmend über Fussbodenheizungen. Wand- und Deckenheizungen, thermoaktive Bauteile (TABS) und kombinierte Heiz- und Kühldecken, welche seit den 1990er-Jahren v. a. in Bürogebäuden eine zunehmende Bedeutung erlangten.

Massnahmenpaket: Die Massnahme T.W14 besteht im Einbau von Flächenheizungen oder kombinierten Flächenheizungen bzw. in der Sanierung von bestehenden Systemen. Die Verwendung von Flächenheizungen ermöglicht insbesondere bei Wärmepumpen eine tiefere Vorlauf-temperatur und damit einen geringeren Temperaturhub zwischen Wärmeabgabe und Wärmequelle, was höhere Jahresnutzungsgrade ermöglicht. Bei bestehenden Anlagen liegt ein Sanierungspotenzial vor. Auch die Massnahme *Heizkörper ersetzen* (T.W08) zielt darauf ab, die Vorlauf-temperatur im Heizsystem zu senken (z. B. von 60 °C auf 45 °C oder weniger), besitzt jedoch nach Expertenmeinung wenig Energieeinsparpotenzial. Flächenkühlungen werden in diesem Massnahmenpaket nicht separat quantifiziert, sind jedoch ein wichtiger Bestand der Massnahme „Anpassung der Systemtemperaturen bei Kältesystemen“.

Referenzszenario: Dem Referenzszenario wird keine zusätzliche Steigerung der Jahresnutzungsgrade durch Flächenheizungen unterstellt.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario wird davon ausgegangen, dass der Einbau und die Sanierung von Flächenheizungen zu der in Tabelle 11 aufgeführten Steigerung der Jahresnutzungsgrade von Wärmepumpen beiträgt.

Energetische Betriebsoptimierung Heizung

Ausgangslage: Klassische Betriebsoptimierungsmassnahmen von Gebäudeleit- und GA-Systemen bieten laut Experten vor allem im Gebäudebestand und bei Gebäuden mit zeitlich rasch wechselnder Nutzung sowie bei anspruchsvollen Situationen (z. B. hohe interne und externe Wärmelasten, Kühl- und Wärmebedarf) grosse Potenziale und stellen eine nicht zu unterschätzende Energieeinsparmöglichkeit dar.

Massnahmenpaket: Von Bedeutung sind insbesondere die Massnahmen *Energetische Betriebsoptimierung von Heizanlagen* (T.W25) und der *hydraulische Abgleich* (T.W07) (wobei Letzteres auch bei Pumpen relevant ist). Dazu zählen unter anderem das richtige Einstellen der Heizkurven bei Bodenheizungen und TABS oder das Absenken/Abschalten der Heizung bei nicht benutzten Räumen.

Die *Reinigung von Wärmetauschern* (T.W12) kann für grössere Lüftungsanlagen von Relevanz sein, wobei das Energieeinsparpotenzial von der Verschmutzung abhängig ist.

Referenzszenario: Im Referenzszenario wird von keiner zusätzlichen Durchdringung von GA und eBO Massnahmen ausgegangen.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird eine Reduktion der Endenergie um rund 4–8 % durch den Einsatz der eBO Massnahmen unterstellt. Diese Einschätzung orientiert sich an den GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei der Heizung gemäss SIA 386.110 (vgl. Tabelle 57 im Anhang) und Annahmen zu den Durchdringungsgraden, dies je differenziert nach Gebäudetypen.

Gebäudeautomation Heizung

Ausgangslage: Nach Experteneinschätzung sind die aktuellen Systeme der Steuerung und Regelung des Verwendungszweckes *Raumwärme* in Hinblick auf die Energieeffizienz bei einfachen Neubauten ausreichend. Insbesondere Systeme zur individuellen Heizungssteuerung bewirken aufgrund der gut gedämmten Gebäudehülle beim Neubau nur eine geringe Effizienzsteigerung. Im Neubau sowie im Bestand bestehen jedoch Potenziale in der *witterungs- und bedarfsgeführten Regelung von Heizsystemen* (T.W27 und T.W17). Entscheidend ist, dass die Regelungs- und Gebäudeleitsysteme einfach sind und von entsprechend instruiertem Personal bedient und überwacht werden können, da diese ansonsten kaum genutzt werden. Zu beachten sind zudem die Anmerkungen zur spezifischen und übergreifenden GA im Kapitel 3.7.

Massnahmenpaket: Systeme zur *individuellen Heizungssteuerung* (T.W22) werden nur im Gebäudebestand als Massnahme unterstellt, die witterungs- und bedarfsgeführte Regelung von Heizsystemen (T.W27 und T.W17) auch im Neubau. Um den optimalen Betrieb der GA Systeme zu gewährleisten und somit die ausgewiesenen Potenziale zu erreichen, ist eine permanente und fachlich durchgeführte eBO gemäss Merkblatt SIA 2048:2015 eine wichtige Voraussetzung.

Referenzszenario: Im Referenzszenario wird von keiner zusätzlichen Durchdringung von GA Massnahmen ausgegangen.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird eine Reduktion der Endenergie um rund 2 % - 3 % durch den Einsatz der GA Massnahmen unterstellt. Diese Einschätzung orientiert sich an den GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei der Heizung gemäss SIA 386.110 (vgl. Tabelle 57 im Anhang). Dabei wird angenommen, dass das Effizienzlevel B dem Referenzszenario und das Effizienzlevel A dem Effizienzzenario entspricht. Gemäss Tabelle 57 liegt das Einsparpotenzial zur Aufrüstung der GA und eBO vom C- auf den A-Standard bei Heizungen in der Regel zwischen 20% und 30% und vom B- auf den A-Standard zwischen 8 % und 11 % in Büro, Schul- und Wohngebäuden. Bei einer zusätzlichen Marktdurchdringung der GA Massnahmen von 30 % bis 60 % im Vergleich zum Referenzszenario abzüglich des Effekt der eBO ergibt sich somit aggregiert je nach Gebäudetyp eine Einsparung von rund 4–8 %.

Substitution von fossilen Energieträgern und Ersatz von Elektroheizungen

Ausgangslage: Der Gebäudebestand ist nach wie vor durch fossile Heizsysteme dominiert. Dies gilt v. a. für grössere Gebäude, d. h. für Mehrfamilienhäuser (MFH) und Nicht-Wohngebäude (vgl. Tabelle 12). Seit längerer Zeit bei Neubauten und seit einigen wenigen Jahren auch bei Erneuerungen ist jedoch ein Trend und eine Umstrukturierung des Gebäudebestands in Richtung erneuerbare Energien erkennbar, dies gestützt auf empirische Grundlagen (Jakob et al. 2014, Wüest und Partner 2014), Modellrechnungen, welche sich auch auf Verkaufsstatistiken abstützen (BFE Ex-Post Analysen), sowie Experteneinschätzungen (vgl. Kapitel 7.2.1 und Tabelle 44 und Tabelle 45 im Anhang für eine Übersicht). Bei den Neubauten haben fossile Energieträger bei den EFH nur noch eine geringe Bedeutung und auch bei den MFH und NWG beträgt ihr Marktanteil nur noch zwischen 15 % und 30 % (siehe Tabelle 12). Auch bei Erneuerungen von bestehenden Anlagen ist der Marktanteil der fossilen Systeme auf 50 % bis 60 % zurückgegangen (energiebezogen, nicht wertmässig wie bei Wüest und Partner 2014).

Massnahmenpaket: Dieses Massnahmenpaket umfasst den *Ersatz von fossilen Heizsystemen* (T.W01) und *Elektroheizungen* (T.W02) durch Wärmepumpensysteme oder nicht-fossile Heizungen (z. B. Pellets, Holz etc.). Ausgehend von der Verteilung der Energieträger im Modellstartjahr (linke Spalte in Tabelle 12) ergibt sich die künftige Entwicklung im Gebäudeparkmodell aufgrund der Modellierung der Heizsystemwahl bei Neubau, Instandsetzung und Erneuerung.

Tabelle 12 Energieträgerverteilung im Gebäudebestand (2010) und Marktanteile (MA) von Heizsystemen bei Instandsetzung und Erneuerung sowie bei Neubauten.

Gebäude- kategorie	Gebäude- bestand	MA bei Erneuerungen		MA bei Neubauten	
	2010	2010	2015	2010	2015
EFH					
Fossile	60 %	45 %	50 %	10 %	7 %
Nicht-Fossile	40 %	60 %	50 %	90 %	93 %
MFH					
Fossile	75 %	70 %	50 %	20 %	14 %
Nicht-Fossile	25 %	30 %	50 %	80 %	86 %
Nicht Wohnen					
Fossile	80 %	65 %	61 %	33 %	29 %
Nicht-Fossile	20 %	35 %	39 %	67 %	71 %

Quelle: Modell TEP Tertiary, Jakob et al. (2015), Wüest und Partner (2014), Verkaufsstatistiken FWS und GKS, Experteneinschätzungen

Referenzszenario: Die Verteilung der Heizsysteme im Referenzszenario basiert auf der Abbildung der Ersatzzyklen im Gebäudebestand, auf gesetzlichen Vorgaben (namentlich der MuKE 2015) und auf Einschätzungen zur Entwicklung der Kosten der unterschiedlichen Heizsysteme (Quelle: INSPIRE-Tool, Datenbank des Gebäudeparkmodells).

Effizienzzenario: Die Entwicklung der Heizsystemverteilung im Effizienzzenario erfolgt analog zum Referenzszenario. Allerdings wird angenommen, dass die Kosten der unterschiedlichen Heizsysteme im Effizienzzenario dank Förderinstrumenten geringer ausfallen als im Referenzszenario. Gefördert werden explizit erneuerbare Technologien (Holz, Solar) und Wärmepumpen.

Einsatz Von Biogas-WKK

Ausgangslage: Bei der Wärmekraftkopplung handelt es sich meistens um eine sogenannte Add-on-Technologie, welche mit konventionellen Heizsystemen kombiniert oder mit Spitzenlastkesseln ergänzt wird. Im Bereich EFH sind auch monovalente Systeme verfügbar. Aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund der regulativen Rahmenbedingungen hat der Bestand an WKK im Gebäudebereich nach einem Anstieg in den 1990er-Jahren wieder abgenommen.

Massnahme: Die Wärmekraftkopplung (WKK) stellt ein Spezialfall dar, weil sie, anders als die übrigen Technologien, nicht nur Energie verbraucht, sondern auch erzeugt, und zwar nicht nur Nutzenergie zur eigenen Verwendung, sondern auch Endenergie (namentlich Strom) für Dritte. Damit ist die WKK auch in Bezug auf die Wirkungsbewertung ein Spezialfall⁴, weil sich je nach Energieträgerwahl nicht in allen Fällen eine eindeutig positive Energie- und Emissionsreduktionswirkung ergibt, wie ein Vergleich im WWK-Exkurs im Kapitel 7.2.1 Anhang zeigt. Wie der Vergleich zeigt, kann aber durch den Ersatz von Erdgasheizungen durch Biogas-WKK eine positive Wirkung erzielt werden.

Referenzszenario: Der Anteil der WKK an der Stromerzeugung ist durch den WWB-Strommix implizit mitberücksichtigt. Somit wird im Referenzszenario von keiner zusätzlichen Durchdringung von WKK ausgegangen.

Effizienzzenario: Im Referenzszenario wird von einer zusätzlichen Durchdringung von Biogas-WKK ausgegangen. Die Quantifizierung der durch Biogas-WKK bereitgestellten Energie (Wärme und Strom) erfolgt durch den Vergleich der Angebotsvarianten E und C der Energiestrategie, welche von einer unterschiedlichen Stromproduktion durch WKK ausgehen. Namentlich substituiert die Biogas-WKK im Effizienzzenario 340 GWh Strom mit dem WWB-Strommix und 450 GWh Wärme von Erdgasheizungen.

3.2 Massnahmen beim Verwendungszweck *Warmwasser*

Die folgende Massnahmenstrukturierung des Verwendungszweckes *Warmwasser* ist vergleichbar mit der Strukturierung des Verwendungszweckes *Raumwärme*:

- Reduktion Nutzenergie (T.S05, T.S04)
- Reduktion der Verluste (T.S08, T.S03, T.S11)
- Effizienzsteigerung von Wärmepumpenboilern
- Komplette oder teilweise Energieträgersubstitution (T.S01, T.S09)
- Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler (T.S02)

Bei einigen der Massnahmen im Sanitärbereich sind hygienische Aspekte zu beachten (v. a. im Hinblick auf die Vermeidung von durch Legionellen bedingten Risiken). Darunter fallen unter anderem die Massnahmen Regelung der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern (T.S08) sowie das Abstellen der Trinkwarmwasserversorgung bei Nicht-Gebrauch (T.S06) in Ferienwohnungen. Da laut Expertenmeinung deren Potenziale vergleichsweise gering sind und Hygieneaspekte (Legionellen) Vorzug geniessen sollten, hinterfragen die einbezogenen Experten deren Eignung als Energiesparmassnahme. Um diese Hygieneprobleme sowie ungewollte Komforteinbussen zu vermeiden, spielt zudem vielfach das Benutzerverhalten eine entscheidende Rolle. Die Effizienzeinsparungen durch optimierte Trinkwasserpumpen werden in dieser Studie als Bestandteil der Allgemeinen Gebäudetechnik quantifiziert (vgl. Kapitel 3.6).

Reduktion Nutzenergie

Massnahmenpaket: Zum Massnahmenpaket, welches die Nutzenergie reduziert, gehören *Warmwasser-Spararmaturen* (T.S05), welche in neutraler Stellung Kalt- statt Warmwasser liefern und/oder die Warmwasser Menge begrenzen, sowie *Wärmerückgewinnung (WRG) in Duschgrundflächen* (T.S04). Die Massnahmen sind insbesondere in Wohngebäuden, Turnhallen oder auch Heimen und Spitälern sowie öffentlichen Toiletten relevant, wobei die Wohngebäude schweizweit den grössten Warmwasserverbrauch aufweisen. Die energetische Einsparung der einzelnen Massnahmen des Pakets wird mittels der eingesparten Zapfmenge an Warmwasser durch Spararmaturen und der Wirkungsgrade der WRG quantifiziert. Ersteres führt bei Lavabos zu einer Einsparung von rund 10 % - 20 % an Nutzenergie (Weber et al. 2005). Bei der WRG in Duschen gehen wir aufgrund eines Wirkungsgrades von 50 % von einer Einsparung von 40 % Nutzenergie aus. So beläuft sich die aggregierte Einsparung bei Wohngebäuden auf maximal 30 % Nutzenergie und die realisierbare Einsparung über alle Gebäude,

⁴ Mit einer saisonalen oder halbjährlichen Bewertung würde sich die Beurteilung des Potenzials der WKK verändern. Allerdings sind solche Betrachtungen nicht Bestandteil dieser Studie.

im Vergleich zum Zustand ohne Massnahmen, auf rund 20 %. Teile des Potenzials werden jedoch durch das Verhalten der Benutzer vermindert oder beeinflusst. Gegenläufig zu den Energieeinsparungen ist ein möglicher Trend zu Komfort- und Wellness Duschbrausen. Ausserdem ist in einer gesamtschweizerischen Betrachtung zu beachten, dass tiefere Abwassertemperaturen für Kläranlagen nachteilig sein können (Wanner 2004).

Referenzszenario: Dem Referenzszenario wird unterstellt, dass seitens der Hersteller mehr Spararmaturen angeboten werden, womit 2050 bereits von einer Durchdringung von über 50 % ausgegangen wird.

Effizienzzenario: Im Vergleich zum Referenzszenario wird eine geringe zusätzliche Durchdringung von 10% unterstellt. Insbesondere bei der WRG in Duschgrundflächen ist ein Einbau möglicherweise nur beschränkt möglich (Lebenszyklus, Badewannen statt Duschen). Damit ergibt sich im Vergleich ein Potenzial zur Einsparung der Nutzenergie von insgesamt 2.5 %.

Reduktion der Verluste

Massnahmenpaket: Die Reduktion der Speicher-, Verteil- und Abgabeverluste von zentralen Warmwasser-Bereitern mit Speichern erfolgt unter anderem durch Regelungsmassnahmen sowie durch Wärmedämmungsmassnahmen der Speicher und Verteilleitungen. Erstere beinhalten die *Regelung der Temperatur von Warmwasserspeichern* (T.S08) und die *Regelung der Trinkwasser-Pumpen* (T.S11). Letztere betreffen Massnahmen zur *Instandstellung der Warmwasserverteilung* (T.S03) wie verbesserte Wärmedämmungen bei Speichern und warm gehaltenen Verteilleitungen bei den meisten MFH und einem Grossteil der neuen EFH. Bei den Regelungsmassnahmen sind insbesondere die Aspekte der Hygiene (Legionellen) zu beachten. Mittels Wärmedämmungsmassnahmen sind wesentliche Verlustreduktionen möglich, wobei die verbesserte Wärmedämmung meist erst im längerfristigen Erneuerungszyklus realisierbar ist. Bei kleinen Verbrauchern, z. B. in Bürogebäuden mit wenig WW-Bedarf, ist zudem ein Wechsel zu einer dezentralen WW-Bereitung in Betracht zu ziehen, um die Verluste zu reduzieren.

Die Quantifizierung orientiert sich an den GA-Reduktionsfaktoren der SIA 386.110 gemäss Tabelle 58 im Anhang, welche die Wirkung der Regelungsmassnahmen quantifiziert. Insgesamt wird dabei von einem Einsparpotenzial von 10–20 % ausgegangen.

Referenzszenario: Dem Referenzszenario wird bzgl. der Verbreitung von Regelungs- oder Wärmedämmungsmassnahmen (z.B. von Verteilleitungen) im Vergleich zum Referenzjahr eine geringe Verbreitung unterstellt. In Bezug auf die Regelung wird davon ausgegangen, dass die meisten Systeme dem GA-Effizienzlevel von B oder C entsprechen werden.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird eine stärkere Durchdringung von Massnahmen zur Regulierung der Temperatur von Warmwasserspeichern und Pumpen unterstellt, wodurch meist das GA-Effizienzlevel A erreicht werden kann. Dabei wird z.T. analog zur eBO und GA im Bereich Raumwärme vorgegangen (vgl. Kapitel 3.1) und insgesamt von einer zusätzlichen Reduktion der Endenergie von rund 4 % ausgegangen (50% Durchdringung bei einem Einsparpotenzial von rund 10 %).

Effizienzsteigerung von Wärmepumpenboilern

Die Massnahme ist analog zu derjenigen zur Effizienzsteigerung Wärmepumpen im Verwendungszweck Raumwärme (vgl. Kapitel 3.1)

Komplette oder teilweise Energieträgersubstitution

Massnahmenpaket: Dieses Massnahmenpaket umfasst die Substitution von mehrheitlich fossilen Energieträgern (wie Öl und Gas) und Elektrowiderstandsheizungen durch Wärmepumpen, Solarenergie und Holz. Eine Energieträgersubstitution ist möglich durch *kombinierte Raumwärme- und Warmwassersysteme* (T.S01) oder als Ergänzung von zentralen Warmwassersystemen, z. B. mit *Solarenergie* (T.S09).

Referenzszenario: Die Verteilung der Heizsysteme im Referenzszenario basiert auf der Abbildung der Ersatzzyklen im Gebäudebestand, auf gesetzlichen Vorgaben (namentlich der MuKE n 2015) und auf

Einschätzungen zur Entwicklung der Kosten der unterschiedlichen Heizsysteme (Quelle: INSPIRE-Tool, Datenbank des Gebäudeparkmodells).

Effizienzzenario: Die Entwicklung der Heizsystemverteilung im Effizienzzenario erfolgt analog zum Referenzzenario. Allerdings wird angenommen, dass die Kosten der unterschiedlichen Heizsysteme im Effizienzzenario dank Förderinstrumenten geringer ausfallen als im Referenzzenario. Gefördert werden explizit erneuerbare Technologien (Holz, Solar).

Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpen

Massnahmenpaket: Der Ersatz von bestehenden sogenannten „Elektroboilern“ z. B. *durch WP-Boiler* (T.S02) stellt im Verwendungszweck *Warmwasser* ein deutliches Potenzial dar, weil Elektroboiler eine hohe Verbreitung aufweisen (ein Grossteil der Einfamilienhäuser und der kleinen Mehrfamilienhäuser sowie ein Teil der grösseren MFH sind damit ausgerüstet) und weil pro Ersatz eine Reduktion von mehr als der Hälfte des Stromverbrauchs erreicht werden kann. Ein flächendeckender Ersatz von Elektroboilern ist laut Experten eine Massnahme, bei welcher sich in der Praxis jedoch noch mehrere Probleme ergeben. Somit besteht ein bedeutender Forschungsbedarf, damit machbare Lösungen gefunden und entwickelt werden können. So könnten Boiler mit der Raumwärmeverteilung (Radiatoren, Fussbodenheizung) kombiniert werden. Hierbei würde der Temperaturhub zwischen Raumwärmeverteilung und Warmwasser nach wie vor über Strom bereitgestellt werden (damit ergibt sich nur ein teilweiser Ersatz des Stromverbrauchs) oder es könnte zu gewissen Zeiten eine temporäre Umschaltung von der Heizung auf den dezentralen Warmwasserboiler erfolgen.

3.3 Massnahmen beim Verwendungszweck Lüftung

In diesem Unterkapitel geht es vornehmlich um den Stromverbrauch von Lüftungsanlagen (LA) für die Luftförderung. Da Massnahmen zu deren Reduktion auch den Energiebedarf von Befeuchtung (im Wärmefall) und Entfeuchtung (im Kältefall) beeinflussen, werden sie ebenfalls dem Verwendungszweck *Lüftung* zugeordnet. Die thermische Energie für die Lufterwärmung bzw. für die Kühlung werden jedoch innerhalb der entsprechenden Verwendungszwecke *Raumwärme* (vgl. Kapitel 3.1) bzw. *Klimakälte* (vgl. Kapitel 3.4) behandelt.

Der Energiebedarf für Luftförderung wird durch folgende Einflussgrössen bestimmt, wobei diese z.T. voneinander abhängen und über die verschiedenen Betriebsweisen über ein Jahr zu aggregieren sind:

- Erforderlicher Luftwechsel (Luftvolumenstrom pro Person bzw. pro Fläche)
- Luftstromgeschwindigkeiten (beeinflusst die Druckverluste)
- Druckverluste bei Luftaufbereitung und -verteilung (abhängig von Luftstromgeschwindigkeiten und anderen technischen Einflussfaktoren, insbesondere Klappen)
- Ventilator- und Motoreffizienz (abhängig von Typ, Dimensionierung/Auslegung und von Steuerung- und Regelung)
- Be- und Entfeuchtungsschwellenwerte (Sollwerte)
- Betriebszeit und bedarfsgerechte Regelung

Diese Einflussgrössen können durch verschiedene gebäudetechnische Massnahmen beeinflusst werden (eine Übersichtsmatrix mit der Zuordnung der Massnahmen auf die Einflussgrössen befindet sich in Tabelle 49 im Anhang). Entsprechend werden im Verwendungszweck *Lüftung* folgende Massnahmenpakete in die Betrachtung einbezogen:

- Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand (T.L35)
- Grössere Monoblocs (T.L01)
- Optimierte Luftverteilungen (T.L33, T.L11, T.L12)
- Effiziente Ventilatoren (T.L04)
- Effiziente Filter (T.L06)

- Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung (T.L23, T.L25, T.L31)
- Optimierung der Abluftanlagen (T.L14, T.L21)
- Anpassung der Betriebszeit (T.L27, T.L30, T.L19, T.L16 & T.L10)
- Anpassung der Luftvolumenströme (T.L34)
- Raumluftbefeuchtung nach Bedarf (T.L17)

Diese Massnahmen und relevanten Annahmen werden im nächsten Unterkapitel im Einzelnen weitergehend erläutert und im übernächsten Unterkapitel (siehe Kapitel 3.3.2) zusammengefasst. Der Berechnungsansatz wird im Anhang erläutert.

Weitere Massnahmen, welche sich auf Lüftungsanlagen (LA) beziehen, aber energetisch auf andere Verwendungszwecke wirken und daher im entsprechenden Kapitel beschrieben werden, sind:

- Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen (VZ Raumwärme)
- Mischluftverhältnis bei LA optimieren (VZ Klimakälte)

3.3.1 Ausgangslage und Massnahmenpakete

Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand

Ausgangslage: Lüftungsanlagen unterschiedlicher Bauperioden weisen bzgl. der Druckverluste starke Differenzen auf. Wir gehen davon aus, dass ein grosser Teil dieser Anlagen bis ins Jahr 2010 bereits einmal ersetzt wurde und somit etwas tiefere Lüftungsverluste aufweist. Als Grundlage werden die in Tabelle 50 im Anhang aufgeführten Annahmen zu Druckverlusten für die verschiedenen Bauperioden verwendet.

Massnahme: Die Massnahme *Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand* (T.L35) quantifiziert die Aufrüstung von LA (Monobloc und Verteilung) im Bestand und damit die Reduktion der Druckverluste auf die Durchschnittswerte 2010 gemäss Tabelle 50 im Anhang. Der Erneuerungszyklus für Lüftungsanlagen orientiert sich an SIA 382/1 und beträgt rund 20–25 Jahre. Neubauten werden in beiden Szenarien standardmässig mit LA, die dem Durchschnitt 2010 entsprechen, ausgerüstet.

Referenzszenario: Wir gehen davon aus, dass alte LA, insbesondere die Luftaufbereitung, d. h. Monoblocs, bis zu einem gewissen Grad ohne Förderung ersetzt werden und gehen daher im Referenzszenario von einem hohen Marktanteil von über 85 % für die Erneuerung von Lüftungsanlagen im Bestand aus.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird eine ähnliche Marktdurchdringung wie im Referenzszenario unterstellt, was bis ins Jahr 2050 zu einer Durchdringung von beinahe 90 % führt. D. h. wir gehen in diesem Szenario davon aus, dass bis ins Jahr 2050 die Druckverluste der meisten LA mindestens dem Durchschnitt von 2010 gemäss Tabelle 50 im Anhang entsprechen (zur Erreichung von Best Practice Werten vgl. nachfolgend „Einsatz von grösseren Monoblocs“). Trotz den nur geringfügigen Unterschieden zwischen den Szenarien, ist die absolute Einsparung durch diese Massnahme relativ gross. Dies lässt sich durch die relativ grossen Lufteinströmgeschwindigkeiten bzw. die entsprechenden Druckverluste und die damit quantitativ hohen Potenziale im Gebäudebestand erklären.

Grössere Monoblocs

Ausgangslage: Wir gehen davon aus, dass 2010 nur ca. 10 % der installierten Monoblocs unserer Definition von Best Practice Geräten entsprechen, namentlich eine Luftstromgeschwindigkeit besitzen, die unter dem heute geltenden Standard von 2 m/s liegt.

Massnahme: Die Massnahme *Einsatz von grösseren Monoblocs* (T.L01) quantifiziert die Reduktion der Lufteinströmgeschwindigkeiten und dadurch die Reduktion der Druckverluste auf Best Practice Werte gemäss Tabelle 50. Dies wird erreicht durch den Einsatz von Monoblocs mit höheren Querschnitten. Da die Reduktion der Druckverluste zur Geschwindigkeit im Quadrat proportional ist, führt eine Reduktion der Lufteinströmgeschwindigkeiten von 2 m/s (was dem Standard nach MuKE und

der Klasse V3 nach EN 13053:2010 entspricht) auf 1.5 m/s (V1) zu einer Einsparung von 20 % der Druckverluste innerhalb der Monoblocs⁵. Wir gehen davon aus, dass aufgrund von baulichen Beschränkungen und eingeschränkten Platzverhältnissen die Durchdringung für den Gebäudebestand sowohl im Referenz- als auch im Effizienzscenario geringer ist als für den Neubau. Analog zur Massnahme *Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand* beträgt der Erneuerungszyklus für Monoblocs 25 Jahre.

Referenzscenario: Im Referenzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 10 % für den Bestand und 30 % für den Neubau aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 25 Jahren je nach Neubauanteil pro Gebäudekategorie ein mittlerer Durchdringungsgrad von rund 20 bis 30 % im Jahr 2050.

Effizienzscenario: Dem Effizienzscenario unterstellen wir einen höheren Marktanteil von 30 % für den Bestand und 80 % für den Neubau. Somit erreichen Monoblocs mit höheren Querschnitten in 2050 eine Durchdringung von 39–56 %.

Optimierte Luftverteilungen

Ausgangslage: Druckverluste in der Luftverteilung sind nebst jenen im Monobloc von grosser Bedeutung (vgl. Tabelle 51 bis Tabelle 53 im Anhang). Wir gehen davon aus, dass im Jahr 2010 praktisch keine der Gebäude eine effiziente Luftverteilung mit geringen Luftgeschwindigkeiten (durch Anpassung des Volumenstroms, höheren Querschnitten und damit geringeren Druckverlusten) besitzen und somit weitere Effizienzpotenziale vorhanden sind.

Massnahmenpaket: Dieses Massnahmenpaket zielt darauf ab, Druckverluste, Leckagen sowie Wärmeverluste im Leitungssystem von Lüftungen zu senken. Dies kann nebst planerischen Massnahmen (siehe *Anpassung der Luftvolumenströme*) durch technische Massnahmen wie *dichte und isolierte Lüftungskanäle* (T.L12 und T.L11) sowie über *grosse Querschnitte der Kanäle* (T.L33) erreicht werden, was analog zur Massnahme *Grössere Monoblocs* zu einer Reduktion der Luftströmungsgeschwindigkeit führt. Dies resultiert in einer möglichen Einsparung von 15 % im Vergleich zum unsanierten Zustand (gemäss Tabelle 51). Bei Neubauten sind Mindestanforderungen an die Druckverluste von LA durch die Vorgaben der MuKE und Minergie geregelt. Diese werden bei der Festlegung von weitergehenden Potenzialen berücksichtigt, welche bei Neubauten entsprechend geringere spezifische Einsparungen aufweisen. Im Bestand ist eine Optimierung der Luftverteilung durch technische Massnahmen (T.L12, T.L11 & T.L33) oft nur während einer Totalsanierung möglich und durch bauliche Einschränkung begrenzt. Daher ist der Erneuerungszyklus mit 25 bis 35 Jahren länger als beim Ersatz von Monoblocs.

Referenzscenario: Dem Referenzscenario wird ebenfalls nur ein vernachlässigbarer Marktanteil der Optimierung von Luftverteilungen im Bestand unterstellt.

Effizienzscenario: Dem Effizienzscenario unterstellen wir einen höheren Durchdringungsgrad von 23-43 %.

Effiziente Ventilatoren

Ausgangslage: Ventilatoren sind Bestandteil von Lüftungsanlagen. Wir nehmen an, dass ein Ersatz auch ausserhalb des regulären Ersatzzyklus der Monoblocs möglich ist. Ebenfalls gehen wir davon aus, dass im Moment nur ca. 10 % aller verbauten Ventilatoren Bestgeräte sind und somit Möglichkeiten für Verbesserungen vorhanden sind.

Massnahme: Die Massnahme *Effiziente Ventilatoren* (T.L04) ist eine Nachrüstungsmassnahme und beschreibt den Ersatz von alten ineffizienten Ventilatoren durch neue moderne Bestgeräte. Dabei ist zu beachten, dass der Lebenszyklus einer Lüftungsanlage relativ gross ist (ca. 25 Jahre). Wir gehen jedoch davon aus, dass pro Jahr rund 1 % der Ventilatoren ausserhalb des regulären Ersatzzyklus von Monoblocs ersetzt werden können. Quantifiziert wird die Steigerung deren Wirkungsgrade von 55 % auf 65 %, wodurch insgesamt mit einer energetischen Einsparung von rund 20 % zu rechnen ist (vgl. Anhang 7.2.2). Diese Massnahme ist eng verbunden mit dem Massnahmenpaket *Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand*, da bei einem kompletten Ersatz des Monoblocs auch neue, effiziente

⁵ Hier wird nur der Effekt des Monoblocs betrachtet. Die Einsparungen in der Verteilung siehe Massnahmenpaket: *Optimierte Luftverteilungen*.

Ventilatoren zum Einsatz kommen können (siehe Massnahmen T.L01 und T.L35). Daher wird langfristig die Bedeutung vom separaten Ersatz von Ventilatoren wieder abnehmen, nämlich dann, wenn der so ergänzte Monobloc wieder regulär ersetzt wird.

Referenzszenario: Aufgrund der 2015 in Kraft getretenen Energieverordnung zur Effizienz von Elektrogeräten gehen wir davon aus, dass bereits ein Teil der Einsparungen im Referenzszenario erfolgen wird. Zusätzlich unterstellen wir dem Referenzszenario aber eine darüber hinausgehende Verbreitung von Bestgeräten mit einem Marktanteil von rund 10 %. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 15 Jahren ein Durchdringungsgrad von 22–28 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario unterstellen wir einen höheren Marktanteil für Bestgeräte von 25–30 %. Somit erreichen effiziente Ventilatoren 2050 eine Durchdringung von rund 45–63 %.

Effiziente Filter

Ausgangslage: In LA werden bei der Zuluft Filter eingesetzt. Nebst dem erwünschten Filterungseffekt erhöhen diese die Druckverluste und damit den Stromverbrauch der Ventilatoren. Durch den Wechsel von ineffizienten Filtern zu energieeffizienten Filtern lassen sich Druckverluste jedoch reduzieren. Wir gehen davon aus, dass im Ist-Zustand erst rund 6–25 % der LA mit energieeffizienten Filtern ausgerüstet sind und somit bedeutende Potenziale erschliessbar sind.

Massnahmenpaket: Diese Massnahme quantifiziert den Ersatz von ineffizienten Filtern der Energieklasse D durch *energieeffiziente Filter* (T.L06) der Klasse A nach EUROVENT Standard. Ein Wechsel der Klasse D auf A führt zu Einsparungen von rund 95 Pa pro Filter (vgl. Tabelle 54 im Anhang). Bezogen auf die durchschnittlichen Druckverluste von LA (gemäss Tabelle 50 im Anhang) entspräche dies einer energetischen Einsparung zwischen 6–10 % pro LA (abhängig von der Bauperiode). Es ist darauf zu achten, dass die Wahl der Filterklasse an die tatsächlichen hygienischen Bedürfnisse angepasst wird. So ist ein Wechsel auf effizientere Filterklassen (in Bezug auf die Filterung und nicht die Energieeffizienz) bei fehlendem hygienischem Bedarf, z. B. von F7 auf F9 Filter, aus energetischer Sicht nicht sinnvoll.

Referenzszenario: Aufgrund der Mehrkosten werden im Referenzszenario Filter der Klasse A nicht flächendeckend eingesetzt. Wir gehen daher beim Bestand von einem Durchdringungsgrad von rund 17–22 % aus. Gestützt auf SIA382/1:2014 werden jedoch die meisten Neubauten mit Filtern der Klasse A ausgerüstet.

Effizienzzenario: Der Ersatz der Filter durch energieeffiziente Filter wird im Effizienzzenario beschleunigt und gefördert. Wir gehen daher davon aus, dass bis ins Jahr 2050 mit einem Durchdringungsgrad von rund 40 % bis 60 % Filter der Klasse A eingesetzt werden.

Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung

Ausgangslage: Traditionell wurden Lüftungsanlagen, wenn überhaupt, über eine Stufenregelung (insbesondere bei Einzonenanlagen) oder mechanisch mittels Drosselklappen in der Lüftungsverteilung bedarfsgerecht geregelt. Im letzteren Fall ist die bedarfsgerechte Reduktion der Luftmenge zwar mit einer Reduktion der thermischen, aber kaum mit einer Reduktion der elektrischen Energie für die Luftförderung verbunden. Dies weil durch die Drosselung zwar die Luftströmungsgeschwindigkeiten, aber nicht Druckverluste reduziert werden.

Massnahmenpaket: Durch Frequenzumrichter (FU) ist es möglich, die Drehzahl von Motoren zu regulieren (T.L25) und dadurch die Volumenströme der LA mittels elektronischen Volumenstromreglern energieeffizient und bedarfsgerecht zu regeln. Beim Nach- oder Ausrüsten von Motoren mit FU können bei entsprechender Regelung der Anlage die bei den Drosselklappen verursachten Energieverluste reduziert werden (geringerer Druck bei Monobloc und Verteilung, statt hoher Druckabfall bei Drosselklappen, effizienterer Teillastbetrieb des Ventilators). Wird die LA zusätzlich anhand der CO₂- oder Mischgaskonzentration im Raum geregelt (T.L23 & T.L31), sind weitere Einsparungen möglich, da dann bei (stark) variabler Personenbelegung die Luftmenge raum- und zeitgerecht angepasst werden kann (siehe SAFE 2012a). Bei entsprechender Regelung (Regelkreis und Konstantdruck- oder Volumenstromregelung des Monobloc-Ventilators) lässt sich damit auch der Stromverbrauch deutlich

reduzieren. Die Quantifizierung der möglichen Einsparpotenziale von 5–20 % orientiert sich an der Gebäudeautomationsnorm SIA 386.110.

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir von einem geringen Marktanteil von 10–15 % für die Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung aus. Dabei wird zwischen Wohn- und Bürogebäuden unterschieden, wobei bei ersteren von rund 10 % geringeren Marktanteilen ausgegangen wird. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von 12–20 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Durch den mit der Massnahme verbundenen Mehraufwand ergeben sich bei einer Förderung im Effizienzzenario beträchtliche Potenziale. So gehen wir bei Wohngebäuden von einem Marktanteil von 15–25 % und bei Bürogebäuden von einem etwas höheren Marktanteil aus. Daraus folgt ein Durchdringungsgrad von rund 31 % bis 40 % im Jahr 2050.

Optimierung der Abluftanlagen

Ausgangslage: Einfache Abluftanlagen sind insbesondere in Badezimmern, WCs und Küchen vorhanden.

Massnahmenpaket: Bezüglich Badezimmern und WCs hat das Massnahmenpaket wegen kurzen Betriebszeiten pro Tag ein geringes Einsparpotenzial. Höher ist das Potenzial vor allem in Küchen von Restaurants einzuschätzen. Hierbei spielt zum einen der *Ersatz von ineffizienten Spaltpolmotoren* mit Wirkungsgraden unter 60 % durch effizientere Asynchron- oder EC-Motoren mit einem Wirkungsgrad zwischen 85–95 % eine grosse Rolle (T.L14). Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Abluftanlagen durch den *Einbau von Lichtkontakten* (T.L21) zu regeln (v. a. in kleinen geschlossenen Räumen).

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir von einem Marktanteil von 5 % bzw. 15 % für die Optimierung von Abluftanlagen im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 bis 30 Jahren ein Durchdringungsgrad von rund 25 % bis 30 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario unterstellen wir einen höheren Marktanteil von 20 % bzw. 40 %. Daraus ein Durchdringungsgrad von rund 35 % bis 50 % im Jahr 2050.

Anpassung der Betriebszeit

Ausgangslage: Im Bereich der energetischen Betriebsoptimierung von Lüftungen sind noch grosse Potenziale vorhanden, was von Experten übereinstimmend festgestellt wurde. Bestehende Anlagen und deren Regeltechnik werden demnach oft ungenügend einjustiert oder später im Lebenszyklus nicht mehr nachjustiert bzw. an die momentanen Umstände angepasst (z. B. aufgrund weniger/mehr Personal, andere Tagesbelegung etc.). Ein aktuelles Hemmnis ist jedoch die Verfügbarkeit und das Knowhow von Fachpersonal. Wir gehen davon aus, dass im Ist-Zustand (2010) erst 10–15 % (Schuppli 2010) im Optimum laufen.

Massnahmenpaket: Die Massnahme *eBO Lüftung* (T.L27) fasst mehrere klassische Massnahmen der eBO und regeltechnischen Optimierung zusammen. Darunter fallen unter anderem *Anpassungen der Belüftungsdauer* (T.L30 sowie T.L19) und bedarfsgerechte Einstellungen von Volumenstromreglern. Die *zeitabhängige Regelung des Luftvolumenstroms* (T.L30) und die *Anpassung der Betriebszeiten von RLT-Anlagen* (T.L19) reduzieren die Betriebszeit durch Anpassungen des Systems an den Arbeits- und Belegungsrhythmus des Gebäudes. Dabei werden einerseits eine Tag/Nacht-Abschaltung sowie eine Anpassung des Lüftungsvolumens an die effektive Belegung vorgeschlagen. Weitere Massnahmen mit kleinem Einzelpotenzial im Massnahmenpaket sind das *Schliessen von Jalousieklappen* (T.L16) und die *Optimierung der Aussenluft-Ansaugung* (T.L10). Bei einer Gesamtbetrachtung des Massnahmenpakets kann von bis zu 15 % Einsparung bei den Volllaststunden ausgegangen werden.

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir von einem geringen Marktanteil von 5–15 % im Bestand und bei Neubauten aus. Daraus folgt ein Realisierungsgrad von 13–21 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Durch die Förderung der eBO und die Beseitigung der Hemmnisse ist mit einer stärkeren Verbreitung der eBO zu rechnen. So gehen wir im Effizienzzenario von einem deutlich höheren Marktanteil aus, woraus sich ein Realisierungsgrad von 29–53 % im Jahr 2050 ergibt.

Anpassung der Luftvolumenströme

Ausgangslage: Bei älteren Lüftungsanlagen ist die Anlagengrösse gemessen an Luftvolumenströmen oft zu gross dimensioniert und die Luftgeschwindigkeiten sind zu hoch, was zu einer erhöhten spezifischen installierten Leistung führt. Bei Ersatz der Monoblocs von solchen LA werden die Luftvolumenströme der Anlage angepasst, womit sich auch die Luftgeschwindigkeiten vermindern. Letzteres ist einmalig auch im Rahmen von energetischen Betriebsoptimierungen möglich, indem die maximal abzurufende Ventilatorleistung begrenzt oder ein Ventilator mit geringerer Leistung eingesetzt wird. So ist nach Expertenaussagen der grösste Teil der bisherigen Einsparungen auf die Anpassung der Luftvolumenströme und der Luftgeschwindigkeiten) zurückzuführen (nicht zu verwechseln mit der zeitlich variablen bedarfsgerechten Anpassung).

Massnahmenpaket: Dieses Massnahmenpaket quantifiziert die Reduktion der benötigten Leistung von LA durch die *Anpassung der Luftvolumenströme* (T.L34). Für Erstere wird angenommen, dass im Vergleich zu älteren LA eine Reduktion der Luftvolumenströme von bis zu 25 % realistisch ist.

Referenzzenario: Die Anpassung der Luftvolumenströme bei LA im Bestand wird zum Teil bereits im Referenzzenario durchgeführt, dies vor allem bei neueren LA im Ersatzfall. Wir gehen von einem Durchdringungsgrad von 20 % bis 30 % bis 2050 aus.

Effizienzzenario: Luftvolumenströme werden bei rund der Hälfte bis zwei Dritteln der LA reduziert.

Raumluftbefeuchtung nach Bedarf

Ausgangslage: Bei fach- und damit bedarfsgerechter Planung, Ausführung und Betrieb der Lüftungsanlagen ist eine Befeuchtung in den meisten Fällen nicht erforderlich (Ausnahmen sind prozessbedingte Anforderungen in Spitälern, Druckereien, Textil etc.). Daher ist die Massnahme *Raumluftbefeuchtung nach Bedarf* (T.L17) im Neubau nicht mehr relevant, weil davon ausgegangen wird, dass Befeuchtungen tatsächlich kaum eingesetzt werden. Im Bestand existieren jedoch weiterhin Befeuchtungsanlagen, deren Betriebszeiten durch eine bedarfsgerechte Steuerung reduziert werden kann. Die Massnahme kann auch in einer vollständigen Ausserbetriebnahme der Befeuchtung bestehen. Wir gehen dabei von einer Reduktion des Energiebedarfs für Befeuchtung von 50% bis 100% aus.

Massnahme: Die Massnahme quantifiziert das Potenzial zur Reduktion der Betriebszeiten durch die bedarfsgerechte Regelung der Luftbefeuchtung im Bestand.

Referenzzenario: Im Referenzzenario gehen wir von einem geringen Marktanteil für die Raumluftbefeuchtung nach Bedarf aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von 1–14 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario ergibt sich aufgrund unserer Annahmen ein Durchdringungsgrad von 5–14 % im Jahr 2050. Der Durchdringungsgrad ist eher tief, weil davon ausgegangen wird, dass in relativ wenig Fällen die Raumluft befeuchtet wird. Die Massnahme hat entsprechend wenig Anwendungspotenzial.

3.3.2 Übersicht über die Annahmen zu den Massnahmen beim Verwendungszweck Lüftung

In Tabelle 13 ist eine Übersicht der Modellannahmen und der resultierenden Durchdringungsgrade der quantifizierten Massnahmen und Massnahmenpakete, dargestellt. Der resultierende Durchdringungsgrad kann je nach Gebäudekategorie unterschiedlich sein, da nicht jede einzelne Massnahme in jeder Gebäudekategorie umgesetzt werden kann. Eine detaillierte Tabelle mit einer Übersicht aller Durchdringungsgrade pro Gebäudekategorie ist im Anhang 7.5 aufgeführt.

Tabelle 13 Modellannahmen zu Durchdringungsgrad, Erneuerungszyklus und spezifischer Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete beim Verwendungszweck Lüftung.

	Durchdringungsgrad / Realisierungsgrad			Erneuerungszyklus	Spezifische Effizienzsteigerung	
	2010	2050 Ref	2050 Eff	(Jahre)		Bezug ^a
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand ^e	38–90 %	86–95 %	84–91 %	25	50 % - 70 % ^c	IL
Grössere Monoblocs	11–16 %	21–28 %	39–56 %	25	20 % ^d	IL
Optimierte Luftverteilungen	0–0 %	<5 %	23–43 %	28	5 % ^d	IL
Effiziente Ventilatoren	6–12 %	22–28 %	45–63 %	15	10 % ^d	IL
Effiziente Filter	0–7 %	17–22 %	39–58 %		6–10 %	IL
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	3–12 %	12–20 %	31–38 %	20	5-15 %	VLS
Optimierung der Abluftanlagen	5–21 %	24–29 %	36–49 %	20	1 % ^d	IL
Anpassung der Betriebszeit	8–31 %	13–21 %	29–53 %	eBO ^b	15 %	VLS
Anpassung der Luftvolumenströme	4–13 %	23–28 %	45–63 %		9 % ^c	IL
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	3–5 %	1–14 %	5–14 %	20	2 %	VLS

a: Energieeinsparung bezieht sich auf Volllaststunden (VLS) oder installierte Leistung (IL)
b: eBO Massnahmen werden periodisch durchgeführt
c: Im Vergleich im Vergleich zu Lüftungsanlagen mit 2400 Pascal Druckverlust
d: Im Vergleich im Vergleich zu Lüftungsanlagen mit rund 1200 Pascal Druckverlust
e: Abhängig von der Bauperiode

Quelle: Einschätzung und Darstellung TEP Energy basierend auf Experteneinschätzungen und diversen Quellen (im Text erwähnt)

3.4 Massnahmen beim Verwendungszweck Klimakälte

Der Verwendungszweck *Klimakälte* bezieht sich auf Anwendungen, die zur Kühlung von Räumen und der damit verbundenen Komforterrhöhung dienen. Prozesskälteanwendungen wie Kühlschränke, Kühlregale oder Kühlräume sind nicht Teil der Betrachtung. Die Massnahmen im Verwendungszweck *Klimakälte* sind insbesondere für Bürogebäude relevant, da der Ausrüstungsgrad in den Wohn- und Schulgebäuden als eher klein eingeschätzt werden kann; bei letzteren stellen Vorlesungssäle und Labors insbesondere von Hochschulen eine Ausnahme dar. Die Effizienzeinsparungen durch effiziente Umwälzpumpen und weiterer Peripherie (z. B. Rückkühlventilatoren) und deren energieoptimierter Einsatz werden in dieser Studie als Bestandteil der Allgemeinen Gebäudetechnik quantifiziert (siehe Kapitel 3.6), dies aus modelltechnischen Gründen (gemäss SIA 380 gehören Pumpen eigentlich zum Verwendungszweck Wärme oder Kälte).

Der Verwendungszweck *Klimakälte* umfasst die folgenden Massnahmen(pakete):

- Effiziente Kälteerzeuger (T.K04)
- Gleitende Kaltwassertemperatur (T.K06)
- Variable Rückkühltemperatur (T.K07)
- Hybridrückkühler (T.K03)
- Free Cooling (T.L20)

- eBO und GA Kälte (T.K08, T.K09)
- Mischluftverhältnis bei LA optimieren (T.L07)

Diese Massnahmen werden im nächsten Unterkapitel im Einzelnen weitergehend erläutert und im übernächsten Unterkapitel (Kapitel 3.4.2) zusammengefasst.

3.4.1 Ausgangslage und Massnahmenpakete

Als Ausgangslage für die Berechnung des Energieverbrauchs für die *Klimakälte* wurden der thermische Kühlleistungsbedarf nach SIA 2024 und Annahmen zu Jahresnutzungsgraden von Kältesystemen verwendet. Zudem ist zu beachten, dass im Gebäudebestand im Vergleich zum Neubaubereich weniger häufig gekühlt wird (siehe Tabelle 8); ein Sachverhalt, der im Modell berücksichtigt wird.

Effiziente Kälteerzeuger

Ausgangslage: Klimakälte wird in der Schweiz beinahe ausschliesslich durch strombetriebene Kompressionskältemaschinen erzeugt. Je nach ursprünglicher Dimensionierung und je nach Verteilung der Kälte (über die Luft oder über Wasserkreisläufe) wird die Kälte auf einem Temperaturniveau von 6 °C bis 15 °C (oder höher) erzeugt. Im Gebäudebestand weisen Kältemaschinen (in Abhängigkeit der Effizienz der KM und Dimensionierung der Vorlauftemperatur der Kälteabgabe und der Rückkühlung) eine Leistungszahl (EER) von 3.9 bis 5.5 und bei heutigen Neubauten einen solche von 4.3 bis 6 auf (vgl. dazu Annahmen zu Grenz- und Zielwerten in Tabelle 55 im Anhang)

Massnahme: Die Massnahme *Effiziente Kälteerzeuger* (T.K04) quantifiziert den Ersatz der vorhandenen Kälteerzeuger (Stand 2010) durch effiziente Geräte (Kältemaschinen) mit höherer Leistungszahl (EER). Die Annahmen zu den Leistungszahlen basieren auf SIA 382/1. Für die Berechnung des Energieeinsparpotenzials wurde ein Vergleich zwischen Ziel- und Grenzwerten der Leistungszahlen durchgeführt (vgl. Anhang). Somit kann je nach Leistungsklasse und (Teil)Lastverhalten des Kälteerzeugers von einer Einsparung zwischen 10–15 % ausgegangen werden (bei gegebenen thermodynamischen Randbedingungen). Der Ersatz der Kälteerzeuger erfolgt in der Regel mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren (vgl. SIA 382/1). Gesetzliche Änderungen im Bereich Kältemittel könnten von der Branche, den Eigentümer und den Betreibern der Anlagen als Anlass genutzt werden, den Ersatz von Kälteerzeugern rascher voranzutreiben durch z.B. verbreitete Informationskampagnen und Förderung von Ersatzangeboten.

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir davon aus, dass effizientere Kälteerzeuger bei Neubau und Ersatz ein Marktanteil von 20 % bzw. 25 % aufweisen. In Wohngebäuden gehen wir jedoch von wesentlich geringeren Marktanteilen von 5 % bzw. 10 % aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von 17–25 % im Jahr 2050, dies bezogen auf Gebäude, die mit Klimakälte ausgerüstet sind bzw. werden.

Effizienzzenario: Laut Expertenaussagen stellen die Mindestanforderungen der MuKE und SIA 382/1 für die Gerätehersteller eine Herausforderung dar. Somit nehmen wir an, dass diese im Referenzszenario in der Regel nicht erreicht werden und dass damit für das Effizienzzenario wesentliche Potenziale bestehen. Im Effizienzzenario gehen wir von einem deutlich höheren Marktanteil im Bestand und bei Neubauten aus. Wiederum wurden in Wohngebäuden geringere Marktanteile angenommen. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von 34–46 % im Jahr 2050.

Gleitende Kaltwassertemperaturen

Ausgangslage: In der Regel wurden Kälteanlagen in der Schweiz mit einer konstanten Kaltwassertemperatur geplant und betrieben, je nach Installationsperiode zwischen 6 °C und 12 °C, in neueren Anlagen bis 15 °C.

Massnahme: Durch *gleitende Kaltwassertemperaturen* (T.K06) kann die jahreszeitlich gewichtete Kältezah (ESEER) der Kälteerzeugung erhöht werden. Dies ist auf die Reduktion des Temperaturhubs zurückzuführen, welcher von der Kaltwassertemperatur abhängig ist. Wir gehen davon aus, dass sich

Referenz- und Effizienzscenario in Bezug auf den Temperaturhub um 6 °C unterscheiden und dass dies zu einer Einsparung bis rund 20 % führt (vgl. Jakob et al., 2006). Gleitende Kaltwassertemperaturen werden nach Expertenaussagen aktuell noch sehr wenig eingesetzt, womit in dieser Massnahme weitere Potenziale erschlossen werden können. Der Erneuerungszyklus entspricht weitgehend jenem für Kältemaschinen, ist jedoch in den Sektoren Detailhandel, insbesondere in kleinen Fachgeschäften geringer. In Wohngebäuden findet die Massnahme keine Anwendung, weil die oben beschriebenen Systeme in dieser Art nicht vorkommen.

Referenzscenario: Im Referenzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 5 % bzw. 10 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 25 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 20 % im Jahr 2050.

Effizienzscenario: Im Effizienzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 30 % bzw. 40 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 25 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 47 % im Jahr 2050.

Variable Rückkühltemperatur

Ausgangslage: In der Regel wurden Kälteanlagen in der Schweiz mit einer konstanten Rückkühltemperatur, typischerweise zwischen 35 °C und 45 °C, geplant und betrieben.

Massnahme: Durch den Betrieb von *Kälteanlagen mit variablen Rückkühltemperaturen* (T.K07) kann das Teillastverhalten der Kälteerzeuger verbessert werden. Dabei sind die Kondensationstemperaturen von der Aussentemperatur abhängig. Die Einschätzung des Einsparpotenzials basiert auf Annahmen zur Reduktion des Temperaturhubs. Durch die Reduktion von rund 15 °C kann von einer Reduktion von 15 % - 20 % der Betriebszeiten von Kälteerzeugern ausgegangen werden (vgl. Jakob et al., 2006 und Wellig et al., 2006). Zwischen Neubau und Gebäudebestand bestehen nach unserer Annahme wenige Unterschiede, da Rückkühlwerke von Kälteanlagen wenig durch bauliche Beschränkungen beeinflusst sind, d. h. oft an Dächern oder Balkonen befestigt sind.

Referenzscenario: Im Referenzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 5 % bzw. 10 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu rund 15 % im Jahr 2050.

Effizienzscenario: Im Effizienzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 50 % bei Neubauten aus (im Bestand von deutlich tieferen Werten). Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 40 % im Jahr 2050.

Hybridrückkühler

Ausgangslage: In der Regel wurden Kälteanlagen in der Schweiz mit Trockenrückkühler bei konstanter Rückkühltemperatur geplant und betrieben, typischerweise zwischen 35 °C und 45 °C.

Massnahme: Die Massnahme *Hybridrückkühler* (T.K03) umfasst die Umrüstung bzw. Ausrüstung von Rückkühlwerken zu Hybridrückkühlern. Bei diesen wird der Rückkühler bei gewissen Bedingungen als Verdunstungskühler betrieben (adiabate Kühlung). Die Massnahme ist nur in Kombination mit variablen Rückkühltemperaturen sinnvoll und reduziert den Temperaturhub und damit die Volllaststunden der Kältemaschine um weitere 10 %. Wiederum sind die Unterschiede zwischen Neubau und Gebäudebestand nicht relevant.

Referenzscenario: Im Referenzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 5 % bzw. 10 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu knapp 20 % im Jahr 2050. In Wohngebäuden findet die Massnahme keine Anwendung.

Effizienzscenario: Im Effizienzscenario gehen wir von einem Marktanteil von 50 % bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 und mehr Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 44 % im Jahr 2050. Wiederum findet die Massnahme in Wohngebäuden keine Anwendung.

Free Cooling

Ausgangslage: Bei den in der Schweiz vorherrschenden klimatischen Bedingungen fällt insbesondere bei Bürogebäuden ein markanter Teil des Klimakältebedarfs zu Zeiten an, zu denen die Aussentemperatur geringer ist als die Raumtemperatur. Zu diesen Zeiten kann der Klimakältebedarf durch sogenannte freie Kälte (Free Cooling) gedeckt werden. Dafür erforderliche Installationen und Schaltungen haben in der Schweiz allerdings noch eine relativ geringe Bedeutung, v. a. im Gebäudebestand.

Massnahme: Die Massnahme *Free Cooling* (T.L20) quantifiziert die Nutzung von Umweltkälte, z. B. bei ausreichend niedriger Aussentemperatur (v. a. auch in der Nacht als Nachtauskühlung) oder Grundwasser. Dabei kann das System umgeschaltet werden, so dass der Kompressor abgeschaltet wird und nur noch die Umwälzpumpen laufen. Wir nehmen an, dass sich durch diese Massnahme die Volllaststunden der Kältemaschinen im Durchschnitt um 10-20 % reduzieren.

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir von einem Marktanteil von 5 % bzw. 10 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 17 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einem Marktanteil von bis zu 50 % aus (tiefere Werte im Bestand). Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von bis zu 42 % im Jahr 2050. Weiteres Potenzial ergäbe sich durch automatisierte Fensterlüftung und passive Nachtauskühlung.

Energetische Betriebsoptimierung (eBO) und Gebäudeautomation (GA) im Bereich Kälte

Ausgangslage: Analog zum VZ *Lüftung* besteht auch bei *Klimakälte* ein grosses Potenzial durch Energetische Betriebsoptimierungen (eBO) und Gebäudeautomationsmassnahmen (GA).

Massnahmen: Die Massnahmen umfassen unter anderem allgemeine *eBO im Kältebereich* (T.K08) sowie die individuelle Kältesteuerung (T.K09). Weitere konkrete Massnahmen der energetischen Betriebsoptimierung von Kälteanlagen wurden in der Kampagne „Effiziente Kälte“ von Energie Schweiz spezifiziert (Dumortier 2012). Die Annahmen zur spezifischen Energieeinsparung der GA und eBO Kälte basieren auf GA-Effizienzfaktoren für die Kühlung gemäss SIA 386.110 (vgl. Kapitel 7.2.5 im Anhang) und quantifizieren einen Teil der Einsparungen beim Wechsel von Effizienzlevel B auf A. Dabei wird beachtet, dass diese Faktoren bereits den Effekt der *Variablen Rückkühltemperatur* (vgl. oben) beinhalten, womit die Kälteregelung nebst der individuellen Kältesteuerung insbesondere Funktionen zur Regelung der Übergabe und der Betriebsabfolge der Kälteerzeuger beinhaltet. Es wird davon ausgegangen, dass eBO und GA Massnahmen periodisch durchgeführt werden, v. a. im Effizienzzenario.

Referenzszenario: Im Referenzszenario gehen wir davon aus, dass eBO- und GA-Systeme der Effizienzklassen B und A (gemäss SIA 386.110) bei Neubauten und im Gebäudebestand noch wenig Verbreitung finden. Bei einem Marktanteil von bis zu 15 % in diesen Fällen resultiert ein Realisierungsgrad von 11–21 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einem Marktanteil von bis zu 60 % bei Neubauten aus (tiefere Werte im Bestand). Daraus folgt ein Realisierungsgrad von 33–63 % im Jahr 2050.

Mischluftverhältnis bei LA optimieren

Ausgangslage: Lüftungsanlagen mit Mischluft und Umluftbetrieb wurden in den 1970ern und 1980ern im Detailhandel eingesetzt und können heute noch teilweise von Bedeutung sein. Allerdings ist zu erwarten, dass die meisten dieser Anlagen ohnehin bereits im Referenzszenario ersetzt werden.

Massnahme: Die Massnahme *Mischluftverhältnis* (T.L07) quantifiziert die Optimierung der Volumenbilanz von Lüftungsanlagen im Umluftbetrieb. Dabei wird die durch Prozesskälte gekühlte und durch Abwärme erhitzte Luft optimal zwischen verschiedenen Bereichen der Räume verteilt, was dazu führt, dass der Heiz- und Kühlbedarf reduziert wird.

Referenz- und Effizienzscenario: Da die entsprechenden bestehenden Anlagen aus den 1970er und 1980er Jahren bis 2050 ohnehin durch einen anderen Anlagentyp ohne Mischlufteinsatz und Umluftbetrieb ersetzt werden, besteht kein Unterschied zwischen den Szenarios. Potenziale liegen nach Aussagen von Experten allenfalls noch im Detailhandel, wo dieser Anlagentyp auch künftig noch eine gewisse Bedeutung haben könnte.

3.4.2 Übersicht der Annahmen beim Verwendungszweck *Klimakälte*

In Tabelle 14 ist eine Übersicht der Modellannahmen und der resultierenden Durchdringungsgrade der quantifizierten Massnahmen und Massnahmenpakete dargestellt. Der resultierende Durchdringungsgrad kann je nach Gebäudekategorie unterschiedlich sein, da nicht jede einzelne Massnahme in jeder Gebäudekategorie umgesetzt werden kann. Eine detaillierte Tabelle mit einer Übersicht aller Durchdringungsgrade ist im Anhang 7.5 aufgeführt. Für den Verwendungszweck *Klimakälte* sind insbesondere die Bürogebäude, Hochschulen und ein Teil der übrigen Gebäude, jedoch weniger die Wohn- und einfachen Schulgebäude, relevant.

Tabelle 14 Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifische Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete beim Verwendungszweck *Klimakälte*. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.

	Durchdringungsgrad / Realisierungsgrad ^b			Erneuerungszyklus (Jahre)	Spezifische Effizienzsteigerung	
	2010	2050 Ref	2050 Eff			Bezug ^a
Effiziente Kälteerzeuger	6–8 %	17–25 %	34–46 %	20	13 %	IL
Gleitende Kaltwassertemperatur	0–8 %	0–20 %	0–47 %	25	5–20 %	VLS
Variable Rückkühltemperatur	0–7 %	0–16 %	0–40 %	20	15–30 %	VLS
Hybridrückkühler	0–11 %	0–18 %	0–44 %	20	10 %	VLS
Free Cooling	0–7 %	0–17 %	0–42 %	20	10–20 %	VLS
eBO und GA Kälte	2–12 %	11–21 %	33–63 %	eBO ^c	5–15 %	VLS
Mischluftverhältnis bei LA optimieren ^d	0–0 %	0–8 %	0–8 %	10	5 %	IL

a: Energieeinsparung bezieht sich auf Volllaststunden (VLS) oder installierte Leistung (IL)
b: inkl. Wohnen mit sehr geringem Durchdringungsgrad, da Massnahme i.d.R. nicht anwendbar
c: eBO Massnahmen werden periodisch durchgeführt
d: Nur für Detailhandel relevant

Quelle: Einschätzung und Darstellung TEP Energy basierend auf Experteneinschätzungen und diversen Quellen (im Text erwähnt)

3.5 Massnahmen beim Verwendungszweck *Beleuchtung*

Der Verwendungszweck *Beleuchtung* bezieht sich auf die fest installierte Beleuchtung, womit steckbare Leuchten, namentlich Haushaltlampen, nicht Gegenstand der Betrachtung sind. Stehleuchten in Bürogebäuden werden jedoch im Massnahmenpaket *Effiziente Leuchten* und *Beleuchtung der Hauptsehaufgabe* mitbetrachtet. Es werden folgende Massnahmenpakete modelliert:

- Beleuchtung der Hauptsehaufgabe (T.B02)
- Schwarmregulierung (T.B14)
- Effiziente Leuchten (T.B01)
- LED Retrofit Leuchtmittel (T.B10, T.B12)

- Anpassen der Beleuchtungsstärke und Lichtstromnachführung (T.B03)
- Bedarfsgerechte Steuerung (T.B05, T.B08, T.B09)
- Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung (T.B05, T.B06, T.B011)

3.5.1 Ausgangslage und Massnahmenpakete

Beleuchtung der Hauptsehaufgabe

Ausgangslage: Die planerische Massnahme *Beleuchtung der Hauptsehaufgabe* (T.B02) wirkt durch eine verbesserte und gezieltere Beleuchtung der Nutzflächen, welche für die Ausführung der Arbeit benötigt werden, und somit durch die Reduktion der Volllaststunden und installierten Leistung der Grundbeleuchtung. Potenziale liegen nebst einer stärkeren Förderung der Durchdringung insbesondere in der Verbesserung der Ausführung, sowohl im Bestand als auch im Neubau.

Massnahme: Die Massnahme kann mittels Steh-, Tisch oder Arbeitsplatzleuchten umgesetzt werden, wobei für die restlichen Lichtbedürfnisse im Raum eine Grundbeleuchtung mit geringer Leistung zu installieren ist (mit der Grundbeleuchtung werden isolierte Lichtinseln vermieden). Es wird eine Einsparung von ca. 10–15 % auf Grund des gerichteten Lichts erwartet. Anwendbar ist die Massnahme in diversen Bereichen wie handwerklichen Betrieben (Werkbänken), Büroräumen und Sitzungszimmern (Tischflächen), öffentlichen Bereichen wie der Gastronomie (Einzelplatz- oder Tischbeleuchtung), Ausbildungsstätten oder Gesundheitseinrichtungen (vgl. dazu die Planungshilfe 12464: Beleuchtung von Arbeitsstätten).

Referenzszenario: Es wird angenommen, dass im Referenzszenario ein Marktanteil im Erneuerungs- bzw. Neubaufall von 20 % bzw. 30 % erreicht wird. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren und der Berücksichtigung, dass die Massnahme nicht in allen Raumtypen eine Anwendung findet, ein Durchdringungsgrad von bis zu gut 20 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einer Durchdringung von bis zu 35 % im Jahr 2050 aus.

Effiziente Leuchten

Ausgangslage: Bis anhin wurden Leuchtmittel und Leuchten durch die Lichtausbeute von Leuchtmitteln (LED, Glühlampen, Halogenlampen u. a.) und die Wirkungsgrade von Leuchten charakterisiert. Aufgrund der technischen Bauweise von LED kann das Leuchtmittel jedoch nicht mehr von der Leuchte getrennt betrachtet werden (ausser bei LED-Retrofit Leuchtmitteln). Dies führt dazu, dass Leuchten nicht mehr durch den Wirkungsgrad, sondern durch die Systemlichtausbeute (Lumen pro Watt [lm/W]) charakterisiert werden. So erreichen die besten LED Leuchten derzeit (2015) Werte von bis zu 150 lm/W, wobei man bis 2020 von einem Sättigungswert von 150-200 lm/W ausgehen kann (vgl. Tabelle 56 im Anhang). Momentan liegt der durchschnittliche Wert im Bestand jedoch deutlich tiefer, womit den effizienten Leuchten ein relativ grosses Potenzial für Einsparungen unterstellt und von einer relativ tiefen Durchdringung von nur rund 10 % ausgegangen wird.

Massnahme: Dieses Massnahmenpaket quantifiziert den Ersatz von alten Leuchten sowie den Einbau von *effizienten Leuchten* (T.B01) im Neubau und Bestand (dabei ist diese Massnahme abzugrenzen vom Retrofit von LED-Leuchtmitteln, siehe nächstes Kapitel). Das Potenzial steckt insbesondere in der Auswahl von besseren und effizienteren Produkten. So ergibt sich in einer Querschnittsbetrachtung über effiziente bis sehr effiziente Produkte, d. h. bei einer Steigerung von 80 lm/W (FL) auf 125 lm/W (LED), eine Einsparung der installierten Leistung von über 35 % (Formel vgl. Kapitel 7.2.4 im Anhang). Würden ausschliesslich sehr effiziente Produkte eingesetzt, ergäben sich Einsparungen von bis zu 50 % der installierten Leistung. Dazu kommen weitere Potenziale durch integrierte Bewegungs- und Tageslichtsensoren, welche im Zusammenhang mit LED besonders wirkungsvoll sind.

Bei zu hohen Kosten für den Einbau und Ersatz können Instrumente wie das Contracting sinnvoll sein, um die Anschaffungskosten zu senken und eine schnellere Diffusion der effizienten Leuchten zu ermöglichen.

Referenzszenario: Dem Referenzszenario wird für effiziente Leuchten ein Erneuerungszyklus von 20 Jahren und ein Durchdringungsgrad von 30 % bis rund 35 % im Jahr 2050 unterstellt.

Effizienzzenario: Beim Effizienzzenario ergibt sich bei einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von rund 50 % im Jahr 2050.

LED Retrofit Leuchtmittel

Ausgangslage: Die Durchdringung von LED Retrofit Leuchtmitteln ist für den Heimmarkt und den Markt für Zweckbauten differenziert zu betrachten. So beträgt der Marktanteil im Heimmarkt aktuell (2015) rund 20 %. Der Marktanteil bei Zweckbauten liegt deutlich höher. Es wird angenommen, dass sich ein Ersatz der bestehenden Leuchtmittel in einem Zeitraum von ca. 5–10 Jahren bewegt (bei LED mehr als 10 Jahren) und LED Retrofit Leuchtmittel im Jahr 2010 noch einen sehr kleinen Anteil im Bestand hatten. Es ist davon auszugehen, dass Leuchtstoffröhren in Zukunft weiterhin eingesetzt werden, der Anteil anderer Leuchtmitteltypen wie Kompaktleuchtstofflampen oder Entladungslampen bis 400 Watt auf dem schweizerischen Markt aber bedeutungslos werden wird. Andere Lampentypen (wie z. B. Halogenglühlampen R7 oder G4) sind bis auf weiteres nicht durch LED ersetzbar. Zu lösen sind ausserdem noch Fragen zur Langlebigkeit und Farbqualität von LED.

Massnahme: Dieses Massnahmenpaket quantifiziert zwei Massnahmen. Dies ist zum einen der Ersatz von fest installierten Leuchtmitteln durch *Retrofit LED Leuchtmittel* (T.B12), welche vor allem in kleineren Nebenräumen, Lagern, Garagen und Verkehrsflächen im Untergeschoss im Bestand (im Neubau gewinnen LED Leuchten an Bedeutung) relevant sind. Zum anderen ist dies der *Ersatz von FL-Röhren durch LED-Röhren* (T.B10) in grösseren Räumen von Büro- und Schulgebäuden, wobei in der konkreten Anwendung zu beachten ist, dass die Lichtverteilung vieler LED-Röhren nicht jener der FL-Röhren entspricht und dadurch das Risiko von Blendung besteht.

Zu beachten ist, dass der Ersatz von LED Leuchtmitteln in Leuchten (z. B. Steh- und Pendelleuchten) in Haushalten, Restaurants und Hotels nicht Bestandteil der Betrachtung ist, da diese nicht als gebäudetechnische Installationen betrachtet werden. Zudem ist die Massnahme LED Retrofit abzugrenzen vom kompletten Ersatz der Leuchten (siehe oben). Das Einsparpotenzial bei der installierten Leistung ist abhängig vom Referenzleuchtmittel (vgl. Tabelle 56 im Anhang) und beträgt meist mehr als 50 %.

Referenzszenario: Im Referenzszenario wird angenommen, dass LED Retrofit-Leuchtmittel bis 2050 eine Durchdringung von gut 50 % erreichen.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario ergibt sich bei den LED Retrofit-Leuchtmitteln bis 2050 eine Durchdringung von 54-64 %.

Anpassung der Beleuchtungsstärke und Lichtstromnachführung

Ausgangslage: Eine Überdimensionierung der Beleuchtung kann auf eine suboptimale Planung zurückzuführen sein (zu pauschales Vorgehen, zu grosse Zuschläge, z. B. zur Kompensation des zu erwartenden Lichtstromrückgangs). Um dies zu vermeiden, sollten die Leuchtmittel bereits während der Planung richtig dimensioniert, mit passender Lichtstromstärke vom Hersteller bezogen und bei Inbetriebnahme sauber einjustiert werden. Das Hauptpotenzial ergibt sich jedoch aufgrund von zu hoch einjustierten Beleuchtungsstärken bei LED und FL-Röhren, um den Lichtstromrückgang im Laufe der Betriebsstunden (z. B. über mehrere Jahre hinweg) zu kompensieren. Dabei ist die Lichtstromnachführung, welche mittels dimmbaren Vorschaltgeräten eine betriebsstundenabhängige Reduktion der Beleuchtungsstärke vornimmt, eine mögliche Massnahme. Die momentane Realisierung dieser betrieblichen Massnahme ist von Experten als wenig verbreitet — unter anderem aufgrund der Kosten — aber wichtig eingeschätzt worden.

Massnahme: Durch die Massnahme *Anpassung der Beleuchtungsstärke* (T.B03) wird eine Reduktion von 5–10 % der installierten Leistung erwartet, dies bei einem Erneuerungszyklus von ca. 20 Jahren. In Kombination mit einem GA System wären noch weitere Einsparungen zu erwarten.

Referenzszenario: Es wird angenommen, dass die Anpassung der Beleuchtungsstärke bzw. die Lichtstromnachführung vermehrt vorgenommen wird. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von 3–13 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einer Durchdringung von 12–34 % im Jahr 2050 aus.

Bedarfsgerechte Steuerung

Ausgangslage: Eine bedarfsgerechte Steuerung, z. B. durch Präsenzmelder und Minuterie-Schaltungen, welche zu einer Reduktion der Brenndauer der Beleuchtung führt, gilt insbesondere bei Büros und Schulen und in den Korridoren und Treppenhäusern von solchen Gebäuden als Stand der Technik. Jedoch können durch Nachrüstungsmassnahmen bisher ungenutzte Räume erschlossen, die Sensorik insgesamt verbessert sowie durch geeignete Massnahmen (Planung, Inbetriebsetzung) deren Einsatz und Betrieb optimiert werden. Es wird dabei angenommen, dass diese Massnahmen im Jahr 2010 bereits eine relativ starke Durchdringung von rund 30 % aufweisen, wobei wie erwähnt noch wesentliche Potenziale in der energetischen Betriebsoptimierung liegen.

Massnahmenpaket: Das Massnahmenpaket quantifiziert die Wirkung der Massnahmen *Beleuchtung manuell Ein und automatisch Aus* (T.B05) und *Zeitschaltung Beleuchtung* (T.B08). Bei ersterer wird auf Wunsch der Nutzer die Beleuchtung eingeschaltet und wenn keine Person anwesend ist, die Beleuchtung automatisch ausgeschaltet. Letztere betrifft den Einsatz von Minuterie-Schaltungen. Das Massnahmenpaket wirkt zum einen im Sinne einer Nachrüstungsmassnahme, namentlich durch den Einbau zusätzlicher Sensorik und zum anderen im Sinne einer betrieblichen Massnahme. Letztere durch den optimierten Betrieb der Sensorik, d. h. durch die Verkürzung von Nachlaufzeiten und die *Betriebskontrolle und Inbetriebnahme der Sensorik* (T.B09). Relevant ist das Massnahmenpaket insbesondere für Korridore, Treppenhäuser, Verkehrsflächen und sanitäre Räume aller Gebäudekategorien.

Referenzszenario: Dem Referenzszenario wird ein Marktanteil von bis zu 50 % unterstellt (v.a. bei Neubauten, tiefere Werte im Bestand). Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 und z.T. mehr Jahren ein Durchdringungsgrad von 25–30 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einer Durchdringung von 43–56 % im Jahr 2050 aus (bezogen auf die Gesamtfläche).

Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung

Ausgangslage: Kombinierte Präsenz- und Tageslichtsensoren (PIR und Fotozelle) sind oft für die Präsenzerfassung optimiert. Dies kann dazu führen, dass die tageslichtabhängige Regelung suboptimal eingestellt ist. Durch betriebliche Massnahmen wie z. B. einer verbesserten Inbetriebnahme der Sensoren und Nachkontrollen könnte dieser Zustand verbessert werden. Zusätzlich bieten sich dank der Verbreitung von LED neue Potenziale durch Nachrüstungsmassnahmen, namentlich durch den Einsatz von Konstantlichtregelungssystemen. Aufgrund der suboptimalen Regelung und der anspruchsvollen Planung der Konstantlichtregelung wird dem Jahr 2010 eine relativ geringe Durchdringung dieser Massnahmen von rund 20 % unterstellt.

Massnahmenpaket: Das Massnahmenpaket quantifiziert die Wirkung der *optimierten tageslichtabhängigen Beleuchtungsstärke* (T.B06), der *Konstantlichtregelung* (T.B11) und der *automatisierten Storensteuerung* (T.A05). Die Energieeinsparpotenziale von bis zu 50 % der Brenndauer sind mitunter vom Raumtyp und der Tageslichtexposition abhängig und werden nur erreicht, wenn die Anlage optimal eingestellt und in Betrieb genommen wird. Die Massnahmen sind relevant für tageslichtexponierte Büro-, Schul-, und Gemeinschaftsräume (sowie weitere Räume in übrigen Gebäudekategorien), nicht jedoch für Wohnräume.

Referenzszenario: Im Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass die Mehrkosten zum Betrieb einer optimal justierten Tageslichtregelung oder Konstantlichtregelung, trotz einer positiven Wirtschaftlichkeitsrechnung (längere Lebensdauer der LED etc.), von den Endkunden gescheut werden. Aus diesen Gründen ist im Moment anzunehmen, dass diese Systeme im Referenzszenario nur eine Durchdringung von weniger als einem Fünftel aufweisen werden.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario ergibt sich eine Durchdringung von 33–38 % im Jahr 2050.

Schwarmregulierung

Ausgangslage: Bei der Schwarm-Beleuchtungsregelung ist in jeder Leuchte ein eigener Präsenzmelder integriert, wobei mehrere Leuchten miteinander über ein Netzwerkprotokoll kommunizieren. Erfasst eine Leuchte eine Person, so regelt diese ihr eigenes Licht auf 100 % und jenes der Leuchten in der Umgebung auf rund 10–30 % der Beleuchtungsstärke. Im Fall von Personen in Bewegung bewegt sich das Licht quasi mit der Person im Raum mit. In Situationen mit geringer Belegung (z.B. in Grossraumbüros und anderen shared spaces (z.B. Personalrestaurants, Cafeterias) zu Randzeiten z.B. am Morgen oder am Abend oder bei Verkehrsflächen kann ein Grossteil der Energie eingespart werden. Die Technologie ist (Stand 2015) noch relativ jung, womit sie in 2010 noch keine Marktdurchdringung erfahren hat. Es ist zu beachten, dass diese Regelungstechnik nur mit LED wirtschaftlich ist, da diese im Gegensatz zu FL-Leuchten wesentlich rascher auf- und abgedimmt werden können.

Massnahme: Die Massnahme *Schwarmregulierung* (T.B14) quantifiziert den Einbau von Leuchten mit Schwarmregulierungsfunktion. Aufgrund der präzisen Regulierung, werden die Leuchten wie oben beschrieben nur bei Bedarf auf 100 % der Volllast betrieben, womit wir von einer relativ grossen Einsparung der Volllaststunden von über 50 % pro Verkehrsfläche wie Lager, Garagen und Korridoren sowie über 25 % bei Grossraumbüros ausgehen.

Referenzzenario: Dem Referenzzenario wird ein Marktanteil von i.d.R. weniger als 5 % unterstellt. Dies ergibt je nach Anwendungsbereich eine Durchdringung von bis zu 6 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Dem Effizienzzenario wird ein deutlich höherer Marktanteil unterstellt. Dies ergibt eine Durchdringung von bis zu 3 bis 16 % im Jahr 2050.

3.5.2 Übersicht der Annahmen beim Verwendungszweck *Beleuchtung*

In Tabelle 15 ist eine Übersicht der Modellannahmen der quantifizierten Massnahmen und Massnahmenpakete, welche bei der *Beleuchtung* getroffen wurden, dargestellt. Der Durchdringungsgrad kann, je nach Gebäudekategorie unterschiedlich sein, da nicht jede einzelne Massnahme in jeder Gebäudekategorie umgesetzt werden kann. Eine detaillierte Tabelle mit einer Übersicht aller Durchdringungsgrade pro Gebäudekategorie ist im Anhang 7.5 aufgeführt.

Im Vergleich zu den Einsparungen in der SIA 2024 sind die hier gewählten Einsparpotenziale tiefer. Dies ist aus den Workshops und den Gesprächen mit den Experten hervorgegangen. Dabei wurde darauf hingewiesen, dass die SIA 2024:2015-Werte generell zu optimistisch sind (unter anderem aufgrund der Erwartung von zu hohen Effekten der Tageslichtsensorik und Präsenzmelder). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die entsprechenden Werte von der SIA 2024:2006 unverändert übernommen worden, weil die Überarbeitung der SIA 380/4 noch nicht abgeschlossen ist. Eine Anpassung der Werte ist daher in absehbarer Zeit erwarten.

Zudem ist ein Rebound-Effekt bei den Nutzern denkbar, da mit der neuen LED-Technologie neue Begehrlichkeiten geweckt werden, die zu mehr Einsatz von Beleuchtungen führen könnten (z. B. Ambientbeleuchtung im Wohnraum, höhere Produktausleuchtung etc.). Bei den LED wird immer eine sehr lange Lebenszeit angenommen, dies relativiert sich aber, wenn man vorgeschaltete Elektronik in die Betrachtung miteinbezieht, da diese schaltempfindlicher ist als die Diode selbst.

Tabelle 15 Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifische Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.

	Durchdringungsgrad / Realisierungsgrad			Erneuerungszyklus (Jahre)	Spezifische Effizienzsteigerung	
	2010	2050 Ref	2050 Eff			Bezug ^a
Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	0–7 %	0–21 %	2–35 %	20	10-15 %	IL
Effiziente Leuchten	1–3 %	30–32 %	47–50 %	20	> 35 %	IL/VLS
LED Retrofit Leuchtmittel	0–7 %	49–56 %	54–64 %	5	30 %	IL
Anpassung Beleuchtungsstärke/Lichtstromnachführung	0–23 %	3–13 %	12–34 %	20	5-10 %	IL
Bedarfsgerechte Steuerung	0–5 %	25–35 %	43–56 %	20	5-25 %	VLS
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	0–0 %	11–18 %	33–38 %	25	50 % ^d	VLS
Schwarmregulierung	0–7 %	1–6 %	3–16 %	20	50 % ^c	VLS
a: Energieeinsparung bezieht sich auf Volllaststunden (VLS) oder installierte Leistung (IL) b: eBO Massnahmen werden periodisch durchgeführt c: in den relevanten Raumtypen d: in tageslichtexponierten Räumen						

Quelle: Einschätzung und Darstellung TEP Energy basierend auf Experteneinschätzungen und diversen Quellen (im Text erwähnt)

3.6 Massnahmen beim Verwendungszweck *Allgemeine Gebäudetechnik*

Der Verwendungszweck *Allgemeine Gebäudetechnik* umfasst die folgenden allgemeinen und übergreifenden Gebäudetechnikmassnahmen:

- Allgemeine Gebäudetechnik
- Pumpen und Hilfsenergie
- Lifte, Rolltreppen und andere Transporteinrichtungen

3.6.1 Charakterisierung der Massnahmen im Einzelnen

Allgemeine Gebäudetechnik

Der Verwendungszweck *Allgemeine Gebäudetechnik* enthält vornehmlich gesamtgebäudebezogene Energieanwendungen im Bereich der Gebäudemanagementsysteme, Sicherheit (Schliessenanlagen, Brandschutzanlagen, Überwachungssysteme, elektrische Schliessenanlagen, USV-Anlagen und Frostschutzheizungen) und Elektroversorgung (Transformatoren). Je nach Gebäudekategorie und Raumnutzung beträgt der Stromverbrauch durch *Allgemeine Gebäudetechnik* 1 bis 4 kWh/m²a. Unter den Bereich *Allgemeine Gebäudetechnik* fallen folgende durch die KGTV vorgeschlagenen Massnahmen:

- T.G02 Kurze Distanzen Elektroverteilung
- T.G09 Separate Notleuchten (z. B. LED)
- T.S10 Feuchtigkeitsgeführte Dachrinnenheizung (DRH)
- T.G01 Ersatz Netztransformator
- T.G03 Erhöhung der Übertragungsspannung
- T.G04 Ersatz Kleinspannungstransformator

- T.G06 Korrektur Leistungsfaktor
- T.G07 Wärmeverluste Notstromgenerator
- T.G10 Effiziente USV
- T.G11 Schneefreihaltung SAT Anlage
- T.G14 Mechanische Türschliesser
- T.G08 Abschalten der Exitleuchten
- T.G16 Musik über EVAK

Nebst diesen Massnahmen wird der Einfluss von weiteren, hier explizit genannten Massnahmen mitberücksichtigt, d. h. dass die Summe aller Einzelmassnahmen dieses Massnahmenpakets nur ein Teil der modellierten Einsparungen darstellt (vgl. Ergebnisse in Kapitel 4.1.5). Die Quantifizierung der Basiswerte und der Einsparungen beruhen auf den Werten der SIA 2024 zu den Betriebseinrichtungen abzüglich des Anteils der Geräte. Davon entfallen weniger als 1 kWh/m² auf GA-Systeme, Überwachung, Schliessenanlagen und Brandschutzanlagen (SIA 380/4).

Einige Massnahmen im Massnahmenpaket sind entweder gesetzlich geregelt oder Stand der Technik. Erstere betreffen die *feuchtigkeitsgeführten Dachrinnenheizungen* (T.S10), welche durch entsprechende Anforderungen in der MuKE n geregelt sind. Letztere betreffen die *kurzen Distanzen der Elektroverteilung* (T.G02) und den Einsatz von LED in *separaten Notleuchten* (T.G09). Im Neubau gehen wir daher davon aus, dass diese Massnahmen ohnehin umgesetzt werden. Allenfalls bestehen im Bestand noch Potenziale in Bezug auf diese Massnahmen.

Die Massnahmen *Ersatz der Netztransformatoren* (T.G01), *Erhöhung der Übertragungsspannung* (T.G03) und *Korrektur des Leistungsfaktors* (T.G06) sind Bestandteil der Elektroverteilung, wobei Einsparpotenziale nach Expertenaussage meist nur für grössere Gebäude mit vielen Arbeitsplätzen oder Industrieanwendungen relevant sind. Durch die Korrektur des Leistungsfaktors können laut Expertenaussagen bis zu 10 % der Leitungsverluste reduziert werden, wobei eine Beurteilung pro Einzelfall erfolgen muss.

Durch den Einsatz einer effizienten unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) können laut Expertenaussage einige wenige der Verlustleistung und damit weniger als 1 % der abgesicherten Leistung eingespart werden. Bedeutendere Potenziale in Bezug auf die USV liegen in der korrekten Planung, Auslegung und Dimensionierung von entsprechenden Anlagen. Zur Anwendung kommt die Massnahme typischerweise in Rechenzentren, Spitälern, in spezifischen Industriebranchen und anderen Bereichen, bei denen eine unterbrechungsfreie Stromversorgung wichtig ist.

Das Zusatzpotenzial von effizienteren mechanischen Türschliessern, *Schneefreihaltung der SAT Anlage* (T.G11) und Vermeidung von *Musikverbreitung über EVAK* (T.G16), sowie von *separaten Notleuchten mit LED* (T.G09) ist nach Einschätzung von Experten gesamtschweizerisch gesehen eher klein, trägt aber mitunter zu den Einsparungen der Allgemeinen Gebäudetechnik bei.

Vorsicht geboten ist bei der Massnahme Abschalten der Exitleuchten, da sicherheitsrelevante Aspekte vor Energieaspekten berücksichtigt werden sollten.

Referenzszenario: Für das Massnahmenpaket Effizienzmassnahmen gehen wir im Referenzszenario je nach Raumtyp von einem Marktanteil von bis zu 15 % bzw. 20 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt ein Durchdringungsgrad von rund 20 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir bei diesem Massnahmenpaket von einem Marktanteil von bis 70 % bzw. 75 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus, wobei anzumerken ist, dass die Massnahme nicht in allen Räumen angewendet werden kann. Unter Berücksichtigung dieses Umstands, d.h. der möglichen Anwendungsfälle bzw. Einschränkungen und der sehr unterschiedlichen Erneuerungszyklen ergibt sich ein Durchdringungsgrad von gut 40 % im Jahr 2050.

Pumpen und Hilfsenergie

Ausgangslage: Pumpen finden Anwendung in den Verwendungszwecken *Klimakälte*, *Raumwärme* und *Warmwasser*, im Verwendungszweck *Raumwärme* und *Klimakälte* als Umwälzpumpen und bei *Warmwasser* als Trinkwasserpumpen. Um Effizienzmassnahmen im Bereich der Pumpen bereichsübergreifend zu behandeln, werden sie hier im Verwendungszweck *Allgemeine Gebäudetechnik* quantifiziert. Pumpenanwendungen betreffen zentralisierte Pumpen, um Heizwärme und Warmwasser sowie Kälte im Gebäude zu verteilen und andererseits auf die Hilfsenergie im Heizsystem selbst (Ventilatoren in Brennern) und in den Peripheriesystemen, um Wärme- oder Kältemittel von Wärmepumpensystem (Splitanlagen, Erdsonden) und Kälteanlagen zu zirkulieren. Weiterhin beinhaltet die Massnahme den Elektrizitätsverbrauch für den Start der Anlagen und Pumpen und andere Medienfördersysteme, um Brennstoffe wie Öl und Pellets zu transportieren.

Im Gebäudebestand wurden Pumpensysteme mehrheitlich konventionell, d. h. über Drosselklappen und gegebenenfalls eine Stufenregelung betrieben. Der Einsatz der Drehzahlregelung nimmt stetig zu. Wir gehen davon aus, dass Neubauten auf dem Stand der Technik ausgerüstet werden, dass jedoch weitere Effizienzmassnahmen im Sinne von Best Practice ergriffen werden können.

Massnahmenpaket: Effizienzpotenziale sind v. a. durch systemorientierte Ansätze zu erschliessen. Dies betrifft planerische Massnahmen (adäquate Dimensionierung, Verluste durch kurze Leitungen mit grossem Querschnitt minimieren), Nachrüstungsmassnahmen (Ausrüstung mit Frequenzumrichtern und Auswahl geeigneter Regelkriterien wie CO₂- oder Temperaturregelung, v. a. bei Anwendungen mit stark variablem Bedarf) und betriebliche Massnahmen wie hydraulischer Abgleich (vgl. SAFE 2012). Bei der Effizienz von Pumpen im engeren Sinn bestehen ebenfalls gewisse Potenziale, diese sind jedoch gering, v. a. weil davon ausgegangen wird, dass die seit 2013 geltenden Effizienzvorschriften (EU Verordnung für Wasserpumpen) im Referenzszenario flächendeckend greifen werden. Die Massnahmengruppe „Pumpen und Hilfsenergie Effizienzmassnahmen“ beinhaltet demnach die folgenden Massnahmen:

- Bedarfsgerechte Pumpenleistung durch dem Einsatz von Frequenzumrichtern (FU) und drehzahlgeregelten Pumpen (T.W11)
- Regelung der Trinkwasser-Pumpen (T.S11)
- Hydraulischer Abgleich (T.W07).

Die Effekte des Massnahmenpakets sind jedoch nicht ausschliesslich auf die zwei erstgenannten Massnahmen (T.W11 und T.S11) beschränkt, sondern beinhalten weitere diverse Massnahmen im Bereich der Pumpen (vgl. einleitender Abschnitt oben).

Referenzszenario: Für das Massnahmenpaket Effizienzmassnahmen gehen wir im Referenzszenario je nach Gebäudekategorie von einem Marktanteil von bis zu 15 % bzw. 20 % im Bestand bzw. bei Neubauten aus. Daraus folgt ein Durchdringungsgrad von 17-24 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einem deutlich höheren Marktanteil aus. Bei einem Erneuerungszyklus von 15 bis 30 Jahren ergibt sich ein Durchdringungsgrad von 39-47 % im Jahr 2050.

Lifte und andere personenbezogene Fördersysteme

Massnahmenpaket: Das Massnahmenpaket Lifte und andere personenbezogene Fördersysteme enthält Effizienzmassnahmen für bewegliche Teile (Motor, Getriebe etc.) und nicht bewegliche Teilen (Liftbeleuchtung, Lüftung im Lift etc.) von Liften. Ebenfalls Teil des Bereiches sind Rolltreppen und Laufbänder. Die Annahmen basieren auf dem Modell TEP Tertiary, das im Rahmen des Ex-Post Analysen im Auftrag des BFE angewendet wird, sowie auf Annahmen des Modells FORECAST, das TEP Energy und das Fraunhofer ISI entwickeln und betreiben. Die Modellgrundlagen stützen sich auf die sogenannten vorbereitenden Studien der EU Ökodesign-Richtlinie ab (energy using products directive). Die Einsparungen der Massnahmenpakete liegen für die beweglichen Teile zwischen 8 % - 12 %

im Vergleich zum Stand der Technik. Jene für die nicht-beweglichen Teile zwischen 10 % - 22 %. Insgesamt, d. h. schweizweit gesehen, ist die Relevanz der Massnahmen im Bereich Lift eher gering.

Das Massnahmenpaket Lifte und andere personenbezogene Fördersysteme beinhaltet unter anderem die folgenden Massnahmen:

- Effiziente Aufzüge (T.T01)
- Betrieb Rolltreppe (T.T03)
- Stand-by Aufzug Beleuchtung (T.T02)
- Aufzugsschacht Entlüftung (T.L15)

Referenzszenario: Für das Massnahmenpaket energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften gehen wir von einem Marktanteil von bis zu 30 % bei Neubauten aus (tiefere Werte im Bestand bzw. im Erneuerungsfall). Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von rund 30 % bis 50 % im Jahr 2050.

Effizienzzenario: Im Effizienzzenario gehen wir von einem etwas höheren Marktanteil im Bestand und bei Neubauten aus. Daraus folgt mit einem Erneuerungszyklus von 20 Jahren ein Durchdringungsgrad von rund 50 % bis 65 % im Jahr 2050.

3.6.2 Übersicht über die Annahmen beim Verwendungszweck Allgemeine Gebäudetechnik

In Tabelle 16 ist eine Übersicht der Modellannahmen der quantifizierten Massnahmen und Massnahmenpakete dargestellt, welche bei der *Allgemeinen Gebäudetechnik* getroffen wurden. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Massnahmen in allen Sektoren umgesetzt werden können und eine unterschiedliche Wirkung zeigen.

Tabelle 16 Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifischen Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.

	Durchdringungsgrad / Realisierungsgrad			Erneuerungszyklus (Jahre)	Spezifische Effizienzsteigerung	
	2010	2050 Ref	2050 Eff			Bezug ^a
Allgemeine Gebäudetechnik	8–14 %	18–21 %	41–44 %	10	17–43 %	IL & VLS
Pumpen und Hilfsenergie	10–12 %	17–24 %	39–47 %	20	14–60 %	IL & VLS
Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften	14–16 %	30–37 %	48–56 %	20	8–42 %	IL
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	20–30 %	38–49 %	52–65 %	20	5–10 %	IL
a: Energieeinsparung bezieht sich auf Volllaststunden (VLS) oder installierte Leistung (IL)						
b: eBO Massnahmen werden periodisch durchgeführt						

Quelle: Einschätzung und Darstellung TEP Energy basierend auf Experteneinschätzungen und diversen Quellen (im Text erwähnt)

3.7 Anmerkungen zur spezifischen und übergreifenden GA

Die Wirkung der Gebäudeautomation wird in dieser Studie durch die Massnahmenpakete *GA Heizung, Raumluftbefeuchtung nach Bedarf, Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung* in Lüftungen, *eBO* und *GA Kälte* sowie *Bedarfsgerechte Steuerung* der Beleuchtung und *Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung* abgedeckt. Diese Massnahmen quantifizieren die spezifische und isolierte Wirkung in Bezug auf die Verwendungszwecke, wobei deren Potenzial mitunter stark vom Nutzungsprofil ab-

hängig ist. So können insbesondere bei zeitlich stark variablen Nutzungsprofilen durch die GA bedeutende Effizienzpotenziale erschlossen werden (Becker 2011). Bedeutende Voraussetzungen für den optimalen Betrieb der GA-Systeme sind

- Einfachheit: die einfache Bedienbarkeit der Regel- und Leitsysteme
- Know how: die Verfügbarkeit von geschultem bzw. instruiertem Personal, welches die Systeme planen, in Betrieb nehmen (kalibrieren), überwachen und bei Bedarf anpassen kann.
- Energetische Betriebsoptimierung (eBO): die regelmässige Überwachung und bei Bedarf Anpassung der GA-Parameter. Insbesondere das korrekte Einstellen der Soll-Werte solcher Systeme spielt dabei eine bedeutende Rolle.

Durch eine integrale und gewerkeübergreifende Auslegung der Gebäudeautomationssysteme, d. h. durch deren Vernetzung, sind zusätzliche Potenziale bei Schul-, Büro- und übrigen Gebäuden möglich. Konkrete Massnahmen bestehen z. B. in der frühzeitigen Einspeisung von Meteodaten zur prädiktiven Regelung, der Koordination von Wärme-, Lüftungs- & Klimaanlageanlagen und des Sonnenschutz-einsatzes unter Einbezug der Beleuchtungsinstallation (z. B. *tageslichtabhängiger Innenbeleuchtung*) sowie dem integrierten und vernetzten Monitoring aller Systeme. Zu erwähnen sind Interaktionseffekte zwischen eBO und GA. Zum einen können suboptimale Soll-Werte dazu führen, dass das Energieeinsparpotenzial vermindert oder gar negativ wird (z. B. auf eine zu niedrige CO₂ Konzentration eingestellte Volumenstromregelung kann zum unnötigen Dauerbetrieb von LA führen). In dieser Studie wird daher eine optimale eBO zum Erreichen der Potenziale der GA vorausgesetzt. Zum anderen führt ein optimales Monitoring (z. B. im Sinne der eBO gemäss entsprechendem SIA-Merkblatt) dazu, dass die Realisierung der eBO Massnahmen optimiert und vielfach überhaupt erst möglich wird. Im weiteren Verlauf der Studie wird davon ausgegangen, dass ein Teil der GA Potenziale auf die oben erwähnte übergreifende Gebäudeautomation und das Monitoring zurückzuführen ist.

4 Aggregierte Energieeffizienz- und Emissionsreduktionspotenziale

Im Folgenden werden die Potenziale, wie in Kapitel 2.1 erläutert, als Differenz des Effizienzscenarios und des Referenzscenario präsentiert und der Ist-Zustand für das Jahr 2010 ausgewiesen. Zum besseren Verständnis werden jeweils die Energieverbräuche und THGE der beiden Szenarien und des Ist-Zustandes vorangestellt.

4.1 Effizienzpotenziale auf Ebene Endenergie

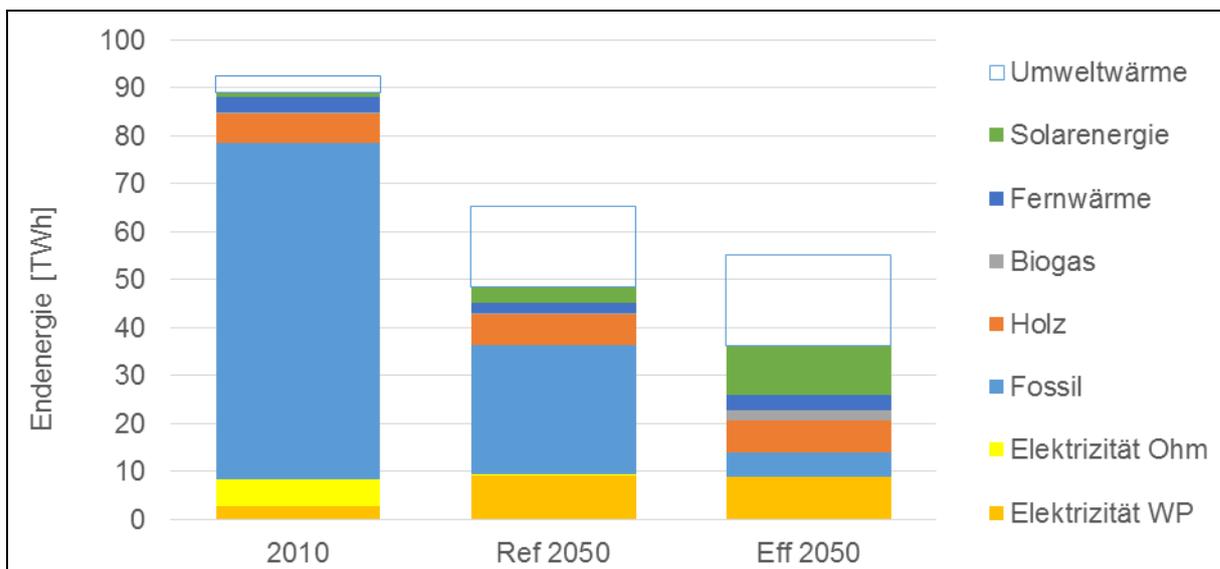
Ein wichtiges Zwischenergebnis zur Berechnung der PE und THGE stellt die Betrachtung auf Endenergie (EE) dar. Nicht zuletzt bieten die Werte der EE den Vorteil, dass sie mit der Energiestatistik (vgl. Kapitel 7.4 im Anhang) und den Ergebnissen der Energiestrategie 2050 des Bundes vergleichbar sind.

4.1.1 Verwendungszweck Raumwärme und Warmwasser

Der Endenergieverbrauch im Jahr 2050 für *Raumwärme* und *Warmwasser* verringert sich im Referenzscenario um 30 %, gemessen am Verbrauch vom Jahr 2010, trotz einer Ausweitung der beheizten Flächen um gut 30 %. Der Rückgang des Energieverbrauchs wird durch zwei Effekte ermöglicht, zum einen durch den Rückgang der Nutzenergie und zum anderen durch die effizientere Nutzenergiebereitstellung, d. h. den effizienteren Einsatz der Endenergie. Der erstere Effekt, d. h. die Reduktion der Nutzenergie ist auf die fortgesetzte Gebäudeerneuerung (namentlich im Bereich Gebäudehülle), energieeffiziente Lüftungskonzepte und -anwendungen (z. B. weitere Verbreitung von Minergie, Erneuerung und eBO von LA) zurückzuführen. Der zweitgenannte Effekt kommt durch eine Reihe von gebäudetechnischen Massnahmen wie z. B. effizientere Heiz- und Warmwasseranlagen und Wärmeverteilungen sowie weitere gebäudetechnische Massnahmen zustande. Im Effizienzscenario verringert sich die Endenergienachfrage um 40 % (siehe Abbildung 10 und Tabelle 17 in der letzten Zeile). Damit liegt das Effizienzscenario relativ rund 10 % tiefer als das Referenzscenario. Dies ist zum einen effizienteren Heizanlagen und zum anderen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) zu verdanken. Im Bereich der Gebäudehülle wurde hingegen definitionsgemäss kein Unterschied zwischen den Szenarien angenommen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass in der oben erwähnten Entwicklung der Endenergie als Gesamtes auch die Umweltwärme mit bilanziert ist, dies analog zur Konvention in der Gesamtenergiestatistik (GEST). Auf Ebene einzelner Energieträger oder Energieträgergruppen sieht die Entwicklung deutlich anders aus. Die Verwendung der treibhausgasintensiven fossilen Energieträger (Heizöl und Erdgas) für *Raumwärme* und *Warmwasser* beispielsweise nimmt im Referenzscenario zwischen 2010 und 2050 von rund 70.0 TWh auf 27 TWh ab. Dies entspricht einer Reduktion um rund 60 % zwischen 2010 und 2050 bei den fossilen Energieträgern und von rund 30% beim Total der Endenergie. Durch den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern und den entsprechenden Heizsystemen im Effizienzscenario, namentlich Wärmepumpen und Umweltwärme lässt sich die Verwendung der fossilen Endenergie um weitere 22 TWh reduzieren. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern nimmt der Einsatz von erneuerbaren Energie deutlich zu, absolut gesehen am stärksten bei der Umweltwärme mittels Wärmepumpeneinsatz. Beim Elektrizitätsverbrauch ist zu beachten, dass sich zwei gegenläufige Entwicklungen überlagern, nämlich die Reduktion des Verbrauchs der Elektroheizungen und die Zunahme des Verbrauchs von Wärmepumpen. Im Vergleich der beiden Szenarien heben sich diese Effekte in etwa auf.

Es ist darauf hinzuweisen, dass in den urbanen Räumen die Erschliessung der Potenziale der erneuerbaren Energien nur mit leitungsgebundenen thermischen Netzen erschlossen werden können (Fernwärme, Niedertemperaturnetze), wie die Energiekonzepte verschiedener Schweizer Städte zeigen (u.a. St. Gallen, Genf, Basel, Bern und Zürich, siehe dazu u.a. Jakob et al. 2014).



Quelle: TEP Energy

Abbildung 10 Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh für das Referenz- und das Effizienz-szenario. Elektrizität ist aufgeteilt nach Verbrauchsart ohmsche Elektrodirekt- oder -speicherheizung (Ohm) oder Wärmepumpe (WP)

Tabelle 17 Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2010 und im Jahr 2050 für die zwei Szenarien Referenz und Effizienz nach Energieträger in TWh. Die Veränderung durch Substitution ist als Differenz zwischen Effizienz und Referenzszenario dargestellt, die Reduktion ist im Verhältnis (i.V.) zum Basisjahr 2010.

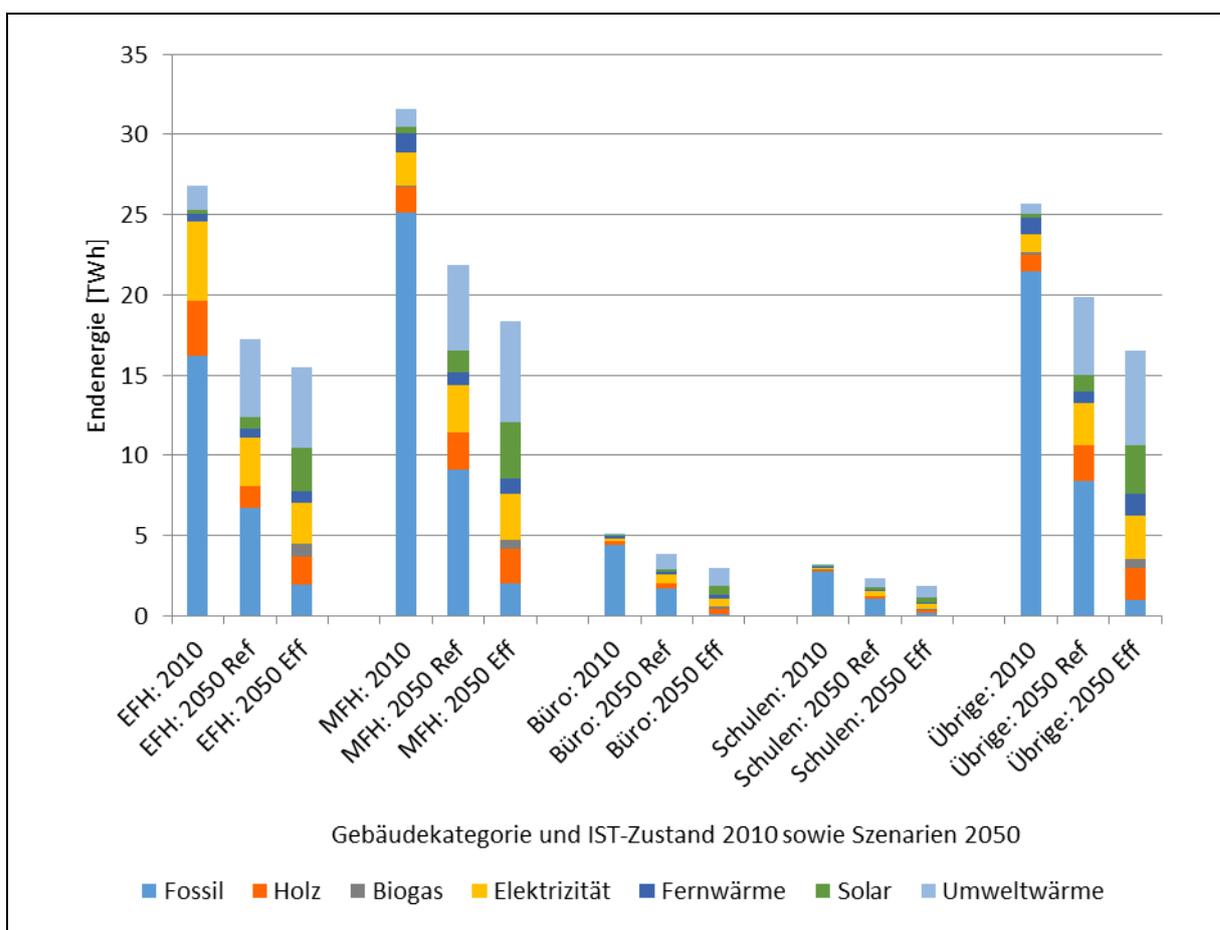
Energieträger	2010	Ref 2050	Eff 2050	Veränderung durch Substitution ¹⁾	
	TWh	TWh	TWh	TWh	%
Fossil	70.0	27.0	5.2	-21.9	-81 %
Holz	6.4	6.4	6.5	0.1	2 %
Biogas	0.3	0.1	2.1	2.0	2332 %
Elektrizität (ohmsche Direktheizungen und Wärmepumpen)	8.3	9.4	8.9	-0.5	-5 %
Fernwärme	3.1	2.3	3.4	1.1	48 %
Solarenergie	0.9	3.3	10.1	6.8	208 %
Umweltwärme	3.5	16.6	19.1	2.5	15 %
Total	92.4	65.1	55.2	-9.8	-15%
Reduktion (i.V. zu 2010)		-30%	-40%		

¹⁾ Als Differenz zwischen Effizienz- und Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

Aufteilung des Energieträgermixes auf die Gebäudekategorien

Wie in Abbildung 11 ersichtlich ist, sind in Bezug auf die Gebäudekategorien und Energieträger vergleichbare Trends festzustellen. Insbesondere sinkt in allen Gebäudekategorien der Einsatz von fossilen Energieträgern. Eine unterschiedliche Entwicklung ergibt sich für die Umweltwärme, welche bei den kleinen Gebäuden relativ gesehen eine stärkere Bedeutung gewinnt.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 11 Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2010 und 2050 im Referenz- und Effizienz-szenario nach Energieträger und Gebäudekategorie in TWh.

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Raumwärme

Aus der Aufschlüsselung nach Massnahmenpaketen (Tabelle 18) geht hervor, dass rund 34 % der gebäudetechnikbezogenen Potenziale zur Reduktion der Endenergie des Verwendungszweckes *Raumwärme* (rund 6'790 GWh) auf die Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen zurückzuführen sind. Ein weiterer grosser Anteil an der Reduktion tragen die energetische Betriebsoptimierung sowie die Gebäudeautomation der Heizung bei (32 % bzw. 21 %).

Zu beachten ist, dass die Energieträgersubstitution nur zu einer geringen Einsparung an Endenergie führt, da der Verbrauch dadurch kaum beeinflusst wird (abgesehen vom Umstand, dass WP definiti- onsbedingt eine Effizienz von 100% aufweisen (wenn die Umweltwärme auch mitbilanziert wird) und damit höher liegen als feuerungsbasierte Anlagentypen). Die gleiche Nutzenergiemenge wird dabei durch einen anderen Energieträger mit ungefähr gleich viel Verbrauch bereitgestellt. Die (substanz- ielle) Wirkung der Energieträgersubstitution ergibt sich jedoch bei der Betrachtung auf Ebene der Pri- ärenergie und der Treibhausgasemissionen (siehe Kap. 4.2.1 und 4.3.1). Aus diesen Gründen wer- den die entsprechenden Massnahmen (Einsatz von Biogas-WKK, Ersatz von fossilen Heizsystemen sowie Ersatz von Elektroheizungen) nicht in diesem Kapitel, sondern in 4.2 und 4.3 behandelt.

Tabelle 18 Endenergieverbrauch für Raumwärme im Referenz- und im Effizienzscenario 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	Endenergie [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	79'245	
Referenzscenario 2050	51'985	
Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen	-2'296	34 %
Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Anlagentypen	-106	2 %
Effizienzsteigerung von Wärmepumpen	-666	10 %
Effiziente Wärmeabgabe	-77	1 %
Energetische Betriebsoptimierung Heizung	-2'186	32 %
Gebäudeautomation Heizung	-1'457	21 %
Total aller Massnahmenpakete	-6'788	100 %
Relative Einsparung zum REF Szenario	-13%	
Effizienzscenario 2050	45'196	

Quelle: TEP Energy

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Warmwasser

Im Referenzscenario werden im Jahr 2050 rund 13'150 GWh Endenergie für *Warmwasser* verbraucht. Dies entspricht in etwa dem Ist-Zustand von 2010, dies trotz eines Wachstums des Mengengerüsts. Im Effizienzscenario können weitere 1'400 GWh durch die Reduktion der Nutzenergie und der Verluste durch energetische BO und Gebäudeautomation (430 GWh) erreicht werden. Dies beinhaltet die Regelung von Warmwasserspeichern (dabei sind die hygienischen Aspekte zu beachten) und die Dämmung von Leitungen. Analog zur *Raumwärme* ergibt sich eine substantielle Wirkung weiterer Massnahmenpakete erst auf Betrachtung der PE_{n.e.} und der THGE (vgl. oben). Der Wechsel der Energieträger führt zu einer Nutzungsgradänderung, was auf Ebene der Endenergie einer weiteren Einsparung von knapp 1300 GWh entspricht.

Tabelle 19 Endenergieverbrauch für Warmwasser im Referenz- und im Effizienzscenario. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	Endenergie [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	13'178	
Referenzscenario 2050	13'150	
Reduktion der Nutzenergie	-1'043	75 %
Reduktion der Verluste	-353	11 %
Energetische BO und Gebäudeautomation	-432	14 %
Total aller Massnahmenpakete	-1'829	100 %
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-14%	
Nutzungsgradänderung	-1'275	
Effizienzscenario 2050	10'047	

Quelle: TEP Energy

4.1.2 Verwendungszweck Lüftung

Im Referenzszenario werden im Jahr 2050 rund 2'700 GWh Strom für den Betrieb von Lüftungsanlagen verbraucht. Im Effizienzscenario kann durch die verschiedenen Massnahmenpakete ein Effizienzgewinn von total rund 900 GWh gegenüber dem Referenzszenario erreicht werden. Diese Einsparungen werden aber wiederum durch die vermehrte Verwendung von Lüftungsanlagen im Effizienzscenario praktisch wieder kompensiert (ausgewiesen in Tabelle 20 als *Total Mehrverbrauch im Effizienzscenario*). Die Wärmebedarfsreduktion von 2300 GWh durch lüftungstechnische Massnahmen wird wie oben in Tabelle 18 ersichtlich oder wie in Kapitel 3.1 beschrieben dem Verwendungszweck Raumwärme angerechnet.

Tabelle 20 Stromverbrauch für Lüftungsanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Endenergie total pro Gebäudekategorie [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	16	336	61	1'316	1'729	
Referenzszenario 2050	145	463	173	1'897	2'678	
Mehr Diffusion von LA	671	18	43	97	828	89 %
Wärmerückgewinnung ¹⁾	67	4	5	27	103	11 %
Total Mehrverbrauch im Effizienzscenario²⁾	737	23	48	124	931	100 %
Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand	-134	-3	-0	-17	-153	17 %
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	-353	-17	-22	-100	-492	54 %
Grössere Monoblocs	-6	-5	-2	-16	-30	3 %
Optimierte Luftverteilungen	-4	-4	-2	-16	-26	3 %
Effiziente Ventilatoren	-4	-3	-1	-8	-15	2 %
Effiziente Filter	-12	-7	-3	-26	-47	5 %
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	-3	-14	-8	-38	-64	7 %
Optimierung der Abluftanlagen	-0	-0	-0	-1	-1	0 %
Anpassung der Betriebszeit	-16	-8	-3	-34	-61	7 %
Anpassung der Luftvolumenströme	-8	-4	-2	-9	-23	3 %
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	-0	-0	-0	-0	-0	0 %
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050³⁾	-540	-66	-43	-264	-913	100 %
	-373 %	-14 %	-25 %	-14 %	-34 %	
Effizienzscenario 2050	342	420	178	1'756	2'697	

1) Der Effizienzgewinn durch die Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen wird beim Verwendungszweck Raumwärme bereits angerechnet.
2) Im Effizienzscenario werden vermehrt Lüftungen verbaut und eingesetzt, daher ist eine Steigerung des Endenergiebedarfs möglich.
3) Im Vergleich zum Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

Hinweis: die thermische Wirkung der Lüftungsanlage, d. h. die Reduktion des Wärmebedarfs und der entsprechenden Endenergieverbräuche, wird beim Verwendungszweck Raumwärme berücksichtigt.

Ein grosser Teil der Stromeffizienzpotenziale entfällt dabei auf die Erneuerung von Lüftungsanlagen im Bestand (inkl. grössere Monoblocs, optimierte Luftverteilungen, effiziente Ventilatoren, Anpassung der Luftvolumenströme etc.). Ebenfalls sehr bedeutend sind betriebliche Massnahmen wie der Einsatz von effizienten Filtern, die Anpassung von Betriebszeiten, eine bedarfsgerechte Druck- und Volumenstromregelung etc. Mit diesen Massnahmenbereichen wird ein Grossteil der ausgewiesenen Effizienzgewinne im Bereich Lüftungsanlagen erreicht.

4.1.3 Verwendungszweck Klimakälte

Im Referenzszenario wird im Jahr 2050 rund 2500 GWh Endenergie (Strom) für den Betrieb von Klimakälteanlagen verbraucht. Durch die verschiedenen Massnahmenpakete kann ein Effizienzgewinn von rund 570 GWh erreicht werden, so dass der Verbrauch im Effizienzscenario noch rund 1950 GWh beträgt (siehe Tabelle 21).

Der grösste Anteil mit insgesamt rund 60 % entfällt dabei auf den optimierten Betrieb von Rückkühlern mit den Massnahmenpaketen *variable Rückkühltemperatur* und *gleitende Kaltwassertemperatur*. Weitere Beiträge liefern die Massnahmen *Free Cooling* (15 %) sowie *effizientere Kälteerzeuger* (14 %). Die Wirkung der letztgenannten Massnahme ist im Vergleich zu den gesetzlichen Minimalanforderungen zu sehen, durch welche ein markanter Teil des diesbezüglichen Potenzials bereits im Referenzszenario gehoben wird. Im Quervergleich zwischen den Gebäudekategorien entfallen ca. 35 % auf die Bürogebäude. Wohn- und Schulgebäude sind bei der *Klimakälte* im Quervergleich von untergeordneter Bedeutung. Der grösste Beitrag stammt von den übrigen Nicht-Wohngebäuden (55 %).

Tabelle 21 Endenergieverbrauch für Kälteanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Endenergie total pro Gebäudekategorie [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	10	474	30	579	1092	
Referenzszenario 2050	86	858	211	1365	2521	
Effiziente Kälteerzeuger	-1	-27	-4	-48	-80	14 %
Gleitende Kaltwassertemperatur	-	-52	-16	-105	-172	30 %
Variable Rückkühltemperatur	-	-57	-8	-98	-163	29 %
Hybridrückkühler	-	-15	-4	-21	-40	7 %
Free Cooling	-	-35	-12	-38	-85	15 %
eBO und GA Kälte	-9	-11	-3	-7	-30	5 %
Mischluftverhältnis bei LA optimieren	-	-	-	-	-	0 %
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050 ¹⁾	-10	-198	-47	-316	-570	100 %
	-12 %	-23 %	-22 %	-23 %	-23 %	
Effizienzscenario 2050	75	661	165	1'050	1'951	

1) Im Vergleich zum Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

4.1.4 Verwendungszweck Beleuchtung

Im Referenzszenario werden im Jahr 2050 rund 6360 GWh Endenergie (Strom) für die *Beleuchtung* verbraucht, d. h. fast gleich viel wie 2010. Durch die verschiedenen Massnahmenpakete kann ein Effizienzgewinn von rund 2550 GWh gegenüber dem Referenzszenario erreicht werden, so dass der Verbrauch im Effizienzscenario noch rund 5480 GWh beträgt (siehe Tabelle 22).

Die Massnahmenpakete mit dem grössten Potenzial gegenüber dem Referenzszenario sind dabei der Einsatz von *effizienten Leuchten* mit einem Anteil von 59 % und die *Anpassung der Beleuchtungsstärke* mit einem Anteil von rund 13 %. Betriebliche Massnahmen wie die Schwarmregelung, die bedarfsgerechte Steuerung und Tageslicht abhängige Innenbeleuchtung bergen zusammen ebenfalls gewisse Potenziale in sich. Das Massnahmenpaket *LED-Retrofit Leuchtmittel* bietet auch im Effizienz-szenario noch ein Potenzial zur Verminderung des Endenergieverbrauchs mit einem Anteil von 10 %. Im Quervergleich zwischen den Gebäudekategorien haben die übrigen Nicht-Wohngebäude mit rund 61 % die höchste Bedeutung. Auch Bürogebäude und Wohngebäude sind von grosser Bedeutung (zusammen rund 33 %).

Tabelle 22 Endenergieverbrauch für die Beleuchtung im Referenz- und im Effizienz-szenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Endenergie total pro Gebäudekategorie [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	1386	781	351	4329	6847	
Referenzszenario 2050	1294	776	310	3980	6360	
Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	-	-31	-	-17	-48	5 %
Effiziente Leuchten	-145	-52	-24	-300	-521	59 %
LED Retrofit Leuchtmittel	-4	-11	-2	-71	-89	10 %
Anpassung der Beleuchtungsstärke	-5	-13	-7	-85	-110	13 %
Bedarfsgerechte Steuerung	-3	-14	-11	-42	-69	8 %
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	-1	-7	-4	-10	-22	2 %
Schwarmregulierung	-1	-5	-0	-13	-19	2 %
Potenzialausschöpfung im Effizienz-szenario 2050 ¹⁾	-158	-133	-49	-538	-877	100 %
	-12 %	-17 %	-16 %	-14 %	-14 %	
Effizienz-szenario 2050	1'136	644	262	3'442	5'483	

¹⁾ Im Vergleich zum Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

4.1.5 Verwendungszweck Allgemeine Gebäudetechnik

Der Verwendungszweck *Allgemeine Gebäudetechnik* umfasst ein breites und heterogenes Spektrum an Massnahmen. Im Referenzszenario werden im Jahr 2050 durch diese rund 6740 GWh Endenergie (Strom) verbraucht, d.h. etwas mehr als 2010. Durch die verschiedenen Massnahmenpakete kann ein Effizienzgewinn von rund 530 GWh erreicht werden, so dass der Verbrauch im Effizienz-szenario noch rund 6200 GWh beträgt (siehe Tabelle 23).

Die grössten Beiträge stammen dabei von den Massnahmenpaketen *Pumpen* und *Allgemeine Gebäudetechnik* (Standard- sowie weiterführende Massnahmen), welche zusammen etwa 85 % der Effizienz-sparungen dieses Verwendungszweckes ausmachen. Es ist anzumerken, dass die Summe aller explizit in der Massnahmenliste Einzelmassnahmen (siehe Kapitel 3.6) nur ein Teil der hier modellierten Einsparungen darstellt. Die untenstehenden Ergebnisse enthalten weitere, nicht konkret bezeichnete Massnahmen, welche pauschal quantifiziert wurden.

Tabelle 23 Endenergieverbrauch für Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Endenergie total pro Gebäudekategorie [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	1'361	983	124	3'268	5'736	
Referenzscenario 2050	1'728	1'196	134	3'683	6'741	
Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen	-13	-33	-5	-80	-131	25 %
Allgemeine Gebäudetechnik	-23	-26	-3	-68	-120	23 %
Pumpen und Hilfsenergie Standardmassnahmen	-20	-6	-1	-25	-53	10 %
Pumpen und Hilfsenergie	-61	-20	-5	-58	-144	27 %
Energieeffiziente Aufzugstechnik (Lifte)	-0	-5	-0	-49	-54	10 %
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	-0	-5	-0	-18	-24	5 %
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050¹⁾	-117	-95	-15	-299	-526	100 %
	-7 %	-8 %	-11 %	-8 %	-8 %	
Effizienzscenario 2050	1'611	1'102	119	3'384	6'215	
1) Im Vergleich zum Referenzscenario						

Quelle: TEP Energy

4.1.6 Zusammenfassung der Endenergie über alle Verwendungszwecke

In der Summe entspricht der Beitrag der betrachteten Massnahmen im Effizienzscenario insgesamt einer Reduktion der Endenergie von rund 11.8 TWh, was einer Reduktion von 14 % in Relation zum Referenzscenario entspricht (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24 Endenergieverbrauch im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Potenziale der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck.

	2010	Ref 2050	Eff 2050	Potenzial zur EE Reduktion ¹⁾		Anteil am Gesamtpotenzial
	TWh	TWh	TWh	TWh	%	%
Raumwärme ²⁾	79.2	52.0	45.2	-6.8	-13 %	57 %
Warmwasser	13.2	13.2	10.0	-3.1	-24 %	26 %
Lüftung	1.7	2.7	2.7	0.0	0 %	0 %
Klimakälte	1.1	2.5	2.0	-0.6	-23 %	5 %
Beleuchtung	6.8	6.4	5.5	-0.9	-14 %	7 %
Allgemeine Gebäudetechnik	5.7	6.7	6.2	-0.5	-8 %	4 %
Total	107.8	83.4	71.6	-11.8	-14 %	100 %
1) Im Vergleich zum Referenzscenario						
2) Inklusive Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen						

Quelle: TEP Energy

Die grössten Teile der Einsparungen entfallen dabei mit 58 % Anteil am Gesamtpotenzial auf die *Raumwärme* (siehe Tabelle 24) und das Warmwasser mit 26 %. Die restlichen Verwendungszwecke *Klimakälte*, *Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik* tragen je zwischen 4-7 % zum Gesamtpotenzial bei. Der Verwendungszweck *Lüftung* bietet im Effizienzscenario gegenüber dem Referenzscenario kein Potenzial dar, da der vermehrte Einsatz von Lüftungen die Einsparungen bezüglich des Einsatzes von Endenergie wieder negiert.

4.2 Effizienzpotenziale auf Ebene Primärenergie

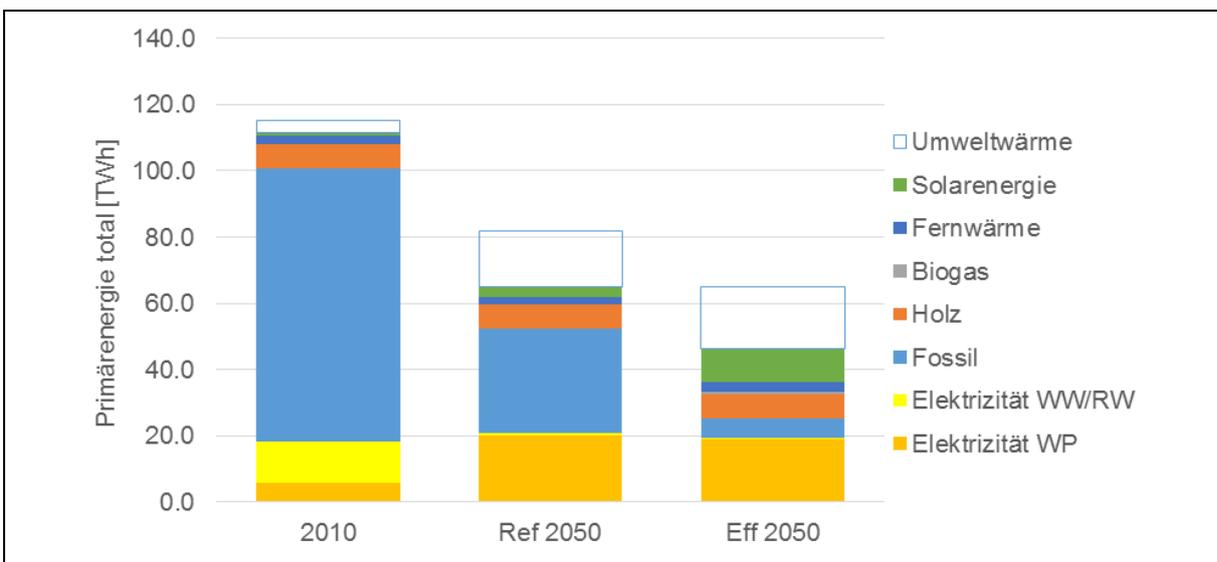
Die Primärenergie-Reduktionspotenziale ergeben sich durch die Gewichtung der Endenergienachfrage mit den Primärenergiefaktoren (PEF). Primärenergie wird üblicherweise im Total oder nur für die nicht erneuerbaren Anteile ausgewiesen. Für die Verwendungszwecke *Klimakälte*, *Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik* entsprechen die Anteile der Massnahmenpakete am Total (Spalte Anteil in der Ergebnistabellen) jenen der Endenergie, da diese vollständig durch Elektrizität bereitgestellt wird. Dies betrifft in diesem Bericht den Verwendungszweck Lüftung, weil die thermische Wirkung beim VZ Raumwärme subsumiert wird. Um Redundanzen bei der Berichterstattung in diesem Kapitel weitgehend zu vermeiden, werden die detaillierten Primärenergiereduktionspotenziale für diese Verwendungszwecke im Anhang 7.3.1 aufgeführt. Eine Zusammenfassung auf der Ebene der Verwendungszwecke ist jedoch in diesem Kapitel dargestellt. Die Potenziale der Verwendungszwecke *Raumwärme* und *Warmwasser* sowie deren Anteile hängen von den Unterschieden im Energieträgermix ab. Daraus ergeben sich zwischen EE, PE und THGE qualitative Unterschiede, weshalb diese zwei Verwendungszwecke in diesem Kapitel behandelt werden.

4.2.1 Verwendungszweck Raumwärme und Warmwasser

Entwicklung des Energieträgermixes für Raumwärme und Warmwasser

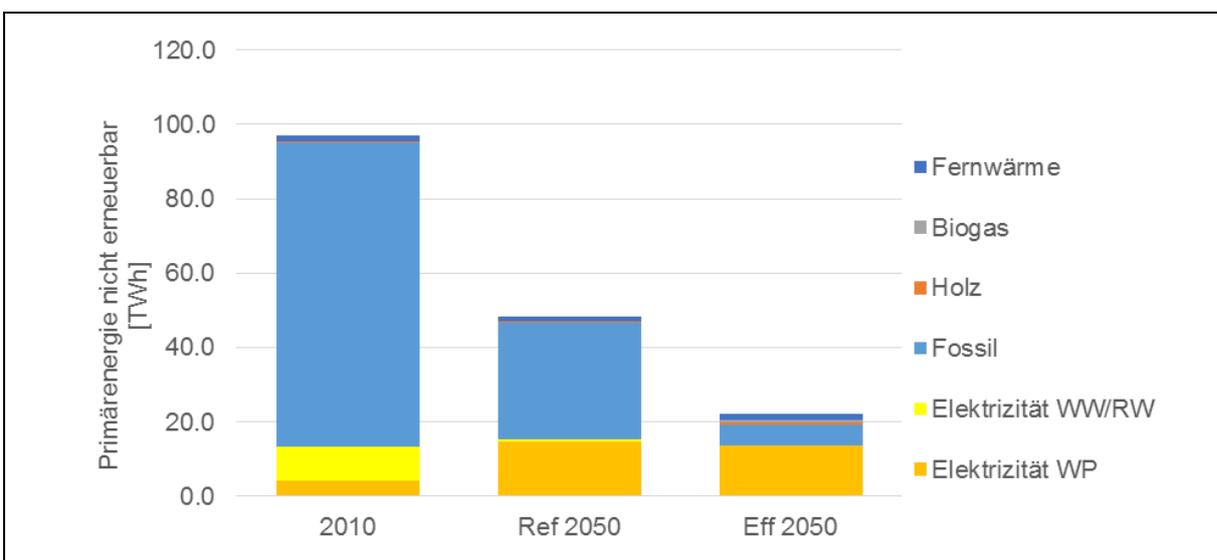
Abbildung 13 und Tabelle 25 sowie Tabelle 26 zeigen die Entwicklung der Primärenergie für Raumwärme und Warmwasser pro Energieträger. Fossile Energieträger beinhalten Heizöl sowie Erdgas. Es ist zu beachten, dass Elektrizität sowohl für Elektroheizungen als auch zum Betrieb von Wärmepumpen benötigt wird. Auf Ebene Primärenergie hat Elektrizität eine wesentlich höhere Bedeutung als auf Ebene Endenergie, wie der Vergleich von Abbildung 13 (Primärenergie) mit Abbildung 10 (Endenergie) zeigt. Im Effizienzscenario hat die PE aus fossilen Energieträgern, diejenige aus Solarenergie und aus Holz eine ungefähr gleich hohe Bedeutung; nur die PE aus Elektrizität und Umweltwärme sind deutlich höher.

Insgesamt liegt die Primärenergie_{total} (also inkl. erneuerbarem Anteil) aufgrund der verschiedenen Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik im Effizienzscenario um 18 % tiefer als im Vergleich zum Referenzscenario (Tabelle 25). Die wesentlichen Unterschiede betreffen dabei den Einsatz der fossilen Brennstoffen, die im Effizienzscenario geringer sind als im Referenzscenario (Tabelle 26).



Quelle: TEP Energy

Abbildung 12 Totaler Primärenergieverbrauch im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 13 Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.

Tabelle 25 Primärenergieverbrauch total im Jahr 2010 und 2050 nach Energieträger in TWh.

Energieträger	2010	Ref	Eff	Veränderung durch Substitution ¹⁾	
	TWh	2050	2050	TWh	%
Fossil	82.2	31.6	5.8	-25.8	-56 %
Holz	7.3	7.3	7.4	0.0	0 %
Biogas	0.1	0.0	0.7	0.7	1191 %
Elektrizität	18.3	20.7	19.3	-1.4	-10 %
Fernwärme	2.7	2.0	2.9	0.9	54 %
Solarenergie	0.9	3.3	10.0	6.7	453 %
Umweltwärme	3.5	16.6	18.8	2.2	35 %
Total	115.0	81.6	64.9	-16.7	-18 %

¹⁾ Als Differenz zwischen Effizienz- und Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

Tabelle 26 Primärenergieverbrauch nicht-erneuerbar im Jahr 2010 und 2050 nach Energieträger in TWh.

Energieträger	2010	Ref	Eff	Veränderung durch Substitution ¹⁾	
	TWh	2050	2050	TWh	%
Fossil	81.5	31.4	5.6	-25.7	-82 %
Holz	0.4	0.4	0.4	0.0	-3 %
Biogas	0.1	0.0	0.6	0.6	2241 %
Elektrizität	13.4	15.2	13.7	-1.5	-10 %
Fernwärme	1.7	1.3	1.8	0.5	42 %
Solarenergie					
Umweltwärme					
Total	97.1	48.2	22.2	-26.1	-54 %

¹⁾ Als Differenz zwischen Effizienz- und Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Raumwärme

Tabelle 27 zeigt die Wirkung für den Verwendungszweck *Raumwärme* aufgeschlüsselt nach Massnahmenpaketen. Die Anteile der Massnahmenpakete auf Ebene der Primärenergie sind vergleichbar mit jenen auf Ebene der Endenergie. Die Unterschiede zwischen der totalen Primärenergie und der nicht erneuerbaren Primärenergie lassen sich insbesondere auf die Energieträger Holz, Solarenergie und Umweltwärme zurückführen. Am grössten sind die Beiträge zur Reduktion der nicht erneuerbaren PE aus der *Substitution von fossilen Heizungssystemen*, die *energetische BO Heizung* sowie die *Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen (WRG)*. Die übrigen Beiträge aus den anderen Bereichen tragen noch weitere 30 % zur Reduktion bei.

Tabelle 27 Primärenergieverbrauch für Raumwärme im Referenz- und im Effizienzzenario. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	97'035	
Referenzzenario 2050	65'333	
Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen	-2'886	23 %
Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Anlagentypen	-133	1 %
Effizienzsteigerung von Wärmepumpen	-837	7 %
Effiziente Wärmeabgabe	-97	1 %
Energetische Betriebsoptimierung Heizung	-2'747	22 %
Gebäudeautomation Heizung	-1'831	15 %
Substitution von fossilen Energieträgern	-3'101	25 %
Ersatz von Elektroheizungen	33	0 %
Einsatz von Biogas-WKK	-841	7 %
Total aller Massnahmenpakete	-12'441	100 %
Relative Einsparung zum Referenzzenario	-19 %	
Effizienzzenario 2050	52'892	
Massnahmenpaket	Primärenergie _{n. e.} [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	82'774	
Referenzzenario 2050	41'156	
Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen	-1'818	8 %
Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Anlagentypen	-84	0 %
Effizienzsteigerung von Wärmepumpen	-527	2 %
Effiziente Wärmeabgabe	-61	0 %
Energetische Betriebsoptimierung Heizung	-1'731	8 %
Gebäudeautomation Heizung	-1'154	5 %
Substitution von fossilen Energieträgern	-15'942	73 %
Ersatz von Elektroheizungen	38	0 %
Einsatz von Biogas-WKK	-672	3 %
Total aller Massnahmenpakete	-21'951	100 %
Relative Einsparung zum Referenzzenario	-53 %	
Effizienzzenario 2050	19'206	

Quelle: TEP Energy

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Warmwasser

Tabelle 28 zeigt die Wirkung für den Verwendungszweck *Warmwasser* aufgeschlüsselt nach Massnahmenpaket; die grössten Beiträge kommen aus der Energieträgersubstitution und aus der Reduktion der Verluste im Warmwasserbereich. Die Substitution erhöht die PE_{total} , was auf die PE-Definition von Solar- und Umweltwärme zurückzuführen ist. Diese Substitution hat einen positiven Beitrag auf Ebene der nicht-erneuerbaren Energieträger (siehe untere Hälfte von Tabelle 28).

Tabelle 28 Primärenergieverbrauch total (obere Tabellenhälfte) und nicht-erneuerbar (untere Tabellenhälfte) für Warmwasser im Referenz- und im Effizienzscenario. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	17'948	
Referenzscenario 2050	16'301	
Energetische BO und Gebäudeautomation	-2'285	85 %
Energieträgersubstitution und Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler	-397	15 %
Total aller Massnahmenpakete	-2'682	100 %
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-16 %	
Effizienzscenario 2050	12'039	
Massnahmenpaket	Primärenergie nicht-erneuerbar [GWh]	Potenzialanteil %
Ist-Zustand 2010	14'350	
Referenzscenario 2050	7'086	
Energetische BO und Gebäudeautomation	-1'016	36 %
Energieträgersubstitution und Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler	-2'198	64 %
Total aller Massnahmenpakete	-3'448	
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-49 %	
Effizienzscenario 2050	2'951	

Quelle: TEP Energy

4.2.2 Verwendungszwecke Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung und Allgemeine Gebäudetechnik

Die detaillierten Primärenergiereduktionspotenziale für diese Verwendungszwecke sind im Anhang 7.3.1 aufgeführt (vgl. Einleitung von Kapitel 4.2).

4.2.3 Zusammenfassung Primärenergie über alle Verwendungszwecke

Das gesamte Potenzial der betrachteten Massnahmen beträgt auf Ebene Primärenergie rund 36 TWh (Effizienz- in Relation zum Referenzscenario), wie in Tabelle 29 dargestellt. Davon entfällt der grösste Teil auf den Raumwärmebereich (rund 16 TWh).

Relativ gesehen liegt die Summe der Primärenergie_{total} im Effizienzscenario rund 17 % tiefer als im Referenzscenario. Betrachtet man nur den nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch so ist eine Einsparung im Effizienzscenario von rund 38 % gegenüber dem Referenzscenario möglich.

Tabelle 29 Primärenergieverbrauch total (inkl. erneuerbarer Anteil) im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck in TWh.

	2010	Ref 2050	Eff 2050	Potenzial zur PE Reduktion		Anteil am Gesamtpotenzial
Raumwärme	97.0	65.3	52.9	-12.4	-19 %	59 %
Warmwasser	17.9	16.3	12.0	-4.3	-26 %	20 %
Lüftung	3.8	5.9	5.9	0.0	1 %	0 %
Klimakälte	2.4	5.5	4.3	-1.3	-23 %	6 %
Beleuchtung	15.1	14.0	12.1	-1.9	-14 %	9 %
Allgemeine Gebäudetechnik	12.6	14.8	13.7	-1.2	-8 %	6 %
Total	148.9	121.9	100.9	-21.0	-17 %	100 %

Quelle: TEP Energy

Tabelle 30 Primärenergieverbrauch nicht-erneuerbar im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck in TWh.

	2010	Ref 2050	Eff 2050	Potenzial zur PE _{n. e.} Reduktion		Anteil am Gesamtpotenzial
Raumwärme	82.8	41.2	19.2	-22.0	-53 %	75 %
Warmwasser	14.4	7.1	3.0	-4.1	-58 %	14 %
Lüftung	2.8	4.3	4.3	0.0	1 %	0 %
Klimakälte	1.8	4.1	3.1	-0.9	-23 %	3 %
Beleuchtung	11.0	10.2	8.8	-1.4	-14 %	5 %
Allgemeine Gebäudetechnik	9.2	10.9	10.0	-0.8	-8 %	3 %
Total	121.9	77.7	48.5	-29.2	-38 %	100 %

Quelle: TEP Energy

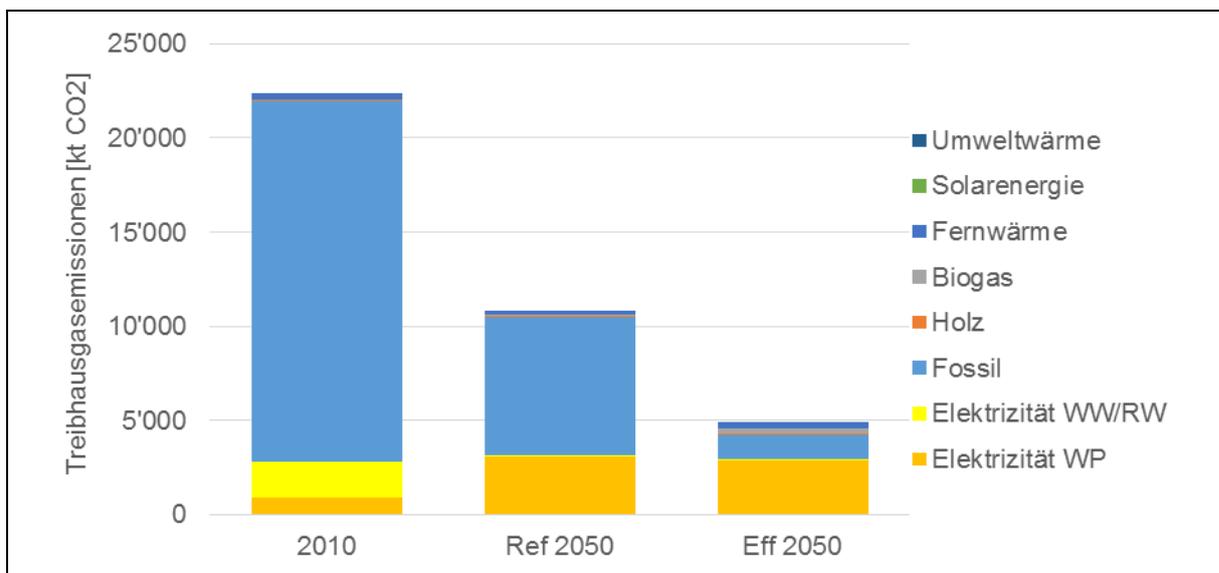
4.3 Emissionsreduktionspotenziale

Die Emissionsreduktionspotenziale ergeben sich durch die Gewichtung der Endenergienachfrage mit energieträgerspezifischen Treibhausgas-Emissionskoeffizienten (THG-EK). Für die Verwendungszwecke *Lüftung*, *Klimakälte*, *Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik* entsprechen die Anteile der Massnahmenpakete am Total der Potenziale (Spalte Anteil in der Ergebnistabelle) jenen der Endenergie, da diese vollständig durch Elektrizität bereitgestellt wird. Im Verwendungszweck *Raumwärme* und *Warmwasser* hängen die Potenziale und deren Anteile jedoch von den Unterschieden im Energieträgermix ab, worauf in Kapitel 4.3.1 näher eingegangen wird.

4.3.1 Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser

Entwicklung der Treibhausgasemissionen für Raumwärme und Warmwasser

Abbildung 14 und Tabelle 31 zeigen die modellierte Entwicklung der Emissionen pro Energieträger für *Raumwärme* und *Warmwasser*. Fossile Energieträger beinhalten Heizöl sowie Erdgas. Es ist zu beachten, dass Elektrizität sowohl von Elektroheizungen als auch von Wärmepumpen benötigt wird.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 14 Treibhausgasemissionen im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in Kilo Tonnen CO₂-Äquivalente. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.

Tabelle 31 Treibhausgasemissionen (THGE) im Jahr 2010 und im Jahr 2050 für die zwei Szenarien Referenz und Effizienz nach Energieträger in kt CO₂-eq. Die Veränderung durch Substitution ist als Differenz zwischen Effizienz und Referenzszenario dargestellt, die Reduktion ist im Verhältnis (i.V.) zum Basisjahr 2010.

Energieträger	2010	Ref 2050	Eff 2050	Veränderung durch Substitution ¹⁾	
Fossil	19'156	7'343	1'312	-6'031	-82 %
Holz	68	68	67	-1	-2 %
Biogas	37	11	272	260	2294 %
Elektrizität	2'800	3'176	2'924	-253	-8 %
Fernwärme	337	250	363	113	45 %
Solarenergie	-	-	-	-	
Umweltwärme	-	-	-	-	
Total	22'398	10'849	4'938	-5'911	-54 %
Reduktion (i.V. zu 2010)		-52%	-78%		

¹⁾ Als Differenz zwischen Effizienz- und Referenzszenario

Quelle: TEP Energy

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Raumwärme

Tabelle 32 zeigt die Wirkung aufgeschlüsselt nach Massnahmenpaketen für den Verwendungszweck *Raumwärme*. eBO & GA Massnahmen, Lüftungstechnische Massnahmen sowie Effizienzsteigerungen bei WP bewirken mit rund 25 % etwa ein Viertel der THG-Reduktionen. Der grösste Teil der Reduktionen ist auf die Substitution von fossilen Energieträgern zurückzuführen (75%). Die Reduktion der THGE im Bereich Raumwärme beträgt 53 %.

Tabelle 32 Treibhausgasemissionen (THGE) für Raumwärme im Referenz- und im Effizienzscenario 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck Raumwärme dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	THGE [kt CO ₂ -äq]	Anteil
Ist-Zustand 2010	19'147	
Referenzscenario 2050	9'280	
Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen	-410	8 %
Effizienzsteigerung von feuerungsbasierten Anlagentypen	-19	0 %
Effizienzsteigerung von Wärmepumpen	-119	2 %
Effiziente Wärmeabgabe	-14	0 %
Energetische Betriebsoptimierung Heizung	-390	8 %
Gebäudeautomation Heizung	-260	5 %
Substitution von fossilen Energieträgern	-3'704	75 %
Ersatz von Elektroheizungen	2	0 %
Einsatz von Biogas-WKK	-51	1 %
Total aller Massnahmenpakete	-4'964	100 %
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-53 %	
Effizienzscenario 2050	4'315	

Quelle: TEP Energy

Massnahmenpakete des Verwendungszweckes Warmwasser

Tabelle 33 zeigt die Potenzialwirkung für den Verwendungszweck *Warmwasser* aufgeschlüsselt nach Massnahmenpaket. Analog zur Einsparung von nicht erneuerbarer Primärenergie sind Potenziale zur Einsparung von Treibhausgasen vor allem durch die Energieträgersubstitution möglich.

Tabelle 33 Treibhausgasemissionen (THGE) für Warmwasser im Referenz- und im Effizienzscenario 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.

Massnahmenpaket	THGE [kt CO ₂ -äq]	Potenzialanteil
Ist-Zustand 2010	3'457	
Referenzscenario 2050	3'262	
Energetische BO und Gebäudeautomation	-757	27 %
Energieträgersubstitution und Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler	-1'885	68 %
Total aller Massnahmenpakete	-2'757	
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-68 %	
Effizienzscenario 2050	1'201	

Quelle: TEP Energy

4.3.2 Verwendungszweck Lüftung

Bei den rein strombasierten Anwendungen sind die relativen Wirkungsbeiträge der einzelnen Massnahmen bei der Endenergie und bei den THG identisch, weshalb bzgl. der textlichen Ergebnisanalyse auf Kapitel 4.1 verwiesen wird.

Tabelle 34 Stromverbrauchsbedingte THG Emissionen von Lüftungsanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	THG Emissionen Total [kt CO ₂ -äq]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	6	113	21	444	583	
Referenzscenario 2050	49	156	58	640	904	
Mehr Diffusion	226	6	14	33	279	89 %
Wärmerückgewinnung	23	1	2	9	35	11 %
Total Mehrverbrauch im Effizienzscenario ¹⁾	249	8	16	42	314	100 %
Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand	-45	-1	-0	-6	-52	17 %
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	-119	-6	-7	-34	-166	54 %
Grössere Monoblocs	-2	-2	-1	-6	-10	3 %
Optimierte Luftverteilungen	-1	-1	-1	-5	-9	3 %
Effiziente Ventilatoren	-1	-1	-0	-3	-5	2 %
Effiziente Filter	-4	-2	-1	-9	-16	5 %
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	-1	-5	-3	-13	-21	7 %
Optimierung der Abluftanlagen	-	-0	-0	-0	-0	0 %
Anpassung der Betriebszeit	-5	-3	-1	-11	-20	7 %
Anpassung der Luftvolumenströme	-3	-1	-1	-3	-8	3 %
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	-0	-0	-0	-0	-0	0 %
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050	-182	-22	-14	-89	-308	100 %
	-373 %	-14 %	-25 %	-14 %	-34 %	
Effizienzscenario 2050	115	142	60	592	910	

¹⁾ Im Effizienzscenario werden vermehrt Lüftungen verbaut und eingesetzt, daher ist eine Steigerung des Endenergiebedarfs möglich

Quelle: TEP Energy

4.3.3 Verwendungszwecke Klimakälte

Bei den rein strombasierten Anwendungen sind die relativen Wirkungsbeiträge der einzelnen Massnahmen bei der Endenergie und bei den THG identisch, weshalb bzgl. der textlichen Ergebnisanalyse auf Kapitel 4.1 verwiesen wird.

Tabelle 35 THG Emissionen von Kälteanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	THG Emissionen Total [kt CO ₂ -äq]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	3	160	10	195	368	
Referenzscenario 2050	29	290	71	461	850	
Effiziente Kälteerzeuger	-0	-9	-1	-16	-27	14 %
Gleitende Kaltwassertemperatur	-	-18	-5	-35	-58	30 %
Variable Rückkühltemperatur	-	-19	-3	-33	-55	29 %
Hybridrückkühler	-	-5	-1	-7	-13	7 %
Free Cooling	-	-12	-4	-13	-29	15 %
eBO und GA Kälte	-3	-4	-1	-2	-10	5 %
Mischluftverhältnis bei LA optimieren	-	-	-	-	-	0 %
Potenzialausschöpfung im Effizienzscenario 2050	-3	-67	-16	-106	-192	100 %
	-12 %	-23 %	-22 %	-23 %	-23 %	
Effizienzscenario 2050	25	223	56	354	658	

Quelle: TEP Energy

4.3.4 Verwendungszweck Beleuchtung

Bei den rein strombasierten Anwendungen sind die relativen Wirkungsbeiträge der einzelnen Massnahmen bei der Endenergie und bei den THG identisch, weshalb bzgl. der textlichen Ergebnisanalyse auf Kapitel 4.1 verwiesen wird.

Tabelle 36 THG Emissionen der Beleuchtung im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	THG Emissionen Total [kt CO ₂ -äq]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	467	264	119	1460	2310	
Referenzscenario 2050	436	262	105	1343	2145	
Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	-	-10	-	-6	-16	5 %
Schwarmregulierung	-49	-18	-8	-101	-176	59 %
Effiziente Leuchten	-1	-4	-1	-24	-30	10 %
LED Retrofit Leuchtmittel	-2	-4	-2	-29	-37	13 %
Anpassung der Beleuchtungsstärke	-1	-5	-4	-14	-23	8 %
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	-0	-2	-1	-3	-7	2 %
Bedarfsgerechte Steuerung	-0	-2	-0	-4	-6	2 %
Total aller Massnahmenpakete	-53	-45	-16	-182	-296	100 %
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-12 %	-17 %	-16 %	-14 %	-14 %	
Effizienzscenario 2050	383	217	88	1'161	1'850	

Quelle: TEP Energy

4.3.5 Verwendungszweck Allgemeine Gebäudetechnik

Bei den rein strombasierten Anwendungen sind die relativen Wirkungsbeiträge der einzelnen Massnahmen bei der Endenergie und bei der THG identisch, weshalb bzgl. der textlichen Ergebnisanalyse auf Kapitel 4.1 verwiesen wird.

Tabelle 37 THG Emissionen von Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	THG Emissionen Total [kt CO ₂ -äq]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	459	331	42	1102	1935	
Referenzscenario 2050	583	404	45	1242	2274	
Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen	-4	-11	-2	-27	-44	25 %
Allgemeine Gebäudetechnik	-8	-9	-1	-23	-41	23 %
Pumpen und Hilfsenergie Standardmassnahmen	-7	-2	-0	-9	-18	10 %
Pumpen und Hilfsenergie	-21	-7	-2	-20	-49	27 %
Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften	-	-2	-0	-17	-18	10 %
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	-	-2	-0	-6	-8	5 %
Total aller Massnahmenpakete	-39	-32	-5	-101	-177	100 %
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-7 %	-8 %	-11 %	-8 %	-8 %	
Effizienzscenario 2050	543	372	40	1'141	2'096	

Quelle: TEP Energy

4.3.6 Zusammenfassung Treibhausgasemissionen über alle Verwendungszwecke

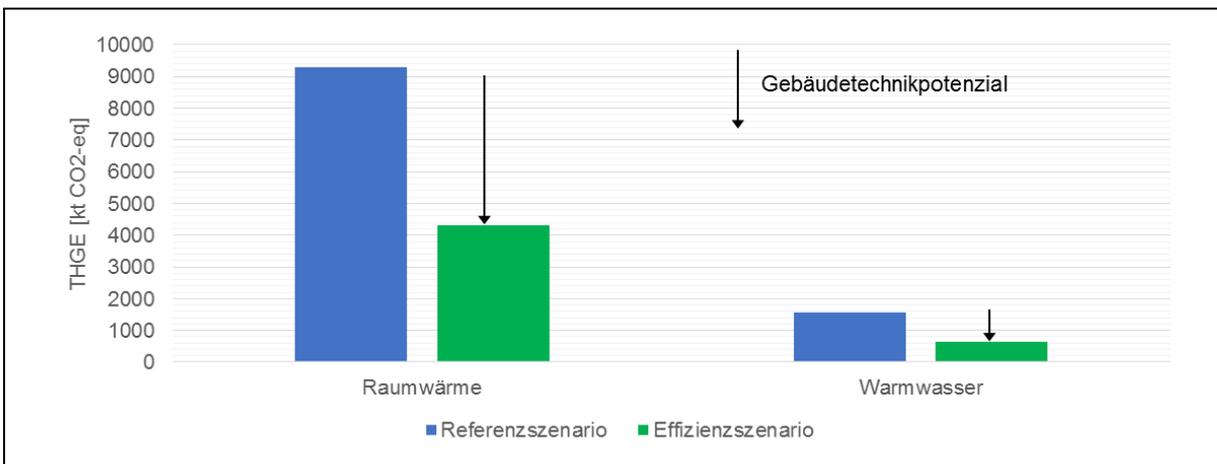
In Tabelle 38 sind die Potenziale der Verwendungszwecke und deren Anteil am Gesamtpotenzial aufgeführt. Die grössten Beiträge stammen aus der *Raumwärme* (siehe auch Tabelle 32). Die übrigen Beiträge kommen von der *Beleuchtung*, der *Lüftung* und der *Klimakälte*. In der Summe entspricht der Beitrag der Gebäudetechnik von 11.3 Mt CO₂-Äquivalente einer Reduktion der THG-Emissionen von rund 39 % in Relation zum Referenzscenario.

Graphisch sind die THGE des Effizienzscenarios und diejenigen des Referenzscenarios sowie der Effekt aller Massnahmenpakete (verdeutlicht durch die Pfeile) pro Verwendungszweck in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt. Erstere bezieht sich auf die Verwendungszwecke im Bereich Wärme (inkl. Elektrowärme und WP), letztere auf die übrigen Verwendungszwecke.

Tabelle 38 Treibhausgasemissionen in Megatonnen CO₂-Äquivalente im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck.

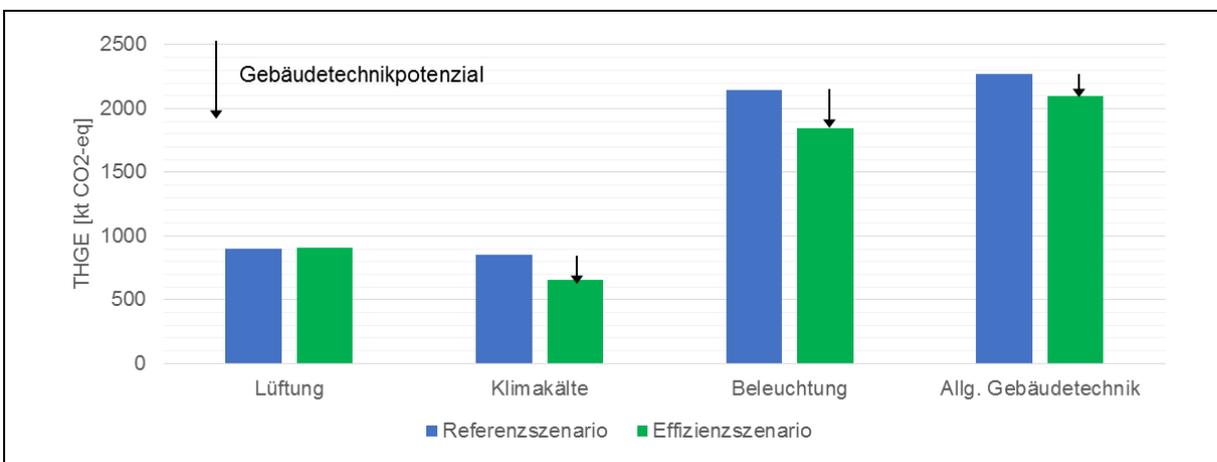
	2010	Ref 2050	Eff 2050	Potenzial zur THGE Reduktion		Anteil am Gesamtpotenzial
Raumwärme	19.1	9.3	4.3	-6.6	-53 %	76 %
Warmwasser	3.3	1.6	0.6	-2.4	-60 %	14 %
Lüftung	0.6	0.9	0.9	-0.7	1 %	0 %
Klimakälte	0.4	0.9	0.7	-0.3	-23 %	3 %
Beleuchtung	2.3	2.1	1.8	-0.9	-14 %	5 %
Allgemeine Gebäudetechnik	1.9	2.3	2.1	-0.4	-8 %	3 %
Total	27.6	17.0	10.5	-11.3	-39 %	100%

Quelle: TEP Energy



Quelle: TEP Energy

Abbildung 15 Zusatzwirkung der Gebäudetechnik im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzscenario (verdeutlicht durch den Pfeil *Gebäudetechnik Potenzial*) auf die THGE (Kilotonnen CO₂-Äquivalente) in 2050 von Verwendungszwecken im Bereich Wärme.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 16 Zusatzwirkung der Gebäudetechnik im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzscenario (verdeutlicht durch den Pfeil *Gebäudetechnik Potenzial*) auf die THGE (Kilotonnen CO₂-Äquivalente) in 2050 von Verwendungszwecken im Bereich Strom.

5 Schlussbemerkung

Diese Studie verfolgte das Ziel, die Bedeutung der Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (THGE) im Bereich der Gebäudetechnik aufzuzeigen. Ausgangslage der Potenzialabschätzung war eine umfassende und kompakte Darstellung des Ist-Zustandes der Gebäudetechnik im schweizerischen Gebäudepark. Betrachtet werden in der vorliegenden Studie die energetischen Verwendungszwecke *Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung* und *Allgemeine Gebäudetechnik*. Für diese liegt eine Beschreibung von konkreten technischen und betrieblichen Massnahmen vor, welche bzgl. ihrer Anwendungsmöglichkeiten und Wirkung validiert und bewertet sind. Die Bewertung erfolgt auf den Betrachtungsebenen Endenergie, Treibhausgasemissionen und Primärenergie, wobei bei letzterer eine Unterscheidung zwischen gesamter und nicht-erneuerbarer Primärenergie getroffen wird. Die Emissionsreduktionspotenziale werden als CO₂-Äquivalente ausgewiesen. Die Quantifizierung der Potenziale erfolgt für alle Gebäudekategorien, wobei auf Wohn-, Büro- und Schulgebäude ein spezieller Fokus gelegt wird.

Die Studie zeigt auf, dass in allen energetischen Verwendungszwecken bzw. gebäudetechnischen Anwendungsbereichen deutliche Effizienzpotenziale und Emissionsreduktionen erreicht werden können. Unterstellt wurde eine Vielzahl von Massnahmen auf den Ebenen Konzeption, Planung, Investitionsentscheidung, Installation, Inbetriebnahme und Betrieb, wobei diese mit heutigem Stand der Technik und des Wissen realistisch und wirtschaftlich vertretbar umgesetzt werden können. Es ist davon auszugehen, dass sich mit weitergehendem techno-ökonomischen Fortschritt weitere Potenziale erschliessen lassen.

Mit dem vorliegenden Projektergebnis wird eine fundierte Grundlage zur Umsetzung von Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik bereitgestellt und es wird eine Basis für die Erarbeitung von Instrumenten zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes gelegt. Das Erarbeiten von solchen Instrumenten war nicht Gegenstand der Untersuchung. Aufgrund des Hintergrundwissens und der Erfahrung der Autoren und aufgrund der bei der Projektbearbeitung gewonnenen Erkenntnisse, u. a. im Rahmen der durchgeführten Expertenworkshops und durch den Kontakt mit KGTV-Mitgliedern, lassen sich folgende Hinweise festhalten:

- Ein umfassender, aufeinander abgestimmter Instrumentenmix ist zu definieren und umzusetzen.
- Diese Instrumente sollen auf verschiedenen Ebenen greifen, damit sie einander gegenseitig unterstützen. Dazu gehören die Ebenen
 - Anforderungen (z. B. Vorschriften, Normen und Standards)
 - Information und Kommunikation (z. B. der hier erarbeiteten Ergebnisse, durch Etablierung eines gemeinsamen (Marken-)Auftritts, das Einrichten einer Wissens- und Informationsaustauschplattform etc.). Dies zuhanden von Politik, Behörden, Branchen, Gebäudeeigentümer und -technikverantwortliche
 - Aus- und Weiterbildung mit einem speziellen Fokus auf Nachwuchsförderung
 - Erweiterung und Anwendung von Normen und Merkblättern, u. a. als Informationsinstrument und zur Stärkung der fachlichen Kompetenz, auch im Sinne einer strukturierten Weiterbildung
 - Stärkung der Bestellerkompetenz
 - Vernetzung von kompetenten und aktiv kommunizierenden Anbietern von Technologieanbietern und mit interessierten Bestellern auf der Nachfrageseite z. B. durch eine umfassende Handlungs- und Wissensplattform
 - Schaffung eines Umfelds von Energiepreisen, welche im Vergleich zu heute weitergehende Massnahmen wirtschaftlich werden lässt, u. a. mit einem Klima- und Energielenkungssystem

Mit solchen Ansätzen sollte es gelingen, die in diesem Bericht dargestellten Massnahmen umzusetzen und die ausgewiesenen Potenziale tatsächlich auszuschöpfen. Hierbei ist das Engagement von Akteuren auf allen oben angesprochenen Ebenen erforderlich und gleichzeitig ein Erfolgsfaktor.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- Afjei (2007). Berechnung des Jahresnutzungsgrads von Kompaktwärmepumpen, Beitrag zur 14. Tagung des BFE-Forschungsprogrammes Umgebungswärme.
- Aiulfi D., Primas, A., Jakob M. et al. (2009). Energieverbrauch von Bürogebäuden und Grossverteilern - Erhebung des Strom- und Wärmeverbrauchs, der Verbrauchsanteile, der Entwicklung in den letzten 10 Jahre und Identifizierung der Optimierungspotenziale. Basler & Hofmann, Sorane, CEPE, ETH Zürich und i.A. Bundesamt für Energie (BFE)(Hrsg.). Bern.
- Bachmann S. et al. (2014). Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor – Resultate 2013. Helbling, Polyquest, Bundesamt für Statistik (BFS) i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, August.
- BAFU (2015). Empfehlungen für Projekte und Programme in den Bereichen Komfort und Prozesswärme – Anhang F zur Mitteilung Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland.
- BAFU (2009). Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2008. Bern
- Becker M. (2011). Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232. Hochschule Biberach i.A. Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Biberach, November.
- Bendel R. et al. (2011). Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor – Resultate 2010. Bundesamt für Statistik (BFS), Helbling, Polyquest i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, August.
- BFE (diverse Jahre). Grundlagen Energiestrategie und Massnahmenpakete.
- BFE (2014). Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Verwendungszwecken. Prognos AG, TEP Energy GmbH und Infrass AG i.A. Bundesamt für Energie. Bern, September.
- BFE (2011). Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- Dumortier R. et al (2012). Elektrizitätsbedarf fürs Kühlen in der Schweiz. BFE SVK EnergieSchweiz. Bern.
- Frischknecht R., Wyss F. (2014). Bilanzierungskonzept 2000-Watt-Gesellschaft. Zürich, September.
- Frischknecht R., Tuchschnid M., Itten R. (2011). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen. ESU-services GmbH i.A. Bundesamt für Energie (BFE), April.
- Gasser S., Tschudy D. (2012). Licht im Haus: Energieeffiziente Beleuchtung. BFE/EnergieSchweiz. Bern.
- Guyer, W. (2007). Siedungswasserwirtschaft
- Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. (2006). Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie (Hrsg.). Bern, November.
- Jakob M., Martius G., Catenazzi G., Berleth H. (2014). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE). Bern, Februar.
- Jakob M., Catenazzi C.(2010). CO₂ - Emissionen Dienstleistungssektor. i.A. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- Jakob M., Catenazzi G., Forster R., Kaiser Th., Martius G., Nägeli, C., Reiter U., Sunarjo B. (2015). Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA Effizienzpfad. TEP Energy und Lemon Consult i.A. Bundesamt für Energie, Bern. Stand September 2015, in Vorbereitung.
- Jakob M. und Catenazzi G (2013). Umsetzung des Modellkonzepts Energienachfrage im Dienstleistungssektor – Ex-post Analysen nach Verwendungszwecken und Bestimmungsfaktoren. TEP Energy im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern (unveröffentlicht).

- Jakob M., Flury K., Gross N., Martius G., Sunarjo et al. (2015b). Konzept Energieversorgung 2050 für die Stadt Zürich - Auf dem Weg zu einer 2000-Watt-tauglichen Wärmeversorgung. TEP Energy in Kooperation mit der ETH Zürich i.A. Stadt Zürich, Februar.
- Jakob M., Kirchner A. (2011). CO₂-Emissionen im Industrie und Dienstleistungssektor 1990 – 2009. Bern, Januar.
- Jakob M., Sunarjo B. Martius G. (2013). Thermischer Energiebedarf in Zürich-Altstetten. Ist-Zustand (2010) und Entwicklungsszenarien bis 2050. i. A. des Departements der Industriellen Betriebe. Zürich, September.
- Nägeli C., Jakob M., Sunarjo B., Catenazzi G. (2015). A building specific economic building stock model to evaluate energy efficiency and renewable energy. Beitrag zur Konferenz CISBAT, Lausanne, September.
- KBOB, eco-bau and IPB (2012). Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2012.
- KBOB, eco-bau and IPB (2014). Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2014.
- Ott W., Jakob M., Bolliger R., Bade S., Karlegger A., Jaberg A., Berleth H. (2013). Erneuerungstätigkeit und Erneuerungsmotive bei Wohn- und Bürobauten. Energieforschung Stadt Zürich. Bericht Nr. 12, Forschungsprojekt FP-2.2.1, Zürich, Dezember.
- Ott W., Jakob M., Baur M., Kaufmann Y., Ott A. (2005). Mobilisierung der energetischen Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand. Bundesamt für Energie. Bern.
- SAFE (2012). Merkblatt 23: Pumpen.
- SAFE (2012a). Merkblatt 24: Luftförderung. November.
- Schuppli M. (2009). Semesterarbeit Serviceinnovation. Nachhaltige Energetische Betriebsoptimierung von Technikanlagen. PHW Winterthur.
- SIA 2048:2015. Merkblatt „Energetische Betriebsoptimierung“
- Siemens (2012). Gebäudeautomation – Einfluss auf die Energieeffizienz. Siemens Schweiz
- Wagner R et al. (2014). Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich, Schlussbericht. Weisskopf Partner GmbH i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik. Zürich, Mai.
- Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Toloumis Ch. (2010). 7-Meilenschritte - Wirkungsanalyse anhand des Gebäudeparkmodells Stadt Zürich. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen. Zürich, Mai.
- Wanner O. et al. (2004). Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, i.A. Bundesamt für Energie, EAWAG, Dübendorf
- Wellig B., Kegel B. et al. (2006). Verdopplung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubs, Ernst Basler + Partner. Zürich. i.A. Forschungsprogramm UAW, Bundesamt für Energie. Bern.
- Weber A., Nipkow J., Tschui A., Poretti M. (2005). Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs von Warmwasseranlagen. Amstein+Walthert AG i.A. Bundesamt für Energie. Zürich, Dezember.
- Wüest & Partner (2014). Heizsysteme: Entwicklung der Marktanteile 2000-2013 - Schlussbericht. Wüest & Partner i.A. Bundesamt für Energie. Bern/Zürich, April.
- Wyss F., Frischknecht R. (2013). Life Cycle Assessment of Electricity Mixes according to the Energy Strategy 2050. treeze Ltd. i.A. AHB Stadt Zürich. Zürich.
- Zottel (2010), Seasonal Performance factor and Monitoring for heat pump systems in the building sector, Beitrag zum Info-Tag für Wärmepumpen-Hersteller, Austrian Institute of Technology).

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Potenzialausschöpfung zur Reduktion von Endenergie (EE), totaler Primärenergie (PE_{total}), nicht-erneuerbarer Primärenergie ($PE_{n.e.}$) und Treibhausgasemissionen (THG) im Vergleich der Szenarien Referenz- und Effizienzscenario.	iv
Tabelle 2	Anteile der Einsparungen bei der Endenergie dargestellt für die zwei Szenarien und nach Verwendungszwecken.	v
Tabelle 3	Anteile an den Einsparungen in 2050 Effizienzscenario (im Vergleich zum Referenzscenario) differenziert nach Massnahmentyp: Reduktion installierte Leistung und Reduktion Volllaststunden (VLH).	v
Tabelle 4	Verwendete Faktoren (PEF und THG-EK) zur Berechnung der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen.	11
Tabelle 5	Faktoren, welche Energienachfrage, Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen der zwei Szenarien beeinflussen. Für die Gebäudetechnik relevante Faktoren sind hervorgehoben.	12
Tabelle 6	Zugrundeliegendes Mengengerüst: Gebäudebestand bis 2010 nach Bauperiode und Neubau bis 2050, nach Gebäudekategorien, in Mio. m ² . EBF (nicht höhenkorrigiert).	16
Tabelle 7	Ausrüstungsgrad der Gebäude mit Lüftungsanlagen: Anteil der belüfteten Flächen nach Gebäudekategorie, Bauperiode und Gebäudegrösse. Grosse Gebäude sind definiert als Gebäude mit einer EBF > 1000 m ²	17
Tabelle 8	Ausrüstungsgrad der Gebäude mit Kälteanlagen: Anteil der gekühlten Flächen nach Gebäudekategorie, Bauperiode und Gebäudegrösse. Grosse Gebäude sind definiert als Gebäude mit einer EBF > 1000 m ²	17
Tabelle 9	Strukturierung der Gebäudetechnikmassnahmen anhand ausgewählter Beispiele.	21
Tabelle 10	Generelle Umschreibung der Unterschiede zwischen Referenz- und Effizienzscenario bezogen auf Neubau und Bestand.	22
Tabelle 11:	Annahmen für die Jahresarbeitszahl (JAZ) von Wärmepumpen für die Ausgangslage, sowie für die beiden Szenarien im Jahr 2050 (Systemgrenze Wärmeerzeugung). T_{VI} bezeichnet die Vorlauftemperatur.	26
Tabelle 12	Energieträgerverteilung im Gebäudebestand (2010) und Marktanteile (MA) von Heizsystemen bei Instandsetzung und Erneuerung sowie bei Neubauten.	28
Tabelle 13	Modellannahmen zu Durchdringungsgrad, Erneuerungszyklus und spezifischer Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete beim Verwendungszweck Lüftung.	37
Tabelle 14	Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifische Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete beim Verwendungszweck Klimakälte. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.	41

Tabelle 15	Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifische Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.	46
Tabelle 16	Modellannahmen zum Durchdringungsgrad, dem Erneuerungszyklus und der spezifischen Effizienzsteigerung für die Massnahmen und Massnahmenpakete. Die Effizienzsteigerung bezieht sich jeweils auf den Stand der Technik 2010.	49
Tabelle 17	Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2010 und im Jahr 2050 für die zwei Szenarien Ref und Eff nach Energieträger in TWh. Das Potenzial des Effizienzszenarios ist im Vergleich zum Ref-Szenario dargestellt, die Reduktion ist im Verhältnis (i.V.) zum Basisjahr 2010.	52
Tabelle 18	Endenergieverbrauch für Raumwärme im Referenz- und im EffizienzszENARIO 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.....	54
Tabelle 19	Endenergieverbrauch für Warmwasser im Referenz- und im EffizienzszENARIO. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.	54
Tabelle 20	Stromverbrauch für Lüftungsanlagen im Referenz- und im EffizienzszENARIO sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	55
Tabelle 21	Endenergieverbrauch für Kälteanlagen im Referenz- und im EffizienzszENARIO sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	56
Tabelle 22	Endenergieverbrauch für die Beleuchtung im Referenz- und im EffizienzszENARIO sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	57
Tabelle 23	Endenergieverbrauch für Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im EffizienzszENARIO sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	58
Tabelle 24	Endenergieverbrauch im Referenz- und im EffizienzszENARIO sowie Potenziale der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck.....	58
Tabelle 25	Primärenergieverbrauch total im Jahr 2010 und 2050 nach Energieträger in TWh.	61
Tabelle 26	Primärenergieverbrauch nicht-erneuerbar im Jahr 2010 und 2050 nach Energieträger in TWh.	61
Tabelle 27	Primärenergieverbrauch für Raumwärme im Referenz- und im EffizienzszENARIO. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.	62

Tabelle 28	Primärenergieverbrauch total (obere Tabellenhälfte) und nicht-erneuerbar (untere Tabellenhälfte) für Warmwasser im Referenz- und im Effizienzscenario. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.....	63
Tabelle 29	Primärenergieverbrauch total (inkl. erneuerbarer Anteil) im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck in TWh.	64
Tabelle 30	Primärenergieverbrauch nicht-erneuerbar im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck in TWh.	64
Tabelle 31	Treibhausgasemissionen im Jahr 2010 und 2050 für Raumwärme und Warmwasser nach Energieträger in kt CO ₂ -eq.	65
Tabelle 32	THGE für Raumwärme im Referenz- und im Effizienzscenario 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.	66
Tabelle 33	THGE für Warmwasser im Referenz- und im Effizienzscenario 2050. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar. Dargestellt ist die Summe aller Gebäudekategorien.	66
Tabelle 34	Stromverbrauchsbedingte THG Emissionen von Lüftungsanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.....	67
Tabelle 35	THG Emissionen von Kälteanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	68
Tabelle 36	THG Emissionen der Beleuchtung im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	68
Tabelle 37	THG Emissionen von Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	69
Tabelle 38	Treibhausgasemissionen in Megatonnen CO ₂ -Äquivalente im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Verwendungszweck.....	69
Tabelle 39	Zuordnung von Sub-Sektoren (Branchen) und Sub-Sub-Sektoren zu den Gebäudekategorien des SIA 380/1.	83
Tabelle 40	Annahmen für das Jahr 2010, Wärmeerzeugung Raumwärme. Mit Fussbodenheizung im Neubau (T Vorlauf gemäss MuKE).	85
Tabelle 41	Annahmen für das Jahr 2050, Referenzscenario: nicht optimiert, Wärmeerzeugung Raumwärme.....	85

Tabelle 42	Annahmen für das Jahr 2050, Effizienzscenario: optimiert, Wärmeerzeugung Raumwärme.....	85
Tabelle 43	Quelltemperaturen: Messwerte und Durchschnittliche Quelltemperatur bei WP-Betrieb.	86
Tabelle 44	Vergleich der Marktanteile von Heizsystemen im Neubau zwischen Wüst und Partner (Stand 2014) und TEP Energy (Stand 2012).	87
Tabelle 45	Vergleich der Marktanteile von Heizsystemen im Ersatz/Umbau zwischen Wüst und Partner (Stand 2014) und TEP Energy (Stand 2012).....	87
Tabelle 46:	Technische Kennwerte von Erdgas WKK, Öl- und Gasheizungen und Erdsonden.	88
Tabelle 47	Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbarer PE (n. e.) und THGE der Vergleichskonstellationen (Heizsysteme & Strommix) im Vergleich zur WKK mit Energieträger Erdgas (Normierung: WKK=0 % bei jedem Bewertungskriterium). Einsparungen sind fett hervorgehoben.	89
Tabelle 48	Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbarer PE (n. e.) und THGE der Vergleichskonstellationen (Heizsysteme & Strommix) im Vergleich zur WKK mit Energieträger Biogas (Normierung: WKK=0 % bei jedem Bewertungskriterium). Einsparungen sind fett hervorgehoben.	89
Tabelle 49	Zuordnung der Einflussgrößen bei LA auf die Massnahmenpakete...	90
Tabelle 50	Annahmen zu Druckverlusten von Lüftungsanlagen (Zu- und Abluft von Monoblocs und Luftverteilung) nach Einbauperioden in Pascal.	91
Tabelle 51	Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für unsanierte Lüftungsanlagen in Bürogebäuden.	91
Tabelle 52	Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für sanierte Lüftungsanlagen (Durchschnitt 2010) in Bürogebäuden.	92
Tabelle 53	Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für sanierte Lüftungsanlagen (Best Practice) in Bürogebäuden.....	92
Tabelle 54	Energy Rating und Druckverluste von Filtern. Die Filterklasse bezieht sich auf die Effizienz der Filterung (stärkere Filterung bei F8/F9), die Energieklasse auf die Energieeffizienz (A Effizienter als D).	92
Tabelle 55	Grenz- und Zielwerte für Kältemaschinen und die Einsparung in Bezug auf die aufgenommene Leistung.	93
Tabelle 56	Kennwerte von ausgewählten, handelsüblichen Leuchtmitteln mit gerichtetem und ungerichtetem Licht für 2012, 2015 sowie Ausblick bis 2020.	94
Tabelle 57	Heizungen: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Heizungen.	95
Tabelle 58	Trinkwassererwärmung: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Warmwasserspeichern und Zirkulationspumpen.	95
Tabelle 59	Kühlung: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Kälteanlagen.	96
Tabelle 60	GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von Elektrizität bei Lüftung und Hilfsenergie.....	96

Tabelle 61	Stromverbrauchsbedingte Primärenergie für Lüftungsanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.....	97
Tabelle 62	Primärenergieverbrauch für Kälteanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	99
Tabelle 63	Primärenergieverbrauch für die Beleuchtung im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.	100
Tabelle 64	Primärenergieverbrauch für die Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.....	101
Tabelle 65	Vergleich der verwendeten Verwendungszwecke in den Ex-Post Analysen des BFE und dieser Studie.	103
Tabelle 66	Gegenüberstellung der Gemeinsamkeiten vom WWB und Referenzscenario.	105
Tabelle 67	Gegenüberstellung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede vom POM- und Effizienzscenario.	105
Tabelle 68	Detaillierte Übersicht der Durchdringungsgrade. Ref = Referenzscenario; Eff = Effizienzscenario.	106
Tabelle 69	Nummern und Bezeichnungen der ursprünglichen KGTV Massnahmenliste mit Anmerkungen zur Umstrukturierung gemäss Kapitel 2.5 sowie Einführung der neuen Nummerierung und allenfalls neuer Bezeichnung. Quelle gibt die verantwortlichen Verbände der KGTV an.	108
Tabelle 70	Umstrukturierte Massnahmenliste. Beschreibung der Spalten siehe Fliesstext oben.	116
Tabelle 71	Liste der Instrumente (Vorschlag KGTV, nicht direkt quantifiziert). ...	131

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Endenergie inkl. erneuerbare Energien und Umweltwärme (in TWh, Diagramm links) und THG-Emissionen (in Mt CO ₂ -eq, Diagramm rechts).....	iii
Abbildung 2	Im Projekt eingesetzte Modelle und ihr Bezug zu externen Quellen wie Normen, Standards und Statistiken sowie zum Branchen-, Experten- und Fachwissen.....	3
Abbildung 3	Technisches Potenzial und technisch-realisiertes Potenzial zur zusätzlichen Marktdurchdringung.....	8
Abbildung 4	Entwicklung des Mengengerüsts in den verschiedenen Szenarien (schematische Darstellung). Hierbei ist zu beachten, dass in beiden Szenarien auch strukturelle Effekte auftreten (Neubauten und Ersatzneubauten sind effizienter als der bestehende Bestandesdurchschnitt), welche die Energieeffizienz ebenfalls steigern.	9
Abbildung 5	Technisch-realisiertes Potenzial (Massnahmenpotenzial) als Unterschied zwischen Referenz- und Effizienzzenario (schematische Darstellung).	9
Abbildung 6	Schematische Darstellung der Potenziale der Gebäudetechnik im Zusammenhang mit den beiden Szenarien: und der zeitlichen Entwicklung des angenommenen Strommixes für die Berechnung von PE und THGE (IST= Ist-Zustand, WWB=Weiter wie bisher). Der Unterschied zwischen IST 2010 zu Effizienz 2050 ist nicht relevant, da er Beiträge der Veränderung von THG-EF und PEF enthält und deshalb nicht allein die Wirkung der Gebäudetechnikmassnahmen enthält. Daher wird dieser Unterschied nicht weiter betrachtet (sondern die bereinigte Ausgangslage mit den hypothetischen PEF und THG-EF des Szenarios WWB für das Jahr 2050, welche auch für das Jahr 2010 angewendet werden).	10
Abbildung 7	Gebäudebestand im Jahr 2010 nach Bauperiode (EBF in Mio. m ²). ...	16
Abbildung 8	Gesamtschweizerischer Endenergieverbrauch 2010 (alle Energieträger) nach Gebäudekategorie und Verwendungszweck in TWh (Tabelle) und prozentualem Anteil am Total (Abbildung und Tabelle).....	19
Abbildung 9	Stromverbrauch 2010 nach Gebäudekategorie und Verwendungszweck in TWh (Tabelle) und prozentualem Anteil am Total (Abbildung und Tabelle).....	20
Abbildung 10	Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh für das Referenz- und das Effizienzzenario. Elektrizität ist aufgeteilt nach Verbrauchsart ohmsche Elektrodirekt- oder -speicherheizung (Ohm) oder Wärmepumpe (WP).....	52
Abbildung 11	Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Jahr 2010 und 2050 im Referenz- und Effizienzzenario nach Energieträger und Gebäudekategorie in TWh.....	53

Abbildung 12	Totaler Primärenergieverbrauch im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.	60
Abbildung 13	Nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in TWh. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.....	60
Abbildung 14	Treibhausgasemissionen im Modellstartjahr 2010 und im Jahr 2050 nach Energieträger in Kilo Tonnen CO ₂ -Äquivalente. Vergleich zwischen dem Effizienz- und Referenzszenario.....	65
Abbildung 15	Zusatzwirkung der Gebäudetechnik im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzszenario (verdeutlicht durch den Pfeil <i>Gebäudetechnik Potenzial</i>) auf die THGE (Kilotonnen CO ₂ -Äquivalente) in 2050 von Verwendungszwecken im Bereich Wärme.....	70
Abbildung 16	Zusatzwirkung der Gebäudetechnik im Effizienzscenario im Vergleich zum Referenzszenario (verdeutlicht durch den Pfeil <i>Gebäudetechnik Potenzial</i>) auf die THGE (Kilotonnen CO ₂ -Äquivalente) in 2050 von Verwendungszwecken im Bereich Strom.....	70
Abbildung 17:	Entwicklung der Nutzungsgrade von neu installierten Öl- und Gasheizungen im Zeitablauf zwischen 1990 und 2035.....	84
Abbildung 18	Definition der GA-Effizienzklassen A,B,C und D nach der Norm SIA 386.110.....	95
Abbildung 19	Vergleich der Endenergie der drei betrachteten Nachfragesektoren (ohne Mobilität). für Jahr 2010 zwischen GEST (BFE 2011), der Ex-post Analyse (BFE 2014) und dieser Studie Modellergebnisse witterungskorrigiert. (*=nur gebäudetechnikrelevante Verwendungszwecke berücksichtigt, für eine bessere Vergleichbarkeit).....	103
Abbildung 20	Vergleich auf Ebene der Verwendungszwecke zwischen Ex-Post Analysen, Ex-Post Analysen mit nur Gebäudetechnik-VZ (GT) und TEP Energy im Jahr 2010 (Ist-Zustand) für alle Gebäudekategorien. Die Modellergebnisse dieser Studie sind witterungskorrigiert.	104

7 Anhang

7.1 Anhang zu Kapitel 2: Methodik

7.1.1 Projektbeschreibung GEPAMOD

Mit dem Merkblatt (MB) SIA 2040 hat der SIA ein Instrument geschaffen, um den spezifischen Primärenergieverbrauch und THGE von Neubau- und Erneuerungsprojekten mit definierten Zielwerten zu vergleichen. Damit kann die Tauglichkeit zu energiepolitischen Zielsetzungen (Energiestrategie, Klimawandel, 2000-Watt-Gesellschaft) überprüft werden. Das MB SIA 2040 hat eine Gültigkeit bis Ende 2014 und der SIA hat eine Überarbeitung beschlossen. Hierbei soll die Anwendbarkeit des Instruments von Wohn-, Büro- und Schulgebäude auf weitere Gebäudekategorien ausgedehnt werden. Der Einbezug aller Gebäudekategorien ermöglicht auch eine bessere Überprüfung der Konsistenz zwischen spezifischen Zielwerten pro Gebäude und aggregierten gesamtschweizerischen energiepolitischen Zielsetzungen.

Das GEPAMOD-Projekt greift zwei diesbezüglich wichtige Themen auf, nämlich das Thema der Auswirkung von Betrieb, Erstellung und Erneuerung von Gebäuden auf die gesamte Primärenergie und THGE in einer konsistenten Einzelgebäude- und Gebäudeparkbetrachtung und das Thema des Einflusses der Nutzungsdauer von Konstruktionen, Materialien, Anlagen und Geräte auf diese Indikatoren. Damit sollen u. a. Grundlagen für die Überarbeitung der SIA 2040 (Effizienzpfad) und für die Einschätzung der Kennwerte von weiteren SIA Normen und Merkblättern (SIA 2024, SIA 380/4), indirekt aber auch für Portfolio-Betrachtungen, Ex-post Analysen- und Energieperspektivenmodelle geschaffen werden. Konkret verfolgt das Projekt zwei Hauptziele:

- Darstellung der Bedeutung von spezifischen Kenn- und Zielwerten auf Ebene Einzelgebäude im Kontext einer aggregierten Gebäudeparkbetrachtung im Zeitablauf bis 2050. Hierbei sind Kennwerte gemäss Methodik des SIA Effizienzpfades für bestehende Gebäude und ihre künftige Erneuerung sowie für künftige Neubauten bzgl. Betriebsenergie und "Erstellungsenergie" so festzulegen, dass für den Gebäudepark der Schweiz als Ganzes die gesamtschweizerischen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft und der Energiestrategie 2050 des Bundes erreicht werden. Damit sollen Grundlagen für in der Praxis anwendbare Kennwerte im Sinne eines Umsetzungsinstruments geschaffen werden, welche mit den erwähnten Zielen kompatibel sind.
- Aufzeigen des Einflusses von Annahmen zur Nutzungsdauer von Konstruktionen, Materialien, Anlagen und Geräten und anderen Einflussfaktoren in Gebäuden in der Schweiz auf den Entwicklungspfad und auf die Zielwerte im Bereich Primärenergieverbrauch und THGE.

Das Projekt hat zum übergeordneten Ziel, auf Bedürfnisse der potenziellen Nutzniesser des Projekts einzugehen: SIA (Grundlagen für Normen und Merkblätter), KBOB (KBOB-Empfehlungen), Baubranche/Gebäudewirtschaft (Nutzens eines Lebensdauer-Managements) sowie Bund, Kantone und Gemeinden (Gebäudeparkmodell als Instrument für Wirkungsanalysen und Energieplanungen).

Im weiteren Verlauf dieses Kapitels 8.1.1. werden die wesentlichen methodischen Schritte und Annahmen kurz eingeführt. Für weitere Details und Erklärungen zum GEPAMOD und dem darin verwendeten Modellansatz wird auf Jakob et al. (2015) verwiesen.

7.1.2 Endenergie im Verwendungszweck Raumwärme und Warmwasser

Im Fall der Wärmeenergie von Gebäudebestand und Neubau werden Gebäudehüllenerneuerung, Effizienzanforderungen (z. B. durch die MuKE) und Marktanteile bei Neubauten sowie Heizanlagenersatz und -substitution im Gebäudebestand explizit modelliert (ähnlich wie in Wallbaum et al. (2009), jedoch mit einem neuen Repräsentantenansatz, siehe Jakob et al. (2015), Jakob & Nägeli (2015) und Kurzbeschreibung GEPAMOD (im Anhang 7.1.1).

Thermische Nutzenergie

Die thermische Nutzenergie wird im Nutzenergiemodul des Gebäudeparkmodells (GPM) mittels eines Energiebilanzmodells gemäss SIA 380/1 berechnet. Dies erfolgt für sogenannte Gebäuderepräsentanten, welche stellvertretend für einen Teil des Gebäudeparks stehen. Diese Gebäuderepräsentanten

sind im Modell bzgl. energetischer Charakteristika in Abhängigkeit ihres Zustands konkret beschrieben. Der Gebäudezustand eines bestimmten Repräsentanten ist hierbei diskret (Bauteil x wärmege-dämmt oder nicht) und nicht ein Mittelwert von mehreren Zuständen. Die sich daraus ergebenden energetischen Charakteristika hängen zum einen von Attributen wie Gebäudekategorie, Bauperiode, geometrischen Verhältnissen und Gebäudenutzung ab, zum anderen von baulichen und gebäude-technischen Massnahmen. Die baulichen Massnahmen hängen im Fall der Neubauten von entspre-chenden gesetzlichen Anforderungen ab (namentlich seitens der MuKE) und im Fall des Gebäude-bestandes von Gebäudeerneuerungsmassnahmen, welche in der Vergangenheit durchgeführt oder in Zukunft bis 2050 ergriffen werden (Wärmedämmungen, Fensterersatz). Bei den gebäudetechnischen Massnahmen, welche die Wärmeenergie beeinflussen, sind insbesondere die Sanierung von beste-henden Lüftungsanlagen sowie die Installation von zusätzlichen Lüftungsanlagen mit Wärmerückge-winnung zu nennen. Diese Massnahmen verändern den Zustand der erwähnten Gebäuderepräsen-tanten im Zeitablauf und damit deren Bedarf an thermischer Nutzenergie.

Energieträgerwahl und Umwandlungseffizienz

Die Energieträgerwahl wird mittels eines discrete choice (Wahlentscheid) Ansatzes in Abhängigkeit von Gebäudeattributen wie Energieeffizienz, Grösse und Vorlauftemperaturen sowie Heizsystemattri-buten wie Effizienz und Kosten modelliert. Die Wahlwahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Heizsystem hängt also auch vom Zustand ab, der durch das vorgelagerte Nutzenergiemodul bestimmt wurde. So ergeben sich die zu installierende Leistung der Heizanlage und die damit verbundenen Kosten aus dem thermischen Leistungsbedarf pro Gebäuderepräsentant. Zudem hängen die Nutzungsgrade, na-mentlich der WP, von der Vorlauftemperatur ab. Je nach Szenario wird bzgl. der Nutzungsgrade der Heizsysteme von einer unterschiedlich starken Verbesserung ausgegangen. Währendem bei den fos-silen Anlagen die Unterschiede bis ins Jahr 2050 de facto bei Null liegen werden, ist insbesondere bei den WP im Effizienzscenario von höheren Nutzungsgraden (Jahresarbeitszahlen) auszugehen.

7.1.3 Endenergie bei den meisten strombasierten Verwendungszwecken

In einfachen Fällen wird der folgende Ansatz zur Berechnung des Energieverbrauchs einer bestimm-ten gebäudetechnischen Anwendung (z. B. Beleuchtung) angewendet:

$$\begin{aligned} \text{Energieverbrauch} = & \text{Mengengerüst (z. B. m}^2\text{)} * & (1) \\ & \text{Treiber des Energiedienstes (z. B. Diffusion in \% / Anzahl Leuchtpunkte)} * \\ & \text{Energiedienste (z. B. lx)} * \text{spez. Verbrauch (z. B. in W/lx)} * \\ & \text{Volllaststunden (in h pro Jahr)} \end{aligned}$$

Für die Berechnung der Effizienzpotenziale im Zeitablauf ist die bereits erfolgte Durchdringung einer Energieeffizienzoption („Massnahme“) zum Startzeitpunkt sowie die zusätzliche Durchdringung bis zum Betrachtungszeitpunkt zu berücksichtigen. Bei vielen Massnahmen werden entweder die instal-lierte Leistung oder die Volllaststunden beeinflusst, bei einigen beide Grössen gleichzeitig. Die Wir-kung einer einzelnen Massnahme hängt demzufolge von den bereits vorgängig durchgeführten Mass-nahmen ab. Dies macht es erforderlich, dass für die Quantifizierung der einzelnen Massnahmen eine Reihenfolge, in der diese Massnahmen ergriffen werden, festgelegt werden muss, damit die Wirkung der einzelnen Massnahmen konsistent aggregiert werden kann.

7.1.4 Mengengerüst

Tabelle 39 Zuordnung von Sub-Sektoren (Branchen) und Sub-Sub-Sektoren zu den Gebäudekategorien des SIA 380/1.

Sektor	Sub-Sektor	Sub-Sub-Sektor	Gebäudekategorie SIA
Haushalte	EFH	EFH	II
	MFH	MFH	I.1
		Zweitwohnungen	I.1
Dienstleistungen	Grosshandel	Lebensmittel	X
		Nicht-Lebensmittel	X
	Detailhandel	Food, grosser Laden oder Einkaufszentrum	V.1
		Food, Fachgeschäft klein	V.2
		Non-Food, grosser Laden oder Einkaufszentrum	V.3
		Non-Food, Fachgeschäft klein	V.4
	Verkehr	Poststellen	III
		Postverteilzentren	X
		Restlicher Verkehr	IX
	IKT	IKT	III
	Beherbergung	Hotels	I.2
		Ferienunterkünfte	I.3
	Gastronomie	Restaurants und Bars	VI
		Caterer	VI
	Finanzwesen	Finanzwesen	III
	öffentl. Verwaltung	Öffentliche Verwaltung	III
	Schulen	Volksschulen und Gymnasien	IV.1
		Sonstige Unterricht	IV.2
		Hochschulen	IV.3
	Gesundheitswesen	Arztpraxen	VIII.2
		Sonstige Gesundheitswesen	III
Sozialwesen		III	
Heime	Altersheime und stationäre psychosoziale Betreuung	VIII.3	
Unternehmensdienstleistungen	Unternehmensdienstleistungen	III	
Andere Dienstleistungen	Bibliotheken, Museen, botanische und zoologische Gärten	VII	
	Restliche andere Dienstleistungen	III	
	Persönliche andere Dienstleistungen	III	
Landwirtschaft	Landwirtschaft	Landwirtschaft	
Industrie	Nahrungsmittel	Nahrungsmittel	IX
	Textil und Leder	Textil und Leder	IX
	Papier und Druck	Papier und Druck	IX

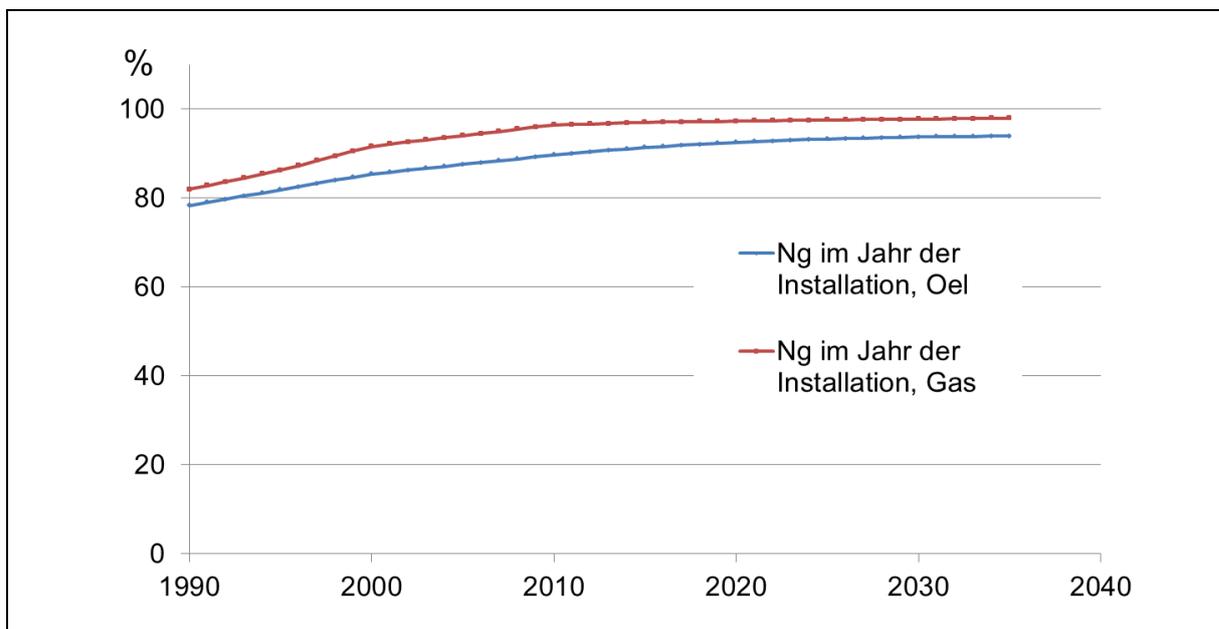
Sektor	Sub-Sektor	Sub-Sub-Sektor	Gebäudekategorie SIA
	Chemie und Pharma	Chemie und Pharma	IX
	Zement und Beton	Zement und Beton	IX
	Metalle und Mineralien	Metalle und Mineralien	IX
	Geräte und Maschinen	Geräte und Maschinen	IX
	Andere Industriezweige	Andere Industriezweige	IX
	Bau	Bau	IX
	Energie	Energie	IX

7.2 Anhang zu Kapitel 3: Gebäudetechnikmassnahmen

7.2.1 Verwendungszweck Raumwärme

Effizienzentwicklung von Heizanlagen

Abbildung 17 stellt die im Modell umgesetzte Entwicklung der Nutzungsgrade von Öl- und Gasheizungen dar. Dabei wird von einer kontinuierlichen Zunahme bis 2010 mit anschliessender Sättigung ausgegangen.



Quelle: TEP Energy (Input BFE Ex-post-Analysen)

Abbildung 17: Entwicklung der Nutzungsgrade von neu installierten Öl- und Gasheizungen im Zeitablauf zwischen 1990 und 2035.

Entwicklung der Wirkungsgrade von Wärmepumpen

Tabelle 40, Tabelle 41 und Tabelle 42 stellen die im GPM verwendeten Annahmen bezüglich der Entwicklung von Wärmepumpen dar. Die Annahmen wurden von TEP Energy berechnet und mit Experten validiert. Im Anschluss werden die verwendeten Grössen erklärt.

Tabelle 40 Annahmen für das Jahr 2010, Wärmeerzeugung Raumwärme. Mit Fussbodenheizung im Neubau (T Vorlauf gemäss MuKEn).

WP Typ	Quellentemperatur	Gütegrad	Hilfsenergie	JAZ im Bestand (T Vorlauf = 60°C)	JAZ im Neubau (T Vorlauf = 35°C)
Erdsonde	5°C	0.46	4.5 %	2.6	3.7
Grundwasser	10°C	0.46	5.0 % ¹⁾	2.9	4.4
Fluss	5.5°C	0.46	3.0 %	2.7	3.8
See	4°C	0.46	3.0 %	2.6	3.7
ARA	8°C	0.46	4.7 %	2.7	3.9
Luft	3°C	0.42	4.5 %	2.3	3.2

1) Höher als Hilfsenergie von Erdsonden WP, aufgrund der Wasserwege und geringem ΔT

Quelle: TEP Energy, Experteneinschätzungen

Tabelle 41 Annahmen für das Jahr 2050, Referenzszenario: nicht optimiert, Wärmeerzeugung Raumwärme.

WP Typ	Quellentemperatur	Gütegrad	Hilfsenergie	JAZ im Bestand (T Vorlauf = 55°C)	JAZ im Neubau (T Vorlauf = 35°C)
Erdsonde	5°C	0.50	4.0 %	3.0	4.4
Grundwasser	10°C	0.50	2.5 %	3.4	5.5
Fluss	5.5°C	0.50	3.0 %	3.1	4.6
See	4°C	0.50	3.0 %	3.0	4.4
ARA	8°C	0.50	4.7 %	3.1	4.7
Luft	3°C	0.46	4.5 %	2.7	3.8

Quelle: TEP Energy, Experteneinschätzungen

Tabelle 42 Annahmen für das Jahr 2050, Effizienzzenario: optimiert, Wärmeerzeugung Raumwärme.

WP Typ	Quellentemperatur	Gütegrad	Hilfsenergie	JAZ im Bestand (T Vorlauf = 50°C)	JAZ im Neubau (T Vorlauf = 30°C)
Erdsonde	5°C	0.52	4.0 %	3.4	5.1
Grundwasser	10°C	0.52	2.5 %	3.9	6.5
Fluss	5.5°C	0.52	3.0 %	3.5	5.4
See	4°C	0.52	3.0 %	3.4	5.1
ARA	8°C	0.52	4.7 %	3.5	5.4
Luft	3°C	0.50	6 %	2.9	4.5

Quelle: TEP Energy, Experteneinschätzungen.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) beschreibt das Verhältnis der Wärmeabgabe zum Elektrizitätsbedarf pro Jahr bei Wärmepumpen. Pro 5 Kelvin Reduktion ist nach Experteneinschätzung eine JAZ Steigerung von 10 % realistisch. Die Annahmen zu den Quellentemperaturen basieren einerseits auf Messdaten aus Zürich (Seetemperatur, Limmat-Temperatur, ARA-Temperatur, Lufttemperatur, Soletemperatur), andererseits auf einer Temperaturabsenkung der Wärmequelle verursacht durch die Nutzung der Umgebungswärme. Zudem existiert ein Temperaturgradient zwischen dem Kältemittel und der Temperaturquelle, so dass ein Wärmefluss und eine weitere Temperaturabsenkung stattfinden. Tabelle 43 zeigt die Messwerte und die verwendeten Quelltemperaturwerte.

Tabelle 43 Quelltemperaturen: Messwerte und Durchschnittliche Quelltemperatur bei WP-Betrieb.

Wärmepumpen Typ	Quelltemperatur Messwerte	Durchschnittliche Quelltemperatur bei WP-Betrieb
Erdsonde	<13°C	5°C
Grundwasser	13.8°C	10°C
Fluss	7.0°C	5.5°C
See	5.6°C	4°C
ARA	12.9°C	8°C
Luft	3.0°C	3°C

Quelle: TEP Energy, BAFU (2009), AWEL, Guyer (2007)

Der Gütegrad beschreibt das Verhältnis der Leistungszahl der realen Wärmepumpen zu einem idealen Carnot Kreisprozess. Gründe für Verluste im realen Betrieb sind u. a.:

- Temperaturgradient zwischen Wärmequelle und Kältemittel im Verdampfer
- Temperaturgradient im Kondensator auf das Warmwasser
- Druckabfall im Kältemittelkreislauf
- Reibungsverlust im Kompressor

Der Gütegrad nimmt im Zeitablauf im Mittel von 0.46 auf 0.52 (ausser bei Luft) zu, was nach Experteneinschätzungen als realistisch zu erachten ist. Berücksichtigt wurde, dass bei gleichbleibenden Verlusten (z. B. Druckabfall im Kältemittelkreislauf), aber zukünftig kleinerem Temperaturgradient zwischen Quelltemperatur und Vorlauftemperatur und somit tieferen Stromaufwand, der Gütegrad aufgrund der relativen Zunahme der Verluste abnimmt. Unter dem zukünftigen Einsatz von neuer Technologie (z. B. neue Turboverdichter) wären nach Experteneinschätzungen noch höhere Gütegrade möglich.

Zur Hilfsenergie gehört die Energie für die Umwälz- und Zirkulationspumpen, für die elektronische Regelung und bei der Luft-Wärmepumpe für den Verdampfer Ventilator. Die Hilfsenergie der Zirkulationspumpe von Gross-Wärmepumpen (abgesehen von der Luftwärmepumpe gilt für die meisten Wärmepumpen, dass die Hilfsenergie mit zunehmender Grösse kleiner wird.) wurde über den Energiebedarf von Fernwärme-Zirkulationspumpen abgeschätzt. Die Luftwärmepumpe hat einen hohen Hilfsenergiebedarf aufgrund des Verdampfer Ventilators (Afjei 2007). Die Hilfsenergie von Zirkulationspumpen von Sole und Grundwasserwärmepumpen wurde aus Literatur abgeschätzt (Zottel 2010).

Marktanteile der Heizsysteme

Tabelle 44 und Tabelle 45 zeigen einen Vergleich der Einschätzungen zum Anteil der Heizsysteme zwischen einer unveröffentlichten Studie von TEP Energy zum Stand 2012, Wüest und Partner (2014) / BAFU (2015) sowie Experteneinschätzungen. Dabei wird einerseits auf die Neubauten Bezug genommen und andererseits auf die Ersatz/Umbautätigkeit.

Tabelle 44 Vergleich der Marktanteile von Heizsystemen im **Neubau** zwischen Wüest und Partner (Stand 2014) und TEP Energy (Stand 2012).

Neubau	W&P Studie / BAFU (2015) (Stand 2014)		TEP Studie (Stand 2012)	Experteneinschätzung
Gebäudekategorie	Marktanteil 2013			Marktanteil 2015 (Prognose)
EFH				
Fossile	7 %		14 %	7 %
Nicht-Fossile	93 %		86 %	93 %
MFH				
Fossile	14 %		26 %	14 %
Nicht-Fossile	86 %		74 %	86 %
Nicht Wohnen				
Fossile	17 %		29 %	29 %
Nicht-Fossile	83 %		71 %	71 %

Quelle: TEP Energy, Wüest und Partner (2014), Experteneinschätzungen

Tabelle 45 Vergleich der Marktanteile von Heizsystemen im **Ersatz/Umbau** zwischen Wüest und Partner (Stand 2014) und TEP Energy (Stand 2012).

Neubau	W&P Studie / BAFU (2015) (Stand 2014)			TEP Studie (Stand 2012)	Experteneinschätzung
Gebäudekategorie	Marktanteil 2013			Marktanteil 2015 (Prognose)	
	Ersatz	Umbau	Kumuliert	Ersatz und Umbau kumuliert	
EFH					
Fossile	43 %	4 %	47 %	67 %	50 %
Nicht-Fossile	37 %	16 %	53 %	34 %	50 %
MFH					
Fossile	55 %	9 %	64 %	69 %	50 %
Nicht-Fossile	20 %	16 %	36 %	31 %	50 %
Nicht Wohnen					
Fossile	42 %	5 %	47 %	61 %	61 %
Nicht-Fossile	38 %	15 %	53 %	39 %	39 %

Quelle: TEP Energy, Wüest und Partner (2014), Experteneinschätzungen

Vergleich von WKK mit anderen Heizsystemen

Der Vergleich nimmt Bezug auf verschiedene Vergleichskonstellationen, welche die gleiche Wärme- und Strommenge bereitstellen. Erdgas-WKK werden in Tabelle 47 und (reine) Biogas-WKK in Tabelle 48 betrachtet. Die betrachteten Referenztechnologien für die Wärmebereitstellung sind dezentrale Gasheizungen, Ölheizungen und Wärmepumpen. Beim Strom wird die Referenzgrösse zwischen dem Strommix den Szenarien WWB, POM sowie dem aktuellen Strommix (CH 2014) (vgl. Tabelle 4) variiert.

Die Kenngrössen der WKK Anlagen entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik gemäss WKK-Anbietern und -Installateuren. Der elektrische Wirkungsgrad von WKK Systemen steigt mit der el. Leistung von 33 % (bei 20kW el. Leistung) bis 39 % (bei 635 KW el. Leistung). Folgend wird ein Mittelwert von 35 % angenommen. Beim Gesamtwirkungsgrad liegt der Mittelwert bei 90 %. Zu nennen ist bei der Festlegung der Wirkungsgrade der Spezialfall der Wärmepumpe. Der als Jahresarbeitszahl (JAZ) ausgedrückte Jahresnutzungsgrad ist bei der Wärmepumpe von der Vorlauftemperatur der Heizung abhängig. Folgend wird mit einer konservativen JAZ von 2.4 gerechnet, dies entspricht in etwa dem derzeitigen Stand der Technik (2010) in einem Altbau.

Tabelle 46: Technische Kennwerte von Erdgas WKK, Öl- und Gasheizungen und Erdsonden.

Betrachtetes System	Wirkungsgrad thermisch	Wirkungsgrad elektrisch	Wirkungsgrad gesamt
Erdgas-WKK	55 %	35 %	90 %
Gasheizung	95 %	-	95 %
Ölheizung	95 %	-	95 %
Erdsonde	-	-	JAZ = 2.4

Quelle: TEP Energy

Mittels Kennwerte kann der Endenergieverbrauch der Referenzsysteme gegenüber dem WKK Endenergieverbrauch berechnet werden. Die Endenergiewerte werden anhand eines Primärenergie- und eines Treibhausgasemissionsfaktors bewertet. Der Vergleich der auf die WKK normierten Bewertungskriterien Primärenergie (gesamt und nicht-erneuerbar) und THGE zeigt, dass die Potenziale der WKK von Bewertungskriterium, Vergleichssystem und unterstelltem Strommix abhängig sind (siehe Tabelle 47 und Tabelle 48). Eine positive Wirkung der WKK ist gegeben, wenn der Wert bei den Vergleichskonstellationen kleiner als 0 % ist, d. h. die WKK zu weniger PE oder THGE führt. So zeigt sich, dass unter diesen Annahmen die Biogas-WKK meist zu weniger PE-Verbrauch und THGE führt.

Lesebeispiel für Tabelle 47: Der 1:1 Ersatz einer Gasheizung durch eine WKK führt zu 10 % weniger THGE (vgl. Tabelle 47) beim Strommix WWB 2050, d. h. einer positiv zu wertenden Wirkung. Der Ersatz von einer WP und durch eine WKK bei gleichem Strommix WWB 2050 führt hingegen zu 24% mehr THGE, also einer negativen Wirkung.

Lesebeispiel für Tabelle 48: Wird eine konventionelle Gasheizung mit einer WKK-Anlage (mit Biogas betrieben) ersetzt so kann 408 % der eingesetzten Primärenergie gespart werden bei dem angenommenen Strommix von 2014.

Tabelle 47 Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbarer PE (n. e.) und THGE der Vergleichskonstellationen (Heizsysteme & Strommix) im Vergleich zur WKK mit Energieträger Erdgas (Normierung: WKK=0 % bei jedem Bewertungskriterium). Einsparungen sind fett hervorgehoben.

Zu ersetzendes System	Veränderung der PE und THGE beim Einsatz von WKK		
	PE	PE n. e.	THGE
WKK mit Erdgas	0 %	0 %	0 %
<i>Strommix CH 2014</i>			
Gas + Strommix	-61 %	-47 %	19 %
ÖL+ Strommix	-69 %	-55 %	2 %
WP + Strommix	-86 %	-30 %	38 %
<i>Strommix WWB 2050</i>			
Gas + Strommix	-30 %	-11 %	-10 %
ÖL+ Strommix	-39 %	-20 %	-27 %
WP + Strommix	-42 %	22 %	24 %
<i>Strommix POM 2050</i>			
Gas + Strommix	-21 %	7 %	30 %
ÖL+ Strommix	-29 %	-2 %	12 %
WP + Strommix	-28 %	49 %	43 %

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Tabelle 48 Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbarer PE (n. e.) und THGE der Vergleichskonstellationen (Heizsysteme & Strommix) im Vergleich zur WKK mit Energieträger Biogas (Normierung: WKK=0 % bei jedem Bewertungskriterium). Einsparungen sind fett hervorgehoben.

Zu ersetzendes System	Veränderung der PE und THGE beim Einsatz von WKK		
	PE	PE n. e.	THGE
WKK mit Biogas	0 %	0 %	0 %
<i>Strommix CH 2014</i>			
Gas + Strommix	-408 %	-405 %	-40 %
ÖL+ Strommix	-436 %	-435 %	-70 %
WP + Strommix	-490 %	-347 %	-8 %
<i>Strommix WWB 2050</i>			
Gas + Strommix	-311 %	-282 %	-90 %
ÖL+ Strommix	-338 %	-312 %	-120 %
WP + Strommix	-348 %	-168 %	-31 %
<i>Strommix POM 2050</i>			
Gas + Strommix	-282 %	-220 %	-21 %
ÖL+ Strommix	-309 %	-250 %	-52 %
WP + Strommix	-306 %	-76 %	1 %

Quelle: Berechnungen TEP Energy

7.2.2 Verwendungszweck Lüftung

Zuordnung von Einflussgrössen auf die Massnahmenpakete

In Tabelle 49 sind die Einflussgrössen von Lüftungsanlagen und deren Bezug zu den Massnahmenpaketen dargestellt. Die Quantifizierung der einzelnen Massnahmenpakete erfolgt demnach auf Grundlage der zugeordneten Grössen.

Tabelle 49 Zuordnung der Einflussgrössen bei LA auf die Massnahmenpakete.

	Luftvolumenstrom	Luftströmungsgeschwindigkeit	Druckverluste ²	Ventilator- und Motoreffizienz	Be- und Entfeuchtungsschwellenwerte	Betriebszeit	Thermisch wirksamer Luftvolumenstrom ⁴	Kältebedarf
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand ¹		X	X	X				
Grössere Monoblocs ¹		X	X					
Optimierte Luftverteilungen ¹		X	X					
Effiziente Ventilatoren ¹				X				
Effiziente Filter			X					
Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung	X		X			X	X	
Optimierung der Abluftanlagen				X		X		
Anpassung der Betriebszeit						X	X	
Anpassung der Luftvolumenströme	X		X				X	
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf					X	X		
Mischluftverhältnis bei LA optimieren							X	X
Wärmerückgewinnung ⁵			-X ³				X	

1: Annahme eines konstanten Luftvolumenstroms
2: Durch Reduktion Luftströmungsgeschwindigkeit oder Strömungswiderstand (Filter, Klappen, Turbulenzen)
3: Je höher die WKG der WRG desto höher die Druckverluste der LA
4: Relevant für die Reduktion des Heizbedarfs im VZ Raumwärme
5: Quantifiziert als *Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen* im VZ Raumwärme

Berechnungsansatz

Die Berechnung des Energieverbrauchs zur Luftförderung und der Wirkung von Effizienzmassnahmen in diesem Bereich wird konsistent auf die spezifischen Grundlagen des SIA (SIA 382/1 und SIA 2024) sowie auf Grundlagen und Experteneinschätzungen zum Zustand der Lüftungsanlagen im Gebäudebestand und zur vergangenen und aktuellen Planungs- und Entscheidungspraxis abgestützt. Eine wichtige Grundlage spielen:

- Volumenströme pro Raum- und Gebäudekategorie, welche sich am SIA MB 2024 orientieren,
- Druckverluste von unsanierten sowie sanierten Anlagen sowie
- Wirkungsgrade von Ventilator, Transmission, Motor und Regelung.

Der elektrische Energieverbrauch berechnet aus Volumenstrom q_v in m^3/s , Druckverlust Δp in Pa, Volllaststunden t in h und den Wirkungsgraden η von Ventilator, Transmission, Motor und Regelung (FU) nach folgender Formel (vgl. SAFE 2012a) :

$$E = \frac{q_v \cdot \Delta p \cdot t}{\eta}$$

Ausgehend von Jakob et al. (2006) wurden entsprechende Druckverluste unter Einbezug des SIA 382/1 und von Experteneinschätzungen festgelegt. Tabelle 50 fasst diese Annahmen zusammen und unterscheidet zwischen Druckverlusten von Lüftungsanlagen (Zu- und Abluft von Monoblocs und Luftverteilung sind summiert) bei unsanierten LA, dem Durchschnitt 2010 und Best Practice LA. Letztere gehen dabei über den Durchschnitt 2010 hinaus und erfahren insbesondere im Effizienzzenario eine stärkere Durchdringung. Eine detaillierte Aufschlüsselung in Zu- und Abluft sowie Monoblocs und Luftverteilung ist unten aufgeführt.

Kompaktlüftungsgeräte mit geringeren Druckverlusten sind bei Wohngebäuden verbreitet. Experten gehen davon aus, dass mehr als 50 % der Wohngebäude mit solchen Geräten, statt mit zentralen Lüftungen ausgestattet sind. Die Annahmen zum Anteil der belüfteten Flächen, welche für die gesamtschweizerischen Potenziale ebenfalls von Relevanz sind, sind im Kapitel 2.4 ersichtlich.

Tabelle 50 Annahmen zu Druckverlusten von Lüftungsanlagen (Zu- und Abluft von Monoblocs und Luftverteilung) nach Einbauperioden in Pascal.

	Unsaniert		Durchschnitt 2010		Best Practice	
	Büro	Wohnen	Büro	Wohnen	Büro	Wohnen
Zentrale Lüftungen						
Vor 1976	2400	-	2000	-	2000	-
1976 - 2000	2100	-	1700	-	1500	-
2001 - 2010	1400	1100	1200	900	1000	800
Neubau	-	-	1000	600	700	500
Kompaktlüftungsgeräte in Wohnungen						
Alle Bauperioden	-	-	-	350	-	150

Quelle: Jakob et al. (2006), SIA 382/1, Experteneinschätzungen

Detaillierte Annahmen zu Druckverlusten in Büros

Die Annahmen zu Druckverlusten in Tabelle 51 bis Tabelle 53 basieren auf Jakob et al. (2006), Experteneinschätzungen und eigenen Hochrechnungen.

Tabelle 51 Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für unsanierte Lüftungsanlagen in Bürogebäuden.

Büro, unsaniert	Zuluft			Abluft			Total		
	Mono-bloc	Ver-tei-lung	Total	Mono-bloc	Ver-tei-lung	Total	Mono-bloc	Ver-tei-lung	Total
Vor 1976	700	700	1400	500	500	1000	1200	1200	2400
1976 - 2000	800	400	1200	600	300	900	1400	700	2100
2001 - 2010	500	300	800	400	200	600	900	500	1400

Quelle: Jakob et al. (2006), SIA 382/1, Experteneinschätzungen, TEP Energy

Tabelle 52 Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für sanierte Lüftungsanlagen (Durchschnitt 2010) in Bürogebäuden.

Büro, Durchschnitt 2010	Zuluft			Abluft			Total		
	Mono-bloc	Verteilung	Total	Mono-bloc	Verteilung	Total	Mono-bloc	Verteilung	Total
vor 1976	700	700	1400	300	300	600	1000	1000	2000
1976 - 2000	700	300	1000	500	200	700	1200	500	1700
2001 - 2010	500	300	800	200	200	400	700	500	1200
Neubau	350	250	600	200	200	400	550	450	1000

Quelle: Jakob et al. (2006), SIA 382/1, Experteneinschätzungen, TEP Energy

Tabelle 53 Druckverluste in Pascal von Lüftungsanlagen für sanierte Lüftungsanlagen (Best Practice) in Bürogebäuden.

Büro, Best Practice	Zuluft			Abluft			Total		
	Mono-bloc	Verteilung	Total	Mono-bloc	Verteilung	Total	Mono-bloc	Verteilung	Total
vor 1976	700	700	1400	300	300	600	1000	1000	2000
1976 - 2000	600	300	900	400	200	600	1000	500	1500
2001 - 2010	350	250	700	200	200	400	550	450	1000
Neubau	250	150	500	150	150	400	500	300	700

Quelle: Jakob et al. (2006), SIA 382/1, Experteneinschätzungen, TEP Energy

Effizienz von Ventilatoren

Wirkungsgrad (η) und Leistung (W) von Ventilatoren sind umgekehrt proportional

$$W_2 = W_1 * \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

Es wird ausgegangen von einem WKG von 0.4 für unsanierte LA, einem WKG von 0.55 für den Durchschnitt 2010 sowie einem WKG von 0.65 für Best Practice Ventilatoren.

Effiziente Filter

Gestützt auf den EUROVENT Standard und Experteneinschätzungen gehen wir von folgenden Energiekennwerten und Druckverlusten für Filter aus:

Tabelle 54 Energy Rating und Druckverluste von Filtern. Die Filterklasse bezieht sich auf die Effizienz der Filterung (stärkere Filterung bei F8/F9), die Energieklasse auf die Energieeffizienz (A Effizienter als D).

Filterklasse	Energieklassen 2015	Energy Rating 2015	Druckverluste	Einsparung beim Wechsel von D auf A
		[kWh]	[Pa]	[Pa]
F7	A	875	77	95
	D	1950	172	
F8	A	1100	97	97
	D	2200	194	
F9	A	1350	119	172
	D	3300	291	

Quelle: EUROVENT, Experteneinschätzung

7.2.3 Verwendungszweck Klimakälte

Energetische Einsparung effizienter Kälteerzeuger

Die energetische Einsparung durch effizientere Kältemaschine wurde auf Grundlage der SIA 382/1 Grenz- und Zielwerte (vgl. Tabelle 55) für Kältemaschinen berechnet. EER (Energy-Efficiency-Ratio) Werte beschreiben nach folgender Formel die Energieeffizienz im Volllastbetrieb:

$$EER = \frac{Q_K}{W}$$

Die ESEER-Werte (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) beschreiben die Energieeffizienz im Teillastbetrieb. Bei konstanter Kühlleistung ist die Leistungseinsparung beim Wechsel auf ein effizienteres Gerät umgekehrt proportional:

$$\frac{EER_1}{EER_2} W_1 = W_2$$

Tabelle 55 Grenz- und Zielwerte für Kältemaschinen und die Einsparung in Bezug auf die aufgenommene Leistung.

kW	EER			ESEER		
	Grenzwert	Zielwert	Reduktion	Grenzwert	Zielwert	Reduktion
12	3.85	4.25	9 %	4.3	5.7	25 %
100	4.25	4.65	9 %	4.8	6.1	21 %
300	4.65	5.05	8 %	5.5	6.9	20 %
600	5.05	5.5	8 %	6.1	7.4	18 %
1000	5.5	6	8 %	6.7	8	16 %

Quelle: SIA 382/1

7.2.4 Verwendungszweck Beleuchtung

Effiziente Leuchten

Nach folgender Formel (vgl. Gasser (2012), S. 31) ergibt sich die spezifische (d. h. pro Flächeneinheit) Einsparung der Leistung:

$$\text{spez. Leistung}_2 = \text{spez. Leistung}_1 \frac{\text{systemlichtausbeute}_1}{\text{systemlichtausbeute}_2}$$

Kennwerte von Leuchtmitteln

In Tabelle 56 sind die typischen Leistungsaufnahmen sowie die Lichtausbeute von handelsüblichen Leuchtmitteln (Lampen) aufgeführt. Seit 2012 wurden v. a. im Bereich LED deutliche Verbesserungen in Bezug auf Lichtausbeute, Lichtqualität und Leistungsdichte erzielt und es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung zumindest in den nächsten fünf Jahren fortsetzt. Wird zusätzlich die Leuchte in die Betrachtung miteinbezogen, so verringert sich die Systemlichtausbeute. Bei der LED kann aufgrund der Bauweise die Lichtausbeute nicht getrennt von der Leuchte betrachtet werden, d. h. dass bei LED-Beleuchtungen nur die Lichtausbeute der Leuchte inkl. Leuchtmittel angegeben wird.

Tabelle 56 Kennwerte von ausgewählten, handelsüblichen Leuchtmitteln mit gerichtetem und ungerichtetem Licht für 2012, 2015 sowie Ausblick bis 2020.

	2012			2015	2020
	Leistung (W)	Lichtstrom (lm)	Lichtausbeute (lm/W)	Lichtausbeute (lm/W)	Lichtausbeute (lm/W)
LED	8	800	70 – 100 ^a	100-150 ^a	150-200 ^a
Leuchtstofflampe (FL)	13	950	70 – 85 ^a	Keine bedeutende Entwicklung mehr zu erwarten.	
Eco-Halogenglühlampe	52	820	16		
Eco-Halogenglühlampe	37	860	23		
Eco-Halogenglühlampe	28	345	12		
Reflektor Glühlampe	40	155	4		
Reflektor Glühlampe	60	160	3		
a: inklusive Leuchte					

Quelle: Gasser (2012), Philips, Osram, Experteneinschätzungen

7.2.5 Gebäudeautomation

Die SIA Norm 386.110 umfasst eine breite Palette von GA-Massnahmen. In dieser Norm wird eine vereinfachte Methodik vorgestellt, um die Effizienzeinsparungen durch GA in den Bereichen Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Trinkwassererwärmung zu quantifizieren. Dabei werden die Massnahmen (in der Norm als Funktion und Funktionsausführung bezeichnet) in die Effizienzklassen A, B, C und D eingeteilt (vgl. Abbildung 18), wobei A einem hoch energieeffizienten GA-System und C dem Referenzfall entspricht. Wir gehen davon aus, dass im Ist-Zustand zum Teil bereits die Effizienzklasse B verbreitet ist (vgl. dazu Funktionsausführungen der SIA 386.110).

Klasse	Energieeffizienz
A	entspricht hoch energieeffizienten GA-Systemen und TGM <ul style="list-style-type: none"> • vernetzte Raumautomation mit automatischer Bedarfserfassung • regelmässige Wartung • Energiemonitoring • Nachhaltige Energieoptimierung
B	entspricht weiterentwickelten GA-Systemen und einigen speziellen TGM-Funktionen <ul style="list-style-type: none"> • vernetzte Raumautomation ohne automatischer Bedarfserfassung • Energiemonitoring
C	entspricht Standard-GA-Systemen <ul style="list-style-type: none"> • vernetzte Gebäudeautomation der Primäranlagen • keine elektronische Raumautomation, Thermostatventile an Heizkörpern • kein Energiemonitoring
D	entspricht GA-Systemen, die nicht energieeffizient sind. Gebäude mit derartigen Systemen sind zu modernisieren. Neue Gebäude dürfen nicht mit derartigen Systemen gebaut werden <ul style="list-style-type: none"> • Keine vernetzten Gebäudeautomations-Funktionen • keine elektronische Raumautomation • kein Energiemonitoring

Alle Funktionsausführungen in SN EN 15232 bzw. SIA 386.110 sind für Wohngebäude und für Nichtwohngebäude einer der vier Klassen zugeordnet.

Quelle: Siemens (2012)

Abbildung 18 Definition der GA-Effizienzklassen A,B,C und D nach der Norm SIA 386.110.

Die SIA Norm 386.110 und deren GA-Effizienzfaktoren für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Trinkwassererwärmung stellen eine wichtige Grundlage für die Berechnung der Effizienzpotenziale durch betriebliche Massnahmen dar. Diese Faktoren stellen ein Mass für den Effizienzgewinn durch die Umsetzung der Massnahmen dar, die mit der entsprechenden GA-Effizienzklasse verbunden sind. Die Massnahmen der umstrukturierten Massnahmenliste (Kapitel 7.7 im Anhang) können den GA-Massnahmen der SIA 386.110 inhaltlich zugeordnet werden, um eine Abschätzung für die Einsparungen zu erhalten. Die für die Studie relevanten Faktoren für die Heizung, Warmwasser, Kühlen und Hilfsenergie sind in Tabelle 57 bis Tabelle 60 dargestellt.

Tabelle 57 Heizungen: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Heizungen.

Heizung	GA-Effizienzfaktoren				Einsparpotenzial Wärme*		
	D	C	B	A	C->B	C->A	B->A
Büro	1.44	1	0.79	0.7	21 %	30 %	11 %
Schulen	1.2	1	0.88	0.8	12 %	20 %	9 %
Handel	1.56	1	0.71	0.46	29 %	54 %	35 %
Wohnen	1.09	1	0.88	0.81	12 %	19 %	8 %

Quelle: SIA 386.110

Tabelle 58 Trinkwassererwärmung: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Warmwasserspeichern und Zirkulationspumpen.

Trinkwassererwärmung	GA-Effizienzfaktoren				Einsparpotenzial Wärme*		
	D	C	B	A	C->B	C->A	B->A
Büro, Schulen, Wohnen, Handel	1.11	1	0.9	0.8	10 %	20 %	11 %

Quelle: SIA 386.110

Tabelle 59 Kühlung: GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von thermischer Energie bei Kälteanlagen.

Kühlung	GA-Effizienzfaktoren				Einsparpotenzial Wärme*		
	D	C	B	A	C->B	C->A	B->A
Büro	1.57	1	0.8	0.57	20 %	43 %	29 %
Schulen (Hörsäle)	1.32	1	0.94	0.64	6 %	36 %	32 %
Handel	1.59	1	0.85	0.55	15 %	45 %	35 %
Wohnen	-	1	-	-	-	-	-

Quelle: SIA 386.110

Die Bezeichnung Hilfsenergie ist der SIA 386.110 entnommen und bezieht sich auf zusätzliche elektrische Energie, die zum Betrieb von Heizungen und Kälteanlagen benötigt wird.

Tabelle 60 GA-Effizienzfaktoren für die Einsparung von Elektrizität bei Lüftung und Hilfsenergie.

Lüftung & Hilfsenergie	GA-Effizienzfaktoren				Einsparpotenzial Elektrizität *		
	D	C	B	A	C->B	C->A	B->A
Büro	1.15	1	0.86	0.72	14 %	28 %	16%
Schulen	1.12	1	0.87	0.74	13 %	26 %	11%
Handel	1.13	1	0.95	0.91	5 %	9 %	4%
Wohnen	-	1	-	-	-	-	-

Quelle: SIA 386.110

* Berechnung der Einsparpotenziale aus den Faktoren nach SIA 386.110: $1 - \frac{f}{f_{ref}}$

7.3 Anhang zu Kapitel 4.2: Primärenergie

7.3.1 Verwendungszweck Lüftung

Bei den rein strombasierten Anwendungen sind die relativen Wirkungsbeiträge der einzelnen Massnahmen bei der Endenergie und bei der Primärenergie (total und nicht-erneuerbar) identisch, weshalb bzgl. der textlichen Ergebnisanalyse auf Kapitel 4.1 verwiesen wird.

Tabelle 61 Stromverbrauchsbedingte Primärenergie für Lüftungsanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	36	738	134	2'895	3'803	
Referenzscenario 2050	318	1'020	381	4'174	5'893	
Mehr Diffusion	1'475	40	94	213	1'823	-138%
Wärmerückgewinnung	163	89	41	122	415	-31%
Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand	-309	-96	-1	-215	-621	47%
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	-808	-351	-222	-787	-2'169	164%
Grössere Monoblocs	-15	-15	-6	-25	-60	5%
Optimierte Luftverteilungen	-9	-10	-4	-35	-57	4%
Effiziente Ventilatoren	-9	-8	-3	-26	-46	3%
Effiziente Filter	-29	-22	-8	-63	-122	9%
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	-7	-45	-13	-152	-217	16%
Optimierung der Abluftanlagen	0	0	0	0	0	0%
Anpassung der Betriebszeit	-36	-29	-8	-93	-167	13%
Anpassung der Luftvolumenströme	-19	-17	-8	-55	-97	7%
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	-1	-1	0	-3	-4	0%
Total aller Massnahmenpakete	397	-464	-139	-1'118	-1'324	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	116%	-33%	-19%	-15%	-13%	
Effizienzscenario 2050	752	924	392	3'864	5'933	

Massnahmenpaket	Primärenergie n. e. [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	26	540	98	2'119	2'783	
Referenzszenario 2050	233	746	279	3'054	4'312	
Mehr Diffusion	1'080	29	69	156	1'334	-138%
Wärmerückgewinnung	119	65	30	90	304	-31%
Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand	-226	-70	-1	-157	-454	47%
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	-592	-257	-163	-576	-1'587	164%
Grössere Monoblocs	-11	-11	-5	-18	-44	5%
Optimierte Luftverteilungen	-7	-7	-3	-25	-42	4%
Effiziente Ventilatoren	-6	-6	-2	-19	-34	3%
Effiziente Filter	-21	-16	-6	-46	-89	9%
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	-5	-33	-10	-111	-159	16%
Optimierung der Abluftanlagen	0	0	0	0	0	0%
Anpassung der Betriebszeit	-27	-21	-6	-68	-122	13%
Anpassung der Luftvolumenströme	-14	-12	-6	-40	-71	7%
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	0	-1	0	-2	-3	0%
Total aller Massnahmenpakete	290	-339	-102	-818	-969	100%
Relative Einsparung zum Referenzszenario	116%	-33%	-19%	-15%	-13%	
Effizienzzenario 2050	550	676	287	2'828	4'342	

Quelle: TEP Energy

7.3.2 Verwendungszweck Klimakälte

Tabelle 62 Primärenergieverbrauch für Kälteanlagen im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	22	1042	65	1273	2402	
Referenzscenario 2050	189	1'888	465	3'004	5'545	
Veränderung der Energieintensität	33	-83	71	179	200	-11%
Effiziente Kälteerzeuger	-4	-79	-22	-141	-246	13%
Gleitende Kaltwassertemperatur	0	-154	-32	-411	-597	33%
Variable Rückkühltemperatur	0	-197	-15	-327	-539	29%
Hybridrückkühler	0	-52	-14	-76	-143	8%
Free Cooling	0	-142	-18	-177	-337	18%
eBO und GA Kälte	-24	-52	-7	-80	-162	9%
Mischluftverhältnis bei LA optimieren	0	0	0	-6	-6	0%
Total aller Massnahmenpakete	5	-759	-36	-1'040	-1'830	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	3%	-34%	-5%	-31%	-28%	
Effizienzscenario 2050	166	1'453	362	2'310	4'291	
Massnahmenpaket	Primärenergie _{n. e.} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	16	763	48	931	1758	
Referenzscenario 2050	138	1'382	340	2'198	4'058	
Veränderung der Energieintensität	25	-61	52	131	147	-11%
Effiziente Kälteerzeuger	-3	-58	-16	-103	-180	13%
Gleitende Kaltwassertemperatur	0	-113	-23	-301	-437	33%
Variable Rückkühltemperatur	0	-144	-11	-239	-394	29%
Hybridrückkühler	0	-38	-11	-56	-104	8%
Free Cooling	0	-104	-13	-130	-246	18%
eBO und GA Kälte	-18	-38	-5	-59	-119	9%
Mischluftverhältnis bei LA optimieren	0	0	0	-4	-4	0%
Total aller Massnahmenpakete	4	-555	-26	-761	-1'339	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	3%	-34%	-5%	-31%	-28%	
Effizienzscenario 2050	121	1'064	265	1'690	3'141	

Quelle: TEP Energy

7.3.3 Verwendungszweck Beleuchtung

Tabelle 63 Primärenergieverbrauch für die Beleuchtung im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	3'049	1'719	773	9'523	15'064	
Referenzscenario 2050	2'846	1'707	683	8'756	13'993	
Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	-	-68	-	-36	-105	5%
Effiziente Leuchten	-318	-114	-53	-660	-1'146	59%
LED Retrofit Leuchtmittel	-10	-24	-5	-157	-196	10%
Anpassung der Beleuchtungsstärke	-11	-28	-15	-188	-242	13%
Bedarfsgerechte Steuerung	-6	-30	-25	-92	-153	8%
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	-1	-16	-8	-22	-48	2%
Schwarmregulierung	-1	-11	-0	-29	-41	2%
Total aller Massnahmenpakete	-347	-292	-108	-1'184	-1'930	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-12%	-17%	-16%	-14%	-14%	
Effizienzscenario 2050	2'500	1'416	575	7'572	12'063	
Massnahmenpaket	Primärenergie _{n. e.} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	2'231	1'258	566	6'969	11'024	
Referenzscenario 2050	2'083	1'249	500	6'408	10'240	
Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	-	-50	-	-27	-77	5%
Schwarmregulierung	-233	-84	-39	-483	-839	59%
Effiziente Leuchten	-7	-17	-4	-115	-143	10%
LED Retrofit Leuchtmittel	-8	-20	-11	-137	-177	13%
Anpassung der Beleuchtungsstärke	-4	-22	-18	-67	-112	8%
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	-1	-12	-6	-16	-35	2%
Bedarfsgerechte Steuerung	-1	-8	-0	-21	-30	2%
Total aller Massnahmenpakete	-254	-213	-79	-867	-1'412	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-12%	-17%	-16%	-14%	-14%	
Effizienzscenario 2050	1'829	1'036	421	5'541	8'828	

Quelle: TEP Energy

7.3.4 Verwendungszweck Allgemeine Gebäudetechnik

Tabelle 64 Primärenergieverbrauch für die Allgemeine Gebäudetechnik im Referenz- und im Effizienzscenario sowie Beiträge der Massnahmenpakete pro Gebäudekategorie. Die Anteile stellen die relativen Beiträge zum Total der Potenziale beim Verwendungszweck dar.

Massnahmenpaket	Primärenergie _{total} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	2'994	2'162	274	7'190	12'620	
Referenzscenario 2050	3'801	2'632	294	8'102	14'829	
Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen	-75	-225	-36	-577	-913	37%
Allgemeine Gebäudetechnik	-69	-76	-13	-262	-420	17%
Pumpen und Hilfsenergie Standardmassnahmen	-127	-51	-11	-254	-443	18%
Pumpen und Hilfsenergie	-183	-46	-12	-170	-411	17%
Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften	0	-20	0	-161	-181	7%
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	0	-29	0	-62	-91	4%
Total aller Massnahmenpakete	-455	-446	-73	-1'485	-2'459	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-11%	-16%	-22%	-17%	-15%	
Effizienzscenario 2050	3'544	2'424	262	7'444	13'673	
Massnahmenpaket	Primärenergie _{n. e.} [GWh]					Anteil
	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Total	
Ist-Zustand 2010	2'191	1'582	200	5'262	9'235	
Referenzscenario 2050	2'782	1'926	215	5'929	10'852	
Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen	-55	-165	-26	-422	-668	37%
Allgemeine Gebäudetechnik	-51	-56	-9	-192	-307	17%
Pumpen und Hilfsenergie Standardmassnahmen	-93	-37	-8	-186	-324	18%
Pumpen und Hilfsenergie	-134	-34	-9	-124	-301	17%
Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften	0	-15	0	-118	-132	7%
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	0	-21	0	-45	-67	4%
Total aller Massnahmenpakete	-333	-327	-53	-1'087	-1'800	100%
Relative Einsparung zum Referenzscenario	-11%	-16%	-22%	-17%	-15%	
Effizienzscenario 2050	2'593	1'774	191	5'448	10'006	

Quelle: TEP Energy

7.4 Quervergleiche mit der Energiestatistik und der Energiestrategie

Das der Studie zugrundeliegende Gebäudeparkmodell ist mit der empirisch erhobenen Gesamtenergiestatistik (GEST) 2010 (BFE 2011) geeicht. Um die Verwendungszwecke zu berücksichtigen, erfolgt der Quervergleich auf Grundlage der Ex-Post Analysen, welche die Endenergienachfrage sektor- und verwendungszweckspezifisch ausgibt.

7.4.1 Anmerkungen zur Vergleichbarkeit

Um die Vergleichbarkeit von Ist-Zustand und Szenarienresultate mit der Vergleichsstatistik, namentlich der Gesamtenergiestatistik (GEST) und den Ex-Post Analysen sowie den Berechnungen der Energiestrategie zu gewährleisten, müssen mehrere Punkte beachtet werden:

- Diese Studie betrachtet ausschliesslich die Gebäudetechnikrelevanten Verwendungszwecke. Dies sind namentlich: *Raumwärme, Warmwasser, Klimakälte, Lüftung, Beleuchtung und allgemeine Gebäudetechnik*. Nicht Teil der Betrachtung sind Industrieprozesse und Geräte (vgl. Tabelle 65). Das heisst, dass eine Unterscheidung dieser Verwendungszwecke den Vergleichen zugrunde gelegt wird.
- Es werden Wohn-, Büro-, Schulgebäude und übrige Gebäudekategorien untersucht. Hierbei sind Wohngebäude eindeutig dem Sektor Wohnen, Schulgebäude eindeutig dem Sektor Dienstleistungen zugeordnet. Bürogebäude und übrige Gebäude betreffen jeweils zwei Sektoren: Dienstleistungen und Industrie. Der Verkehrssektor wird nicht betrachtet. Auch diese Sektorabgrenzungen sind in den Vergleichen zu berücksichtigen.
- Die Modellergebnisse dieser Studie sind basieren auf einer durchschnittlichen Witterung, d. h. dass Schwankungen des Klimas und deren Auswirkungen auf die Endenergienachfrage sind nicht enthalten (d.h. der Wert für das Jahr 2010 kann nicht direkt mit der Statistik verglichen werden).

Die auf die GEST geeichten Ex-Post Analysen des BFE, namentlich die Studie *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Verwendungszwecken* (BFE 2014), erfüllt die obigen Bedingungen und wird somit im Folgenden als Vergleichsstatistik verwendet. Um bezüglich der Witterung eine Vergleichbarkeit herzustellen, werden die Modellergebnisse für Raumwärme und Klimakälte mit Witterungskorrekturfaktoren gewichtet.

Die GEST hingegen unterscheidet nicht nach Verwendungszwecken einzelner Sektoren und enthält in den verschiedenen Sektoraggregaten weitere VZ wie Geräte und Prozessenergie. Zudem enthält die GEST den Einfluss der Witterung.

Weiterhin wäre auch bei den Treibhausgasen ein Vergleich der Modellergebnisse mit einer entsprechenden nationalen Statistik des Bundes wünschenswert. Dafür kommen entweder das Treibhausgasinventar oder die CO₂-Statistik des Bundes infrage. Modellergebnisse und CO₂ Statistik sind jedoch nicht direkt vergleichbar: Die CO₂ Statistik erfasst nur die direkten Emissionen von Brennstoffen (und Treibstoffen). Diese Studie geht darüber hinaus und erfasst gemäss der Methodik der Lebenszyklusanalysen auch die indirekten Emissionen, welche bei der Bereitstellung der Sekundärenergieträger wie Heizöl, Gas, Holz, Elektrizität etc. entstehen. Dadurch wird gewährleistet, dass auch bei den strombasierten Gebäudetechnikmassnahmen THGE Potenziale ausgewiesen werden können.

7.4.2 Vergleiche

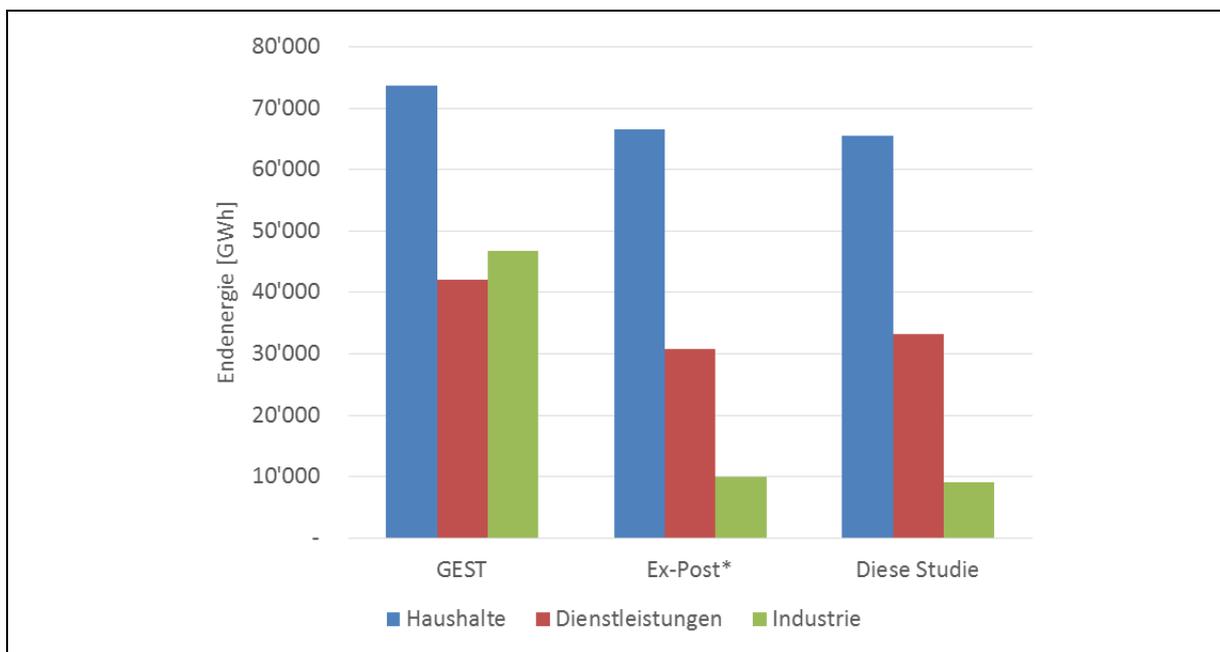
Im Unterschied zur GEST und im Speziellen zu den Ex-Post Analysen werden in dieser Studie nur ein Teil der Verwendungszwecke betrachtet. Die konkrete Aufteilung ist in Tabelle 65 dargestellt und muss beim Vergleich der Statistiken und dieser Studie beachtet werden.

Tabelle 65 Vergleich der verwendeten Verwendungszwecke in den Ex-Post Analysen des BFE und dieser Studie.

Verwendungszweck	Ex-Post Analyse	Diese Studie
Raumwärme	X	X (inklusive Hilfsenergie Wärme)
Warmwasser	X	X
Prozesswärme	X	-
Beleuchtung	X (inkl. Beleuchtung von Strassen und weiterer Verkehrsinfrastruktur)	Nur gebäudebezogene Beleuchtung
Klima, Lüftung, Haustechnik	X	X (ohne Hilfsenergie Wärme)
I&K, Unterhaltung	X	-
Antriebe, Prozesse	X (ohne Klima, Lüftung, Haustechnik)	-
Mobilität Inland	(X)	-
Sonstige	X	-

7.4.3 Vergleich des Ist-Zustandes aus GEST, Ex-Post und dieser Studie

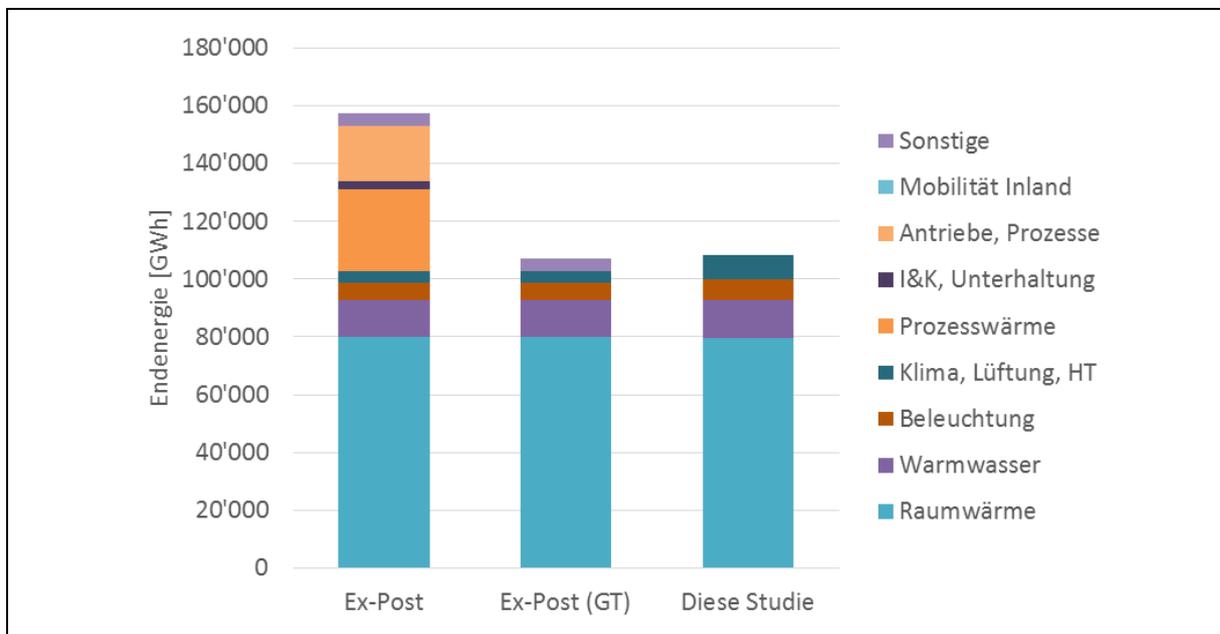
Ein Vergleich der Endenergie der GEST (gesamthaft) mit den Ergebnissen dieser Studie auf Sektorebene ergibt einen Unterschied an Endenergie von 11 % bei den Haushalten, 16 % bei den Dienstleistungen und 81 % bei der Industrie (siehe Abbildung 19). Die Differenzen sind auf unterschiedliche Betrachtungsperimeter zurück zu führen: Die Verwendungszwecke ausserhalb der Gebäudetechnik werden, wie oben dargestellt, in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt: Dazu gehören Haushaltgeräte, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Verbräuche ausserhalb der Gebäude (z. B. Strassenbeleuchtung, Tunnelbelüftung, Antriebe) sowie industrielle Prozesse. Die Details der Unterschiede erschliessen sich aus einer Betrachtung der einzelnen VZ. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Werten aus der Ex-Post Studie (nur gebäudetechnikrelevante VZ einbezogen), so sind die Werte diese Studie gut damit vergleichbar. Der Unterschied bei der Endenergie beträgt hier bei den Haushalten 1 %. Bei den Dienstleistungen liegt ein Unterschied von 8 % vor sowie bei der Industrie ein Unterschied von -9 %.



Quelle: TEP Energy, BFE

Abbildung 19 Vergleich der Endenergie der drei betrachteten Nachfragesektoren (ohne Mobilität) für Jahr 2010 zwischen GEST (BFE 2011), der Ex-post Analyse (BFE 2014) und dieser Studie Modellergebnisse witterungskorrigiert. (*=nur gebäudetechnikrelevante Verwendungszwecke berücksichtigt, für eine bessere Vergleichbarkeit)

Abbildung 20 stellt die Endenergie aufgeschlüsselt nach VZ dar. Die auch in obiger Abbildung ersichtlichen Unterschiede lassen sich auf die Verwendungszwecke Prozesswärme (v. a. in der Industrie relevant), Antriebe und Prozesse zurückführen. Zu betonen ist, dass der Anteil der Gebäudetechnik-Anwendungen (Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Klima, Lüftung, HAT) am gesamtschweizerischen Endenergieverbrauch (ohne Mobilität) 2010 über 66% beträgt, d. h. dass die Gebäudetechnik bei einem wesentlichen Teil der Endenergienachfrage beteiligt ist.



Quelle: TEP Energy, BFE

Abbildung 20 Vergleich auf Ebene der Verwendungszwecke zwischen Ex-Post Analysen, Ex-Post Analysen mit nur Gebäudetechnik-VZ (GT) und TEP Energy im Jahr 2010 (Ist-Zustand) für alle Gebäudekategorien. Die Modellergebnisse dieser Studie sind witterungskorrigiert.

7.4.4 Vergleich der Massnahmenpakete und Szenario-Definitionen zwischen dieser Studie und der Energiestrategie 2050 des Bundes

Ein Vergleich der Szenariendefinition(en) dieser Studie und jener der Energieperspektiven 2050 (Energiestrategie) ist hilfreich, um die Ergebnisse einordnen zu können. Zwar beruhen das Referenzszenario und das Effizienzzenario auf eigenständigen Annahmen und werden durch eigenständige Modelle und Methoden quantifiziert, sie finden jedoch eine gewisse Entsprechung in den Szenarien der Energiestrategie. Das Referenzszenario legt sich ans Szenario *Weiter wie Bisher* (WWB) der Energieperspektiven 2050 an, dies bezüglich Gebäudestandards und der Massnahmen, welche für die Gebäudetechnik relevant sind. Das Effizienzzenario unterscheidet sich vom Referenzszenario bezüglich der Massnahmen im Bereich Gebäudetechnik, welche mit jenen des Szenarios *Politischen Massnahmen* (POM) der Energieperspektiven 2050 vergleichbar sind. Im Gegensatz zum Szenario POM werden in dieser Studie im Effizienzzenario jedoch keine weiteren Massnahmen an der Gebäudehülle, bei Haushaltgeräten und Betriebseinrichtungen wie gewerbliche Kälte, Grossgeräte des Gesundheitswesens etc. getroffen. So gesehen stellt das Effizienzzenario einen (auf die Gebäudetechnik beschränkten) Teilschritt hin zu den Zielen des Szenario POM dar.

In Tabelle 66 und Tabelle 67 sind die grundlegenden Instrumente der Szenarien POM und WWB aufgeführt und den Massnahmen des Referenz- und Effizienzszenarios qualitativ gegenübergestellt.

Tabelle 66 Gegenüberstellung der Gemeinsamkeiten der Szenarien WWB und Referenz.

Massnahme Szenario WWB	Massnahmen Referenzszenario
Erhöhung der CO ₂ Abgabe auf fossile Brennstoffe	Wirkt auf Energieträgersubstitution und Gebäudeerneuerung
Gebäudeprogramm für energetische Sanierungen, insbesondere kantonale Förderung von Gebäudetechnik und erneuerbarer Energie (200 Mio. CHF)	Ersatz von fossilen Energieträgern und Elektroheizungen
Weiterführung Förderinstrument: „wettbewerbliche Ausschreibungen für Energieeffizienz“ für Industrie- und Dienstleistungsbetriebe	Intensivierung der wettbewerblichen Ausschreibungen für Energieeffizienz“ für Industrie- und Dienstleistungsbetriebe, weitere unterschiedliche Massnahmen in diversen Anwendungsfeldern
Gebäudestandards und –vorschriften (moderate Fortschreibung MuKE n)	Verstärkter Einsatz von energieeffizienten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Quelle: TEP Energy, Prognos

Tabelle 67 Gegenüberstellung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Szenarien POM und Effizienz

Massnahmen Szenario POM	Massnahmen Effizienzszenario
Gemeinsamkeiten	
Die Sanierungsquote von derzeit 0.9 % ist zu erhöhen (Altbau)	Massnahmen welche im Anwendungsfeld <i>Ersatz im Erneuerungszyklus</i> angesiedelt sind z. B. Ersatz der Verteilung (vgl. Tabelle 10)
Pflicht energetische Betriebsoptimierung Gebäude	Verstärkte Durchdringung energetischer Betriebsoptimierungsmassnahmen der Verwendungszwecke Wärme, Lüftung, Kälte und Beleuchtung
Anreize für den Ersatz fossiler Feuerungen	Ersatz von Heizsystemen und deren Effizienzsteigerungen: Im Effizienzszenario davon ausgegangen, dass die Kosten für Wärmepumpen und erneuerbare Technologien geringer ausfallen
Förderprogramm zum Ersatz von Elektroheizungen und Elektroboilern	Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpen
Unterschiede	
Verschärfung der Vorschriften für Neubauten + Umbauten	Fokus auf Gebäudetechnikmassnahmen
Effizienzmassnahmen an der Gebäudehülle gegenüber WWB durch Verschärfung MuKE n sowie Erhöhung Mittel Gebäudeprogramm (300 Mio. ab 2014, 600 Mio. ab 2015)	Keine weiteren Effizienzmassnahmen an der Gebäudehülle gegenüber dem Referenzszenario
	Keine Änderung des Energieangebots und der Energieproduktion (ausser gebäudebezogene Energieproduktion)

Quelle: TEP Energy, Bundesrat

7.5 Detaillierte Übersicht der Durchdringungsgrade

Tabelle 68 Detaillierte Übersicht der Durchdringungsgrade. Ref = Referenzszenario; Eff = Effizienzzenario.

Beleuchtung	2010	2050 Ref	2050 Eff	2010				2050 Ref				2050 Eff			
				Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige
Beleuchtung der Haupt-sehaufgabe	0–7 %	0–21 %	2–35 %	0%	7%	0%	0%	0%	21%	0%	1%	3%	35%	2%	5%
Schwarmregulierung	0–0 %	1–6 %	3–16 %	0%	0%	0%	0%	1%	5%	1%	6%	3%	16%	3%	11%
Effiziente Leuchten	0–1 %	30–32 %	47–50 %	1%	1%	0%	0%	32%	30%	30%	32%	50%	47%	47%	49%
LED Retrofit Leuchtmittel	1–3 %	49–56 %	54–64 %	3%	1%	1%	1%	56%	50%	49%	54%	64%	60%	54%	61%
Anpassung der Beleuchtungsstärke	0–7 %	3–13 %	12–34 %	0%	4%	7%	7%	3%	13%	12%	11%	12%	32%	34%	32%
Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung	0–5 %	11–18 %	33–38 %	0%	5%	5%	5%	11%	15%	11%	18%	35%	34%	33%	38%
Bedarfsgerechte Steuerung	0–0 %	1–6 %	3–16 %	0%	0%	0%	0%	1%	5%	1%	6%	3%	16%	3%	11%

Klimakälte

Effiziente Kälteerzeuger	6–8 %	17–25 %	34–46 %	8%	8%	6%	6%	17%	22%	25%	24%	34%	46%	41%	41%
Gleitende Kaltwassertemperatur	0–8 %	0–20 %	0–47 %	0%	8%	0%	0%	0%	13%	15%	20%	0%	34%	47%	34%
Variable Rückkühltemperatur	0–7 %	0–16 %	0–40 %	0%	7%	1%	1%	0%	16%	7%	15%	0%	40%	35%	31%
Hybridrückkühler (in Kombination mit Variable Rückkühltemperatur)	0–11 %	0–18 %	0–44 %	0%	11%	2%	2%	0%	12%	18%	13%	0%	34%	44%	30%
Free Cooling	0–7 %	0–17 %	0–42 %	0%	7%	0%	0%	0%	17%	5%	11%	0%	42%	37%	27%
eBO und GA Kälte	2–12 %	11–21 %	33–63 %	12%	9%	2%	2%	21%	18%	11%	15%	63%	41%	39%	33%

Lüftung	2010	2050 Ref	2050 Eff	2010				2050 Ref				2050 Eff			
				Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige	Wohnen	Büro	Schulen	Übrige
Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	38–90 %	82–95 %	84–91 %	90%	51%	38%	38%	95%	89%	86%	82%	91%	90%	85%	84%
Grössere Monoblocs	11–16 %	21–28 %	39–56 %	14%	16%	11%	11%	28%	21%	24%	22%	56%	42%	42%	39%
Optimierte Luftverteilungen	0–0 %	0–0 %	23–43 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	43%	24%	24%	23%
Effiziente Ventilatoren	6–12 %	22–28 %	45–63 %	12%	11%	6%	6%	28%	22%	28%	28%	63%	45%	51%	46%
Effiziente Filter	0–7 %	17–22 %	39–58 %	7%	4%	0%	0%	19%	19%	22%	17%	58%	43%	42%	39%
Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	3–12 %	12–20 %	31–38 %	5%	12%	3%	3%	12%	18%	13%	20%	31%	38%	37%	38%
Optimierung der Abluftanlagen	5–21 %	24–29 %	36–49 %	18%	21%	5%	5%	29%	29%	29%	24%	49%	43%	42%	36%
Anpassung der Betriebszeit	8–31 %	13–21 %	29–53 %	8%	10%	31%	31%	17%	21%	13%	16%	53%	42%	29%	37%
Anpassung der Luftvolumenströme	4–13 %	23–28 %	45–63 %	13%	8%	4%	4%	28%	23%	24%	28%	63%	45%	45%	45%
Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	3–5 %	1–14 %	5–14 %	4%	3%	5%	5%	1%	8%	14%	9%	5%	8%	14%	9%

Allgemeine Gebäudetechnik

Allgemeine Gebäudetechnik	8–14 %	18–21 %	41–44 %	9%	8%	14%	14%	18%	18%	18%	21%	44%	41%	44%	43%
Pumpen und Hilfsenergie	10–12 %	17–24 %	39–47 %	12%	12%	10%	10%	24%	19%	17%	23%	47%	39%	41%	42%
Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften	14–16 %	30–37 %	48–56 %	16%	14%	14%	14%	35%	37%	30%	35%	56%	54%	48%	52%
Energieeffiziente Optimierungen in Liften	20–30 %	38–49 %	52–65 %	20%	30%	25%	25%	42%	43%	49%	38%	59%	58%	65%	52%

7.6 Originale Massnahmenliste mit Anmerkungen zur Umstrukturierung

Tabelle 69 Nummern und Bezeichnungen der ursprünglichen KGTV Massnahmenliste mit Anmerkungen zur Umstrukturierung gemäss Kapitel 2.5 sowie Einführung der neuen Nummerierung und allenfalls neuer Bezeichnung. Quelle gibt die verantwortlichen Verbände der KGTV an.

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammen- gefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
A	Automation					
A01	Erneuerung Gebäudeautomation	-	-	-	Quantifiziert durch GA Massnahmen der einzelnen Verwendungszwecke	GSGI ECO ₂ Friendly
A02	Einzelraumregelung	T.K09; T.W22	-	-	Quantifiziert durch GA Massnahmen der einzelnen Verwendungszwecke	SRE Siemens Resources Check Guidebook
B	Beleuchtung					
B01	LED Leuchten	-	T.B01	Effiziente Leuchten		SwissGEE ECO ₂ Friendly SRE Siemens Resources Check Guidebook
B02	Effiziente Beleuchtung	T.B01	-	-	Ist in T.B01 sowie T.B05 bis T.B08 enthalten	SRE Siemens Resources Check Guidebook
B03	Beleuchtung der Nutzfläche	-	T.B02	Beleuchtung der Hauptsehaufgabe		SwissGEE
B04	Anpassung der Beleuchtungsstärke	-	T.B03	-		SwissGEE ECO ₂ Friendly
B05	Zeitschaltung Beleuchtung	-	T.B08	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
B06	Beleuchtung automatisch Aus	-	T.B05	Beleuchtung manuell Ein und automatisch Aus		SwissGEE ECO ₂ Friendly SRE Siemens Resources Check Guidebook
B07	Beleuchtung manuell Ein	T.B05	-	-	Inhaltlich ähnlich zu T.B05	SwissGEE ECO ₂ Friendly
B08	Tageslichtabhängige Beleuchtungsstärke	-	T.B06	-		SwissGEE ECO ₂ Friendly SRE Siemens Resources Check Guidebook
B09	Aussenbeleuchtung	-	T.B13	Aussenbeleuchtung abschalten und durch LED ersetzen	Out of scope: Ausserhalb von Gebäude	SRE Siemens Resources Check Guidebook

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammen-gefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
E	Elektro					
E01	Ersatz Netztransformator	-	T.G01	-		SwissGEE
E02	Verlustoptimierte Netztransformatoren	T.G01	-	-	Inhaltlich ähnlich zu T.G01	SwissGEE
E03	Kurze Distanzen Elektroverteilung	-	T.G02	-		SwissGEE
E04	Erhöhung der Übertragungsspannung	-	T.G03	-		SwissGEE
E05	Ersatz Kleinspannungstransformator	-	T.G04	-		SwissGEE
E06	Verlustoptimierte Kleinspannungs-transformatoren	T.G04	-	-	Inhaltlich ähnlich zu T.G04	SwissGEE
E07	Lastmanagement	-	Instr.10	-		SwissGEE SRE Siemens Resources Check Guidebook
E08	Korrektur Leistungsfaktor	-	T.G06	-		SwissGEE
E09	Ausschalten von Geräten	-	-	-	Out of scope: Geräte	SwissGEE
E10	Wärmeverluste Notstromgenerator	-	T.G07	-		SwissGEE
E11	Abschalten der Exitleuchten	-	T.G08	-		SwissGEE
E12	Separate Notleuchten (z. B. LED)	-	T.G09	-		SwissGEE
E13	Wirkungsgrad USV (...Lebenszyklus)	-	T.G10	Effiziente USV		SwissGEE
E14	USV mit Schwungmasse	T.G10	-	-		SwissGEE
E15	Trennen der Batterien vom Wechselrichter	T.G10	-	-		SwissGEE
E16	Verlustoptimierte Kabel mit Industrielast	-	-	-	Out of scope: Eigener Industriesektor dafür zuständig	SwissGEE
E17	Geräteheizungen (el. Geräte im Freien)	-	-	-	Out of scope: Geräte	SwissGEE
E18	Sauerstoffreduktionsanlagen	-	-	-	Out of scope: Serverräume	SwissGEE
E19	Verschneigung SAT Anlage	-	T.G11	Schneefreihaltung SAT Anlage		SwissGEE
E20	Musik über EVAK	-	T.G16	-		SwissGEE
E21		-	-			KGTV
E22	Speicher PV-Strom (z. B. Elektromobilität, BWW, Batterie)	-	-	-	Out of scope: Speicher	ECO ₂ Friendly
E23	Videokonferenz	-	-	-	Out of scope: Geräte der Kommunikationstechnik	SwissGEE

Originalnummer	Bezeichnung Original	Zusammengefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
E24	Internetanschluss für Elektroverteiler	-	-	-	Ist eine Voraussetzung für Energiemanagement, daher keine separate Betrachtung	ECO2Friendly
E25	Zentral Aus	-	-	Optimierte Steuerung bei Abwesenheit	Quantifiziert durch GA Massnahmen der einzelnen Verwendungszwecke.	ECO2Friendly
E26	Zentral Abwesend	-	-	Automation bei Abwesenheit	Quantifiziert durch GA Massnahmen der einzelnen Verwendungszwecke.	ECO2Friendly
E27	Ausschalten ausserhalb Nutzungszeit	T.B05	-	-	Teil E-Geräte ist out-of scope. Teil Beleuchtung entspricht T.B05	SwissGEE
G	Gebäudetechnik					
G01	Verbrauchserfassung	-	Instr.06	-		SwissGEE energo ECO2Friendly
G02	Gemessener Energieausweis	-	Instr.07	-		energo, ESTI, SVGW
G03	Abnahme	-	Instr.01	-		KGTV
G04	Energiemanagement	-	Instr.09	-		energo
G05	Energetische Betriebsoptimierung	-	-	-	Wird für die einzelnen Verwendungszwecke separat quantifiziert	energo
G06	Inspektion	-	Instr.02	-		KGTV
G07	Performance Contracting	-	Instr.03	-		KGTV
G08	Qualitätskontrolle Planung bis Inbetriebnahme und Betrieb	-	Instr.04	-		GebäudeKlima Schweiz
G09	Aus- und Weiterbildung	-	Instr.05	-		energo
G10	Einsatz von effizienten Motoren	-	-	-	Out of scope: Grossgeräte	SwissGEE SRE Siemens Resources Check Guidebook
G11	Drehzahleregelte Motoren	T.L25	-	-	Out of scope: Grossgeräte; Inhaltlich ähnlich zu T.L25	SwissGEE SRE Siemens Resources Check Guidebook
G12	Visualisierung Verbrauch	-	Instr.14	-		SVGW, suissetec, VSSH
G13	Überprüfung Sensoren und Aktoren	-	Instr.15	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K	Klimakälte					
K01	Leistungsnachweis bei Klima- und Prozesskälteanlagen	T.K01	-	-		SVK
K02	Leistungsgarantie bei Kälteanlagen	-	Instr.12	Leistungsgarantie mit jährlichem Kältecheck bei Kälteanlagen		SVK

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammengefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
K03	Jährlicher Kältecheck	T.K01	-	-		SVK
K04	Pluskühlregale mit Glastüren		-	-	Out of scope: Gewerbliche Kälte	SVK

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammen-gefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
K05	Grundwasser, Fliesswasser nutzen	T.K08	-	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K06	Effiziente Kälteerzeugung	-	T.K04	Effiziente Kälteerzeuger		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K07	Effiziente Rückkühler	-	T.K03	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K08	Freie Kühlung (Free Cooling)	-	T.K08	Free Cooling		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K09	Kältespeicher	-	-	-	Out of scope: Speicher bzw. Energiema-nagement	SRE Siemens Resources Check Guidebook
K10	Freigabe Kälteerzeugung	T.K07	-	-	Inhaltlich ähnlich zu T.K07	SVK SRE Siemens Resources Check Guidebook
K11	Gleitende Kaltwassertemperaturen	-	T.K06	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K12	Variable Kühlkreistemperatur	-	T.K07	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
K13	Ersatz Kältemaschinen	T.K04	-	Ersatz Kälteerzeuger		ProKlima
L	Lüftung/Klima					
L01	Luftaufbereitung	-	T.L01	Grössere Monoblocs		ProKlima
L02	System-Modul	-	-	-	Unklare Massnahme und keine Kontakt-angaben	KGTV
L03	Luft-Wärmerückgewinnung	-	T.L03	Optimierte Wärmerückgewinnung		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L04	Ventilatoren	-	T.L04	Effiziente Ventilatoren		ProKlima
L05	Drehzahlregulierte Ventilatoren	-	T.L25	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L06	Filter	-	T.L06	Energieeffiziente Filter		ProKlima SRE Siemens Resources Check Guidebook
L07	Mischluftverhältnis	-	T.L07	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L08	Adiabate Kühlung	T.K03	-	-	Wird von T.K03 abgedeckt (Verduns-tungskühlung)	SRE Siemens Resources Check Guidebook
L09	Luftbefeuchtung	T.L17	-	-		ProKlima
L10	Aussenluftansaugung optimieren	-	T.L10	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammen-gefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
L11	Optimale Luftleitungsführung	-	T.L11	-		ProKlima
L12	Dichte Luftverteilsysteme	-	T.L12	-		ProKlima
L13	Dämmung von Luftkanälen	-	T.L13	-		Isolsuisse SRE Siemens Resources Check Guidebook
L14	Abluftanlagen	-	T.L14	Ersatz der Spaltnotoren von Abluftanlagen		SVLW
L15	Aufzugsschacht Entlüftung	-	T.L15	-		IG-BSK
L16	Jalousieklappen schliessen	-	T.L16	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L17	Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	-	T.L17	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L18	Luftmengen nach Bedarf	T.L18	-	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L19	Betriebszeiten RLT-Anlagen	-	T.L19	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L20	Nachtlüftung	T.K08	-	-	Inhaltlich ähnlich zu T.K08	SRE Siemens Resources Check Guidebook
L21	Lichtkontakte	-	T.L21	Regelung der Abluftanlage über Lichtkontakte		SRE Siemens Resources Check Guidebook
L22	Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	T.L23	-	-	Redundant	ProKlima
L23	Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	-	T.L23	-		ProKlima
L24	Energetische Inspektion	-	Instr.16	-		ProKlima
O	Bau/Innenausbau					
O01	Effiziente Bürogeräte	-	-	-	Out of scope: Geräte	SRE Siemens Resources Check Guidebook
O02	Energiesparfunktion für PC, Notebook, Drucker	-	-	-	Out of scope: Geräte	SRE Siemens Resources Check Guidebook
O03	Zusammenlegen Küchenfunktionen	-	-	-	Out of scope: Geräte	SRE Siemens Resources Check Guidebook
O04	Mechanische Türschliesser	-	T.G14	-		KGTV
O05	Betrieb Drehtüre	-	T.G15	-		SwissGEE

Original-nummer	Bezeichnung Original	Zusammen-gefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
S	Sanitär					
S01	Ersatz Elektroboiler	-	T.S01	Anschluss bestehender Elektroboiler ans Heizsystem		FWS, GebäudeKlima Schweiz
S02	Erwärmung Trinkwasser mittels Trinkwasser-Wärmepumpe	-	T.S02	Ersatz Elektroboiler durch WP-Boiler		GebäudeKlima Schweiz
S03	Warmwasserverteilung	-	T.S03	-		SWKI, Suissetec
S04	Wärmerückgewinnung Warmwasser Dusche (z. B. Joulia)	-	T.S04	Wärmerückgewinnung in Duschgrundflächen		KGTV
S05	Warmwasser-Spararmaturen ("Mittelstellung kalt")	-	T.S05	Warmwasser-Spararmaturen		KGTV
S06	Abstellen Trinkwarmwasserversorgung	-	T.S06	Abstellen Trinkwarmwasserversorgung		KGTV
S07	Dezentral Trinkwarmwasseraufbereitung	-	-	-	Unklare Massnahme und keine Kontaktangaben	KGTV
S08	Absenken der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern	-	T.S08	Regelung der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern		SRE Siemens Resources Check Guidebook
S09	PV-Strom zur Trinkwasseraufbereitung	-	-	-	Out of scope: gebäudebezogene Stromerzeugung	GebäudeKlima Schweiz
S10	Feuchtigkeitsgeführte Dachrinnenheizung	-	T.S10	Feuchtigkeitsgeführte Dachrinnenheizung (DRH)		SwissGEE
T	Transport					
T	Effiziente Aufzüge	-	T.T01	-		SwissGEE
T	Stand-by Aufzüge	-	T.T02	Stand-by Aufzug Beleuchtung		SwissGEE
T	Betrieb Rolltreppe	-	T.T03	-		SwissGEE
W	Wärme					
W1	Ersatz fossile Heizsysteme	-	T.W01	-		FWS, GebäudeKlima Schweiz
W2	Ersatz Elektroheizungen	-	T.W02	-		FWS
W3	Einsatz Kraft-Wärme-Kopplung (WKK)	-	T.W03	-		WKK-Fachverband SRE Siemens Resources Check Guidebook
W4	Wärmepumpen System-Modul	-	T.W04	-		FWS
W5	Optimierung von Öl- und Gasheizungen	-	T.W25	-		GebäudeKlima Schweiz
W6	Abgaswärmenutzung	-	-	-	Out of scope: Industrieprozess	KGTV
W7	Optimierung hydraulische Wärmeverteilung	-	T.W07	Hydraulischer Abgleich		GebäudeKlima Schweiz

Originalnummer	Bezeichnung Original	Zusammengefasst mit	Neue Nummer	Neue Bezeichnung	Bemerkung zur Umstrukturierung	Quelle (Verband)
W8	Heizkörper ersetzen	-	T.W08	-		GebäudeKlima Schweiz
W9	Modernisierung Einrohrheizungen	-	T.W09	-		GebäudeKlima Schweiz
W10	Kombination Fussbodenheizung mit Handtuchtrockner	-	T.W10	-		GebäudeKlima Schweiz
W11	Bedarfsgerechte Pumpenleistung	-	T.W11	-		KGTV
W12	Reinigung Wärmetauscher	-	T.W12	-		KGTV
W13	Einsatz Zonenventile	-	T.W13	-		KGTV
W14	Flächenheizungen (auch Kühlung)	-	T.W14	-		GebäudeKlima Schweiz
W15	mechanische Thermostatventile	T.W26	-	-		GebäudeKlima Schweiz FKR
W16	elektronische Thermostatventile	-	T.W16	-		FKR
W17	Bedarfsgeführte Vorlauftemperatur	-	T.W17	-		GebäudeKlima Schweiz
W18	Verlustoptimierte Regelung von Konvektoren	-	T.W18	Heizkörperabdeckung vermeiden		GebäudeKlima Schweiz
W19	Anpassung Raumtemperatur an Nutzung	T.W17	-	-		KGTV
W20	Heizkreisoptimierung durch Start-/Stopp-Automatik	-	T.W20	-		KGTV
W21	Absenkung bei Nicht-Nutzung	T.W17	-	-		KGTV
W22	Individuelle Heizungssteuerung (z. B. Adhococonomy)	-	T.W22	Individuelle Heizungssteuerung		Adhoco AG, Regensdorf
W23	Fensterkontakte	-	T.W23	-		SRE Siemens Resources Check Guidebook
Z	Beschattung					
Z	Energieeinsparung und -gewinn durch Beschattung	T.A05	-	-	Abgedeckt durch Storensteuerung. Bauliche Massnahmen an der Gebäudehülle sind out of scope.	SZFF
Z	Sonnenstandsabhängige Storensteuerung	-	T.A05	Automation der Storensteuerung		SwissGEE ECO ₂ Friendly SRE Siemens Resources Check Guidebook
Z	Sonnenstandsnachgeführte Storensteuerung	T.A05	-	-		SwissGEE ECO ₂ Friendly
Z	Zeitautomatik Storensteuerung (Isolation Winter)	-	T.A07	-		SwissGEE ECO ₂ Friendly

7.7 Umstrukturierte Massnahmenliste und Quantifizierung der Potenziale

Die umstrukturierte Massnahmenliste in Tabelle 70 wurde gemäss Kapitel 2.5 gruppiert und strukturiert. Die Spalte **Basis** gibt dabei an, ob die Massnahme auf der originalen Massnahmenliste der KGTV basiert (ursprüngliche Quellen siehe Tabelle 69), durch TEP Energy hinzugefügt wurde oder auf der SIA 386.110 basiert. Die Spalte **Energieeinsparung** quantifiziert die möglichen Einsparungen bei Strom oder Wärme im Neubau und/oder Bestand. Die Spalte **Quelle E.** deklariert die Quelle der Einsparungswerte: a) die Massnahmenliste der KGTV, b) Einschätzungen durch Experten oder TEP Energy, c) Berechnungen, d) Literatur oder e) Einsparungen und sind im entsprechenden Massnahmenpaket nachzuschlagen. Die Spalte **Bezug** deklariert den Bezug der Prozentwerte bei der Einsparung. Diese Einsparungen wirken entweder auf den Strom oder die Wärme, wobei die installierte Leistung (IL) und/oder die Volllaststunden (VLS) reduziert werden. Eine Einsparung bezieht sich entweder auf gesamte Gebäude von Sektoren (vgl. Tabelle 39) oder Räume in Gebäuden. Die Spalte **Einzelpotenziale CH-weit** deklariert die schweizweiten Potenziale auf Ebene der EE, PE, PE_{n.e.} und THGE für die einzelnen Massnahmen. Diese wurden als Anteile (Spalte **Anteil an Paket**) der Potenziale der Massnahmenpakete (Spalte **Massnahmenpaket**) abgeleitet. (Eine Übersicht der Potenziale auf Ebene der Massnahmenpakete befindet sich in Kapitel 4.)

Tabelle 70 Umstrukturierte Massnahmenliste. Beschreibung der Spalten siehe Fliesstext oben.

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial		
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket	
T.B	Beleuchtung														
T.B01	Effiziente Leuchten	KGTV	Der Einsatz oder Ersatz von bestehenden Leuchten durch effizientere LED Leuchten (z.T. mit integrierten Präsenz- und Tageslichtsensoren) reduziert den Energiebedarf.	30% - 50%		c	Strom IL, VLS & Sektor	Das Potenzial von Leuchten steckt in der Auswahl von besseren Produkten und ist im Neubau und in der Sanierung relevant. Als Instrument wären Weiterbildungen für Planer möglich. Bei zu hohen Kosten durch die Leuchten wäre ein Contracting eine Umsetzungsmöglichkeit.	-521	-1146	-839	-176	100%		Effiziente Leuchten
T.B10	Ersatz von FL durch LED Röhren	TEP	Einsatz von effizienten LED-Röhren und Ersatz der FL (Fluoreszierende Lampe inkl. Starter) durch LED-Röhren.	30% - 50%		b	Strom IL & Sektor	Besitzt Potenzial und ist mittlerweile auch wirtschaftlich, jedoch v. a. bei Verkehrsflächen. Aber: Gefahr von Blendung durch LED-Röhren.	-18	-39	-29	-6	20%		LED Retrofit Leuchtmittel
T.B12	Retrofit LED Leuchtmittel	TEP	Ersatz von steckbaren Leuchtmitteln (insbesondere Sparlampen) durch LED Retrofit Leuchtmittel.	ca. 50%		b	Strom IL & Sektor	Zusätzliches Potenzial der Leuchtmittel ist sehr klein, da sich die Umstellung zu LED ohnehin ereignen wird.	-71	-157	-115	-24	80%		LED Retrofit Leuchtmittel

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.B02	Beleuchtung der Hauptsehaufgabe	KGTV	Lediglich die Nutzfläche (z. B. Bürotisch) benötigt die geforderte Beleuchtungsstärke. Mit gezielten Leuchten (Stehl-, Tisch- oder Arbeitsplatzleuchten) kann der Energiebedarf reduziert werden. Ergänzt wird mit einer Grundbeleuchtung.	15 % - 20 %		b	Strom VLS & Sektor	Unterschied von schlechtester zu bester Ausführung kann sehr gross sein.	-48	-105	-77	-16	100%	Beleuchtung der Hauptsehaufgabe
T.B03	Anpassung der Beleuchtungsstärke	KGTV	Bei zu grosser Helligkeit, kann der Lichtstrom von (LED) Leuchten reduziert werden.	20%		b	Strom IL & Sektor	Lichtstromnachführung bei LEDs ist möglich und sinnvoll, um Überdimensionierung der Beleuchtung zu kompensieren. Möglichkeit: Wartungsfaktor einbeziehen (0.8), d. h. Lichtstrom zu Beginn dimmen. Ein Dimmgerät verursacht jedoch Kosten. Bis heute wenig Verbreitung.	-110	-242	-177	-37	100%	Anpassung der Beleuchtungsstärke
T.B08	Zeitschaltung Beleuchtung	KGTV	Verkürzung der Beleuchtungsdauer bzw. Anpassung der Beleuchtungsdauer an den Bedarf durch den Einsatz von Zeitschaltungen.	10% - 15%		d, b	Strom VLS & Raum	Z. B. Minuterie-Schaltungen: Sinnvoll und kostengünstig, dort wo Aufenthaltszeiten klar sind (wie Treppenhaus).	-28	-61	-45	-9	40%	Bedarfsgerechte Steuerung
T.B05	Beleuchtung manuell Ein und automatisch Aus	KGTV	Auf Wunsch der Nutzer wird die Beleuchtung eingeschaltet. Wenn keine Person anwesend ist, wird die Beleuchtung ausgeschaltet.	10% - 15%		d, b	Strom VLS & Raum	Ist schon Stand des Vorgehens bei Neubau und ca. 50 % bei Erneuerung. Bei Tageslichtabschaltung ist zu differenzieren zwischen Grossraum und Einzelbüro (Entfernung zum Fenster). Probleme: Wartung.	-28	-61	-45	-9	40%	Bedarfsgerechte Steuerung
T.B06	Tageslichtabhängige Beleuchtungsstärke	KGTV	Bei genügend Tageslicht muss die Beleuchtungsleistung reduziert oder ausgeschaltet werden. Notwendig sind optimal platzierte Sensoren.	5% - 10%		b	Strom VLS & Raum	Aufgrund von suboptimaler Einstellung und fehlenden Nachkontrollen werden nicht die vollen Potenziale der Tageslichtabhängigen Beleuchtungsstärke ausgenutzt. Daraus resultierende Akzeptanzprobleme führen dazu, dass diese aus der Planung gestrichen werden können. Somit sind Potenziale vorhanden.	-13	-29	-21	-4	60%	Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.B11	Konstantlichtregelung	TEP	Konstantlichtregelung anhand von innenliegenden Sensoren. Möglich mit Einsatz von dimmbaren LED.	0% - 50%		e	Strom VLS & Raum	Problem: Eigenverbrauch der Elektronik kann sehr gross sein. Stand-by-Ausschaltung über Nacht nötig.	-8	-17	-12	-3	35%	Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung
T.B14	Schwarmregulierung	TEP	Intelligente Vernetzung von Leuchten mit jeweils eigener Präsenzerkennung. Dadurch werden die Leuchten nur auf Volllast betrieben, wenn eine Person passiert. Die anderen Leuchten werden gedimmt.	0% - 50%		b	Strom VLS & Raum	Insbesondere interessant für Verkehrsflächen. Garagen etc. Relativ junge Technologie.	-19	-41	-30	-6	100%	Schwarmregulierung
	Energetische Betriebsoptimierung													
T.B09	Betriebskontrolle und Inbetriebnahme Sensorik	TEP	Durch korrekte Planung, Inbetriebnahme und Einjustieren von Tageslichtsensoren und Präsenzmeldern (PIR) kann deren Funktionsweise optimiert und die Effizienz gesteigert werden.	15%		b	Strom VLS & Raum	PIR können sowohl in Hinblick auf Präsenzerfassung als auch für Tageslichterfassung optimiert werden.	-14	-31	-22	-5	20%	Bedarfsgerechte Steuerung
T.G	Allgemeine Gebäudetechnik													
	Elektroinstallation													
T.G01	Ersatz Netztransformator	KGTV	Bei Netztransformatoren die um 1970 in Betrieb genommen wurden, ist ein Ersatz zu prüfen.	-	>10%	a	Strom & Trafo	Macht erst Sinn bei grösseren Firmen (ab 200 - 300 Arbeitsplätzen).	-12	-26	-19	-4	10%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen
T.G03	Erhöhung der Übertragungsspannung	KGTV	Für grosse Distanzen oder Leistung kann die Energieübertragung mit einer Spannung von 990 Volt oder mit Mittelspannung erfolgen. 990 Volt Leitungen benötigen keine ESTI Planvorlage (<1000 V).	>10%		a	Strom & Trafo	-	-12	-26	-19	-4	10%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.G04	Ersatz Kleinspannungs- transformator	KGTV	Transformatoren für Steuer- spannungen (z. B. 24V) oder galvanische Trennung können hohe Verluste aufweisen. Gut bemerkbar durch die Oberfläch- temperatur. Diese sind richtig zu dimensionieren und zu ersetzen (z. B. durch Ring- kerntrafos oder elektronische Trafos).	75%		b	Strom & Ver- lust- leistung des Trafos	Einschätzungen aufgrund von Experteninputs (ergänzend zu Beschreibung in Kapitel 3).	-6	-13	-10	-2	5%	Allgemeine Gebäu- detechnik Effizienz- massnahmen
T.G06	Korrektur Leistungsfaktor	KGTV	Dezentrale Kompensationsan- lagen bei hohen induktiven Lasten, reduzieren die Übertra- gungsverluste.	-	10%	b	Strom & Lei- tungs- verluste	Vor allem für Industrie relevant, wobei Verbreitung zu relativie- ren ist. Einsparung bezogen auf Leitungsverluste.	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäu- detechnik Effizienz- massnahmen
T.G07	Wärmeverluste Notstromgenerator	KGTV	Das Kühlwasser der Generato- ren wird für einen Schnellstart elektrisch vorgeheizt (> 40 °C). Das Vorwärmen kann auch über ein gebäudeinternes Wär- menetz erfolgen.	>10%		a	Strom & Wärme	Nur während Heizperiode mög- lich.	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäu- detechnik Effizienz- massnahmen
T.G09	Separate Notleuchten (z. B. LED)	KGTV	Wird die Notbeleuchtung nicht in die Grundbeleuchtung inte- griert, können effiziente LED Leuchten eingesetzt werden. Dadurch sinkt die Grösse der zentralen Notlichtanlage und somit sinken auch die Verluste.	>10%	-	a	Strom & Sek- tor	Bereits praktisch alles LED, da- her kleines Potenzial.	-60	-132	-97	-20	50%	Allgemeine Gebäu- detechnik Standard- massnahmen
T.G10	Effiziente USV	KGTV	Bei der Planung sind die Wir- kungsgrade der Anlagen mitei- nander zu vergleichen und in den Lebenszykluskosten einzu- rechnen. Man muss genauer auf die Auslegung der Anlage fokussieren. Die Verluste wir- ken sich auf min. 20 Jahre aus.	<1%		b	Strom & Ver- lust- leistung	Das grösste Problem ist die fal- sche Auslegung der Anlagen. Ef- fizienz bringt weniger als 1% der Verlustleistung.	-24	-53	-39	-8	20%	Allgemeine Gebäu- detechnik Effizienz- massnahmen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
Aufzüge und Treppen														
T.T01	Effiziente Aufzüge	KGTV	Die Effizienzklasse von Aufzügen wird zusammen mit dem Einsatzort bestimmt. Bei wenigen Fahrten (Wohngebäude) ist die Stand-by Leistung entscheidend.	>10%		a	Strom & Lift	-	-32	-71	-52	-11	60%	Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften
T.T02	Stand-by Aufzug Beleuchtung	KGTV	Bei einer Aufzugsrevision kann eingestellt werden, dass das Kabinenlicht nur bei Bedarf brennt.	<6%		a	Strom & Lift	Stand der Technik, daher wenig Potenzial.	-5	-10	-8	-2	20%	Energieeffiziente Optimierungen in Liften (ohne Motoren)
T.T03	Betrieb Rolltreppe	KGTV	Sofern keine Personen die Rolltreppe benutzen, kann diese ausgeschaltet werden oder die Fahrgeschwindigkeit wird reduziert.	<6%		a	Strom & Lift	-	-11	-24	-17	-4	20%	Energieeffiziente Aufzugstechnik in Liften
T.L15	Aufzugsschacht Entlüftung	KGTV	Regulierte Lüftungsklappen um einen "Kamineffekt" im Aufzugsschacht zu verhindern (inkl. lückenlose Wärmedämmung).	<6%		a	Wärme & Lift	-	-2	-5	-4	-1	10%	Energieeffiziente Optimierungen in Liften (ohne Motoren)
Pumpen														
T.W11	Bedarfsgerechte Pumpenleistung	KGTV	Regulierung der Umwälzpumpe auf den wirklichen Bedarf (Nicht im Dauer-On Modus).	e		e	Strom & Sektor	-	-115	-254	-186	-39	80%	Pumpen und Hilfsenergie Effizienzmassnahmen
T.S11	Regelung der Trinkwasser-Pumpen	TEP	Bedarfsorientierte Regelung der Trinkwasser-Zirkulationspumpe. Auch mittels selbstlender Pumpen.	e		e	Strom & Sektor	Zirkulation auch durch selbstlender Pumpen möglich.	-29	-63	-46	-10	20%	Pumpen und Hilfsenergie Effizienzmassnahmen
Beschattung														
T.A05	Automation der Storensteuerung	KGTV	Die Innenräume werden mittels Lamellenstoren verschattet, um das Tageslicht optimal auszunutzen.	e		e	Strom (Lüftung und Licht)	Gegen die Storenautomation ergibt sich viel Widerstand, v. a. wenn Gebäudenutzende keine Einflussmöglichkeiten haben.	-1	-2	-2	0	5%	Tageslichtabhängige Innenbeleuchtung (+eBO)

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.A07	Zeitautomatik Storensteuerung (Isolation Winter)	KGTV	Beim Schliessen der Storen erhöht diese die Dämmung im Bereich der Fenster. Dieser Vorteil kann in der Nacht oder bei Abwesenheit im Winter genutzt werden.	e		e	Wärme	Dämmungsverbesserung durch Storen bei modernen Fenstern. Nur bei dichten, seitlich geführten Storen ist eine signifikante Verbesserung. Hingegen ist die Storensteuerung nützlich, um unnötiges Schliessen im Winter zu vermeiden.	-115	-144	-91	-20	5%	Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen
Kleines oder vernachlässigbares Potenzial														
T.G11	Schneefreihaltung SAT Anlage	KGTV	Um Parabolantennen im Gebirge vor dem einschneien zu schützen, ist der Schnee nicht elektrisch zu schmelzen sondern die Antenne ist geeignet zu platzieren.	e		e	Strom	Exotische Massnahme, daher eher kleiner Einfluss.	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen
T.G14	Mechanische Türschliesser	KGTV	Ersatz elektrischer Türschliesser durch mechanische	<1%		b	Strom	Exotische Massnahme, daher eher kleiner Einfluss.	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen
T.G15	Betrieb Drehtüre	KGTV	Sofern keine Personen die Drehtür benutzen, kann diese ausgeschaltet werden.	<6%		a	Strom	Bereits Stand der Technik	-18	-40	-29	-6	15%	Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen
T.G02	Kurze Distanzen Elektroverteilung	KGTV	Elektroverteilungen sind möglichst nahe bei den Lastschwerpunkten / Steigzonen zu platzieren. Dadurch können die Übertragungsverluste reduziert werden.	<1%		b	Strom	Bei durchschnittlich 0.1% (bis 1%-2% auf einem Campus) Verlustleistung und deren 10% Reduktion, ergibt sich im Effekt ein vernachlässigbares Potenzial. Möglich wäre allerdings auch ein grösserer Kabeldurchschnitt. Wird eher aus Kostengründen durchgeführt.	-6	-13	-10	-2	5%	Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen
T.G16	Musik über EVAK	KGTV	Teilweise wird die EVAK Anlage für das Abspielen von Musik verwendet (auch in Technikräumen). Dies benötigt ca. 60% der Lautsprecherleistung	0%		b	Strom	-	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.G08	Abschalten der Exitleuchten	KGTV	In Räumen mit grosser Personenbelegung (sofern anwesend) und bei expliziter Vorgabe, sind Exitleuchten dauernd zu beleuchten (Bereitschaftsschaltung).	0%		b	Strom	Nicht realistisch, da zu heikel. Sicherheit sollte Vorrang vor Energieeinsparungen haben.	-1	-3	-2	0	1%	Allgemeine Gebäudetechnik Effizienzmassnahmen
T.S10	Feuchtigkeitsgeführte Dachrinnenheizung (DRH)	KGTV	Dachrinnenheizungen sind erst einzuschalten wenn die Temperatur unter 3°C liegt und Feuchtigkeit vorhanden ist.	<1%		b	Strom	Effizianzorderungen an DRH sind bereits in der MuKEN verankert.	-6	-13	-10	-2	5%	Allgemeine Gebäudetechnik Standardmassnahmen
T.K	Klimakälte													
T.K04	Effiziente Kälteerzeuger	KGTV	Ersatz und Einsatz der vorhandenen (2015) Kälteerzeuger durch effiziente Geräte mit höherer Leistungszahl.	13%		c	Strom IL & Sektor	Anforderungen an Effizienzklassen werden in der MuKEN verankert werden. Zusatzpotenzial dazu möglich durch die Wahl höherer Leistungszahlen als Standard.	-80	-176	-129	-27	100%	Effiziente Kälteerzeuger
T.K06	Gleitende Kaltwassertemperaturen	KGTV	Erhöhung der Kältezah (EER) der Kälteerzeugung durch Erhöhung der Kaltwassertemperatur im Teillastbetrieb.	5%-20%		c	Strom VLS & Sektor	Zurzeit häufig nicht eingesetzt. Potenzial zur Reduktion des Temperaturhubs der Kältemaschinen vorhanden.	-172	-379	-277	-58	100%	Gleitende Kaltwassertemperatur
T.K03	Verdunstungskühler	KGTV	Reduzierung der Kühlkreistemperaturen durch Umrüstung bzw. Austausch der Rückkühlwerke zu Verdunstungskühlern (Adiabate Kühlung).	10%		c	Strom VLS & Sektor	Laut Massnahmenliste „Effiziente Kälte“ von EnergieSchweiz: mässiges Einsparpotenzial von adiabater Kühlung und problematisch wegen Hygiene. Reduziert jedoch den Temperaturhub.	-40	-88	-64	-13	100%	Hybridrückkühler (in Kombination mit Variable Rückkühltemperatur)
T.L20	Free Cooling	KGTV	Reduzierung der Betriebszeiten der Kälteerzeugung durch Nutzung von Umweltkälte bei hinreichend niedrigen Aussen-temperaturen oder zur Verfügung stehenden Grundwasser.	10% - 20%		c	Strom VLS & Sektor	Bei Vorhandensein entsprechender Monoblocs und Rückkühler ist eine Einsparung möglich.	-85	-187	-137	-29	100%	Free Cooling
Energetische Betriebsoptimierung und GA														

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.K07	Variable Kühlkreistemperatur	KGTV	Verbesserung des Teillastverhaltens der Kälteerzeuger durch variable Kondensations-temperaturen in Abhängigkeit der Aussentemperatur.	15% - 30%		c	Strom VLS & Sektor	Zurzeit häufig nicht eingesetzt, womit hier ein Potenzial liegt. Reduziert Temperaturhub.	-163	-358	-262	-55	100%	Variable Rückkühltemperatur
T.K08	eBO Kälte	TEP	eBO der bestehenden Anlagen durchführen und regeltechnische Optimierungen der Anlage durchführen.	5%-15%		c	Strom VLS & Sektor	-	-21	-46	-34	-7	70%	eBO und GA Kälte
T.K09	Individuelle Kältesteuerung	SIA	Einzelraumregelung mit Kommunikation und präsenzabhängiger Regelung.	e		e	Strom VLS & Sektor	-	-9	-20	-15	-3	30%	eBO und GA Kälte
T.L	Lüftung													
T.L01	Grössere Monoblocs	KGTV	Reduktion der Lufteinströmgeschwindigkeit und dadurch Reduktion der Druckverluste durch Einsatz eines Monoblocs mit höherem Durchmesser.	25%		c	Strom IL & Sektor	Durch MuKEV-Vorschriften (max. 2 m/s Einströmungsgeschwindigkeit) geregelt.	-30	-67	-49	-10	100%	Grössere Monoblocs
T.L35	Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand	TEP	Aufrüstung der Lüftungsanlagen (Monoblocs und Verteilung) im Bestand auf Stand der Technik.	e		b, e	Strom IL & Sektor	Alte Monoblocs werden ohnehin im Laufe des Erneuerungszyklus ausgetauscht. Zusatzpotenziale möglich aufgrund der Menge.	-492	-1082	-792	-166	100%	Erneuerung der Lüftungsanlagen im Bestand
T.L03	Optimierte Wärmerückgewinnung	KGTV	Reduktion des Lüftungswärmebedarfes durch Einsatz einer optimalen Wärmerückgewinnung.	>10%		a	Wärme	10% kleinerer Wirkungsgrad (WKG) ohne WRG in Industrie und Gewerbe. WKG von 55% auf 75% im Effizienzscenario realistisch, muss aber in der Praxis pro Einzelfall beurteilt werden.	-1607	-2020	-1272	-287	70%	Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen
T.L04	Effiziente Ventilatoren	KGTV	Einsatz von Bestgeräten.	10%		c	Strom IL & Sektor	Durch Wahl von entsprechendem Monobloc. Zu prüfen ist, ob vorzeitiger Ersatz realistisch ist.	-15	-33	-24	-5	100%	Effiziente Ventilatoren
T.L06	Energieeffiziente Filter	KGTV	Reduzierung der Druckverluste durch Einsatz von energieeffizienten Filtern (A Klasse).	5%		b	Strom VLS & Sektor	Auch möglich: Nachrüstung mit CO ₂ -Filtern, jedoch erst im Rahmen von Gesamtanierungen.	-24	-52	-38	-8	50%	Effiziente Filter

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.L07	Mischluftverhältnis	KGTV	Optimierung der Volumenbilanz im Umluftbetrieb durch Einregulierung der Mischluftklappensteuerung.	5%		b	Strom VLS & Sektor	Existierende Anlagen mit Mischluft (oder Umluft) aus den 1970er und 1980er Jahren müssen ohnehin ersetzt werden, d. h. Bestandteil von Referenzszenario. Evtl. noch relevant für Detailhandel und Elektrizitätswerke.	0	0	0	0	100%	Mischluftverhältnis
T.L14	Ersatz der Spaltpmotoren von Abluftanlagen	KGTV	Ersatz der Spaltpmotoren.	3% - 5%		c	Strom & Räume mit Abluftanlage	Nur noch kleines Potenzial vorhanden, da nur kleine Lüftungen noch solche Motoren besitzen.	-1	-1	-1	0	50%	Optimierung der Abluftanlagen
T.L19	Betriebszeiten RLT-Anlagen	KGTV	Reduzierung der Betriebszeiten von RLT-Anlagen mit langen Laufzeiten.	0% - 13%		c	Strom VLS & Sektor	Grosser Teil der Lüftungen ist schon geregelt.	-15	-33	-24	-5	25%	Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand
T.L16	Jalousieklappen schliessen	KGTV	Reduktion der Lüftungsverluste durch Schliessen der Luftöffnungen ausserhalb der Nutzung.	<3%		a	Strom VLS & Sektor	-	-3	-7	-5	-1	5%	Anpassung der Betriebszeit
T.L10	Aussenluftansaugung optimieren	KGTV	Optimierung der Aussenluftansaugung.	<1%		a	Strom VLS & Sektor	-	-3	-7	-5	-1	5%	Anpassung der Betriebszeit
T.L13	Dämmung von Luftkanälen	KGTV	Reduzierung der Transmissionsverluste bei der Luftverteilung durch Dämmung von Lüftungsblechkanälen, insbesondere in Aussenbereichen.	<1%		a	Wärme	-	-23	-29	-18	-4	1%	Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen
T.L11	Optimale Luftleitungsführung	KGTV	Luftleitungen so führen, dass keine Druckverluste entstehen.	>10%		a	Strom IL & Sektor	-	-3	-6	-4	-1	10%	Optimierte Luftverteilungen
T.L12	Dichte Luftverteilsysteme	KGTV	Reduzierung der Druckverluste durch abdichten der Luftleitungen.	<10% (Strom), <3% (Wärme)		a	Strom IL & Sektor	-	-5	-11	-8	-2	20%	Optimierte Luftverteilungen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.L33	Grössere Querschnitte für Lüftungskanäle	TEP	Reduzierung der Druckverluste durch Planung von Lüftungskanälen mit grossem Querschnitt.	10%		b	Strom IL & Sektor	-	-17	-38	-28	-6	66%	Optimierte Luftverteilungen
Gebäudeautomation														
T.L31	Bedarfsgerechte Abluftanlagen	TEP	Bedarfsgerechte Steuerung von Abluftanlagen.	<6%		a	Strom VLS & Sektor	-	-3	-7	-5	-1	5%	Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung
T.L25	Drehzahlregulierte Ventilatoren	KGTV	Als Voraussetzung für die Anpassung der erforderlichen Luftmengen an das Nutzungsprofil.	e		-	Strom VLS & Sektor	-	0	0	0	0	0%	Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung
T.L23	Bedarfsgerechte Volumenstrom- und Druckregelung	KGTV	Ersatz von mechanischen Volumenstromregler durch elektrischer Volumenstromregler mit Ventilatorsteuerung nach Klappenstellung der Volumenstromregler.	5-17%		c	Strom VLS & Sektor	-	-60	-133	-97	-20	95%	Bedarfsgerechte Volumenstrom- & Druckregelung
T.L17	Raumluftbefeuchtung nach Bedarf	KGTV	Reduzierung der Raumluftbe- und Entfeuchtung in Abhängigkeit der Aussentemperatur durch variable Sollwerte innerhalb des Behaglichkeitsfeldes.	0	2%	c	Strom VLS & Sektor	Luftbefeuchtungsanlagen sind nur noch wenig verbreitet und werden im Neubau nicht mehr eingesetzt	0	-1	-1	0	100%	Raumluftbefeuchtung nach Bedarf
T.L30	Zeitabhängige Regelung des Luftvolumenstroms	SIA	Reduzierung der Betriebszeiten der Ventilation durch Anpassung an den Arbeitsrhythmus (Tag/Nacht-Abschaltung, grösste/kleinste Belegung).	e		c	Strom VLS & Sektor	-	-15	-33	-24	-5	25%	Anpassung der Belüftungsdauer im Bestand
T.L21	Regelung der Abluftanlage über Lichtkontakte	KGTV	Reduzierung der Betriebszeiten von Abluftanlagen durch Anpassung der Laufzeiten an Nutzung mit Steuerung über Präsenzmelder oder Lichtkontakte.	<1%		b	Strom VLS & Sektor	-	-1	-1	-1	0	50%	Optimierung der Abluftanlagen
T.L32	Regelung der Wärmerückgewinnung	SIA	Regelung der Abtauvorgänge und Überheizregelung.	e		c	Wärme & Sektor	-	-161	-202	-127	-29	7%	Wärmebedarfsreduktion durch lüftungstechnische Massnahmen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.L28	Regelung der Zulufttemperatur	SIA	Anpassung der Zulufttemperatur (z. B. Sollwert anhand eines Führungsgebers in Abhängigkeit der Aussentemperatur oder der Last zu führen).	e		c	Wärme & Sektor	-	-46	-58	-36	-8	2%	Wärmebedarfsreduktion durch Lüftungstechnische Massnahmen
Energetische Betriebsoptimierung														
T.L34	Anpassung der Luftvolumenströme	TEP	Anpassung und Reduktion der Luftvolumenströme bei LA.	e		e	Strom IP & Sektor		-12	-26	-19	-4	50%	Anpassung der Luftvolumenströme
T.L27	eBO Lüftung	KGTV	eBO der bestehenden Anlagen durchführen und regeltechnische Optimierungen der Anlage durchführen.	15%		b	Strom VLS & Sektor	Wichtige Massnahme, da im Bereich der energetischen Betriebsoptimierung der Lüftung grosse Potenziale vorhanden sind. Problem ist die Verfügbarkeit von Knowhow und Fachpersonal.	-24	-53	-39	-8	40%	Anpassung der Betriebszeit
T.W	Raumwärme													
	Neues Heizsystem													
T.W01	Ersatz fossile Heizsysteme	KGTV	Ersatz Öl- und Gaskessel z. B. durch Wärmepumpen, Holzheizungen, Biogas etc.	>10%		c	Fossile Energie	-	0	-3101	1594 2	-3704	100%	Ersatz von fossilen Heizsystemen
T.W02	Ersatz Elektroheizungen	KGTV	Ersatz Elektroheizungen z. B. durch Wärmepumpen oder Solar.	>10%		c	Strom	-	0	33	38	2	100%	Ersatz von Elektroheizungen
T.W03	Einsatz Kraft-Wärme-Kopplung (WKK)	KGTV	Nutzung von Synergien durch die gekoppelte Erzeugung von Wärme, Strom und ggf. Kälte.	e		e	-	Energieträgerwahl ist entscheidend (Biogas vs. Erdgas).	0	-841	-672	-51	100%	Einsatz von Biogas-WKK
T.W09	Modernisierung Einrohrheizungen	KGTV	Ersatz durch neues Heizsystem.	0%		b	Wärme	Ist im Bestand noch sehr verbreitet (v. a. in Büros der 60/70er). Erneuerung ist jedoch schwierig und teuer. Es ist effizienter neue Ventile und Pumpen einzubauen.	0	0	0	0	-	nicht quantifiziert

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.W29	Abgaskondensation bei Holzheizungen	TEP	Verbesserung des WKG von Holzheizungen durch Abgaskondensation bei nassen Brennstoffen.	15%		b	Wärme	Tiefe Vorlauftemperatur oder Kombination mit WP nötig. Nicht absehbar, ob Wirkungsgradsprung ausgenutzt wird.	-106	-133	-84	-19	100%	Effizienzsteigerung von feuerungsbastrierten Anlagentypen
Optimierung von bestehenden Heizsystemen														
T.W25	Energetische Betriebsoptimierung (eBO) von Heizanlagen	KGTV	Optimierung der Betriebsweise von WP, Öl und Gasheizungen (auch ausserhalb Nutzung).	10%-15%		b	Wärme	eBO möglich durch Wärmeverteilung, Heizkurve, gleitende Speicher, Laufzeitkontrolle und Abschalten bei nicht-benutzten Räumen sowie Kontrolle der Wasserwege. Muss durch Spezialist unternommen werden.	-1202	-1511	-952	-215	55%	eBO Heizung
T.W07	Hydraulischer Abgleich	KGTV	Optimierung der hydraulischen Wärmeverteilung mittels hydraulischem Abgleich.	10%		a	Wärme	Meistens genug Reserve auch bei schlecht eingestellter Anlage.	-656	-824	-519	-117	30%	eBO Heizung
T.W26	Mechanische Thermostatventile	KGTV	Ersatz der Handventile von Radiatoren durch Thermostatventile.	-	3%	b	Wärme	Rund 80% der Gebäude sind bereits mit Thermostatventilen ausgerüstet, womit sich ein kleines Restpotenzial ergibt.	-219	-275	-173	-39	10%	eBO Heizung
T.W13	Einsatz Zonenventile	KGTV	Raumgruppen werden zusätzlich über ein zentrales Ventil gesteuert.	e		b	Wärme	V. a. für Spezialfälle mit Heizgruppen, die auf variable Nutzung oder der Orientierung anhand der Himmelsrichtungen basieren.	-109	-137	-87	-20	5%	eBO Heizung
Wärmepumpen														
T.W04	Wärmepumpen System-Modul	KGTV	Durch optimal aufeinander abgestimmte System-Komponenten wird der Stromverbrauch der Wärmepumpen weiter gesenkt.	e		e	Strom	WP-Modul bis zu Leistungsbebereich von 15kW Heizleistung (MFH, EFH).	-100	-126	-79	-18	15%	Effizienzsteigerung von Wärmepumpenheizungen
T.W28	Nutzungsgrade Wärmepumpen	TEP	Verbesserung der Nutzungsgrade von Wärmepumpen.	e		e	-	-	-533	-669	-422	-95	80%	Effizienzsteigerung von Wärmepumpenheizungen

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.W12	Reinigung Wärmetauscher	KGTV	Wärmetauscher wird gereinigt, was einen hydraulischen Vorteil bringt.	<3%		a	Strom	V. a. bei Wasser-WP. Reinigung von kleinen Rohren nicht möglich. Potenzial schwer abschätzbar (abhängig vom Grad der Verschmutzung).	-22	-27	-17	-4	1%	eBO Heizung
T.W24	Regeneration von Wärmepumpen-Quellen	KGTV	Erdsondenquellgebiet mit Überschüssiger Energie wieder regenerieren bei Nicht-Gebrauch.	e		e		Potenziale und die Wirkung sind schwer abschätzbar. Anwendbar bei Erdsondenfeldern.	-33	-42	-26	-6	5%	Effizienzsteigerung von Wärmepumpenheizungen
Wärmeabgabe														
T.W14	Flächenheizungen (auch Kühlung)	KGTV	Einbau von Flächenheizungen/-kühlungen (TABS etc.) .	e		e	Wärme	Stand der Technik seit 1990 in Büros (Keine Luftbewegung sondern Kühldecken, Segel, TABS). Bestehende Anlagen haben Sanierungspotenzial.	-69	-87	-55	-12	90%	Effiziente Wärmeabgabe
T.W08	Heizkörper ersetzen	KGTV	Alte Heizkörper ersetzen, anstatt anmalen oder bei Kesslersatz entsprechende Heizkörper einbauen.	-	unklar		Wärme	Betrifft unsanierte Gebäude mit Wärmepumpen und hat Einfluss auf Vorlauftemperatur. Laut Experten ist Effekt zu hinterfragen, da aufgrund grauer Energie Einsparung gar negativ werden kann.	-54	-68	-43	-10	70%	Ersatz von Heizkörpern
T.W18	Heizkörperabdeckung vermeiden	KGTV	Heizkörperabdeckung, die zu höheren Vorlauftemperaturen führt, vermeiden.	e		e	Wärme	Anwendung evtl. eher auf Benutzenseite.	-23	-29	-18	-4	30%	Ersatz von Heizkörpern
T.W10	Kombination Fussbodenheizung mit Handtuchrockner	KGTV	Handtuchrockner in den gleichen Wärmekreislauf anhängen wie die Fussbodenheizung im Bad.	e		e	Wärme	Kombination von Fussbodenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C und elektr. Handtuchrockner sinnvoll.	-8	-10	-6	-1	10%	Effiziente Wärmeabgabe
Gebäudeautomation														

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.W16	elektronische Thermostatventile	KGTV	Ersatz der mechanischen Thermostatventile von Radiatoren durch elektronische und programmierbare Thermostatventile. Auch mit Sensoren.	Siehe SIA 386.110 GA Faktoren (Tabelle 57)	c	Wärme	-	-291	-366	-231	-52	20%	GA Heizung	
T.W17	Bedarfsgeführte Vorlauftemperatur	KGTV	Vorlauftemperatur, und somit Raumtemperatur, dem Bedarf anpassen (nicht auf Maximum).				-	-291	-366	-231	-52	20%	GA Heizung	
T.W27	Witterungsgeführte Vorlauftemperatur	TEP	Von der Aussentemperatur und Witterung abhängige Temperaturregelung. Prädiktive Regelung.				Macht nach Aussagen von Experten Sinn.	-510	-641	-404	-91	35%	GA Heizung	
T.W20	Heizkreisoptimierung durch Start-/Stopp-Automatik	KGTV	Weniger Verteilverluste, weniger Verbrauch der Pumpen.				-	-146	-183	-115	-26	10%	GA Heizung	
T.W22	Individuelle Heizungssteuerung	KGTV	Die Räume werden individuell und dann geheizt, wenn diese benutzt werden.	siehe SIA 386.110 GA Faktoren (Tabelle 57)	c	Wärme	Wenig Nutzen bei neuen Gebäuden. Evtl. sinnvoll, falls mit Referenzräumen gearbeitet wird.	-146	-183	-115	-26	10%	GA Heizung	
T.W23	Fensterkontakte	KGTV	Reduzierung der Luft- und Wärmeverluste durch Abschalten der Lüftung und Raumheizung/Kühlung über Fensterkontakte.				Sinnvoll im Bereich Klimakälte. Braucht bei Wärme den Einsatz eines Motorenventils. Einzelpotenzial unklar.	-73	-92	-58	-13	5%	GA Heizung	
T.S	Warmwasser													
T.S01	Anschluss bestehender Elektroboiler ans Heizsystem	KGTV	Boiler wird an die bestehende Öl/Gas Heizung angeschlossen.	e	c	Strom	Substitution von Endenergie aus Strom durch Endenergie von fossilen Brennstoffen.	0	0	0	0	-%	nicht quantifiziert	
T.S02	Ersatz Elektroboiler durch WP-Boiler	KGTV	Erwärmung Trinkwasser mittels Trinkwasser-Wärmepumpe	e	c	Strom	Macht Sinn, geht aber nicht immer: Ersatz von E-Boiler werden notwendig. Probleme bei der Umsetzung. Z. B. Restwärme über Elektrizität Verfügbar stellen.	0	-249	-457	-27	100%	Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpen	
T.S13	Effizienzsteigerung von Wärmepumpenboilern	TEP		e	e		-	-1275	-1580	-190	-42	100%	Effizienzsteigerung von Wärmepumpenboilern	

Nr.	Massnahme	Basis	Kurzbeschreibung	Energieeinsparung				Qualitative Einschätzung	Einzelpotenziale CH-weit				Berechnung Einzelpotenzial	
				Neubau	Bestand	Quelle E.	Bezug		EE [GWh]	PE [GWh]	PE _{n.e.} [GWh]	THGE [kt CO ₂ -eq]	Anteil an Paket	Massnahmenpaket
T.S09	Ergänzung von zentralen Warmwassersystemen mit Solarenergie	TEP		e		e		-	0	-59	-697	-195	40%	Substitution von Warmwasser Energieträgern
T.S12	Substitution von Warmwasser Energieträgern	TEP	Substitution von Fossil durch WP, Solar und Holz.	e		e		-	0	-30	-348	-98	20%	Substitution von Warmwasser Energieträgern
T.S03	Warmwasserverteilung	KGTV	Instandstellung der Leitungen durch Isolation.	-	<3%		Wärme		-106	-131	-57	-13	30%	Reduktion Verluste Warmwasser
T.S04	Wärmerückgewinnung in Duschgrundflächen	KGTV	Wärmetauscher in Duschgrundfläche einbauen,	30% - 40%		e	Wärme	Nur bei Badesanierungen alle 30-50 Jahre. Beachten: Temperatur von Abwasser für Kläranlagen kann problematisch sein. Potenzial da, aber unklar.	-522	-656	-413	-93	50%	Reduktion Nutzenergie Warmwasser
T.S05	Warmwasser-Spararmaturen	KGTV	Mittelstellung der Einhebelarmatur soll auf Kalt eingestellt werden (Benutzer muss aktiv auf Warm umstellen).	<1%		b	Wärme	Kleines Potenzial. Zudem Problem aufgrund der Hygiene.	-522	-656	-413	-93	50%	Reduktion Nutzenergie Warmwasser
T.S06	Abstellen Trinkwarmwasserversorgung	KGTV	Bei Nicht-Gebrauch Versorgung auf Aus (z. B. Ferienwohnungen).	-		b		Nicht zu empfehlen aufgrund Hygieneproblem (Legionellen).	0	0	0	0	-%	nicht quantifiziert
Gebäudeautomation														
T.S08	Regelung der Temperatur von Trinkwarmwasserspeichern	KGTV	Automatische Anpassung der Trinkwarmwasserspeichertemperatur an den tatsächlichen Bedarf. Auch jahreszeitlich variierend oder mittels Sonnenkollektor.	e		e	Wärme	Heikle Massnahme, aufgrund von Hygieneproblemen durch Legionellen.	-212	-263	-114	-25	60%	Reduktion Verluste Warmwasser

7.8 Liste der Instrumente (Vorschlag KGTV, nicht quantifiziert)

Die vorliegende Liste mit Instrumenten wurde unbearbeitet aus der Massnahmenliste der KGTV übernommen.

Tabelle 71 Liste der Instrumente (Vorschlag KGTV, nicht direkt quantifiziert).

Nr.	Instrument	Quelle	Beschreibung
Instr.01	Abnahme	KGTV	Abnahme durch unabhängige Sachverständige
Instr.02	Inspektion	KGTV	Inspektionspflicht für gebäudetechnische Anlagen (Sicherheit, Hygiene, Energie z. B. Feuerungskontrolle!)
Instr.03	Performance Contracting	KGTV	
Instr.04	Qualitätskontrolle Planung bis Inbetriebnahme und Betrieb	KGTV	
Instr.05	Aus- und Weiterbildung	KGTV	
Instr.06	Verbrauchserfassung	KGTV	Für die Ermittlung, Planung und Überwachung von Optimierungsmassnahmen sind Messungen mit Lastgangaufzeichnung notwendig.
Instr.07	Gemessener Energieausweis	KGTV	SIA Merkblatt 2031
Instr.09	Energiemanagement	KGTV	Visualisierung des relevanten Energie- und Medienverbrauchs
Instr.10	Lastmanagement	KGTV	Lastflussdiagramme (15min Leistungsmessung) sind auf hohe Spitzen und hohe Bandleistung zu optimieren. Der Übergang von der Bandlast zum Tagesprofil sollte nicht vor der Arbeitszeit beginnen. An einem Wochenende sollten keine hohen Spitzen erreicht werden.
Instr.12	Leistungsgarantie mit jährlichem Kältecheck bei Kälteanlagen	KGTV	Keine technische Massnahme, verbessert aber den Betrieb. Als Voraussetzung Massnahmen im Kältebereich
Instr.14	Visualisierung Verbrauch	KGTV	Visualisierung des relevanten Energie- und Medienverbrauchs
Instr.15	Überprüfung Sensoren und Aktoren	KGTV	Kontinuierliche Überprüfung und Austausch fehlender Sensoren und Aktoren
Instr.16	Energetische Inspektion	KGTV	Alle Anlagen älter 10 Jahre werden gemäss DIN 15240, EN15239, inspiziert.
Instr.17	Publikation von Vergleichskennwerten	TEP	Um Vergleichswerte zu erhalten, sollten Daten, Beispiele und Erfahrungswissen zu Best Practice Geräten zur Verfügung stehen.